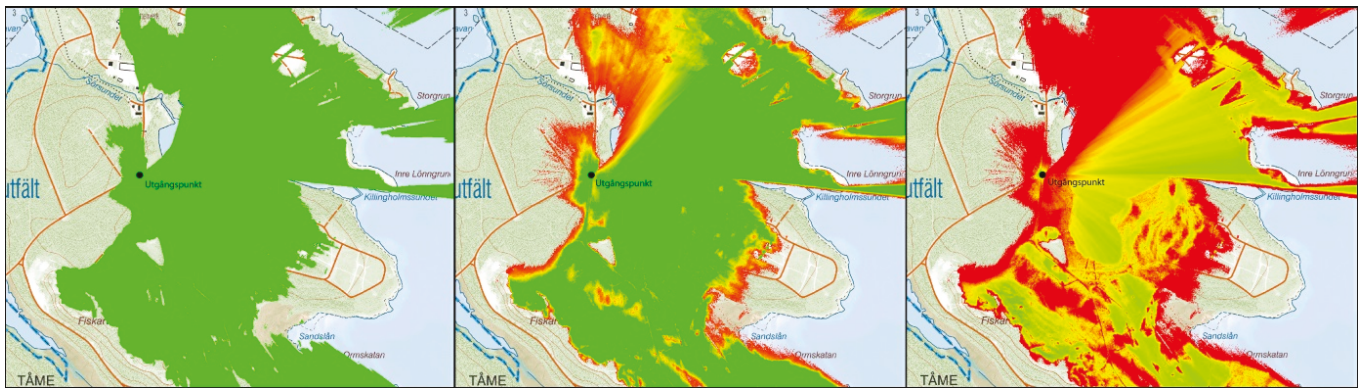


HANS-ÅKE OLSSON, PETER FOLLO, ANDERS GUSTAVSSON,
PATRIK LIF, GUSTAV TOLT, LARS WESTERDAHL



Hans-Åke Olsson, Peter Follo, Anders
Gustavsson, Patrik Lif, Gustav Tolt, Lars
Westerdahl

Aspekter kring höjd/3D-data i geoförsörjningsprocessen

Titel	Aspekter kring höjd/3D-data i geoförsörjningsprocessen
Title	Aspects of height / 3D data in the process of geosupport
Rapportnr/Report no	FOI-R--3950--SE
Månad/Month	Oktober
Utgivningsår/Year	2014
Antal sidor/Pages	39 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FMV
Forskningsområde	7. Sensorer och signaturanpassning
FoT-område	
Projektnr/Project no	E54154
Godkänd av/Approved by	Per Johannesson
Ansvarig avdelning	Sensor- och TK-system

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

Siktfältsanalys utifrån höjddata, är en ofta önskvärd funktion för planering och genomförande av militära operationer. Noggrannheten i resultaten från en siktfältsanalys beror i hög grad på noggrannheten i indata. Även små fel i data kan påverka siktanalysen drastiskt. Förutom fel i höjd finns även osäkerheter i plan, dels för höjddata och dels för observatörens position. Dessa fel kan innebära skillnaden mellan om observatörspositionen råkar hamna bakom ett objekt som skymmer sikten eller att den hamnar strax bredvid där det istället är fri sikt till målet. För att undersöka hur man kan ta hänsyn till osäkerheter på ett mer systematiskt sätt, har en metod för felfortplantningsanalys som bygger på s.k. Monte Carlo-simuleringar tagits fram. Det betyder i korthet att man gör ett större antal beräkningar med olika värden för parametrarna för höjdfel i vegetationsområden, höjdfel i öppna ytor och osäkerhet i plan. Resultaten från dessa beräkningar analyseras sedan statistiskt för att se hur variationer i parametrarna påverkar resultatet. Resultatet blir en siktfältsanalys där sannolikheten för fri sikt kan anges mera nyanserat än bara fri sikt eller ingen sikt. Sen är det också viktigt att denna information presenteras på ett sådant sätt för operatören så att operatören inte misstolkar vad informationen egentligen representerar.

För att öka förståelsen av vad resultatet från siktfältsanalysen innebär och för att få en möjlighet att diskutera hur den heterogena geografiska information som finns att tillgå idag inom Försvarsmakten kan användas vid en operativ insats, har ett scenario tagits fram för en kommande demonstration. På så sätt kan nyttan med analysen sättas i ett sammanhang och betydelsen av att ta hänsyn till de fel som kan finnas visas, men också ge en möjlighet att diskutera vilka ytterligare förmågor som kan behövas utöver de som redan finns i dagens GIS-system.

Idag finns standarder som är framtagna med syftet att förbättra kvalitetssäkringen av de allt mer högupplösta höjddata som finns att tillgå. I rapporten tittar vi på några av de standarder som finns inom detta område.

För att få en överblick över hur det ser ut idag och vad som är på gång inom några områden av intresse för FMV:s projekt SGIF (Snabb Geografisk InformationsFörsörjning), har en begränsad utblick gjorts inom områdena; komprimering, databaser, stora datamängder, presentation av 2D- och 3D-data och radarsatelliter.

Nyckelord: Monte Carlo-simulering, felfortplantning, siktfältsanalys, DGIWG, ESM, sensormodell, noggrannhet, visualisering, komprimering, datamängder, scenario, radarsatelliter.

Summary

Viewshed analysis using elevation data is often a desirable function for planning and realization of a military operation. The accuracy in the result from a viewshed analysis depends highly on the accuracy of the input data. Even small errors in the input data could have a great influence on the analysis. Besides the error in height, there are also planar uncertainties, partly from height data and partly from the observers' position. These faults could be the difference between if the position of the observer ends up behind an object that blocks the sight or on a spot where there will be a free line of sight. To investigate how it is possible to considering the uncertainties, a method for analyze error propagation that builds on Monte Carlo simulation has been produced. With this method, a large number of calculations are made with different values for the parameters such as error in the height in the areas of vegetation, error in the height in areas of open spaces and uncertainties in plane. The result from the simulation is analyzed statistically to see how the variations in the parameters are affecting the result. The result from the method is a viewshed analysis where the likelihood for free line of sight could be more balanced then just line of sight or no line of sight. Then it is also important to present the information for the operator in such way so the operator couldn't misunderstand what the information is really representing.

To increase the understanding of what the result from the field analysis implies and to get an opportunity to discuss how heterogeneous geographic information (that already exist in the Swedish Armed forces today) could be used at a military action, a scenario has been produced for a coming demonstration. In this way, the usefulness of the analysis could be put into the context and the importance of taking the errors into account could be shown, but also provide an opportunity to discuss what additional capabilities that may be needed along with those that already exist in today's GIS system.

Today, there are standards that have been produced with the aim of improving the quality assurance of increasingly high-resolution elevation data that are available today. In this report, we are looking at some of the standards that exist in this area.

To get a survey of how it looks today and what is going on in some areas of interest for the FMV project SGIF (Rapid geographic information management), a limited outlook have been made for areas such as compression, databases, large data sets, presentation of 2D and 3D data and radar satellites.

Keywords: Monte Carlo-simulation, error propagation, viewshed analysis, DGIWG, ESM, sensor Models, accuracy, visualization, compression, datasets, scenario, radar satellites.

Innehållsförteckning

1	Inledning	8
1.1	Om projektet.....	8
1.2	Rapportens upplägg.....	9
2	Komplex GIS-analys samt Noggrann höjddata	10
2.1	Monte Carlo-baserad siktfältsanalys.....	10
2.1.1	Bakgrund.....	10
2.1.2	Felfortplantning i siktfältsanalyser.....	11
2.1.3	Monte Carlo-simuleringar.....	12
2.1.4	Parametrar	12
2.1.5	Implementation	13
2.1.6	Resultat	14
2.1.7	Begränsningar.....	15
2.1.8	Alternativ till Monte Carlo-simulering	16
2.1.9	Monte Carlo-baserad felfortplantning i andra GIS-tillämpningar	16
2.1.10	Inledande diskussion kring visualisering av siktfältsanalysen	16
2.2	DGIWG Elevation Surface Model (ESM)	18
2.3	Sensormodeller för felfortplantningsanalys.....	19
2.4	Scenario	21
2.4.1	Inledning.....	21
2.4.2	Scenario för en spaningsinsats.....	22
2.4.3	Uppgifter jägare	24
2.4.4	Uppgifter helikopter.....	24
2.4.5	Analysstöd	25
2.4.6	Indata	26
3	Design	27
3.1	Geoportal	27
3.2	Standardisering DGIWG	27

4	Utblick	28
4.1	Komprimering, databaser och stora datamängder	28
4.2	Människa-System-Interaktion, presentation av 2D- och 3D-data ...	28
4.3	Radarsatelliter	28
4.3.1	Operativa radarsatelliter.....	28
4.3.2	Tekniken med avbildande radar från flygburna system	29
4.3.3	Syntetisk aperturradar (SAR).....	30
5	Samverkan och kontakter	33
5.1	Arméns Jägarbataljon	33
5.1.1	Siktfält	33
5.1.2	Utvärdering av nyttan	34
5.2	Lantmäteriet	35
5.3	Försvarsmaktens Helikopterflottilj	36
6	Referenser	37
7	Förkortningar	38
	Bilagor	39
-	Peter Follo (2014), Komprimering, databaser och stora datamängder, FOI Memo 4897	
-	Patrik Lif (2014), 2D och 3D visualisering, FOI Memo 4880	

1 Inledning

1.1 Om projektet

Projektet är en beställning från FMV inom ramen för FMV:s projekt SGIF (Snabb Geografisk InformationsFörsörjning) och syftar till att stödja Försvarsmakten och FMV i införandet av höjd/3D-data som en del i geoförsörjningsprocessen.

Arbetet har genomförts i tre separata arbetspaket utifrån de önskemål om områdesval som SGIF har haft. Arbetspaketen har varit; "Komplex GIS-analys samt Noggrann höjddata", "Design", och "Utblick". Tyngdpunkten har legat på de två första paketen.

Komplex GIS-analys samt Noggrann höjddata

Arbetet här har varit inriktat mot att ge ett exempel på hur osäkerhet i höjdmodeller kan hanteras samt att visa på vad denna osäkerhet betyder i praktiken. Fel i höjdmodeller kan få stor inverkan för resultatet vid t.ex. siktfältsberäkningar och målutpekning. Det är därför viktigt att ha kontroll över vilka fel som finns och hur felen skall hanteras så att tillförlitligheten i data inte överskattas.

I detta projekt har vi valt att exemplifiera detta via en Monte Carlo-baserad siktfältsanalys, där effekten av osäkerheten i indata till siktfältsanalysen åskådliggörs i slutresultatet.

För att sätta in detta i ett sammanhang har det också tagits fram ett scenario inför en demonstration kommande år där siktfältsanalysen ingår. Syftet med demonstrationen är att visa på hur viktig det är att ha kännedom om osäkerheten i indata och hur osäkerheten kan påverka slutresultatet i en GIS-analys samt vilken betydelse detta kan få vid användandet av den geografisk information vid t.ex. förberedelserna inför en insats.

För att undersöka vilka mått och metoder som finns idag inom t.ex. Defence Geospatial Information Working Group (DGIWG) för att värdera och kvalitetssäkra högupplösta höjddata har ett par standarder gått igenom. Standardernas syfte är att förbättra kvalitetssäkringen av de allt mer högupplösta höjddata som finns att tillgå idag.

Design

Arbetet inom detta arbetspaket har varit indelat i de två områdena Geoportal och Standardisering DGIWG.

Inom Geoportal har FOI deltagit i en arbetsgrupp under FMV:s ledning. Arbetsgruppen har arbetat med att ta fram en definition för nästa generations Geoportal inom Försvarsmakten. Arbetsgruppen har också gjort en preliminär realiserbarhetsprövning utifrån de förväntningar som finns på Geoportalen.

Inom Standardisering DGIWG har FOI fungerat som ett bollplank i det arbete som FMV leder för att ta fram en Web Services Roadmap (WSR) inom DGIWG. WSR är en roadmap för tillämpning/profilering av Open Geospatial Consortium (OGC) och ISO-standarder inom DGIWG och Sverige har ansvaret för att ta fram denna roadmap.

Utblick

För att få en överblick över hur det ser ut idag och vad som är på gång inom några områden av intresse för FMV:s projekt SGIF (Snabb Geografisk InformationsFörsörjning), har en begränsad kartläggning och värdering av nya tekniker och metoder gjorts inom områdena; komprimering, databaser, stora datamängder, presentation av 2D- och 3D-data och radarsatelliter.

Inom Komprimering, databaser och stora datamängder har en teknisk prognos tagits fram över forskningstrenderna inom främst komprimering av stora datamängder inom geodataområdet (bilder, laser- och radardata).

Inom Människa-System-Interaktion, presentation av 2D- och 3D-data har en kartläggning och värdering av tekniker och metoder för den generella problematiken med 2D- och 3D-perspektiv inom visualisering samt visualisering av osäkerheter. Denna inriktning valdes för att få en gemensam utgångspunkt för det fortsatta arbetet med hur osäkerheten i data kan visualiseras för en användare, så att den kan ses och tolkas på avsett sätt.

Inom området radarsatelliter har det tagits fram en sammanställning av idag operativa radarsatelliter liksom äldre som tagits ur drift. Översikten innehåller såväl civila som militära system men gör inte anspråk på att vara komplett. Till beskrivningen av varje radarsatellit finns som regel en eller flera referenser angivna med ytterligare tekniska detaljer eller tillämpningsresultat. Avsikten är att i ett kommande projekt ge ut en reviderad version av dokumentet som ett led i det fortsatta arbetet där även en rad planerade radarsatelliter kommer att beskrivas.

Projektet har, förutom denna rapport, avrapporterats i två statusrapporter samt tre memon, ett för varje område inom "Utblick". Memona från "Utblick", förutom Radarsatelliter, återges i sin helhet i bilagor.

1.2 Rapportens upplägg

Rapporten inleds med en kort översikt hur projektet har varit inriktat.

Därefter beskrivs den Monte Carlo-baserade siktfältsanalysen med de ingående felfortplantningarna och hur den har implementerats i ArcGIS ModelBuilder samt vilka resultat och begränsningar som erhålls från metoden. Utifrån de framkomna resultaten diskuteras hur osäkerheten i siktfältsanalysen skulle kunna visualiseras så att användaren tolkar det framtagna resultatet på avsett sätt.

Som en del i arbetet med att titta på vilka mått och metoder som det finns för att värdera och kvalitetssäkra högupplösta höjddata, går vi igenom några standarder för sensormodeller och DGIWG Elevation Surface Modell (ESM).

Som avslutning på det kapitlet redogörs för det framtagna scenariot som är tänkt att användas i en demo för att åskådliggöra nyttan med siktfältsanalysen och betydelsen av att ta hänsyn till kända fel.

I det efterföljande kapitlet går vi kort igenom vårt deltagande i FMV:s arbetsgrupper inom nästa generations Geoportal samt DGIWG Web Service Roadmap (WSR).

I kapitlet därefter går vi igenom resultaten ifrån den gjorda utblicken för de valda områdena. Områdena "Komprimering, databaser och stora datamängder" och "Människa-System-Interaktion, presentation av 2D- och 3D-data" återges i sin helhet i bilagan och redovisas bara kortfattat här. Medan för det tredje området, Radarsatelliter, görs en sammanfattning av den del av sammanställningen som berör dagens operativa radarsatelliter. Denna sammanfattning kompletteras med information kring tekniken med avbildande radar utöver vad som tas upp i sammanställningen. För den som vill ta del av sammanställningen i sin helhet, hänvisas till det framtagna memot.

I de två sista kapitlen går vi igenom den samverkan och de kontakter som vi har haft med Arméns Jägarbataljon, Lantmäteriet och Försvarmaktens Helikopterflottilj och avslutar med förslag på fortsatt arbete utifrån projektets uppbyggda kunskap och erfarenheter.

En bilaga bifogas som innehåller två av de tre memona som har tagits fram inom "Utblicks"-delen.

2 Komplex GIS-analys samt Noggrann höjddata

Idag finns det inom Försvarsmakten tillgång till olika typer av geografisk data från flera olika källor som kan användas för olika slags GIS-analyser inför en insats. För att veta om en viss typ av data kan användas i ett specifikt tillämpningsfall krävs det att man har kännedom om vilken noggrannhet och vilka fel som kan finnas i data. Om detta är känt kan hänsyn tas till detta vid analyserna och man kan därmed få fram resultat som återger den effekt som de olika felen har på analysresultatet och därmed möjliggör en säkrare användning av analysresultatet.

För att visa på betydelsen av fel i indata har vi tagit fram en metod för siktfältsberäkning där vi tar hänsyn till några kända fel och låter påverkan från dessa fel visas i den framtagna analysen. Därefter diskuteras hur detta kan visualiseras för att informationen inte ska misstolkas.

I kapitlet tittar vi också på två standarder som har som syfte att förbättra kvalitetssäkringen av de allt mer högupplösta höjddata som finns att tillgå idag.

För att sätta nyttan med analysen i ett sammanhang och visa på betydelsen av att ta hänsyn till de fel som kan finnas, har vi tagit fram ett scenario där syftet är att visa hur man med tillgänglig geografisk information (2D/3D) skulle kunna använda GIS på operativ nivå på ett mer tillförlitligt sätt för att effektivisera förberedelsearbetet inför en insats.

Scenariot är tänkt att användas vid en demonstration kommande år och utökas då med en analys för framtagande av en helikopterlandningsplats. Metoden för framtagande av helikopterlandningsplats togs fram inom vårt förra projekt inom SGIF.

Med dessa två analyser i det valda scenariot ges en god möjlighet att visa på hur olika typer av geografisk information kan användas vid en insats och hur insikten om vilken osäkerhet som kan finnas i dessa data kan påverka den taktiska användningen av indata och analysresultat. Scenariot ger också ge en möjlighet att diskutera vilka ytterligare förmågor som kan behövas utöver de som redan finns i dagens GIS-system.

Det framtagna scenariot är tänkt att samverka med framtagna resultat inom projektet SGIF DP3D i demonstrationen. Deras scenarior ”Placering av observationsplatser” och ”Planering av ytövervakning” samt implementering i ArcGIS passar väl ihop med detta arbete.

2.1 Monte Carlo-baserad siktfältsanalys

2.1.1 Bakgrund

Siktfältsanalys är en ofta önskvärd funktion som del i planering och genomförande av militära operationer. Algoritmer för sådan analys förekommer därför idag i snart sagt alla GIS- och ledningssystem som hanterar höjddata. Siktfältsanalys illustrerar också på ett tydligt sätt mervärdet av höjdinformation.

Traditionell siktfältsanalys opererar på höjddata representerade som rasterbilder (”2,5D”). Själva beräkningarna är principiellt enkla och handlar om att avgöra huruvida en vektor från observatörsposition A till målposition B skär höjdmodellen någonstans längs vägen. Om så är fallet är det inte fri sikt mellan A och B, annars är det fri sikt. Resultatet av en sådan beräkning blir således binärt – 0 eller 1.

Ett problem är att höjdmodeller aldrig är perfekta avbildningar av omvärlden. Osäkerheter kopplade till mätsystem, databearbetning, upplösning, omprojektioner, aktualitet, etc., adderar till ett totalt fel som typiskt kan varierar från dm-nivå till m-nivå, beroende på

datas ursprung. Förutom fel i höjd finns även osäkerheter i plan, dels för höjddata och dels för observatörens position.

Även små fel kan påverka siktanalysen drastiskt. De kan innebära skillnaden mellan att observatörspositionen råkar hamna bakom en struktur som skymmer sikten och att den hamnar strax bredvid där det istället är fri sikt till målet. Och även om vektorn mellan A och B råkar passera precis ovanför trädtopparna och därmed indikerar fri sikt i analysen kan sikten i verkligheten vara noll p.g.a. att vegetationens verkliga höjd var något högre än höjdmodellen. Typiska felkällor i XY-planet är (förutom höjdmodellen själv) lokalisering av observatörspositionen t.ex. i form av GPS-inmätning, lokalisering mha. kartan och osäkerheter till följd av inmatning (såsom musklickning). Fel i höjddata kan bl.a. uppstå till följd av bristande upplösning, aktualitet och sensormätfel.

För att få en känsla för hur pålitlig siktanalysen är kan användaren t.ex. variera höjddata i vertikalled så att siktområdet antingen överskattas eller underskattas (beroende på tillämpning), eller flytta observatörspositionen i XY-planet för att se vad som händer. Utgångspunkten för projektet är att undersöka hur man kan ta hänsyn till osäkerheter på ett mer systematiskt sätt för att t ex kunna resonera i termer av sannolikhet för fri sikt.

2.1.2 Felfortplantning i siktanalys

Med anledning av ovanstående studerade projektet felfortplantning i fallet siktanalys, dvs. vilken effekt olika typer av osäkerheter i indata har på slutresultatet. Vi beaktar dock *inte* osäkerhetsaspekter som har att göra med siktförhållanden genom vegetation (som ju skymmer sikten olika mycket beroende på täthet, trädslag, undervegetation, etc.). Utan vi betraktar vegetationen som helt ogenomtränglig för ljus, dvs. ingen sikt alls.

Vi tar hänsyn till följande osäkerhetsaspekter:

Höjdfel i vegetationsområden

Ythöjdmodeller för vegetationstäckta områden är ofta behäftade med större osäkerheter än andra områden. Detta gäller inte minst för laserskanning eftersom laserstrålen tenderar att tränga in i trädkronor, vilket kan resultera i mätpunkter som inte sammanfaller med trädets egentliga höjd. Även markhöjdmodeller är generellt sett osäkrare i skogsbeklädda områden eftersom andelen laserträffar på marken är lägre, vilket ger sämre förutsättningar för att uppskatta markhöjden på ett bra sätt. Fotogrammetriska metoder ger typiskt ingen möjlighet att mäta markhöjden i vegetationsområden annat än i gläntor.

Höjdfel i öppna ytor

På öppna ytor är noggrannheten generellt sett bättre än i vegetationsområden för både laser- och fotogrammetribaserade metoder.

Osäkerhet i plan

Vi tänker oss att XY-koordinaterna för (den tänkta) observatörspositionen är behäftad med en osäkerhet. Den osäkerheten bakas ihop med själva höjdmodellens planosäkerhet till en parameter som beskriver den totala effekten av observatörens position relativt höjdmodellen.

Datas aktualitet

Sedan höjdmodellen framställdes är det rimligt att anta att naturliga förändringar har ägt rum, och då främst att träden i området har vuxit. Hur mycket är förstås svårt att uppskatta eftersom flera olika faktorer påverkar detta, såsom trädslag, ålder, jordmån, väder, etc. Vi anser ändå att den här aspekten är så pass viktig att den förtjänar att tas med. I praktiken tänker vi oss att användaren utifrån tumregler, terrängkännedom, information om höjddatas ålder eller kontrollmätning ansätter ett värde för detta.

Sedan kan det naturligtvis också ha skett andra, icke-naturliga förändringar i terrängen sedan data samlades in, såsom trädfällning, markarbeten, byggnation, etc. I praktiken skulle man kunna tänka sig att användaren jämför satellitbilder med ytmodellen för att t ex

lokalisera ev. trädfällningsområden för vilka ythöjdvärdena ska ersättas med motsvarande markhöjd för att på så sätt få skapa ett så aktuellt underlag som möjligt. Denna typ av faktorer tas emellertid inte i beaktande här.

2.1.3 Monte Carlo-simuleringar

Inom projektet har vi arbetat med en metod för felfortplantningsanalys som bygger på s.k. Monte Carlo-simuleringar. Det betyder i korthet att man gör ett större antal beräkningar med olika parametrar, och sedan analyserar resultaten statistiskt för att se hur variationer i parametrarna påverkar resultatet. Monte Carlo-simulering i siktfältstillämpning har tidigare presenterats i bl.a. ([Nackaerts, Govers et al. 1997](#)).

Ett motiv till att använda Monte Carlo-teknik är att man ofta relativt enkelt kan utnyttja befintliga grundalgoritmer snarare än att implementera en ny metod från grunden. Monte Carlo-tekniken har också en fördel i att antalet parametrar vars inverkan ska studeras relativt enkelt kan utökas. En nackdel är att ju fler parametrar man vill ta hänsyn till och ju säkrare man vill vara på sitt resultat, desto fler körningar behövs.

Fler körningar betyder ofta längre beräkningstider. Dock är processen parallelliserbar; enskilda körningar som är oberoende av varandra kan fördelas över flera beräkningsenheter.

2.1.4 Parametrar

I det här arbetet modellerades de olika osäkerheterna enligt följande:

Höjdfel vegetation:	$\Delta h_{\text{veg}} = N(\mu_{\text{veg}}, \sigma_{\text{veg}}^2)$
Höjdfel öppna ytor:	$\Delta h_{\text{open}} = N(\mu_{\text{open}}, \sigma_{\text{open}}^2)$
Osäkerhet i plan:	$\Delta X = N(0, \sigma_X^2)$ $\Delta Y = N(0, \sigma_Y^2),$

där $N(\mu, \sigma^2)$ betecknar en normalfördelning med medelvärde μ och varians σ^2 , μ_{veg} och μ_{open} beskriver den förväntade skillnaden mellan verklig höjd och höjdmodellen, σ_{veg} och σ_{open} beskriver höjdnoggrannheten medan σ_X och σ_Y är felen i X respektive Y (antas oberoende).

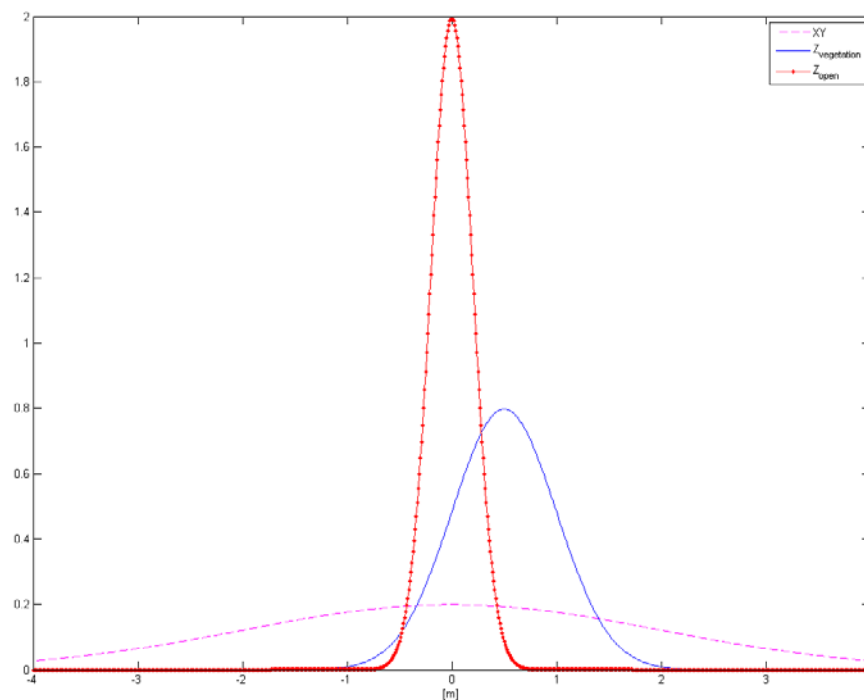
I det aktuella fallet sattes parametrarna något olika beroende på typ av höjdmodell.

DSM: $\mu_{\text{veg}} = 0,5 \text{ m}$, $\mu_{\text{open}} = 0 \text{ m}$, $\sigma_{\text{veg}} = 0,5 \text{ m}$, $\sigma_{\text{open}} = 0,2 \text{ m}$, $\sigma_X = \sigma_Y = 2,0 \text{ m}$.

DTM: $\mu_{\text{veg}} = 0 \text{ m}$, $\mu_{\text{open}} = 0 \text{ m}$, $\sigma_{\text{veg}} = 0,5 \text{ m}$, $\sigma_{\text{open}} = 0,2 \text{ m}$, $\sigma_X = \sigma_Y = 2,0 \text{ m}$.

Parametervärdena baseras på uppgifter om Nya Nationella Höjdmodellen, men valet av normalfördelning och parametervärden ska endast ses som exempel. Skillnaden mellan DSM och DTM består alltså endast i ytmodellens höjd förväntas ha en "bias" om 0,5 m i vegetationsområden jämfört med markmodellen; vi antar helt enkelt att träden har vuxit ca 50 cm¹ sedan data samlades in men att markhöjden är konstant. Både observatörens och det tänkta målets höjd över marken sattes godtyckligt till 1 m.

¹ Värdet 50 cm är här högst godtyckligt valt. Betydligt rimligare uppskattningar kan göras utifrån uppgifter om höjddatas ålder, trädslag och bonitet.



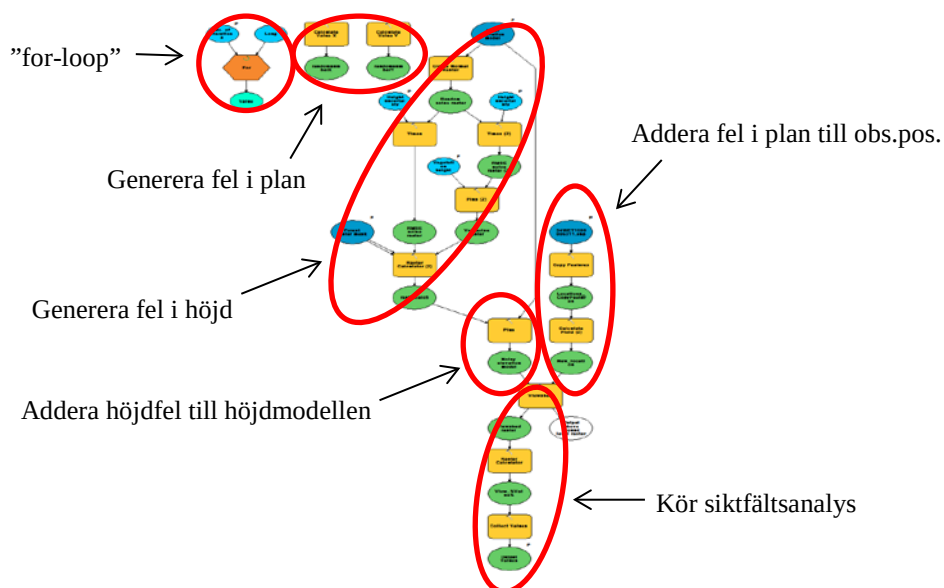
Figur 1. Plotten visar sannolikhetsfunktionerna för fel i plan (rosa, streckad), höjdfel i öppna områden (röd, punkter) respektive höjdfel i vegetationsområden (blå, heldragen).

2.1.5 Implementation

Monte Carlo-metoden implementerades i ArcGIS ModelBuilder. Se Figur 2 och Figur 3. Motiven till att använda ArcGIS var att det är dels är en programvara som Försvarsmakten använder och dels att det var ett tämligen enkelt och snabbt sätt att få till en databearbetningskedja.



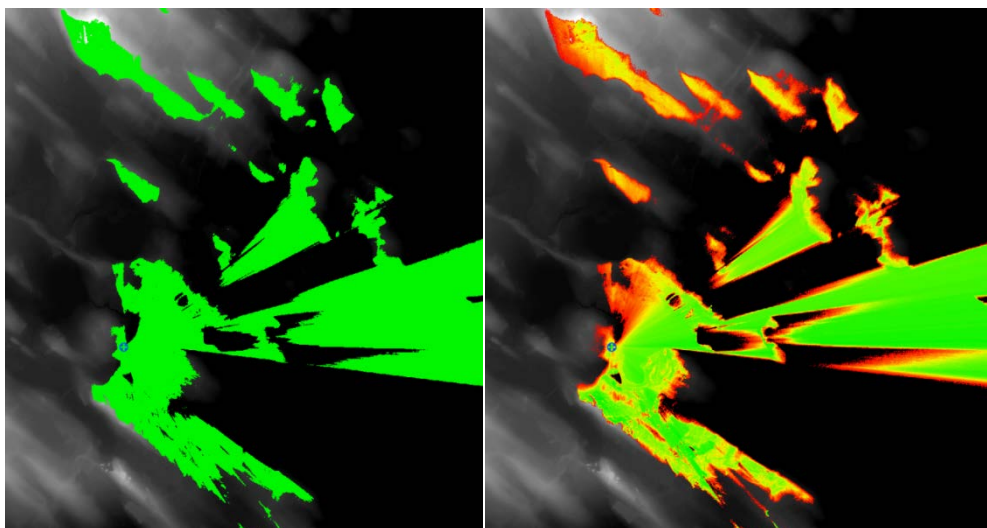
Figur 2. Algoritmen implementerades i Modelbuilder och har sju inparametrar: höjddata, observatörspositionen, vegetationskarta, antal iterationer, höjdosäkerhet i vegetationsområden respektive för öppna ytor, samt höjdoffset i vegetationsområden. Den här modellen använder i sin tur modellen computeVisibility (den övre gula rutan) som är den som genererar siktfältsberäkningarna (Figur 3).



Figur 3. Figuren visar den ModelBuilder-modell som lägger till brus på indata och genererar tillhörande siktfältsanalys.

2.1.6 Resultat

Figur 4 visar skillnaden mellan resultat erhållna med traditionell siktfältsanalys och med den föreslagna metoden. Områden som i den vänstra bilden ser likvärdiga ut har i den högra olika sannolikhetsvärden (=olika färg) vilket ger bättre förutsättningar för att t.ex. prioritera mellan möjliga observationsplatser eller för att bedöma risken att själv bli upptäckt.



Figur 4. Vänster: Traditionell siktanalys. Grönt indikerar fri sikt från positionen markerad med plussymbolen. Höger: Siktanalys mha. den föreslagna Monte Carlo-tekniken. Färgen indikerar sannolikheten till fri sikt (från röd = låg sannolikhet, via orange och gul till grön = hög sannolikhet). I de ofärgade pixlarna, där en gråskalevisualisering av höjdmodellen istället syns, är de beräknade sannolikheten noll, dvs inte i någon av körningarna i Monte Carlo-simuleringen har det varit fri sikt.

2.1.7 Begränsningar

Den aktuella implementationen adresserar några av begränsningarna hos traditionell siktfältsanalys, men flera kvarstår.

Vegetation

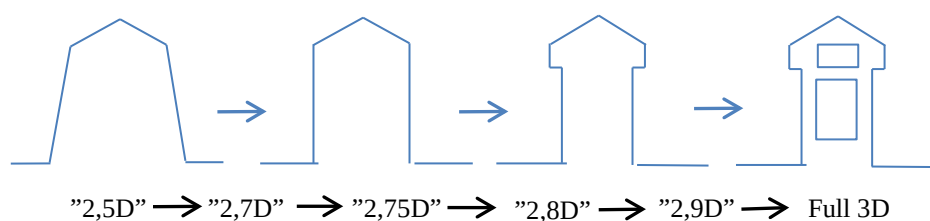
I den aktuella implementationen behandlas vegetation som helt ogenomtränglig för ljus, vilket ju i grunden inte är ett korrekt antagande. Anledningen är att den algoritm som använts för de grundläggande siktfältsberäkningarna har en sådan begränsning. Att ta hänsyn till vegetationens delvis skylande egenskaper på ett realistiskt sätt är komplicerat. Ett angreppssätt är modellera vegetationens geometri väldigt detaljerat och göra högupplösta 3D-siktlinjesberäkningar. Ett annat alternativ är att använda statistiska metoder, något som ur ett GIS-perspektiv ligger närmast till hands. Oavsett vilket är nyckeln till realistiska resultat att sätta "rätt" vegetationsegenskaper för det aktuella området: trädslag, täthet, storlek, årstid, undervegetation, etc. Det är ofta svårt, då det existerande kartunderlaget sällan är tillräckligt detaljerat. En möjlig väg kunde vara att användaren själv väljer bland ett antal fördefinierade vegetationstyper vars egenskaper kartlagts genom kontrollmätningar (t.ex. med hjälp av terrester laserskanning).

Spatiellt korrelerade fel

Fel i höjddata är typiskt rumsligt korrelerade ([Ukkonen, T., et al. 2008](#)), dvs. att felet hos närliggande pixlar inte är oberoende av varandra. I det här arbetet har vi dock inte modellerat något sådan korrelation utan antar istället oberoende pixelfel. För siktberäkningarna spelar inte detta någon roll eftersom det inte tas någon hänsyn till var någonstans sikten blockeras eller av vad. En framtida utveckling skulle möjligen kunna vara att vikta ner effekten av enstaka skylande pixlar till förmån för kluster av skylande pixlar (som indikerar mer homogena terrängformationer) för att på så sätt öka robustheten mot brus i data.

2,5D

I grund och botten används en vanlig "2,5D"-siktanalysberäkning. Algoritmer för siktberäkningar i 3D finns visserligen, men de skulle inte tillföra mycket i det här fallet, dels för terrängen är ganska "snäll" och dels för att dataunderlaget ändå inte skulle medge en noggrann 3D-modellering av scenen. För mer komplexa miljöer, såsom urbana miljöer, kan dock skillnaden mellan 2,5D- och 3D-analys vara betydande. Se även Figur 5.



Figur 5. Illustration av olika förekommande begrepp kopplade till höjd/3D-data. (Läsaren ombeds tänka sig figurerna som sedda från sidan, dvs. som tvärsnitt av modeller som sträcker sig inåt i papperet).

Användarvänlighet

Det här arbetet har fokuserat på att föreslå en metod för felfortplantning i siktanalys. Frågor om användargränssnitt, beräkningseffektivitet, förbehandling av data, etc., har därför inte studerats närmare.

2.1.8 Alternativ till Monte Carlo-simulering

Monte Carlo-simuleringar är inte den enda metoden för att göra felfortplantningsanalyser. I siktfältsfallet skulle man t.ex. kunna bilda höjdprofilen mellan A och B, därefter räkna ut avstånden i höjddled mellan vektorn AB och höjdprofilen och sedan, enligt en given felmodell, utifrån dessa avgöra hur sannolikt det är att höjden i någon position skulle kunna hamna ovanför vektorn AB. Om höjdosäkerheter var den enda faktorn att ta hänsyn till hade en sådan metod varit klart intressant eftersom det räcker med att gå igenom alla pixlar en gång istället för att göra ett stort antal Monte Carlo-körningar. Eftersom vi även vill kunna inkludera andra faktorer, såsom osäkerheter i plan, blir en sådan metod dock snabbt mer komplicerad.

2.1.9 Monte Carlo-baserad felfortplantning i andra GIS-tillämpningar

Den tillämpning i GIS-sammanhang för vilken Monte Carlo-simuleringar annars rönt den största uppmärksamheten är analys av avrinningsområden. Eftersom även små höjdvariationer kan ha avgörande påverkan på hur avrinningsområdena ser ut, kan till synes obetydliga fel i höjddata få stora genomslag i slutresultatet. Det man då kan göra är köra ett stort antal analyser med olika brusrealiseringar. Därefter görs vanligen en pixelvis sammanställning av resultatet; i ju fler körningar en viss pixel hamnat i ett avrinningsområde, desto sannolikare är det att pixeln verkligen tillhör ett sådant område. För en djupare diskussion och exempel, se t.ex. ([Ukkonen, Rousi et al. 2008](#)) eller ([Zandbergen 2011](#)).

Ur ett militärt perspektiv är analys av avrinningsområden relevant t.ex. för framkomlighet i händelse av kraftig nederbörd eller för val av lämpliga områden för etablering av camper, läger, uppställning av fordon, etc.

2.1.10 Inledande diskussion kring visualisering av siktfältsanalysen

Utifrån den kartläggning och värdering som är gjord i memot "2D- och 3D visualisering" och som återges i bilagan. Förs en inledande diskussion kring de problem som finns kring visualisering av siktfältsanalysen och hur den skall visualiseras så att operatören förstår, tolkar och använder informationen på avsett sätt.

Inom Människa-System-Interaktion, presentation av 2D- och 3D-data har en kartläggning och värdering av tekniker och metoder för den generella problematiken med 2D- och 3D-perspektiv inom visualisering samt visualisering av osäkerheter. Denna inriktning valdes för att få en gemensam utgångspunkt för det fortsatta arbetet med hur osäkerheten i data kan visualiseras för en användare, så att den kan ses och tolkas på avsett sätt.

Den visuella informationen kompletteras ofta med auditiv information, bl.a. för att påtala fara i form av varningar när systemet indikerar att något är fel. Ett uppenbart problem när en stor mängd information samtidigt presenteras visuellt är att synsinnet kan bli överbelastat, vilket medför en risk att användaren inte klarar av att uppfatta, bearbeta och förstå all information. En möjlig utveckling från dagens visuella 2D-presentationer är att nyttja tredimensionell perspektivpresentation (3D) på vanliga 2D-skärmar, vilket används i många programvaror (t.ex. CAD-verktyg och spel). Eftersom verkligheten är tredimensionell så finns det mycket som talar för att information på displayer också bör presenteras i 3D. Presentationen av 3D-perspektiv kan göras på en vanlig 2D-skärm eller på en stereoskopisk 3D-skärm vilket kräver att användaren bär speciella glasögon för att kunna se en stereoskopisk bild. I många fall är det inte möjligt att använda sig av glasögon eftersom det riskerar att störa användaren. Det finns dock displaytekniker för stereoskopisk 3D som inte kräver glasögon, men dessa tekniker är mindre mogna än de som kräver glasögon. Fokus här ligger därför på 3D-perspektivpresentation.

3D-perspektiv

3D-presentation leder inte nödvändigtvis till bättre prestation, utan det är väl dokumenterat

att vårt perceptuella system har begränsningar ([Fechner, 1860](#); [Todd, Tittle & Norman, 1995](#)). Avståndsbedömning är problematiskt, där storleken på felet i våra bedömningar är olika stort i olika riktningar ([Smallman, Manes & Cowen, 2003](#)). Det finns mycket som talar för att vårt visuella system inte är lämpat för avståndsbedömningar i 3D ([Lind, Bingham & Forsell, 2003](#)). Exempel på andra problem är att en linje som presenteras vertikalt vanligen uppfattas som något längre än när den presenteras horisontellt ([Fineman, 1996](#)), att bedömningar görs snabbare i vinklarna 0, 90, 180 och 270 grader än övriga vinklar, och dessutom kan en böjd linje uppfattas vara rakare än vad den faktiskt är ([Maki, Maki & Marsh, 1977](#); [Wickens, Hollands, Banburry & Parasuraman, 2013](#)). Däremot är vårt visuella och kognitiva system bra lämpat för att tolka information i 3D för att få bra lägesförståelse, dvs. att förstå en komplex värld och i militära sammanhang göra taktiska bedömningar av en situation. Även typen av uppgift påverkar om 2D eller 3D-presentation är att föredra ([Haskell & Wickens, 1993](#)). Kräver uppgiften förståelse av en tredimensionell värld så är det att föredra att presentera informationen i tre dimensioner, men om uppgifter kräver avståndsbedömning på karta så är en traditionell tvådimensionell presentation att föredra.

Arbetsituation och exempel på visualisering

Vilken information som ska presenteras är situationsberoende. Användarens arbetsuppgifter påverkar hur information kan hanteras, och därmed hur presentationen bör utformas. Den kognitiva och mentala arbetsbelastningen kan variera mycket mellan olika situationer. Stridspiloter måste hantera stora datamängder samtidigt som de flyger och en soldat måste ibland samtidigt hantera ett hot och information från en display, t.ex. en handhållen enhet.

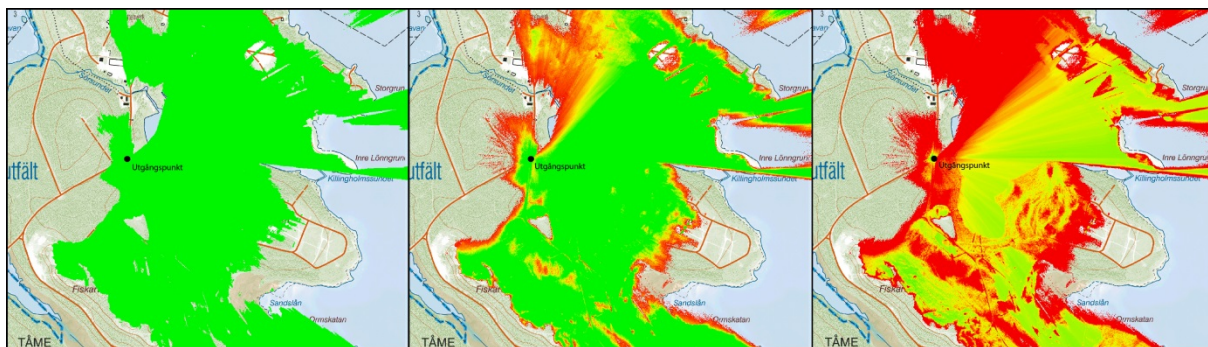
Tillgänglig tid för att analysera data kan variera mycket och i tidskritiska situationer ställs stora krav på att data visualiseras intuitivt för att piloter och soldater snabbt ska kunna fatta beslut. Medlemmar i en stab lokaliserade i t.ex. en container kan ha en intensiv och stressad arbetsituation, men de har ofta tillgång till datorer i en förenklad kontorsmiljö. Detta ger större möjlighet att hantera 3D-data för stabsmedlemmarna än vad som är möjligt i ett stridsflygplan eller på en handhållen enhet.

Osäkerhet

Det finns relativt få studier om hur dataosäkerhet ska visualiseras och dessutom finns det inte någon enhetligt accepterad definition ([Pang, 2001](#)). Osäkerhet finns vid insamling, transformation eller beräkningar och vid visualisering av information. Visualisering kan t.ex. vara minimum-maximum, kvalité på data eller sannolikhetsestimeringar. Det finns flera metoder för att visualisera osäkerhet, där det vanligaste sättet är att göra objekt otydliga genom att göra dem suddiga alternativt mer transparenta. Ett annat vanligt sätt är att visualisera osäkerhet genom färgkodning som ofta kombineras med en numerisk diskret eller kontinuerlig skala. Pang (2001) har gjort en sammanställning över faktorer som påverkar visualiseringen där typ av användare, uppgift och data är inkluderat (se även bilagan "2D- och 3D-visualisering").

Siktfältsanalys

Beroende på hur nyanserat resultatet från en siktfältsanalys anges och färgsätts, kan tolkningen av resultatet bli olika (Figur 6). Användaren kan t.ex. i den vänstra bilden (där man bara anger sikt eller ingen sikt) göra tolkningen att det är fri sikt i hela området. Medan tolkningen av bilden i mitten (där man anger sannolikheten för sikt i några nivåer) blir mer osäker och tolkningen av bilden till höger, (där man anger sannolikheten i ytterligare fler nivåer) sannolikt blir mest osäker.



Figur 6. Siktöversiktanalys där den svarta punkten (i respektive bild) är utgångspunkt för analysen. Det gröna området visar vad en person som står vid utgångspunkten kan se.

Färgsättning i en bild kan, som i bilden ovan, representera osäkerhet i resultatet men färg kan även användas för t.ex. taktiska rekommendationer. Färgsättning kan t.ex. användas för att visa säker, osäker och farlig framryckningsväg inom ett område med relativt litet hot (exempelvis som i mitten i Figur 6). I en annan situation där hotet bedöms som större kan en annan visualisering göras och därmed ge användarna ett mer begränsat område att framrycka i (exempelvis som i höger i Figur 6).

Dessutom har användarens förståelse för hur systemet och de metoder som används har räknat fram färgkodningen, som i exemplet med siktöversikt ovan, stor betydelse för förmågan att förstå, tolka och använda informationen. Även typen av uppgift påverkar. Det kan t.ex. finnas en skillnad i vad som bör visualiseras om utgångspunkten är vad en soldat i det egna förbandet kan se från en position, eller vad en soldat på motståndarsidan skulle kunna se från motsvarande position. Oavsett vilken färgkodning som används (eller gråskala) så är det helt avgörande att användaren kan förstå innebörden av respektive färg.

2.2 DGIWG Elevation Surface Model (ESM)

Elevation Surface Model (ESM) är en standardiserad profil för höjddata framtagen av Defence Geospatial Information Working Group (DGIWG) som publicerades 2013. ESM specificerar en datamodell som kan användas för olika typer av höjddata, såsom markmodeller, vegetationshöjd, batymetrisk information, etc. Syftet med standarden är att kunna tillgodose ökande behov av kvalitetssäkrad användning av högupplösta höjddata i militära tillämpningar och att öka interoperabiliteten mellan nationer och organisationer. Som ett led i detta omfattar ESM en stor mängd metadata som i flera fall går längre än existerande ISO-standarder (vilket i och för sig inte är särskilt uppseendeväckande eftersom ESM handlar specifikt om höjddata, medan ISO-standarderna för geografisk information är mer generella). Icke desto mindre baseras ESM på ett antal ISO-standarder.

En sak som ESM poängterar är vikten av att användaren ska kunna veta vad höjdvärdena egentligen representerar (eller är tänkta att avbilda), t.ex. markhöjd, höjd inklusive objekt på marken (s.k. ytmodell), djupvärden, etc. På samma sätt ges möjlighet att uttrycka om höjdvärdena representerar en *materialyta* ("material surface") eller en *observerad yta* ("observed surface"). Skillnaden är att en observerad yta är det som sensorn (lidar, radar, etc.) mäter, medan en materialyta är en fysisk yta mellan två olika typer av material (det som oftast är av intresse i militära tillämpningar). Beroende på hur materialytan ser ut och vilken sensor som används kan de båda ytorna vara mer eller mindre lika och typiskt kan den observerade ytan behöva bearbetas för att bättre motsvara materialytan.

En av utgångspunkterna i ESM är att endast övergripande, enkla kvalitetsmått för hela dataset är otillräckligt i många nya militära tillämpningar. Istället behövs mer detaljerad kvalitetsinformation som beskriver datakvaliteten *regionvis* och som med hjälp av kovariansmatriser beskriver hur osäkerheten i x, y och z är sammankopplade (istället för att anta att felen är oberoende).

En fråga som ESM inte tar upp är hur regionerna ska väljas. Om dataleverantörerna godtyckligt definierar regionernas antal och koppling till terrängtyp kommer sannolikt problem att uppstå rörande värdering och kombination av olika dataunderlag. Ett sätt att undvika det är att specificera terrängklassningen för höjdmodeller. Det finns idag en teknisk specifikation för klassificering av markförhållanden i samband med byggmätningar, främst initierad av Trafikverket, ([SIS-TS 201144:2013](#)). Denna skulle kunna ligga till grund för en liknande specifikation för militära ändamål.

För att en DGIWG-standard ska kunna införas, krävs enligt DGIWG Directives en plan för hur standarderna ska införas i respektive medlemsland. En arbetsgrupp med representanter från berörda myndigheter bör tillsättas för att arbeta fram en sådan plan.

ESM är som sagt rätt så ny (2013) och det ska bli intressant att följa hur den omhändertas i DGIWG:s medlemsländer. Stora delar av ESM sammanfaller väl med existerande ISO-metadastandarder och borde vara relativt enkla att tillmötesgå, medan andra delar kan bli svårare. Exempel på sådana delar rör den utökade kvalitetsinformationen, scheman för uppdelning av data i mindre delar ("tiling") där olika delar dessutom kan ha olika spatiell upplösning, metadata för partiell överföring av dataset ("Data Interchange"), etc.

Det blir också intressant att se vilken status ESM kommer att få med tanke på att National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) 2009 publicerade sin Implementation Profile for High Resolution Elevation (HRE) Products. Både ESM och HRE adresserar högupplösta höjddata men de har olika utgångspunkt och fokus. HRE kan i princip ses som en förlängning av den gamla DTED-specifikationen, men nu för högupplösta data. HRE begränsas till endast rasterade data, medan ESM även omfattar TIN och punkter. HRE specificerar inte bara datas och metadata innehåll utan även hur informationen ska kodas (filformatet NITF). ESM å andra sidan adresserar endast själva innehållet och lämnar dörren öppen för olika dataformat, däribland t.ex. NITF.

2.3 Sensormodeller för felfortplantningsanalys

I spåren av högupplösta data, nya tillämpningsområden och snabba beslutscykler följer ett ökande behov av att användare utan expertis inom kartering eller sensorteknik själva ska kunna värdera kvaliteten på geodataunderlaget och göra felfortplantningsanalyser. Flera länder ser behov av detta.

En väg framåt är att utveckla *standardiserade sensormodeller* som ett kitt mellan sensorsidan och tillämpningen. Sensormodeller är i sig ingen nyhet. Alla mätbolag som levererar koordinatsatta data använder redan sådana modeller i sina produktionsmiljöer för att omvandla rådata från mätsystemet till koordinatsatta data.

Arbete kring sensormodeller pågår inom olika organisationer, om än med olika inriktning. Inom Open Geospatial Consortium (OGC) fokuserar man t.ex. på frågor kring hur information om sensorer och sensordata bör kodas för att vara maskinellt läs- och sökbar och hur sensordata kan föras över mellan användare och system med hjälp av webbtjänster. Arbetet genomförs inom ramen för Sensor Web Enablement (SWE).

Både DGIWG och NGA talar om ackrediterade sensormodeller som en central komponent för felfortplantning. DGIWG har inspirerats en hel del av arbetet inom NGA; avsnittet om felfortplantning i beskrivningen av DGIWG Elevation Surface Model är i princip en kopia av motsvarande avsnitt i NGA-standardens "Implementation Profile for High Resolution Elevation (HRE) Products" från 2009 ([NGA.IP.0002 1.0](#)). Eftersom NGA tycks ha kommit längst när det gäller sensormodeller har vi valt att titta närmare på vad som händer där.

I HRE beskrivs hur en "Community Sensor Model" (CSM) kommer att möjliggöra feluppskattningar medan man i ESM istället talar om en "accredited sensor model". Huruvida även DGIWG tänker sig att det är CSM som ska fylla den funktionen i praktiken är oklart men CSM är, som vi ser det, den enda egentliga kandidaten idag till att bli en ackrediterad modell.

2.3.1.1 Community Sensor Model (CSM)

Som en följd av ett växande behov av standarder på GEOINT-området inrättade NGA Geospatial Intelligence Standards Working Group (GWG) 2005. GWG lyder under chefen för NGA och NGA CIO som ansvarar för GEOINT-arkitekturer och -standarder. GWG leds av NCGIS (NGA's National Center for Geospatial Intelligence Standards).

Inom GWG finns ett antal fokusgrupper, varav en är Community Sensor Model Working Group (CSMWG). Gruppens uppdrag är att stödja utveckling, verifiering, validering, underhåll, standardisering och konfigurerings av sensormodeller. De ska dessutom se till att sensormodeller kan användas i flera olika tillämpningar inom NSG (National System for Geospatial Intelligence). Gruppens arbete har bl.a. resulterat i en Community Sensor Model (CSM). CSM beskriver hur detaljerad sensorinformation kan abstraheras bort så att användaren istället via ett generellt *gränssnitt* (definierade funktionsanrop) kan ställa frågor om datas kvalitet till systemet. Poängen är att all nödvändig sensorspecifik information kapslas in i funktioner som användaren kan nyttja utan expertkunskaper och utan att behöva veta alla detaljer kring datainsamlingen.

Förutom att omvandla rådata från mätsystemet till koordinatsatta data, implicerar CSM emellertid att sensormodeller måste utvidgas för att även kunna *propagera osäkerheter* från sensorn till det globala koordinatsystemet så att varje mätpunkt kan associeras med individuella kvalitetsegenskaper.

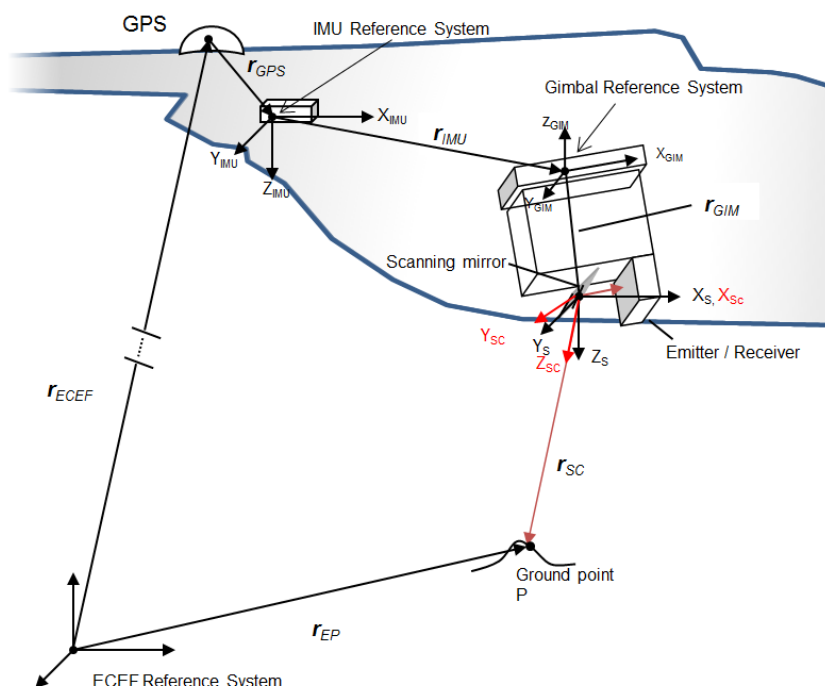
CSMWG svarar dessutom för att ta fram ett och vidmakthålla en strikt uppsättning regler som definierar ett CSM API (Application Programming Interface). Detta togs ursprungligen fram med bildalstrande system i åtanke men från och med version 3.0 omfattas även lidarsensorer ([NGA.STND.0017 3.0](#)). Ett sådant API möjliggör integration av sensormodellerna i olika programvaror. Det rapporteras om att flera företag börjat använda standarden.²

Ett alternativ till allt detta är att dataleverantören själv räknar ut osäkerhetsmått och levererar dessa tillsammans med data. CSMWG argumenterar dock för att en sådan lösning i praktiken förhindrar analys av *relativa fel*; när man ska studera inbördes fel mellan dataset krävs sensorspecifik information och inte bara förberäknade kovariansmatriser (som annars föreslås i ESM och HRE). Med tanke på det stora antalet tillgängliga mätsystem skulle det leda till att system-specifika, unika metadata måste skickas med och hanteras på rätt sätt av användaren.

2.3.1.2 Felmodell

Kärnan i sensormodellen utgörs av en felmodell som matematiskt och detaljerat beskriver hur osäkerheter i och mellan mätsystemets komponenter samverkar till det sammantagna felet. Som ett aktuellt exempel kan nämnas Universal Lidar Error Model (ULEM) som presenterades 2013 (NGA.IP.0008_1.0).

² https://intergraphgovsolutions.com/assets/white-paper/Image_Exploitation_for_the_Enterprise.sflb.pdf



Figur 7. Grafisk beskrivning av komponenterna ett generiskt lidarsystem (figur från ULEM).

En standards praktiska värde avgörs i slutändan av vilket stöd den får från industrin, användare och ansvariga organisationer. I fallet ULEM tänker man sig att det är lidardataproducenterna som upprättar felmodeller och levererar dessa tillsammans med data. NGA argumenterar för att leverantörerna själva idag redan har sensormodeller som de använder internt för att producera geografiska data (“... it is important to note that a similar physical model is defined and being used to generate the ground points in all mapping lidar systems.”). Det som är nytt är att associera varje individuell punkt med osäkerheter genom att propagera effekten av olika felkällor från mätsystemet till det globala koordinatsystemet, samt att implementera modellen enligt fastställda specifikationer.

Det bör poängteras att ULEM-konceptet för närvarande endast är ett koncept och att saker och ting kan ändras med tiden. NGA skriver själva att “Since this is an early iteration of the document, it is expected that as the concepts mature, modifications will be needed.”

2.4 Scenario

2.4.1 Inledning

För att verifiera realismen i scenariot som utspelas i området Linköping – Kvarn, togs kontakter med Helikopterflottiljen på Malmen och Arméns Jägarbataljon i Arvidsjaur.

Scenariot i stort går ut på att helikopter och jägare samarbetar för att lösa en spaningsinsats mot SIB-anläggningen i Kvarn och upplägget i stort är enligt följande (se även figur 8):

- En invasion av Sverige har skett och motåtgärder ska göras.
- Som en del i motåtgärden, kommer helikoptrar att utgå ifrån en bas och lämna av jägargrupper som ska övervaka och målutpeka ett fiendemål som befinner sig i en av fienden kontrollerad by (SIB).

- Helikoptern ska utnyttja terrängen och flyga dolt för fienden och sätta av styrkan i skyddat läge nära en skog. Enheten kommer sedan att ta sig fram mot målet för att utföra sin uppgift.

Vid en demonstration kommande år, kommer färdvägen för helikoptern att tas ut manuellt liksom lämpliga landningsområden. Några kritiska punkter för upptäckt längs färdvägen (utifrån tänkta fiendepositioner) kommer att analyseras med hjälp av siktfältsanalysen och analysen kommer att visualiseras inklusive effekterna av osäkerheten i höjddata. Lämpliga och olämpliga helikopterlandningsplatser kommer att tas fram via analysen för helikopterlandningsplatser (se kapitel 2.4.5) och visualisera inom landningsområdena och även effekterna av osäkerheten i indata kommer att visualiseras här.

Position för spaning och målutpekningen samt hanteringen av osäkerheten (enhetens respektive målets positioner och i data) kommer att tas fram och hanteras av siktfältsanalysen utifrån de föreslagna områdena från jägarna. Även resultatet från denna analys kommer att visualiseras.

2.4.2 Scenario för en spaningsinsats

Fiendestyrkor har invaderat Sverige norrifrån och är på väg söderut mot Östergötland.

Utifrån flygspaning och signalspaning har man dragit slutsatsen att en brigad nu har nått Kvarn och att de har inrättat en ledningsplats i byn SIB. Brigaden har funnits på plats 6-12 timmar och förväntas stanna 3-5 dagar, innan de fortsätter mot det förväntade slutmålet Karlsborg som är Sveriges reservhuvudstad.

Som en del av motåtgärderna bestämmer sig Sverige för att utnyttja läget och slå mot brigadens ledningsplats för att hindra dess framfart och därigenom underlätta för de internationella politiska förhandlingarna.

En pluton med tre jägargrupper får till uppgift att spana mot byn och övervaka trafiken till byn för att kartlägga fiendestyrkan och de rörelser som sker där, detta som en förberedelse för ett anfall mot ledningsplatsen, där plutonen också kommer att eldleda för en CAS (Close Air Support)-insats.

Ledningsplatsen försvaras av ett kompani. Kompaniet förväntas ha tre plutoner; en för bevakning, en för patrullering och en i reserv. Plutonen för patrullering är den som kan tänkas utgöra ett hot, då de patrullerar upp till en mil från målet och de kommer bl.a. att söka av platser där jägare kan förväntas. Patrullerna kan också vara utrustade med UAV och hundar för att öka möjligheten att spåra upp jägare.

Övriga hot att beakta är luftvärnet, då de förväntas ha radarbestyckade lv-fordon och/eller burna lv-system.



2.4.3 Uppgifter jägare

Då vägarna till SIB:en har bommar och de troligtvis patrullerasväljer man att spana på vägarna längre ut från byn för att minska risken för upptäckt. En grupp spanar på vägen som går nord-sydlig riktning norr om SIB:en från skogsbrynet i Ströplahultskogen. En annan grupp placerar sig söder om byn så att man kan spana direkt in i byn och täcker de östra tillfarterna till byn samt målet för CAS-insatsen. Den tredje gruppen utgör reserv. Efter utfört uppdrag tar plutonen sig tillbaka till basen på egen hand.

Jägarna tar också fram en beskrivning av var de vill ha sin bas inom 1 km radie, dvs. där de kan landsättas och varifrån skadande kan evakueras.

Med hjälp av underrättelseinformation, karta och ett GIS-system med möjligheter till analyser för siktfält, lämpliga helikopterlandningsplatser och zoner som kan utgöra hot, tas lämpliga observationsplatser och landsättningsplatser fram. Analysstödet beskrivs närmare under kapitel 2.4.5.

Några tumregler att ta hänsyn till när det gäller planeringen vid en insats:

Observationsavstånd

- 2-3 km avstånd för att kunna se rörelser och människor
- 6-8 km för att se hus, fönster etc.
- 0,4-1 km avstånd med IR-kamera för att se människor

Från landsättningsplats till observationsplats

- Vilken underrättelse finns och vilka hot
- En beskrivning tas fram på var en helikopter kan och bör landsätta inom en radie på 1 km
- Landsättning 4-5 km från observationsplatsen
- Förflyttningen sker på natten och på dagen vila/skydd
- Förflyttningshastighet ca 500 m/h (att vada över en flod kan ta en dag)
- Observationsplatsen bör vara belägen på en höjd så att observationen sker nedåt (minst risk för upptäckt)

2.4.4 Uppgifter helikopter

Utifrån den av jägarna framtagna beskrivningen av var landsättningen bör ske och i kombination med underrättelseinformation, tar MSE (Mission Support Element) och helikopterpiloten ut aktuell flygrutt till önskad landsättningszon.

Från basen utanför Linköping gör helikoptrarna en taktisk konturflygning i skymningen till landsättningsplatsen som ligger vid den nordöstra delen av Lickasjön. Därifrån kan sen plutonen påbörja sin förflyttning när det har blivit mörkt. Därifrån har jägarna ca 4-5 km till lämpliga observationsplatser. En alternativ landsättningsplats finns vid den nordvästra delen av sjön. Efter avsittning marscherar plutonen gemensamt till en delningspunkt, där grupperna delar upp sig och tar sig till sina respektive observationsplatser.

Det krävs 3-4 helikoptrar för att flyga in plutonen med de tre grupperna. Helikoptrarna flyger samlat rotevis, möjligtvis något förskjutet om landningsplatsen är liten.

Med hjälp av underrättelseinformation, karta och ett GIS-system med möjligheter till analyser för siktfält, lämpliga helikopterlandningsplatser och zoner som kan utgöra hot, tas lämplig färdväg och lämpliga landsättningsplatser fram. Analysstödet beskrivs närmare under kapitel 2.4.5.

Några tumregler att ta hänsyn till när det gäller planeringen vid en insats:

Uppdragstyp

- Uppdragstyp ger flygprofil

Hot

- Vid radarhot, gå under trädtoppshöjd.
- Helikopterljudets fortplantning
- Signaturanpassa så långt som möjligt för – visuellt, IR, Radar, ljud, reflektants
- Hotens räckvidd
- Risk för förlorad radiotäckning, störningar
- Annan underrättelse

Flygväg (geografi)

- Att beakta vid uttagning av flygväg – utanför bebyggelse, låglänt, dalgångar, flodpartier, sjösystemskanter, vinden, höjddata, hinder, över trädtoppar, terrängförhållanden, separera rutterna in och ut
- Transporthöjd 500 – 1000 m och lägsta höjd 300 – 600 m med helikopter.

Rekad landningszon

- Terrängtyp, hinder, markbeskaffenhet, lutning och höjd för en zon på 500 m runt landsättningsplats.

2.4.5 Analysstöd

Analysstödet är framtaget för att visa vilka möjligheter som finns för att kombinera och utnyttja den geografiska informationen som redan idag finns att tillgå vid t.ex. planering inför en insats, men också för att visa vad skiftande kvalitet i den geografiska informationen kan betyda i praktiken.

Tanken är att operatörerna manuellt väljer ut förslag på lämpliga observationsplatser, framryckningsväg, landningszon och flygvägar med hjälp av ett digitalt planeringsunderlag som visar geografiska förhållanden och underrättelseinformation. Till sin hjälp har de ett enklare analysstöd som avstånd mellan två punkter, höjd vid aktuell punkt etc., men också mera avancerade som siktfältsanalys, framtagande av lämpliga helikopterlandningsplatser och räckvidder från aktuella hot som radar och Man-Portable Air-Defence System (MANPADS).

Siktfältsanalys

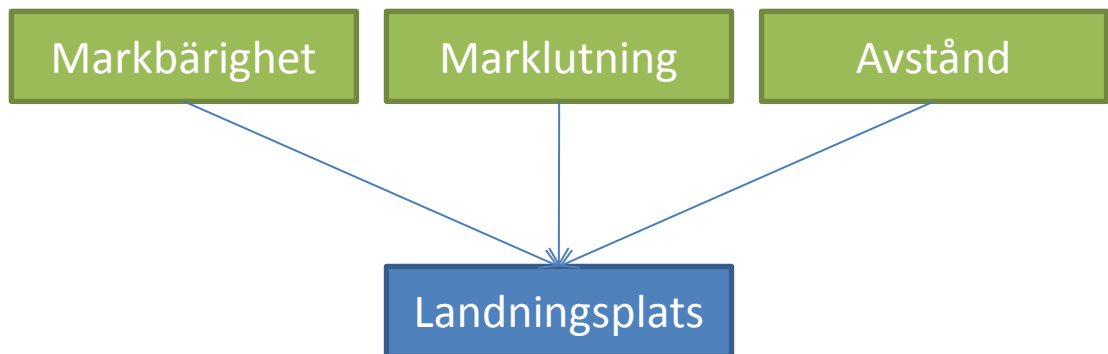
Siktfältsanalysen är den siktfältsanalys som har tagits fram inom projektet, byggandes på Monte Carlo metoden för att skatta de olika felkällornas påverkan på siktfältet. För vidare information, se kapitel 2.2.

Helikopterlandningsplats

Framtagande av lämpliga helikopterlandningsplatser bygger på de metoder som togs fram inom det tidigare FOI projektet inom SGIF och som beskrevs i rapporten för projektet ([Olsson, Hans-Åke, etc., 2013](#)), där de ingående geodata var exempel på heterogena data med olika ursprung och upplösning. Med hjälp av metadata kunde geodata (inkluderande 3D-data) tillsammans med övriga data analyseras för att få fram lämpliga landningsplatser och för att bedöma möjliga felfortplantningar i geodata som kan påverka resultatet.

I metoden tänkte vi oss att det fanns ett reglemente som beskriver hur en helikopter av en viss typ får agera under vissa givna omständigheter i ett givet operationsområde. Utifrån detta reglemente tas ett antal produktspecifikationer fram över olika kartprodukter. I

specifikationerna står vilken information som ska ingå i respektive kartprodukt och vilken kvalitet produkten och de bakomliggande produkterna måste ha. Med bakomliggande produkter avses sådana kartprodukter som används i en eller annan form för att skapa den slutliga produkten. En sådan slutlig kartprodukt antas beskriva potentiella landningsplatser och har de bakomliggande produkterna markbärighet, marklutning samt avstånd till horisontrida såsom skog, hus eller liknande (Figur 9).



Figur 9. Produktbeskrivning. Slutprodukten Landningsplats härleds från de bakomliggande produkterna Markbärighet, Marklutning samt Avstånd till horisontrida. Pilarnas anslutningspunkt kan ses som en algoritm eller metod som går från de bakomliggande produkterna till slutprodukten.

Aktuella hot

När det gäller räckvidder från aktuella hot görs inga mera avancerade beräkningar än att dessa anges som enkla utbredningsradier utifrån respektive hots angivna max/träff räckvidd. Dessa hot är med för att skapa en större realism i scenariot och visa på var det t.ex. inte är lämpligt att flyga eller att det åtminstone krävs en taktikanpassad flygväg.

2.4.6 Indata

De indata som är tänkta att används i scenariot är; geografisk information motsvarande Geodatapaketet från Geo SE (data och metadata), information om räckvidden för de aktuella hoten från radar och MANPADS enligt Handbok Grannland som används inom Försvarsmakten vid övningar, samt fiktiva uppgifter om vilka krav som ställs vid planeringen av en helikopterlandningsplats när det gäller lutning, avstånd till hinder och markbärighet.

3 Design

3.1 Geoportal

FOI levererar expertstöd genom delprojektet Geoportal till FMV. Under FMV:s ledning är en grupp sammansatt av Geo SE, industrirepresentanter samt FOI i syfte att utvärdera förutsättningarna för att realisera en central geodataportal för Försvarsmakten. En centraliserad geoportal som är nåbar inom hela Försvarsmaktens nät- och informationsinfrastruktur (NII) är målsättningen.

Om en sådan lösning inte kan realiseras inom rimlig tid eller alls på sikt (pga. teknik, regelverk, etc.) är en lösning med lokala portaler inom respektive infrastruktur som innehåller samma funktionalitet, dataformat, utseende, mm. ett alternativ som kan implementeras inom de olika infrastrukturerna (NII H/R, NII H/S och NII H/TS). En gemensam teknisk lösning är således inte centraliserad utan antingen en mellanlösning eller en alternativlösning.

Målet är att geodataportalen ska vara nåbar för alla användare och system inom Försvarsmakten, oavsett inom vilken informationssäkerhetsklass användaren agerar inom. Målsättningen med en gemensam teknisk lösning är att användarbeteendet, mjukvaran, dataformaten, med mera, ska vara de samma även om vissa säkerhets- och hårdvarulösningar måste anpassas efter informationssäkerhetsklass.

Försvarsmakten delar i stort in sin nät- och informationsinfrastruktur efter den informationssäkerhetsklass som infrastrukturen ska klara av att hantera. I nuläget finns tre existerande eller planerade infrastrukturer för informationssäkerhetsklasserna HEMLIG/RESTRICTED (H/R), HEMLIG/SECRET (H/S), samt HEMLIG/TOP SECRET (H/TS). Intervjuer med representanter från respektive NII ligger till grund för projektgruppens resultat samt observationer vid experiment och presentationer.

FOI levererar ingen egen rapport utan deltar i framtagningen av de rapporter som tas fram inom projektgruppen.

3.2 Standardisering DGIWG

FOI har varit bollplank till FMV genom delprojektet Standardisering DGIWG. FMV leder en grupp som är sammansatt av industrirepresentanter i syfte att ta fram en Web Services Roadmap (WSR) inom DGIWG. WSR är en roadmap för tillämpning/profilering av OGC och ISO-standarder inom DGIWG och Sverige har ansvaret för att ta fram denna roadmap.

FOI har under perioden gått igenom WSR och lämnat synpunkter på den aktuella versionen vid arbetsgruppens möten. Vidare har FOI deltagit i diskussionerna om ambitionen och formen för det fortsatta arbetet med WSR inför ett DGIWG Plenary Board, där en uppdaterad version av WSR skulle presenteras och förslag på inriktning för det fortsatta arbetet diskuteras.

4 Utblick

4.1 Komprimering, databaser och stora datamängder

En teknisk prognos har tagits fram över forskningstrenderna inom främst komprimering av stora datamängder inom geodataområdet (bilder, laser och radar). Prognosen inkluderar även en analys över några av de format Försvarsmakten idag använder för vektor- respektive rasterdata och hur framtiden ser ut inom området. Underlaget ger stöd för eventuella riktade FoU-insatser eller eventuell standardisering av format som ska användas inom verksamheten.

Några viktiga parametrar inom komprimering som tyvärr inte har hunnits med inom detta uppdrag, men som borde analyseras vidare är hur metoderna beter sig vid uppdatering av data som t.ex. tillägg, ändring eller borttagning av en vektor? Måste hela databasen komprimeras om då och hur blir prestandan vid ändringar?

Prognosen har avrapporterats i FOI Memo 4897 och återges i bilagedelen.

4.2 Människa-System-Interaktion, presentation av 2D- och 3D-data

En kartläggning och värdering av tekniker och metoder för den generella problematiken med 2D- och 3D-perspektiv inom visualisering samt visualisering av osäkerheter har gjorts inom detta område. Denna inriktning valdes för att få en gemensam utgångspunkt för det fortsatta arbetet med hur osäkerheten i data kan visualiseras för en användare så att den kan ses och tolkas på rätt sätt. Det finns flera viktiga faktorer att beakta vid presentation av information, bl.a. människans perceptuella och kognitiva förmågor, gränssnittet, omvärlden, sensorn och användarens arbetsmiljö. Dessa faktorer kommer på ett avgörande sätt påverka vilken information som bör delges användaren.

Prognosen har avrapporterats i FOI Memo 4880 och återges i bilagedelen.

4.3 Radarsatelliter

Inom detta område har det tagits fram en sammanställning av idag operativa radarsatelliter liksom äldre som tagits ur drift. Här sammanfattas den del av sammanställningen som berör dagens operativa radarsatelliter. Denna information kompletteras här även med information kring tekniken med avbildande radar. För den som vill ta del av sammanställningen i sin helhet av idag operativa radarsatelliter liksom äldre som tagits ur drift, hänvisas till ([Gustavsson, A., 2014](#)).

4.3.1 Operativa radarsatelliter

Avbildning av jordytan med hjälp av satellitburen radar är en teknik som under senare år fått ökande betydelse inom såväl militär underrättelseinhämtning som civil fjärranalys. Radar är en aktiv sensor som har sin egen belysningskälla och kan därmed användas under dygnets alla timmar. Likaså förmår den elektromagnetiska vågen att passera ostört genom olika typer av moln, givet det frekvensintervall där de vanligaste använda radarbanden återfinns. Riktigt kraftiga regnmoln kan påverka signalen på höga frekvensband medan jonosfärens varierande elektriska egenskaper vid vissa tidpunkter kan ha en negativ inverkan på radarsignalens fasinformation på de lägsta banden.

Möjligheten att operera oberoende av ljus- och väderförhållanden innebär att satellitburen radar utgör ett viktigt komplement till passiva optiska satellitsensorer som traditionellt varit dominerande vid avbildning av jordytan från rymden. Tillgång på radarbilder har

ökat väsentligt de senaste tio åren genom en rad nya satellitsystem. Antalet stater som opererar egna radarsatelliter har också blivit fler. En annan viktig faktor som förändrats är att den högsta upplösningen i bilderna som nu erbjuds från civila system ligger på någon eller några få meter vilket för många militära tillämpningar är ett krav.

En sammanställning av idag operativa radarsatelliter liksom äldre som tagits ur drift ges i memot "Radarsatelliter – En översikt anno 2014" ([Gustavsson, A., 2014](#)). Översikten innehåller såväl civila som militära system men gör inte anspråk på att vara komplett. Speciellt i det militära fallet kan mycket väl ett antal system ännu vara okända om stark sekretess effektivt förhindrat någon form av informationsläckage till öppna källor. Likaså är tillgängliga prestandasiffror av naturliga skäl mycket sparsamma för system med användning enbart inom den militära sektorn. Till beskrivningen av varje radarsatellit finns som regel en eller flera referenser angivna med ytterligare tekniska detaljer eller tillämpningsresultat. I de fall registrerade radarbilder arkivhålls eller nya avbildningar kan beställas finns hänvisningar till de organisationer och/eller företag där förfrågningar kan göras. Avsikten är att ge ut en reviderad version av dokumentet som ett led i det fortsatta arbetet där även en rad planerade radarsatelliter kommer att beskrivas.

Tabell 1 redovisar de civila radarsatelliter som är operativa idag och som beskrivs i memot. Italienska systemet COSMO-SkyMed består av fyra identiska satelliter medan övriga innehåller enbart en enhet i bana runt jorden. Man brukar också beskriva COSMO-SkyMed som ett system som redan i sin design byggts för "dual-use" då en valbar avbildningsmod endast är åtkomlig för militära slutanvändare och för vilken inga prestandaparametrar finns öppet redovisade.

Tabell 1. Civila radarsatelliter som är operativa i bana runt jorden hösten 2014. Angiven rumslig upplösning avser det maximala värde som kan uppnås bland de valbara avbildningsmoderna för respektive radarinstrument.

Satellit	Land	Frekvens	Upplösning
COSMO-SkyMed	Italien	X-band	1 m
TerraSAR-X	Tyskland	X-band	1 m
RADARSAT-2	Kanada	C-band	2 m
TanDEM-X	Tyskland	X-band	1 m
RISAT-1	Indien	C-band	1 m
HJ-1C	Kina	S-band	5 m
KOMPSAT-5	Korea	X-band	1 m
Sentinel-1A	Europa (ESA)	C-band	5 m
ALOS-2	Japan	L-band	3 m

4.3.2 Tekniken med avbildande radar från flygburna system

Radarsatelliterna belyser ett markavsnitt på höger eller vänster sida relativt satellitens färdriktning i banan. Den rumsliga upplösningen hos radarbilden i avståndsled (tvärs färdriktningen) bestäms av den utsända radarsignalens bandbredd. Ju högre bandbredd desto finare detaljer kan separeras i avståndsled. Upplösningen i sidled (parallellt med färdriktningen) definieras av det belysta fotavtrycket, dvs. bredden hos antennens huvudlob i sidled. Då lobbredden ökar med spaningsavståndet fås en motsvarande försämring av upplösningen ju längre bort radarsensorn avbildar. Från rymden kan typiska lobavtryck ge upplösningar i sidled på någon/några kilometer. I vissa fall har rymdburna system realiserats med denna grova upplösning, främst ombord på ryska satelliter för storskalig maritim övervakning med uppgift att upptäcka fartygskonvojer, där enskilda

fartyg inte kan separeras, eller för att få överblick av issituationen i Arktis. På kortare avstånd fås i motsvarande grad en bättre upplösning och svenska kustbevakningen har sedan länge haft en radarsensor av denna typ som delkomponent vid flygburen patrullering för upptäckt av oljeutsläpp.

System där man låter lobbredden definiera upplösningen i sidled vid avbildningen brukar benämnas sidtittande radar eller med den engelska förkortningen SLAR ("Side-Looking Airborne Radar"). Upplösningen i sidled skulle kunna förbättras om bredden hos huvudloben kunde göras smalare. Då lobbredden är omvänt proportionell mot den fysiska antennens storlek är en möjlighet att förse systemet med en längre antenn i sidled. För relativt modesta spaningsavstånd blir dock kravet på fysisk längd omöjligt att realisera i praktiken. En alternativ teknik är istället att samla in data längs en sträcka motsvarande den antennlängd som skulle behövas för att uppnå önskad upplösning i sidled på aktuellt spaningsavstånd. System baserade på denna princip går under benämningen syntetisk aperturradar (SAR) och är idag helt dominerade vid radaravbildning med hög upplösning, från såväl flygande plattformar som satelliter. Alla system beskrivna i memot bygger på SAR-principen för generering av hög rumslig upplösning i sidled.

4.3.3 Syntetisk aperturradar (SAR)

En förutsättning för SAR-principen är att radarsystemet är koherent, dvs. varje mottaget och digitaliserat värde på ett visst avstånd och en viss position längs den syntetiska aperturen måste vara registrerat med såväl amplitud- som fasinformation. Variationer i den mottagna signalens fas uppkommer under radarsystemets förflyttning i sidled beroende på att avståndet mellan plattformen och markpunkterna ändras kontinuerligt i motsvarande grad. Fasvariationerna kan översättas till Dopplerfrekvenser. Olika reflekterande objekt separerade i sidled på ett visst avstånd kommer att ha sin Dopplerhistorik åtskild i tiden. I signalbehandlingen kan detta särskiljas och objekten separeras i sidled genom att positioneras där Dopplerfrekvensen är noll, dvs. när avståndet mellan respektive objekt och radarsensorn är som kortast under datainsamlingen längs den syntetiska aperturen.

Antennens inriktning och dess påverkan på avbildningen

Med en antenn vars pekriktning inte kan justeras fås ett avbildat stråk på marken med en viss bredd i avstånd och med en längd i sidled som beror på hur länge radarn är påslagen och registrerar data. Avbildningen av markytan sker i detta fall inom ett område som kan liknas vid en filmremsa och brukar därför på engelska benämnas "strip-map mode". För varje markpunkt blir den maximala syntetiska aperturen som behöver bearbetas, för att generera högsta upplösning i sidled, det data som registrerats under den sträcka där punkten varit belyst inom huvudloben. När allt data inom huvudloben utnyttjas kan upplösningen i sidled göras oberoende av spaningsavståndet och ett värde av halva den fysiska antens storlek i sidled uppnås. På längre spaningsavstånd blir loben bredare och en längre syntetisk apertur krävs med större datavolymer att bearbeta, men likväl kan samma upplösning fås i sidled under förutsättning att övriga kritiska radarparametrar som erforderlig sändeffekt justeras i motsvarande grad.

Upplösningen i sidled kan ökas ytterligare om radarantennen kan styras ut mekaniskt eller elektriskt mot ett begränsat område på marken så att den totala belysningstiden med huvudloben utökas inom detta marksegment. Principen brukar på engelska betecknas "spotlight" och sker således till priset av att en kontinuerlig yttäckning i sidled inte kan upprätthållas. Om å andra sidan yttäckning är prioriterat har en avbildningsmod benämnd "Scan-SAR" utvecklats och finns oftast implementerad i nuvarande generationen SAR-satelliter. Från radarpuls till radarpuls förflyttas stråkbredden repetitivt i ett antal överlappande steg för att utöka täckningsområdet i avståndsled. Då belysningsloben i detta fall därmed måste kunna flyttas snabbt i elevation är en förutsättning att antennen är elektriskt styrbar. Den ökade yttäckningen kan som regel inte fås med samma upplösning som i moden "strip-map" då den maximala mängden inströmmande rådata som kan hanteras av systemet kräver kompromisser kring valda datataktiker.

Polarimetrisk mätning

På den senaste generationen SAR-satelliter har i många fall en möjlighet att genomföra polarimetriska mätningar införts som ett val bland tillgängliga registreringsmoder. Traditionellt har man sänt ut och tagit emot i samma polarisation, dvs. den registrerade signalen består av polarisationskomponenten HH eller VV när horisontell respektive vertikal polarisation utnyttjats. Om antennsystemet även kan hantera korspolarisationen kan på motsvarande sätt kombinationerna (HH, HV) eller (VV, VH) registreras samtidigt, förutsatt att två parallella mottagarkanalerna finns att tillgå. Denna mätkonfiguration brukar refereras till som "dual polarization". Är det dessutom möjligt att ändra den utsända polarisationen växelvis från puls till puls, med bibehållandet av att också registrera korspolarisationstermen, kan den kompletta spridningsmatrisen mätas in (HH, HV, VH, VV). Mätkonfigurationen i detta fall omnämns vanligen "fully polarimetric". Samtidiga registreringar av flera polarisationskomponenter innebär som regel en reducerad upplösning hos genererade SAR-bilder då den ökade datamängden måste inordnas inom vad som kan hanteras av systemet per tidsenhet. Tillgång till fler polarisationskomponenter, med dess nära koppling till bakomliggande spridningsmekanismer för aktuell bildpunkt, ökar exempelvis möjligheten att identifiera signifikanta särdrag vid olika typer av klassificering.

Interferometrisk SAR

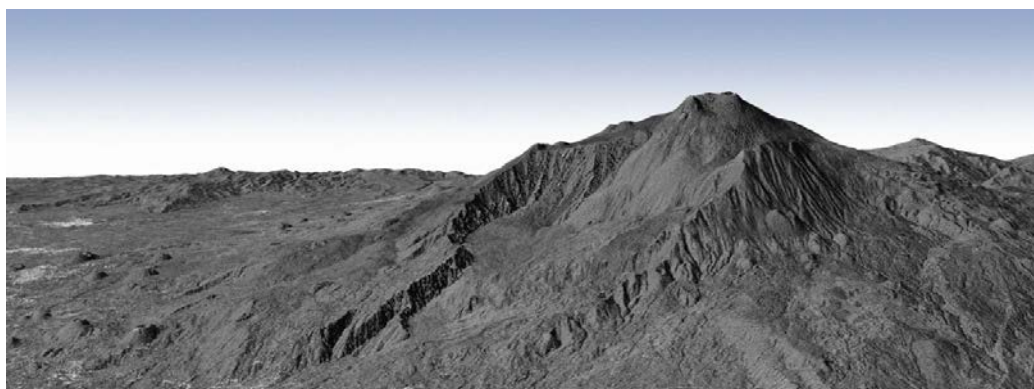
Interferometrisk SAR är en teknik för att extrahera höjdinformation utgående från SAR-data. I detta fall åtgår två avbildningar av samma markscen där registreringarna gjorts så att infallsvinkeln inom den avbildade scenen skiljer sig något åt. Skillnaden i betraktningssvinkel innebär att avståndet till en viss markpunkt inte varit samma vid de två registreringarna. Avståndsskillnaden definierar en interferometrisk baslinje och ger upphov till en fasskillnad mellan gemensamma bildpunkter i de två genererade SAR-bilderna när deras respektive fasvärden jämförs parvis. Med den kända baslinjen kan man på förhand räkna fram hur fasskillnaderna skall variera från bildpunkt till bildpunkt vid förflyttning i avståndsled under antagandet att markytan utgörs av ett horisontellt plan. Uppmätta skillnader från denna referens innebär att radarreturen har genererats från en annan höjd relativt det antagna planet. Avvikelserna kan användas för att extrahera konturkurvor inom markscenen som täcks in av det interferometriska SAR-bildparet. Höjdvärdena relaterar till den nivå där den dominerande delen av den återspridda signalen emanerar från i respektive bildpunkt och kan därför motsvara den sanna markytan i öppen terräng medan över skog istället representerar en nivå nära krontaket.

Från rymden utvärderades interferometrisk SAR inledningsvis med hjälp av en satellit som avbildar samma område vid två skilda tidpunkter, där banpassagerna är något åtskilda för att åstadkomma olika betraktningssvinkel (interferometrisk baslinje) mellan respektive registrering i bildparet. Då separata registreringstillfällen behövs går metoden under benämningen "repeat-pass interferometry". Baslinjen som krävs får inte vara för liten så att känsligheten för fasvariationer orsakad av topografin blir för låg men inte heller för stor så att bildparet inbördes blir för olika då dominerade spridare på marken kan ändras vid ökad separation av betraktningssvinkel. Beroende på aktuell bankonfiguration för satelliten kan en optimal baslinje innebära dagar eller veckor mellan två interferometriska registreringar.

En uppenbar nackdel med "repeat-pass interferometry" är den stora tidsskillnaden som kan krävas mellan registreringarna. Den aktuella markscenen kan påverkas av yttre faktorer som är väsentligt olika vid de två tillfällena, exempelvis kraftiga vindar eller stora nederbörds mängder. Inverkan från denna typ av fenomen kan störa stabiliteten i scenen tillräckligt mycket så att fasvariationen orsakad av topografin helt försvinner i en brusmatta och därmed omöjliggör någon rekonstruktion inom delar av aktuellt område. En attraktivare lösning vore om de två registreringarna kunde genomföras samtidigt, en princip som kallas "single-pass interferometry". För detta krävs att systemet kompletteras med ytterligare en antenn med mottagarkanal som passivt samlar in data som komplement till det som registreras vid sändar-/mottagarantennen. Flygburna system har utvecklats och

testats för detta ändamål. Det kortare spaningsavståndet i detta fall krymper baslinjen och medger att två separerade antenner kan monteras på en ordinär storlek av en flygande plattform.

I satellitfallet har en erforderlig baslinje realiserats på två olika sätt för mätgeometrin ”single-pass interferometry”. Under ”Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) år 2000 utnyttjades en 60 m lång bom som sköts ut från rymdfärjan med det passiva antennsystemet monterat längst ut för att få en tillräcklig baslinje visavi radarsystemets sändar-/mottagarantenn som fanns installerad i plattformens ordinarie lastutrymme ([Gustavsson, A., 2014](#)). Systemet mätte interferometriskt på såväl C- och X-band men bara på C-band kunde all landmassa mellan 60° N och 57° S hinna täckas in under de elva dagar man hade till förfogande i rymden. Genererad höjdinformation är allmänt tillgänglig i formatet DTED-1 men för DTED-2 finns restriktioner beroende på såväl aktuellt geografiskt område som vilket bakomliggande radarband som använts. I och med uppskjutningen av tyska SAR-satelliten TanDEM-X år 2010 påbörjades det andra angreppssättet att realisera samtidiga interferometrisk mätningar från rymden. Satelliten har placerats i en bana där den formationsflyger tillsammans TerraSAR-X på variabla separationsavstånd om minst dryga hundra meter ([Gustavsson, A., 2014](#)). En av satelliterna sänder och tar emot medan den andra endast tar emot för att generera ett bildpar. Baninklinationen liksom möjligheten att vid behov kunna manövrera (rotera) satelliterna att belysa motsatt sida kommer att möjliggöra en fullständig kartering av alla landområden, inklusive polerna där främst det stabila Antarktis är av intresse vad avser höjdinformation. Målsättningen är att slutprodukten skall vara representerad på en grid om 12 m x 12 m där höjdvärdena i 90% av fallen har en noggrannhet bättre än 10 m i absoluta tal eller 2 m (4 m i områden med lutningar > 20%) i relativa termer. De avslutande mätningarna i projektet beräknas vara genomförda under andra halvåret 2014. Allt insamlat data kommer därefter slutföras, kvalitetssäkras och sätts samman till en full mosaik representerande den mest detaljerade globala höjddatamodellen hittills. Arbetet beräknas vara slutfört vid utgången av 2015 och kunna erbjudas marknaden på kommersiella grunder. Figur 10 visar ett exempel över ett område kring vulkanen Etna i Italien som visualiserats med hjälp av den framräknade höjddatamodellen.



Figur 10. Området kring vulkanen Etna på Sicilien i Italien. Framräknat höjddata från TanDEM-X-missionen har använts vid visualiseringen av aktuell vy. Punkterna i höjdmodellen är i detta fall draperade med tillhörande amplitudvärden från de två bakomliggande interferometrisk SAR-bilderna. (Bild © DLR).

5 Samverkan och kontakter

5.1 Arméns Jägarbataljon

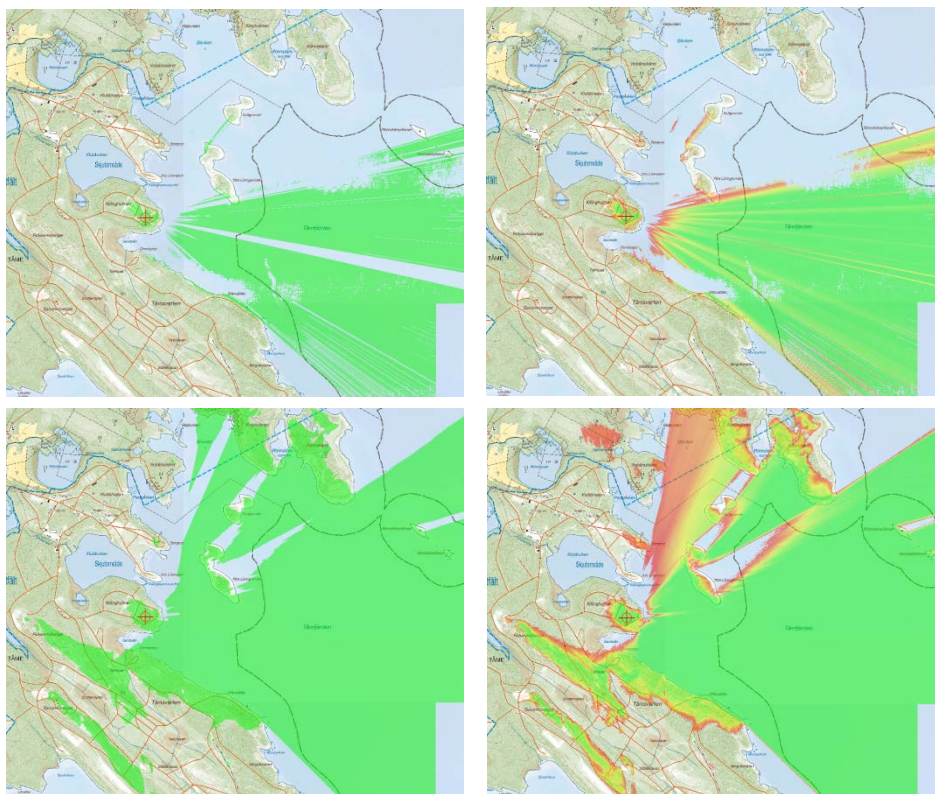
Projektet har under året samverkat med Arméns Jägarbataljon (AJB) i Arvidsjaur i samband med deras slutövning (GUJ) i juni 2014 i och kring Tåme skjutfält. Även ett antal FoT-projekt på FOI deltog i detta, vart och ett med olika frågeställningar. Detta har bl.a. lett till att det här projektet har

- levererat siktfältsanalysresultat (kapitel 5.1.1) till AJB för planering av insats i samband med GUJ-övningen.
- bidragit till kunskapsuppbyggnad på AJB avseende 3D-modeller och geodata och därmed stött SGIF i sitt uppdrag att införa 3D-produkter i FM.
- fått stöd från AJB avseende scenarioarbetet (kapitel 2.4).
- genom samverkan med andra FoT-projekt kunnat utnyttja FOI-expertis för att utvärdera nyttan med ny teknik i samband med GUJ-övningen.

Under året har två workshops med AJB anordnats på FOI i Linköping. På den första (i januari) redogjorde AJB för deras arbetssätt, behov och önskemål inom geoområdet, och inledande diskussioner fördes om arbetets inriktning och omfattning. Den andra (i april) fokuserade på projektets scenarioarbete och på att visa exempel på siktfältsanalys. Dessutom har ett telefonmöte genomförts (i augusti) för ytterligare diskussioner kring scenarioarbetet.

5.1.1 Siktfält

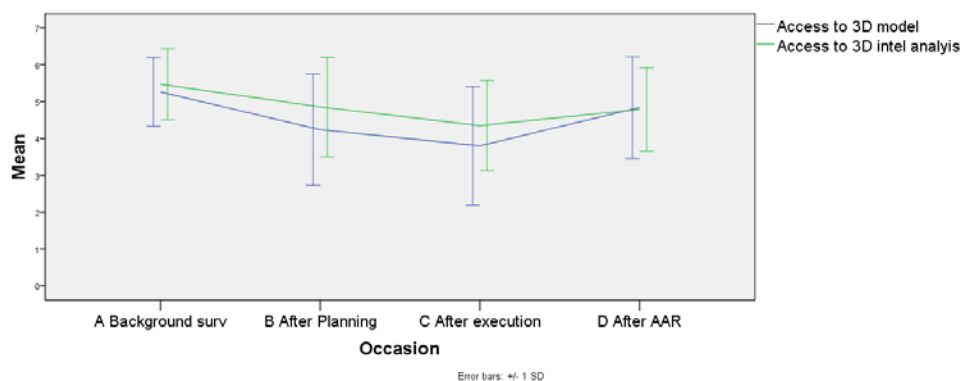
Resultat producerade med den föreslagna metoden (kapitel 2.1) levererades till AJB i samband med övningen i juni 2014. Underlaget användes i bataljonsstabens IPB-arbete ("Intelligence Preparation of the Battlefield"). Som indata till siktfältsanalysen användes data från den Nationella Höjdmodellen, via Geo SE. Markmodellen kom i form av ett raster med cellstorlek om $2 \times 2 \text{ m}^2$. Ytmodellen skapades genom att omforma NH-laserpunkterna till rasterform med celler om $1 \times 1 \text{ m}^2$ samt genom att använda några enklare förbehandlingssteg såsom att slå ihop höjddatarutor till en mosaik och filtrera bort uppenbart felaktiga höjdvärden ("outliers"). Några exempel på siktfältsanalyser visas i Figur 11.



Figur 11. Exempel på siktfältsunderlag till AJB erhållna med vanlig siktfältsanalys i ArcGIS (vänster) respektive den föreslagna metoden (höger). Den övre raden visar resultat för ytmodellen (DSM) och den undre motsvarande för markmodellen (DTM). Kartan i bakgrunden är Fastighetskartan som endast används för orientering.

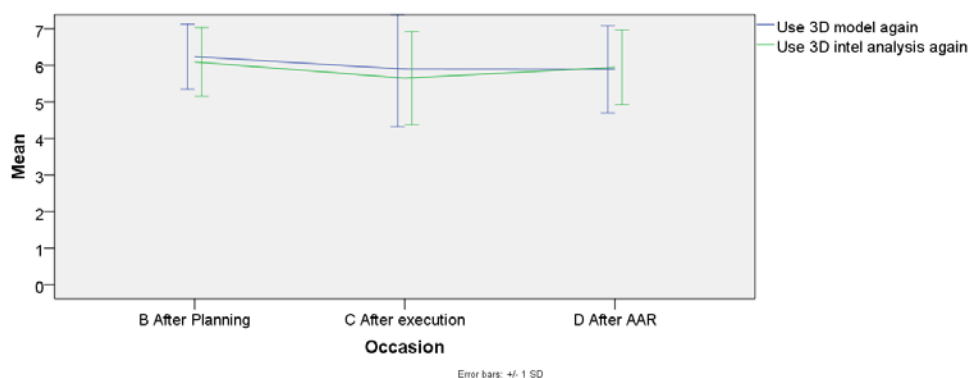
5.1.2 Utvärdering av nyttan

AJB upplevde att den föreslagna siktfältsanalysen hade fördelar jämfört med traditionell analys, eftersom den bl.a. ger bättre förutsättningar för att prioritera bland tänkbara observationsplatser. Datainsamlingen från den aktuella övningen (enkätsvar och diskussioner) medger dock inga långtgående slutsatser om nyttan. För detta bör man mäta och jämföra hur försökspersoner *presterar* med olika underlag, vilket inte var genomförbart inom vare sig projektet eller övningen. Klart är dock att 3D-modellerna och UND-analys utifrån dessa var uppskattade på övningen. Figur 12 visar hur personalen upplevde att 3D-underlaget bidrog till att uppgiften kunde lösas på ett bra sätt. Osäkerheten i svaren är tämligen stor (p.g.a. det begränsade antalet respondenter), men det finns några omständigheter som åtminstone delvis kan förklara kurvans utseende. Initialt fanns relativt höga förväntningar på underlagets betydelse. I planerings- och genomförandefaserna tycks dock inte underlaget ha använts som avsett. Exempelvis verkar endast siktfältsresultaten för markmodellen (dvs. utan träd) ha använts för val av tänkbara observationsplatser, vilket ledde till att sikten överskattades. Det i sin tur ledde till att man valde att rekognoscera en observationsplats varifrån sikten till målområdet var noll p.g.a. vegetation. Hade man istället använt siktfältsresultatet för ytmodellen (dvs. med träd) hade man sannolikt gjort ett annat, bättre val (enligt AJB själva). Man kan misstänka att enkätsvaren i steg B och C då hade legat högre.



Figur 12. Förväntat och upplevt bidrag till insatsens genomförande för (visualisering av) högupplösta 3D-modeller respektive UND-analyser utifrån 3D-data. Kurvorna visar medelvärden av svar på enkätfrågor efter olika faser av insatsen. Intervallen motsvarar plus/minus standardavvikelsen i svaren.

Figur 13 visar de svarandes intresse för att använda 3D-modeller och -analyser i liknande sammanhang i framtiden. Svaren ligger generellt högre än i Figur 12 som mer visar den praktiska nyttan i den aktuella övningen. En bidragande anledning kan vara att personalen ser potentialen inom området trots nuvarande begränsningar såsom att modellerna och analysverktygen inte var perfekta eller inte riktigt användes som avsett.



Figur 13. Personalens önskan om att använda 3D-modeller och 3D-baserade UND-analyser för liknande uppgifter i framtiden. Kurvorna visar medelvärden av svar på enkätfrågor efter olika faser av insatsen. Intervallen motsvarar plus/minus standardavvikelsen i svaren.

5.2 Lantmäteriet

Som en del i projektets arbete med att få kunskap kring NNH-data, anordnade Lantmäteriet ett möte på Geo SE där det diskuterades datakvalitet kring NNH, standarder kring metadata för geografisk information samt Geo SE:s process kring informationsförsörjningen till sina kunder.

Vid mötet presenterades också respektive myndighet lite bredare vad som är på gång inom geografiska data på myndigheten.

Mötet avslutades med en diskussion där man kom fram till att det vore bra att regelbundet träffas för ett informationsutbyte och standarder kring metadata och kvalitet (DGIWG) var områden kring vilka ett fortsatt informationsutbyte kommer att ske.

5.3 Försvarsmaktens Helikopterflottilj

I arbetet med att få fram ett realistiskt scenario, har projektet fått stöd ifrån Helikopterflottiljen på Malmen för att få fram ett underlag på ett realistiskt uppträdande och förflyttning av en helikopter vid en landsättningsoperation. (Kapitel 2.4.4).

6 Referenser

Fechner, G. (1860/1966). *Elements of Psychophysics (Translated by Adler, H.E.)* (Vol. 1). New York: Holt, Rinehart, and Winston (Original work published in 1860). Fineman, M. (1996). *The Nature of Visual Illusion*. New York: Dover.

Gustavsson, A. (2014). Radarsatelliter – En översikt anno 2014, FOI Memo 5062.

Haskell, I., & Wickens, C. (1993). Two- and Three-Dimensional Displays for Aviation: A Theoretical and Empirical Comparison. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(2), 87-109.

Lind, M., Bingham, G. P., & Forsell, C. (2003). Metric 3D structure in visualizations. *Information Visualization*, 2, 51-57.

Maki, R., Maki, W., & Marsh, L. (1977). Processing locational and orientational information. *Memory & Cognition*, 5, 602-612.

Nackaerts, K., et al. (1997). The Use of Monte-Carlo Techniques for the Estimation of Visibility. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) 1997 Proceedings: 63-65.

NGA.IP.0002_1.0 - National Geospatial-Intelligence Agency. Implementation Profile for High Resolution Elevation (HRE) Products. 2009.

NGA.IP.0008_1.0 - National Geospatial-Intelligence Agency. The Universal Lidar Error Model (ULEM): Implementation and Exploitation. 2013.

NGA.STND.0017_3.0 - National Geospatial-Intelligence Agency. Community Sensor Model (CSM) Technical Requirements Document. 2010.

Olsson, Hans-Åke, etc. (2013), Metadata för 3D-informatik, FOI-R--3631--SE.

Pang, A. (2001). Visualizing Uncertainty in Geo-spatial Data *Proceedings of the Workshop on the Intersection between Geospatial Information Technology* (pp. 1-14).

Smallman, H. S., Manes, D. I., & Cowen, M. B. (2003). Measuring and modeling the misinterpretation of 3-D perspective views *In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 47th Annual Meeting* (pp. 1615-1619). Santa Monica, CA, USA.

SIS-TS 201144:2013 - Swedish Standards Institute. Byggmätning - Specifikationer vid framställning och kontroll av digitala markmodeller, Teknisk specifikation. 2013.

Todd, J. T., Tittle, J. S., & Norman, J. F. (1995). Distortions of three-dimensional space in the perceptual analysis of motion and stereo. *Perception*, 24(1), 75-86.

Ukkonen, T., et al. (2008). Distributed Error Propagation Analysis for Automatic Drainage Basin Delineation. Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences. Shanghai, P. R. China: 126-133.

Wickens, C., Hollands, J., Banburry, S., & Parasuraman, R. (2013). *Engineering Psychology and Human Performance*. New York: Pearson Education Inc.

Zandbergen, P. A. (2011). "Error Propagation Modeling for Terrain Analysis using Dynamic Simulation Tools in ArcGIS Modelbuilder." Geomorphometry.org/2011: 57-60.

7 Förkortningar

AJB	Arméns Jägarbataljon
API	Application Programming Interface
BAE	British Aerospace and Marconi Electronic Systems
CIO	Chief Information Officer
CSM	Community Sensor Model
CSMWG	Community Sensor Model Working Group
DGIWG	Defence Geospatial Information Working Group
DSM	Digital Surface Model
DTED	Digital Terrain Elevation Data
DTM	Digital Terrain Model
ESM	Elevation Surface Model
FMV	Försvarets Materielverk
FOI	Totalförsvarets forskningsinstitut
GEOINT	GEOspatial INTelligence
Geo SE	Stödenhet Geografisk information
GUJ	Grundutbildningen till jägarsoldat
GWG	GEOINT Standards Working Group
HRE	High Resolution Elevation
IPB	Intelligence Preparation of the Battlefield
ISO	International Organization for Standardization
Lv	Luftvärn
MANPADS	Man-Portable Air-Defence System
NCGIS	National Center for Geospatial Intelligence Standards
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
NITF	National Imagery Transmission Format
(N)NH	(Ny) Nationell höjdmodell
NSG	National System for Geospatial-Intelligence
OGC	Open Geospatial Consortium
SAR	Syntetisk AperturRadar
SGIF	Snabb Geografisk Informationsförsörjning
SLAR	Side-Looking Airborne Radar
SWE	Sensor Web Enablement
TIN	Triangulated Irregular Network
ULEM	Universal Lidar Error Model
WSR	Web Service Roadmap

Bilagor

- **Peter Follo (2014), Komprimering, databaser och stora datamängder, FOI Memo 4897**
- **Patrik Lif (2014), 2D och 3D visualisering, FOI Memo 4880**



FOI MEMO

Projekt/Project

Sidnr/Page no

Geoinformatik

1 (16)

Projektnummer/Project no Kund/Customer

E54154

FMV

FoT-område

Sensorer och signaturanpassning

Datum/Date

Memo nummer/number

Handläggare/Our reference

Peter Follo

2014-03-14

FOI Memo 4897

Komprimering, databaser och stora datamängder

Sändlista/Distribution:

Helene Rantakoko, FMV

Magnus Stjärnberg, FMV

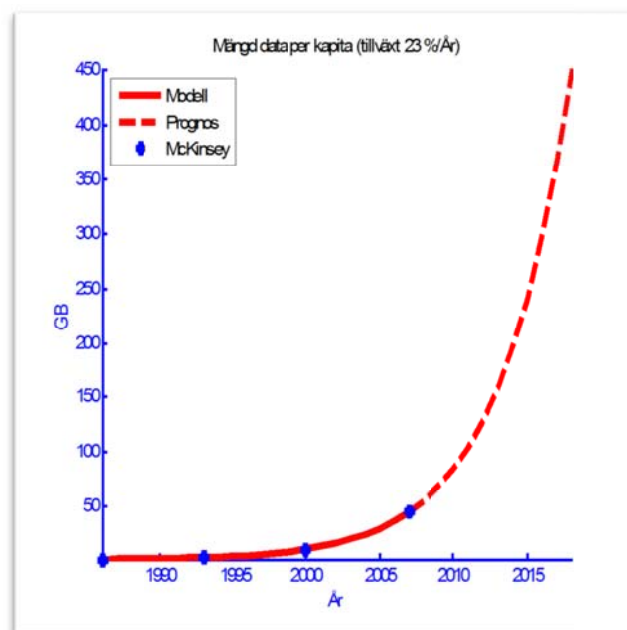
Expeditionen, FMV

Teknisk Prognos – Komprimering, databaser och stora datamängder

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 2 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

1 Bakgrund

Mellan 1986 och 2007 var den årliga tillväxten på hela världens tillgängliga data drygt 23 %, se figur 1, mängden digital kommunikation ökade årligen med ca 28 % och den samlade beräkningskapaciteten ökade årligen med 58 % [1]. Det är rimligt att anta att liknande tillväxt sker inom geodataområdet i takt med att allt fler aktörer avbildar jorden med högupplösta sensorsystem; som exempel kan nämnas det amerikanska flygburna systemet *BuckEye* [2] som samlar in lidardata med en upplösning kring en meter och flygfoton med 10-15 cm upplösning. I Irak samlade systemet in över 2000 löpor med lidardata och ca 1,8 miljoner flygfoton täckandes en yta om 85 000 km², i Afghanistan har hittills ca 200 000 km² samlats in på liknande sätt.



Figur 1 Tillväxten av mängden data per person som funktion av tiden. De blå prickarna är skattad mängd data vid en viss tidpunkt, dessa ligger till grund för modellen (exponentiell), den röda heldragna linjen, vilken används för prognosen, den streckade röda linjen.

Ett annat system är den japanska sensorn *Aster* [3] uppskjuten av *NASA Jet Propulsion Laboratory* 2004 som samlar in radiometrisk data över jorden i 14 kanaler med 30 till 90 meters upplösning täckandes 99 procent av jordens yta. 2011 påbörjades en uppdatering av denna digitala ytmodell som först samlades in så sent som 2009.

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 3 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

Till detta ska man även beakta det som ofta benämns *Internet of Things*, dvs. att allt mer saker, så som sensorer och inbyggda system blir uppkopplade mot ett gemensamt nätverk. Vid

Vad menas med stora datamängder (Big Data)?

I allmänhet menar man att stora datamängder är datamängder som är så stora att hanteringen av dessa inte är möjlig med hjälp av traditionella verktyg och databaser för insamling, lagring, ajourhållning och analys av dem. Begreppet är medvetet något vagt då huruvida en datamängd är stor eller inte beror i mångt och mycket på tillämning och tillgängliga resurser. I takt med att processorkraft, lagringsutrymme samt kommunikationslänkar ökar i prestanda kan man även förvänta sig att vad som anses vara en stor datamängd förändras.

en första anblick kan tyckas att detta inte har med geodataområdet att göra, McKinsey förutspår dock i sin rapport att *Internet of Things* är en av de största drivkrafterna inom stora datamängder. Det är rimligt att förutspå att man ur detta även kan få fram information som är intressant ur ett geografiskt perspektiv, åtkomst till övervakningskameror, väderstationer och liknande skulle till exempel snabbt kunna ge underlag till en lägesbild inom något intressant område.

McKinsey Global Institute identifierar i sin rapport *Big Data: The next frontier for innovation, competition and productivity* ett

antal tillvägagångssätt över hur man ökar värdet av stora mängder data. Dessa passar även in på geodataområdet. Nedan listas de som tas upp i rapporten.

- **Skapa transparens;** att låta användare i ett tidigt skede få tillgång till data kan korta process- och analystid och därmed korta ledtiderna till data gör nytta.
- **Tillåt experiment;** låt användarna få experimentera för att upptäcka behov, hitta samband och öka effektiviteten i organisationen
- **Användaranalys;** Analysera användarnas beteende för riktade åtgärder
- **Automatisering;** Ersätt/stötta mänskliga beslutfattare med automatiserade algoritmer
- **Affärsutveckling;** Hitta nya affärsmodeller, produkter och tjänster

I denna tekniska prognos om hantering av stora datamängder har särskilt fokus lagt på komprimering av den samma. Vidare analyseras även några av de tekniker för hantering av stora geografiska raster- och vektormängder som används idag. Mycket arbete har även lagts på att ha stöd för de uttalanden som görs i prognosen från externa referenser.

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 4 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

2 Metodbeskrivning

Denna tekniska prognos består av två delar; prognosen inleds med ett försök att fånga forskningstrender och tongivande forskningsgrupper inom området med en strukturerad litteratursökning i en välrenommerad artikeldatabas. Ett antal för området relevanta söktermer kombineras med varandra varefter resultatet sammanställs årsvis för att se om man kan utläsa någon trend i antalet artiklar som produceras per år. Drivande forskningsfält har ansetts vara *stora datamängder* eller på engelska *Big Data* varför de mer geospecifika trenderna har normerats efter detta fälts utveckling. I denna del ingår även en diskussion och analys av resultatet från litteratursökningen. Som underlag i denna diskussion har några av de artiklar som framkommit i litteratursökningen använts.

Därefter görs en djupare teknisk analys av vilka egenskaper komprimeringsteknik för hantering av stora vektor- och rasterdata bör ha. I analysen används RaveGeo från Idevo för vektordata och wavelet-baserade komprimeringsmetoder för rasterdata som exempel.

Prognosen avslutas med en diskussion som tar upp några identifierade svagheter med metoden som används, slutsatser om förväntad utveckling inom området samt förslag på fortsatt arbete.

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 5 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

3 Litteratursökning

För att fånga vilka trender som pågår inom forskningen har ett antal databasslagningar i artikeldatabaser gjorts. Genom att ta snittet mellan vissa sökord och termer kombinerat med tematiska avgränsningar kan man få fram statistik över hur många artiklar som publiceras inom ett område per år. Nedan redovisas resultatet för sökningar i artikeldatabasen *Science Direct*.

Tabell 1 Antalet artiklar fördelat över åren 2004 till och med 2014 för de olika sökningarna i artikeldatabasen Science Direct.

Sökning	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Totalt
1	1490	1499	1587	1801	1889	1973	1824	2183	2571	3426	1537	21775
2	42	47	37	65	55	56	60	55	58	72	40	587
3	2	4	1	3	2	3	2	3	2	5	1	28
4				1		1	1			3		6

Fler artikeldatabaser (*Web of Science*, *IEEEExplore*) har används vid under arbetet men redovisas inte här av tids- och utrymmesskäl. *Science Direct*'s digra omfång och det faktum att artikeldatabaserna inte är oberoende av varandra på grund av att de ofta indexerar samma artiklar leder till bedömningen att *Science Direct* väl avspeglar den allmänna trenden inom området. Det är alltid vanskligt att avgöra exakt vilka söktermer som skall användas; skall man söka på alla tänkbara synonymer eller nöja sig med en väl avgränsad delmängd? I sökning 1 har breda söktermer använts för att försöka fånga den allmänna trenden inom området *stora datamängder*. Sökning 2, som är en avgränsning av sökning 1, har kompletterats med söktermer inriktade mot komprimering. Anledningen att inte endast ordet komprimering, engelska *compression*, använts är att man då får träffar på sådant som inte är relevant i denna studie, till exempel *spinal compression* och *gas compression*.

Vad är Science Direct?

Science Direct är en ledande artikeldatabas innehållandes över 12 miljoner vetenskapliga fulltextartiklar och böcker inom fysik, medicin och humaniora.

Tabell 2 Söktermer

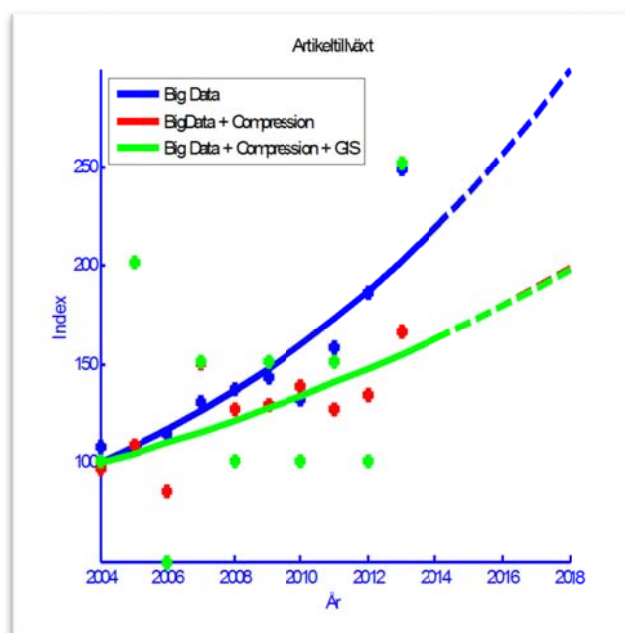
Benämning	Söktermer
Sökning 1	"big data" "large data" "very large database"
Sökning 2	(<Sökning 1>) & ("data compression" "image compression" "vector compression" "map compression")
Sökning 3	(<Sökning 2>) & ("kartographic" "geographic" "oceanographic" "geoscience" "GIS" "GIT")
Sökning 4	(<Sökning 3>) & ("lidar" "aerial" "satellite")

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 6 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

Nackdelen är att man kan missa artiklar om man inte tagit med en relevant sökterm. I det här fallet är dock inte det exakta antalet träffar det intressanta utan trenden, dvs. hur området utvecklas. Bedömningen har varit att givna söktrender täcker in tillräckligt mycket för att fånga denna trend och om det eventuellt skulle vara så att någon relevant sökterm förbigåtts så har den med stor sannolikhet liknande trend som de givna. Då sökning 1 och sökning 2 ej varit speciellt inriktade mot geografiska data görs ytterligare en avgränsning i sökning 3 mot detta område. Sökning 4 är en mycket specialiserad sökning inriktad mot några speciellt intressanta sensortechniker som tros generera stora datamängder nu och i framtiden.

Sökningarna har inte varit fulltextsökningar, de har varit begränsade till titel, sammanfattning och nyckelord. Bedömningen är att om inte söktermen nämns i något av dessa fält är chansen stor att termen råkat användas i något annat sammanhang som ej är relevant för området.

I den här studien då målet är att fånga trenden snarare än att generera en fullständig täckning av området har relativt specifika söktermer används för att inte sammanblandning med andra vetenskapsområden skall ske. I tabell 2 redovisas de termer som används i denna studie. Tabell 1 redovisar hur många artiklar fördelat på åren 2004 till och med 2014 som publicerats inom respektive sökning i artikeldatabasen Science Direct.



Figur 2 Index över antalet artiklar publicerade per år 2004-2014. Heldragen linje är skattad trend, prickarna är antalet artiklar publicerade ett visst givet år. Streckad linje är utifrån trenden skattad prognos. Blå linje motsvarar sökning 1, röd linje motsvarar sökning 2 och grön linje sökning 3. Sökning 4 har för få träffar vilket leder till en missvisande kurva varför den utgår. Notera att röd och grön kurva överlappar varandra.

Trenderna kan lättare förstås i figur 2, där den skattade trenden för sökning 1, 2 och 3 ritats. Sökning 4 har inte ritats ut då allt för få artiklar skrivits för att man skall kunna göra en acceptabel skattning av trenden. Denna sökning var dock mycket specifik varför man inte kunde förvänta sig annat. Trenderna har normaliserats med den bredaste sökningen, sökning 1, år 2004 och givits index 100 för att man skall kunna se den relativa utvecklingen. Man bör dock komma ihåg att de olika sökningarna nummerärt skiljer sig mycket. Den breda

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 7 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

sökningen, sökning 1, gav totalt 21 775 artiklar medan den andra sökningen endast gav 587 träffar, dvs. knappt tre procent av den breda sökningen. En konsekvens av detta är att osäkerheten är stor, framförallt för sökning 3 och 4 som endast har 28 respektive 6 träffar. Inte desto mindre kan man konstatera att komprimering och komprimering inom geografiska vetenskaper tappar mark gentemot det ökande intresset för stora datamängder. Vi återkommer mer till detta under diskussionen senare i dokumentet.

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 8 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

4 Aktuella teknologier

Av särskilt intresse för FM är RaveGeo [4] från Idevio för vektordata och wavelet-baserade komprimeringsformat för rasterdata, exempelvis MrSid [5] från LizardTech, ECW från Intergraph[6] och JPEG2000 [7] från JPEG, då dessa används i många av dagens produkter. Utmärkande för RaveGeo och uppräknade wavelet-baserade format är att det är möjligt att titta på en delmängd av data utan att hela datamängden behöver avkodas, man kan även ladda data progressivt, eller strömmande. Detta gör att formaten är lämpliga för stora datamängder och då bandbredden är begränsad.

4.1 RaveGeo från Idevo

Idevo beskriver själva RaveGeo snarare som en databas än ett filformat vilket kan vara en korrekt uppfattning. Mycket av den funktionalitet RaveGeo erbjuder går, om än med viss möda, implementera i en spatiell databas [8]. RaveGeo består av, förutom ett filformat eller snarare en databasstruktur, en kompilator för att skapa denna databasstruktur, två SDK:er för att utveckla programvara som använder sig av RaveGeo, en för utveckling av kartklienter och en för åtkomst till data, samt en serverlösning för publicering av strömmande data. Det finns även ytterligare komponenter och insticksprogram för att visa och/eller nå data i detta format från webbklienter eller andra GIS mjukvaror. RaveGeo började utvecklas 2001 och presenterades övergripande 2004 på Geoinformatics [9]. Ett liknande koncept publicerades 2001 av Bertolotto and Egenhofer 2001 [10] i tidskriften Geoinformatica. Nedan följer en sammanfattning över hur RaveGeo fungerar, termerna inom parentes relaterar till [9]. För djupare insikter rekommenderas [10].

Kompilatorn i RaveGeo läser in källdata vilket den sedan generaliserar och delar upp i olika zoomnivåer (multi-resolution), kompilatorn komprimerar även datat. Det aktuella geografiska området delas upp i mindre delområden (tiling) innehållandes ungefärligen lika mycket data i varje delområde. Delområden som i sin tur delas upp i än finare delområden enligt samma princip för mer högupplösta zoomnivåer till dess önskad maximal zoomnivå på datat uppnåtts. Geografiska objekt, så som polygoner, som överlappar flera delområden beskärs vid delområdesgränserna och skärningspunkten mellan objektet och delområdet lagras som en del av objektet. På så vis bevaras topografin. Vid rekonstruktionen av kartan, då flera delområden används, används dessa punkter för att återskapa objektet. Denna uppdelning gör att man kan nå data från godtycklig del av kartan på godtycklig zoomnivå utan att hela datamängden behöver läsas in. Det behövs även ett index för att snabbt hitta data över önskat delområde. I RaveGeo har de olika zoomnivåerna tagits fram på ett sådant sätt att endast den grövsta zoomnivån och skillnaderna mellan zoomnivåerna behöver lagras. Detta, i kombination med uppdelningen i delområden, gör att man kan "strömma", dvs. progressivt bygga upp, genom att först skicka data från den grövsta zoomnivån vilken man sedan förfinar i och med att man tar emot allt mer förändringar. Detta ger en upplevd snabbare respons då man snabbt kan börja orientera sig och arbeta med kartan. Varje zoomnivå bygger så mycket som möjligt på tidigare zoomnivåer där så många geometrier som är praktiskt möjligt delas mellan de geografiska objekten, även om de är av olika typ. Detta reducerar ytterligare den datamängd som behöver överföras.

Generaliseringen av data sker enligt ett antal principer. Vissa objekt generaliseras utifrån ett regelverk (selection), dvs. attribut hos de geografiska objekten avgör om det är relevant att de

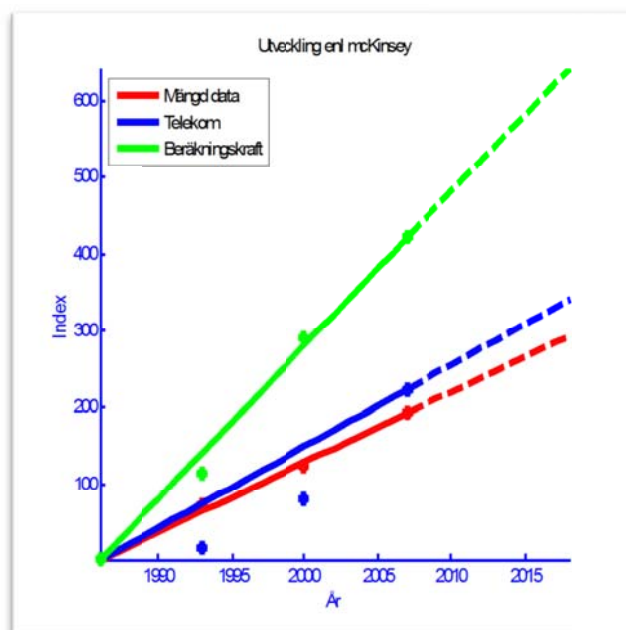
FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 9 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

visas vid en viss zoomnivå eller ej. Generalisering av polygoner (thinning) går ut på att reducera antalet brytpunkter på ett sådant sätt att ett maximalt tillåtet fel ej uppstår. Det är oklart exakt hur detta går till i RaveGeo men en vanlig algoritm är Ramer-Douglas-Peucker-algoritmen [11,12]. I korthet delar algoritmen rekursivt upp en linje genom att, givet ändpunkterna och en tolerans, dela linjen med den brytpunkt (som ingår i linjen) som maximalt avviker från toleransen. Algoritmen appliceras sedan på de två linjerna som bildas av föregående uppdelning. Finner algoritmen ingen avvikande brytpunkt är generaliseringen klar. Vissa objekt slås samman (aggregation) mellan zoomnivåerna och gör därmed att det på lägre zoomnivåer blir färre objekt. Objekt slås samman om storleken är mindre än en viss given storlek eller om objektet har identiska attribut med ett direkt intilliggande objekt. Det är viktigt att sammanslagningen av objekt är topologiskt bevarande så att man kan gå både från högre till lägre som från lägre till högre zoomnivåer. Vissa objekt är inte av samma typ och skall därför inte slås samman men har ändå delar av geometrin gemensam, kompilatorn tar hänsyn till detta och ser till att geometrin samutnyttjas vilket minskar datamängden ytterligare. I kompilatorn kan man även prioritera hur objekten skall slås samman om man exempelvis vill prioritera att öppna ytor aggregerar till jordbruksmark hellre än till sjöar.

4.2 Wavelet-baserad rasterkomprimering

Som en del i komprimering är det vanligt att man gör en transform av det man vill komprimera till någon annan domän. Detta kan matematiskt ses som ett basbyte. I JPEG[13] till exempel använder man sig utav cosinusfunktioner som bas. Man kan tänka sig att man efter blockuppdelning av bilden, delar upp blocken, i tvådimensionella cosinuskomponenter med olika riktning och frekvens. Dessa komponenter adderas till varandra för att återuppbygga blocket och så småningom hela bilden. Man kan visa att man på detta sätt kan åstadkomma en distorsionsfri komprimering bara man tar med tillräckligt många komponenter. Många av dessa komponenter kommer dock vara av liten betydelse vilket gör att man kan spara mycket data om man kan tillåta en viss distorsion mot att man helt enkelt struntar i vissa basfunktioner. En cosinusfunktion har dock matematiskt oändlig utsträckning, detta leder till att varje komponent kan påverka hela bilden. Den initiala blockindelningen leder även till kanteffekter, i alla fall om man inte har förstörelsefri komprimering. Ett sätt att försöka komma runt detta är att använda sig utav basfunktioner som inte har oändlig utsträckning och ett sätt att åstadkomma detta är med wavelets. Det finns många typer av wavelets men gemensamt är att de har en begränsad utsträckning. Ofta utgår man från en ur-wavelet som sedan skalas och sträcks för att bilda det set av basfunktioner man ämnar använda vid transformen. Basfunktionerna blir då till sin natur lokala både i tids- och frekvensdomän vilket möjliggör att man både kan progressiv strömma data [14] och strömma endast delområden av data. Nackdelen med detta förfarande blir att både kodning och avkodning blir mer komplext.

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 10 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897



Figur 3 Index över utvecklingen av på jorden tillgänglig mängd data per kapita (röd), tillgänglig bandbredd för telekommunikation per kapita (blå) och tillgänglig beräkningskraft per kapita (grön) sammanställt av McKinsey Institute. Indexet är logaritmiskt.

Wavelets har funnits länge som koncept [15] och benämns första gången redan på 80-talet men får ändå alltjämt anses som en av de mest effektiva bildkomprimeringsmetoderna av idag, som exempel kan nämnas JPEG2000 vars specifikation publicerades 2000. Varför det är så återkommer i diskussionen senare i dokumentet. Inom geodataområdet är MrSid (Multi-resolution Image Database) från LizardTech och ECW (Enhanced Compression Wavelet) från Intergraph två mycket vanliga wavelet-baserade format. Både MrSid och ECW är proprietära slutna format och det har inte gått att finna mycket information om dessa inom given tidsram. JPEG 2000 är en publik och delvis licensfri standard [16]. LizardTech konstaterar [17] att MrSid och JPEG 2000 är mycket lika men att MrSid är gjord för att alltid producera ett acceptabelt resultat medan JPEG 2000 kan finjusteras för att uppnå excellenta resultat i vissa situationer men på bekostnad av att prestanda blir dåligt i andra. I en studie från 2010 [18] som jämför ECW, MrSid och JPEG 2000 drar man även där slutsatsen att det är liten skillnad i kvalitet mellan de olika formaten. För att avgöra vilket av formaten som är bäst får man titta på sådant som ligger utanför denna studies ramar så som vilket stöd de olika formaten har i olika mjukvaror samt prestationsmått så som kompressionsgrad och beräknings- och minnesåtgång i dessa.

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 11 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

5 Diskussion

Det har tidigare konstaterats att forskningen inom kompression av stora datamängder inte följer utvecklingen inom området stora datamängder självt. Det har heller inte gått att hitta några nya innovativa lovande tekniker för att komprimera stora mängder data. Man ställer sig frågan; varför är det så? Men innan denna fråga besvaras bör bristerna i denna prognos påtalas.

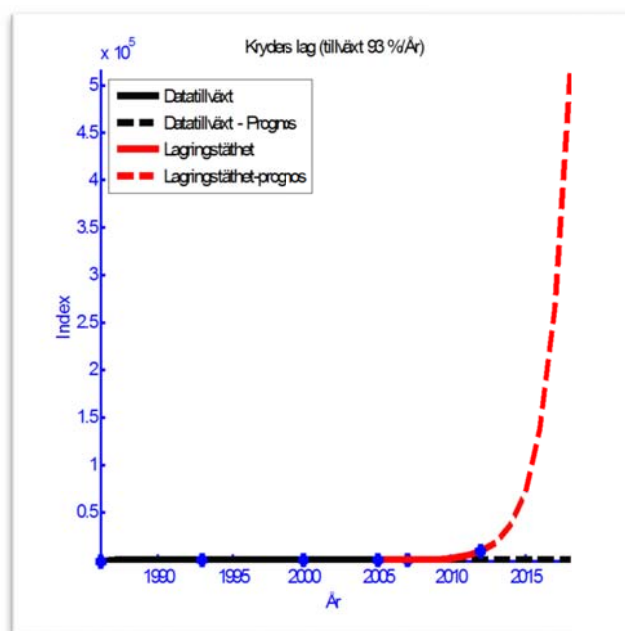
5.1.1 Litteratursökning

Metrisk värden från en litteratursökning är ett grovt mått på hur utvecklingen inom ett forskningsområde fortskrider. Kritiska söktermer kan vara missledande eller ha förbisetts. Det är även lätt gjort, som i sökning 4, att man avgränsar sig för snävt och därmed får endast ett fåtal träffar. Å andra sidan är det svårt att formulera objektiva och mätbara kriterier för frågeställningen och i det fallet man avgränsat sökningen för snävt kan detta vara talande i sig. Ingen av de 6 artiklar som kom fram vid denna sökning hade någon relevans för denna tekniska prognos. Det finns även en kombinatorisk utmaning, både stora datamängder och datakompression är stora breda områden, i denna prognos blev snittet av dessa endast 587 artiklar. Det skulle vara intressant att göra analys om utvecklingen inom endast datakompressionsområdet, detta fick tyvärr utgå av tidsskäl. Mycket i denna prognos bygger på McKinsey Global Institutes rapport *Big Data: The next Frontier for Innovation, Competition and Productivity* från 2011, även om denna rapport i sig är relativt färsk bygger den i sin tur på analyser från 2007 och tidigare. Som prognos har en exponentiell modell använts. Tillväxten inom mängden tillgänglig data, kommunicerad data och tillgänglig beräkningskraft kan inte fortsätta växa exponentiellt utan måste plana ut förr eller senare. Moores lag [19] som stipulerar en fördubbling av beräkningskapaciteten var 18:e månad har hållit i sig sedan 60-talet och vissa bedömare [20] tror att den håller minst till 2020. Hur länge den mindre kända Kryders lag [21] som presenterades 2005 är giltig är svårt att sia om, den stipulerar att lagringsdensiteten fördubblas var 13:e månad.

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 12 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

6 Slutsatser

Komprimering av stora datamänder är idag inget hett forskningsområde. Detta kanske inte är så mycket att förvånas över, de kompressionsmetoder vi idag har fungerar relativt bra, men än viktigare så är tillväxten på beräkningskraft och lagringstäthet mycket större än tillväxten på data, se figur 4. Den tid, ofta mångårig, det tar att forska fram en ny effektivare och mer beräkningsnål algoritm, implementera den och få ut den på marknaden måste sättas i relation till att det nära nog varje år kommer en ny typ av lagringsmedium med dubbla kapaciteten och några månader därefter har även beräkningskapaciteten fördubblats. Nya algoritmer kan därför inte bara vara några faktorer effektivare på lagring eller beräkningar utan måste vara en eller flera magnituder bättre. Detta är ett mycket svårt problem. Detta leder också till isolering av de grupper som verkligen har behov av bättre algoritmer med krympande resurser till följd. Så länge tillväxten på lagringstäthet överstiger tillväxten på mängden tillgänglig information att lagra kommer det se ut såhär.



Figur 4 Kryders lag (röd). Lagringstätheten fördubblas var 13:e månad. Streckad linje är en prognos till 2018. I figuren är även McKinseys skattning om tillväxten på mängden tillgänglig information ritad (svart). Se även figur 3.

De datakomprimeringsalgoritmer som idag används för stora geografiska datamängder som upplevs som effektiva har två egenskaper gemensamt oavsett om det gäller vektordata eller rasterdata. Den ena egenskapen är att data delas upp i mindre delområden, detta leder till mindre optimal komprimering ur informationsteoretisk synpunkt men kompenseras väl med att tillgängligheten ökar. Den andra egenskapen är att man kan progressivt ladda data, detta är ingen komprimerande egenskap i sig men leder till ett upplevt bättre nyttjande av geografiska data, speciellt vid låg bandbredd, då man direkt kan börja orientera sig geografiskt även vid låg upplösning. Båda dessa egenskaper gör algoritmerna effektiva då det gäller åtkomst till och användning av geografiska data.

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 13 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

Detta leder till att produkter som RaveGeo, ECW, MrSid och JPEG2000 antagligen kommer finnas kvar en lång tid framöver. Möjligtvis kommer nya format och produkter men det är mycket sannolikt att de bygger på liknande principer.

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 14 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

7 Framtida arbete

Ett område som vore intressant att följa är telekom och då särskilt mobil kommunikation, ökningen av tillgänglig bandbredd överstiger visserligen ökningen av mängden tillgänglig information enligt McKinsey, men inte alls lika mycket mer som inom lagringstäthet eller tillgänglig beräkningskraft. Det vore intressant att utreda vilka utmaningar och lösningar som väntar för att se på vilket sätt FM skulle kunna nyttiggöra sig utvecklingen.

Ett annat område som berör stora datamängder som vore värt att belysa är *in ware house computing*. Många aktörer som har stora datamängder lagrar dessa i ett s.k. *ware house* hos tredje part. Vissa, framförallt analytiska aktörer, har därmed fått prestandaproblem då de måste flytta data från sitt datalager till sina beräkningsservrar. Lösningen som några av dessa aktörer tittar på är att flytta beräkningsservrarna närmre och till och med in i datalagret. En sådan lösning skulle kunna minska behovet av bandbredd då beräkningarna inte sker hos slutanvändaren utan endast styrkommandon för beräkningstjänster och färdiga resultat skickas mellan klient och serverhall.

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 15 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

8 Referenser

- [1] James M., Chui M., Brown B., Bughin J., Dobbs R., Roxburgh C., Hung Byers A (2011) "Big Data: The next Frontier for Innovation, Competition and Productivity." McKinsey Global Institute
- [2] Hardaway M. (2014), "Buckeye." [http:// www.agc.army.mil](http://www.agc.army.mil). Army Geospatial Center. Web. 4 Mars 2014
- [3] Howard T. (2014), "ASTER Global Digital Elevation Map." <http://asterweb.jpl.nasa.gov>. NASA Jet Propulsion Laboratory. Web. 04 Mars. 2014
- [4] Idevio (2014) "What Is RaveGeo?" <http://www.idevio.com/old/ravegeoinfo.htm>. Idevio. Web. 10 Mars 2014
- [5] MrSid
- [6] Intergraph (2014) "About ECW" <http://geospatial.intergraph.com/products/ecw/details.aspx>. Intergraph. Web. 10 Mars 2014
- [7] Joint Photographic Experts Group (2014) "JPEG 2000" <http://www.jpeg.org/jpeg2000/index.html>. Joint Photographic Experts Group. Web. 10 Mars 2014
- [8] SpatialDB Advisor (2011) "Gridding a geometry object (PostGis)" http://www.spatialdbadvisor.com/postgis_tips_tricks/258/gridding-a-geo-object-postgis. SpatialDB Advisor, Web. 10 Mars 2014.
- [9] Persson J. (2004) "Streaming of Compressed Multi-resolution Geographic Vector Data." Proc. 12th Int. Conf. on Geoinformatics: 765-72.
- [10] Bertolotto M., Egenhofer J. M. (2001) "Progressive Transmission of vector map data over the world wide web" Geoinformatica 5(4): 345-373
- [11] Ramer U. (1972) "An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves", Computer Graphics and Image Processing, 1(3): 244–256
- [12] Douglas D., Peucker T. (1973) "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature", The Canadian Cartographer 10(2): 112–122
- [13] ISO/IEC 10918-1
- [14] Asghari M. H., Jalali B. (2013) "Anamorphic transformation and its application to time-bandwidth compression," Submitted on May 28th, 2013 to Applied Optics journal
- [15] Haar, A. (1910), "Zur Theorie der ortogonalen Funktionensysteme", Mathematische Annalen 69(3):333-371
- [16] ISO/IEC 15444-1
- [17] LizardTech (2014) "JPEG 2000 FAQ" http://www.lizardtech.com/files/geo/techinfo/-JPEG_2000_FAQ.pdf. LizardTech. Web. 10 Mars 2014
- [18] Choyen N., Randal L. J., Parthasarathi R., Orr M. L., Barrios J., Oberly R., Brumfield J. O. (2010) "Comparative Analysis of ECW, MrSid and JPEG2000 Compression Techniques

FOI MEMO	Datum/Date 2014-03-14	Sida/Page 16 (16)
Titel/Title Komprimering, databaser och stora datamängder		Memo nummer/number FOI Memo 4897

of Mosaiced DOQQ Image Data”, Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung, Band 45

[19] Moore, G. E. (1969) “Cramming more components onto integrated circuits”. Electronics Magazine: 4

[20] Kurzweil, R. (2001) “The law of accelerating returns”. KurzweilAI.net. Web

[21] Walter, C. (2005) “Kryders Law”. Scientific American. Web. 14 Mars 2014



FOI MEMO

Projekt/Project

Sidnr/Page no

Geoinformatik

1 (11)

Projektnummer/Project no Kund/Customer

E54154

FMV

FoT-område

Ledning och MSI

Datum/Date

Memo nummer/number

Mars 2014

FOI Memo 4880

Handläggare/Our reference

Patrik Lif

2D och 3D visualisering

Sändlista/Distribution:

Magnus Stjernberg, FMV.

Helene Rantakokko, FMV.

FOI MEMO	Datum/Date Följande text är sekretessbäddad.	Sida/Page 2 (11)
Titel/Title 2D och 3D visualisering		Memo nummer/number FOI Memo 4880

1 Inledning

Traditionellt så används tvådimensionella (2D) displayer för att presentera visuell information i civila och militära sammanhang. Oftast kompletteras den visuella informationen med auditiv information, i form av t.ex. varningar när systemet indikerar att något är fel. Eftersom mycket information presenteras visuellt, är risken uppenbar att användaren inte klarar att bearbeta eller förstå all information som delges.

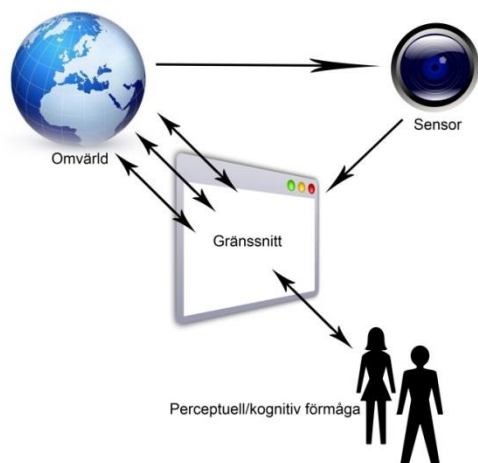
I början av 1980-talet började man använda 2D displayer i flygplan för att öka piloternas situationsmedvetande avseende både det egna och andra flygplans position. Smith and Ellis (1982) upptäckte begränsningar med denna typ av displayer. När piloter upptäckte att de behövde korrigera sin flygrutt för att undvika en kollision så gjorde de det genom att endast ändra riktning (till höger eller vänster), istället för att utnyttja hela luftrummet och även ändra höjd när det var mer effektivt. En 2D display medger att användaren får en relativt bra lägesförståelse av det horisontella eller vertikala planet, men inte båda samtidigt. Det finns exempel där två 2D displayer används samtidigt för att ge användaren information om respektive plan, men problemet att dessa två vyer måste aggregeras kvarstår. Förståelsen riskerar bli lidande och det tar mental kraft att försöka förstå situationen, och i komplexa situationer är det troligen omöjligt att skapa förståelse av flera 2D vyer. Eftersom omvärlden är tredimensionell (3D), så är det naturligtvis mer naturligt att presentera informationen i 3D. För 15 år sedan krävde 3D presentation dyrbara datorer för att kunna klara 3D-grafik, men idag finns det inte något direkt teknikproblem. Däremot kvarstår frågan om hur 3D information ska presenteras i olika sammanhang för att användaren på bästa sätt ska kunna ta till sig informationen. Dessutom är det uppenbart att olika situationer kräver olika lösningar. En pilot som ska flyga ett stridsflygplan kan inte vrida och vända på en 3D modell för att få bättre lägesuppfattning, medan en användare i en analytisk position kan analysera ett 3D bildmaterial mer i detalj.

FOI MEMO	Datum/Date År/Månad/Dag	Sida/Page 3 (11)
Titel/Title 2D och 3D visualisering		Memo nummer/number FOI Memo 4880

2 Teoretisk bakgrund

Perceptionsteori spelar en viktig och avgörande roll vid design av 2D och 3D displayer och kan sägas utgöra en del av grunden för den mer tillämpade forskningen. Debatter och diskussioner om visuell perception sträcker sig tillbaka till de gamla grekerna på 200-300 talet före Kristus. De teorier som idag är mest intressanta, och där det finns en koppling till användandet av 3D displayer är: gestaltteori (Kofka, 1955), informationsprocessteori (Marr, 1982), direkt teori (Bruce, Green & Georgeson, 1996), indirekt teori (Bruce, Green & Georgeson, 1996) och teorier som förenar direkt och indirekt teori (Norman, 2002). Det finns inte här utrymme att beskriva dessa teorier, utan teorierna nämns endast för att påtala att de är viktiga vid design och utveckling av displayer. Det rekommenderas att det finns olika kompetens i ett designteam, så att det finns kompetens om perception och kognition eftersom det annars finns en risk att designa displayer som inte är användarvänliga.

Många forskare utgår från Gibsons ekologiska perspektiv (Gibson, 1979) vid design av displayer. Enligt ett ekologiskt synsätt och det närbesläktade synsättet representationsdesign (Bennett & Flach, 1997) så är det avgörande att ta hänsyn till den verkliga miljön där system används (syftar inte på användarens arbetsmiljö), uppgifter användaren ska utföra, och människans grundläggande perceptuella och kognitiva förmågor. Detta styr designen av den aktuella displayen och kan bl.a. avgöra om det är mest lämpligt att presentera information i 2D eller 3D perspektiv. En annan avgörande del är kvalitén på data som ofta försörjer gränssnittet i både civila och militära sammanhang. I Figur 1 presenteras den ursprungliga idén för representationsdesign, men här modifierad för att poängtera vikten av sensorn och dess kvalitéer. Korrespondens mellan omvärlden och gränssnitt ska säkerställa att rätt information presenteras där den viktigaste informationen i omvärlden måste identifieras och vara kopplat till den aktuella uppgiften. Samstämmigheten mellan användaren och gränssnittet syftar på hur visuell information presenteras och hur användaren processar den kognitivt. Ett vanligt problem är att mycket information presenteras visuellt, vilket gör att risken för att användaren inte kan ta till sig all information ökar. Ett alternativ är att presentera information taktilt (bälte eller väst) och på så sätt avlasta den information som ska processas visuellt.



Figur 1. Interaktion mellan omvärld, gränssnitt, människa och sensor.

Vid bedömning av vilken information som ska presenteras, noggrannhet och t.ex. osäkerhet i informationen (bl.a. under insamling av data) måste kopplas till i vilken situation som informationen ska användas. Representationsdesign kan bl.a. användas för att poängtera värdet av att värderingen av t.ex. 2D och 3D perspektiv presentation alltid måste relateras till användarens perceptuella förmåga, omgivningen där informationen ska nyttjas och även de tekniska möjligheter som finns i den aktuella situationen.

FOI MEMO	Datum/Date 2018-09-10	Sida/Page 4 (11)
Titel/Title 2D och 3D visualisering		Memo nummer/number FOI Memo 4880

3 3D perspektiv presentation

Vid användande av 3D är det som alltid stor vikt att utvärdera positiva och eventuella negativa konsekvenser. Användare är ofta positiva till att använda 3D perspektiv, men det betyder inte nödvändigtvis att det ger bättre prestation. Det är inte helt ovanligt att användare föredrar ett 3D-gränssnitt istället för 2D trots försämrade prestation, vilket kanske inte överraskande eftersom 3D mer liknar verkligheten och därför upplevs mer positivt. När det gäller 3D så är det viktigt att vara medveten om vad man menar. Det finns en rad olika 3D displayer, och begreppsdefinitioner är inte alltid tydliga eller standardiserade. Oftast i militära (och många civila) sammanhang pratar man om 3D perspektiv presentation på en display (Figur 2). Det innebär att en tredimensionell värld avbildas på en 2D display (som i dataspel), vilket inte bör sammanblandas med stereoskopiska displayer där olika bilder presenteras till höger och vänster öga. Fokus här ligger på det som härafter benämns 3D perspektiv displayer.



Figur 2. 3D perspektiv presentation.

3.1 Begränsningar och styrkor med 3D perspektiv

Att synsinnet har vissa begränsningar är ingen nyhet, Fechner (1860) och Weber (1834/1978) upptäckte att avståndsbedömning i djupled skiljer sig från avståndsbedömning horisontellt. Det finns många studier som påtalar problemet med att visuell perception förvrängs (Farber & Rosinski, 1978; Todd, Tittle & Norman, 1995), t.ex. om avseende affin geometri (geometrisk avbildning som bevarar räta linjer) där det påtalas att bedömning av avstånd endast kan relateras längs en och samma axel (x, y eller z). Lind, Bingham & Forsell (2003) anser att synsinnet inte är konstruerat för att göra metriska avståndsbedömningar i 3D-rymden. Ett annat fenomen är att vertikala linjer upplevs vara något längre än horisontella linjer, s.k. vertikal-horisontell illusion (Fineman, 1996). Objekt i omvärlden tenderar att uppfattas för att stämma överens med ett rutnär. Ett potentiellt problem med presentation i 3D är bedömningar i riktning 0, 90, 180, och 270 grader görs snabbare än övriga riktningar, och dessutom upplevs en kurvig väg eller linje som mindre kurvig än vad den i själva verket är (Maki, Maki & Marsh, 1977, Wickens, Hollands, banburry & Parasuraman, 2013). En annan viktig fråga är vilken typ av uppgift som avses. Haskell & Wickens (1993) skiljer på fokuserade och integrerade uppgifter. Fokuserade uppgifter syftar på att endast en variabel bedöms, t.ex. avstånd, medan integrerade uppgifter inkluderar mer komplexa uppgifter såsom ofta är fallet vid militär taktisk bedömning på lägespresentationer där position och hastighet på objekt i 3D-rymden måste beaktas. Det finns vetenskapligt stöd för att bedömning av avstånd mellan t.ex. två punkter

FOI MEMO	Datum/Date not before release	Sida/Page 5 (11)
Titel/Title 2D och 3D visualisering		Memo nummer/number FOI Memo 4880

(fokuserad uppgift) fungerar bäst vid användande av 2D. Vid uppgifter där det handlar om att förstå en komplex 3D värld, hur olika objekt förhåller sig till varandra, taktisk bedömning av en situation, eller lägesförståelse så är 3D perspektiv att föredra framför 2D. Wickens & Hollands (2000) uttrycker följande:

"When information is generated into three dimensions, performance on tasks requiring such integration should improve".

Wickens & Holland 2000, p. 147.

Detta sammanfattar bra hur man kan tänka när det gäller användande av 2D respektive 3D perspektiv. Om det är en uppgift där det är viktigt att förstå en tredimensionell värld så är det att föredra att presentera informationen i tre dimensioner. Om uppgifter innebär att bedöma ett avstånd på karta mellan två punkter, så är en traditionell tvådimensionell karta (på papper eller digital) att föredra.

3.1.1 Användarens arbetssituation

Användarens arbetssituation påverkar hur gränssnittet ska utformas och hur 3D perspektiv bör visualiseras. I militära sammanhang kan arbetsförhållandena vara extrema och som exempel kan nämnas skillnaden mellan en person i stabsfunktion och en pilot. I en stab sitter ofta personen i en kontorsliknande miljö där det finns möjlighet att analysera informationen och eventuellt rotera en 3D modell för att bättre förstå situationen. En strids- eller helikopterpilot arbetar under i en helt annan situation och kan inte interagera med displayen (2D eller 3D) på samma sätt som en stabsmedlem.

FOI MEMO	Datum/Date Följande text är sekretessbäddad.	Sida/Page 6 (11)
Titel/Title 2D och 3D visualisering		Memo nummer/number FOI Memo 4880

4 Visualisering av osäkerhet

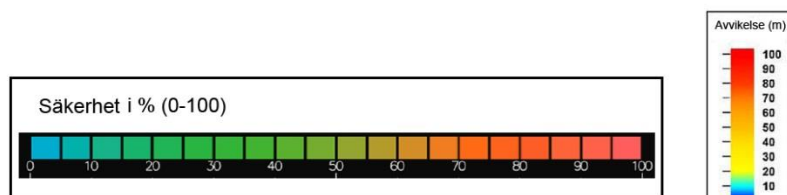
Det finns relativt lite arbete genomfört om dataosäkerhet och hur osäkra data ska visualiseras. Eftersom data visualiseras för en användare som ska tolka informationen så måste informationen kopplas till användaren och de uppgifter han/hon ska utföra (se även kapitel 2). Samma data kan presenteras på flera olika sätt, med olika upplösning, med fokus på olika saker och därmed använda olika visualiseringstekniker. Ofta är det en avvägning mellan upplösning på data och hur snabbt effektivt presentationen kan ske (Ma, Stompel, Bielak, Ghattas & Kim, 2003). Det finns ingen enhetlig accepterad definition av osäkerhet (Pang, 2001), vilket leder till olika statistiska beräkningar av t.ex. variation. Exempel på statistiska mått som används är minimum-maximum, kvalité på data och sannolikhetsestimeringar. Osäkerhet gäller vid insamling, transformation eller beräkningar, och dessa osäkerheter bör ofta visualiseras för att tydliggöras. Alla stegen har osäkerheter, och dessutom är det troligt att osäkerheterna varierar mellan dessa delar. Fokus här ligger på hur visualisering bör göras för att på bästa sätt beskriva aktuellt data och de osäkerheter som finns i data, och man måste samtidigt vara medveten om att valet av visualiseringsmetod påverkar hur användaren tolkar osäkerheter. Som exempel kan nämnas att om en skala (som dessutom kan variera) används så påverkas användarna att tänka utifrån den, och används färg eller suddig text så påverkas användarnas tolkning utifrån det. Detta innebär att valet måste anpassas till den aktuella situationen och att det inte finns en metod som är den bästa i alla situationer.

Nedan beskrivs kortfattat några tekniker för att visualisera data och osäkerhet. Det vanligaste och kanske mest intuitiva sättet är att göra objekt otydliga genom att göra dem suddiga (Figur 3), alternativt mer eller mindre transparenta.



Figur 3. Visualisering av osäkerhet, där säker data visas genom en skarp text och osäker data som suddig text.

Ett annat vanligt sätt att visualisera osäkerhet är genom färgkodning som ofta kombineras med en numerisk diskret eller kontinuerlig skala (Figur 4). Olika enheter kan användas, t.ex. procent säkerhet, spridning i meter (t.ex. standardavvikelse), beroende på vad som passar bäst i den aktuella situationen. Istället för olika färger så kan en färg med olika mättnad, gråskala eller olika mönster användas.



Figur 4. Visualisering av osäkerhet, till vänster i procent med en diskret färgskala och till höger i avvikelse i meter med en kontinuerlig färgskala.

FOI MEMO	Datum/Date Get Office use only	Sida/Page 7 (11)
Titel/Title 2D och 3D visualisering		Memo nummer/number FOI Memo 4880

Andra exempel för att visualisera osäkerhet är med linjer som kan vara tunna och tjocka, men även varieras avseende transparens och huruvida de kopplas samman med andra linjer eller ej när osäkerheten i data ökar. Linjer kan även användas i form av ett rutnät på marken som är mer eller mindre heltäckande och tydligt beroende på hur säker data är. I Tabell 1 visas en sammanställning av några av de faktorer som måste beaktas vid val av visualisering, inklusive visualisering av osäkerhet (Pang, 2001).

Tabell 1. Faktorer att beakta vid val av visualisering.

Typ av användare	Typ av uppgift	Typ av data
Forskare, ingenjörer, läkare.	Analys.	Dimension (1D, 2D eller 3D).
Beslutsfattare etc. i t.ex. ledningssystem.	Övervakning.	Typ (magnitud, riktning eller hastighet).
Erfarna användare i enskilda system (civila eller militära).	Undersökande och sammanställa data.	Antalet variabler som mäts.
Noviser i enskilda system (civila eller militära användare).	För att kommunicera.	Antalet mätpunkter per position. Skaltyper: ordinal, nominal, intervall, kvot.

Tabellen ger endast en översikt över att det finns många parametrar att ta hänsyn till när osäkerhet ska visualiseras. Se även diskussionen ovan om gränssnitt, användare, miljö och sensor (kapitel 2). Detta visar att det ofta är en stor utmaning att anpassa visualiseringen till den aktuella situationen och inte ett beslut som bör ske lättvindigt.

FOI MEMO	Datum/Date Får inte vara sekretessbegränsat	Sida/Page 8 (11)
Titel/Title 2D och 3D visualisering		Memo nummer/number FOI Memo 4880

5 Praktiskt exempel

Här följer ett par praktiska exempel på hur 3D visualisering kan användas i militära situationer. Beskrivningarna görs kortfattat för att detta Memo endast övergripande beskriver den teoretiska bakgrunden avseende 3D och möjliga tillämpningar. För mer detaljerad läsning så hänvisas till referenserna.

5.1 Helikopterexempel

Ett möjligt helikopterscenario där användande av 3D visualisering kan vara att flyga längst en förutbestämd rutt för att undvika hot från marken, och därefter släppa av soldater på förutbestämd plats. Landningen riskerar försvåras av uppvirvlande sand, s.k. brown-out. Soldaternas uppgift är att ta sig till en plats där de ska genomföra spaning mot ett hus, för att senare invisa andra förband. I denna typ av scenario ingår tre sammanhängande men visuellt olika delar (flygning, landning och spaning) som inte nödvändigtvis visualiseras på samma sätt eftersom uppgiften, kraven på upplösning och osäkerhet i data troligen skiljer sig.

5.1.1 Flygrutt

Vid flygning längs en förutbestämd rutt kan det vara lämpligt att visualisera områden som bedöms olämpliga att flyga över, t.ex. genom färglagda 3D-kupoler. Eftersom det finns osäkerheter i data så är det ofta lämpligt att presentera detta. Osäkerhet kan presenteras på många olika sätt, t.ex. genom max-min värden som nedan visas i form av en yttre och inre glob som överlagras (Figur 5) där skillnaden mellan de två globerna visar spridningen, dvs. osäkerheten som finns när informationen samlats in. Färg används i detta fall för att visa olika nivå på hot, på en skala från grönt till rött där grönt är den minst hotfulla medan det röda är det mest hotfulla. Det bör poängteras att detta endast är en exempelbild för att visualisera en möjlighet, och detta på intet sätt ska betraktas som en färdig lösning. För mer information om osäkerhet och visualisering se kapitel 4.



Figur 5. Färgkodade hotområden på en skala från grönt, gult till rött där det röda är det mest hotfulla. Osäkerheten i data visualiseras med ett spridningsmått (i detta fall ej angett) genom två överlagrade glober.

5.1.2 Landningsplats

I samband med landning i komplexa situationer kan det underlätta med en visuell drift display som stöd. Idag finns det sensorinformation (t.ex. radar) som kan hjälpa till vid landning men specifika displayer för att underlätta vid landning i t.ex. brown-out används inte. Exakt vilken information som bör integreras i en sådan display är inte helt klargjort, men att visa helikopters drift och även visualisera hinder i omgivningen är sannolikt två komponenter som bör inkluderas. I denna typ av display så kan troligen en 3D-visualisering underlätta lägesförståelsen och därmed underlätta landningen. Ett forskningsprogram i USA vid namn Sandblaster har tagit fram en display till US Army med fusionerad radar- och redan inlagd terrängdata för att undersöka om den kan underlätta för piloter (Szoboszlay, Turpin and McKinley, 2009). Storbritannien har arbetat på att utveckla en display vid försämrad sikt med 3D perspektiv symboler och

FOI MEMO	Datum/Date not before release	Sida/Page 9 (11)
Titel/Title 2D och 3D visualisering		Memo nummer/number FOI Memo 4880

har i studier visat att den underlättar för piloter (Goff, Ball, Yapp, Pearce & Crawford, 2010). Dessa studier, erfarenheter från deltagande i en NATO grupp (Albery, 2012) visar att användande av 3D symboler och terräng kan vara ett medel för att undvika olyckor med helikopter.

5.2 Invisning av mål

Ett annat område där 3D sannolikt kan användas är vid invisning av indirekt eld. Precis som i andra situationer så kan visualisering med 3D förväntas göra störst nytta där uppgiften så kräver. En situation med indirekt eld på ett öppet fält med plan mark, kräver sannolikt inte 3D visualisering. Däremot en situation med indirekt eld mot ett mål i bebyggelse där det finns andra intilliggande hus och risk för skador på civila föreligger kan visualisering med 3D förväntas ge en positiv effekt. I sådan situation kan 3D ge beslutsfattare en bättre förståelse av miljön och därmed ökad förståelse för eventuella risker. Situationen är dessutom komplex eftersom det är flera personer som interagerar, dvs. en person observerar målet, en annan person från distans fattar beslut om verkan, och en tredje person utför ordern. Detta ställer stora krav på kommunikation och förståelse av situationen, vilket sannolikt kan underlättas med 3D presentation.

5.3 JAS 39 Gripen

I JAS 39 Gripen så presenteras information på fyra olika displayer. Placerad head-up finns siktlinjesindikator (SI), placerad, head-down finns flygdataindikator (FI), taktisk indikator (TI) och multisensor indikator (MI). Idag presenteras den taktiska informationen i två dimensioner med tilläggsinformation av höjd för att skapa en lägesförståelse av luftrummet. Det innebär att användaren måste titta på två displayer för att kunna utläsa en flygfarkosts faktiska geografiska läge. Flygföraren måste först skifta blicken mellan olika displaytor och sedan mentalt väga samman informationen från de båda displayerna, vilket tar både tid och mentala resurser. Ett alternativ är att presentera informationen i tre dimensioner för att på så sätt öka lägesförståelsen, spara tid och minimera arbetsbelastningen. Forskning kring 3D taktisk indikator har pågått under många år (Lif, 2012), men hittills inte resulterat i att en sådan displaylösning implementerats i flygplan. Innan det är möjligt att implementera en 3D display så måste positiva och negativa effekter analyseras noggrant. En anledning till att det idag inte finns en 3D display i stridsflygplan är troligen att det är komplicerat att byta från ett grundkoncept (2D) till ett annat (3D) eftersom displayen måste integreras med hela flygsystemet, vilket är kostsamt. Trots detta så är det troligt att utveckling av en 3D taktisk indikator kommer eftersom det sannolikt ger stora fördelar när det gäller lägesförståelse av luftrummet.

5.4 Strid i bebyggelse

Ibland görs en distinktion mellan strid i bebyggelse som syftar på stadskärnan, och strid i urban miljö som syftar på bebyggelse i städers utkant, t.ex. hamnar och flygfält. Denna typ av strid bör undvikas om möjligt eftersom det ofta kan vara svårt att skilja mellan civilbefolkning och stridande styrkor i städer. Strid i bebyggelse är tredimensionell eftersom hot kan komma från mark och byggnader med olika elevation på ett sätt som oftast inte förekommer i småbruten terräng. Detta gör striden mer dynamisk och ställer stora krav på soldater. Som nämnts innan så är det troligt att 3D visualisering gör nytta speciellt i situationer som är tredimensionella, t.ex. vid strid i bebyggelse. Under framryckning behöver förbandet få en god lägesbild av terrängen för att bl.a. kunna lokalisera platser där fienden kan uppträda. Vid ett anfall så krävs dessutom ofta mer detaljerad förståelse av byggnader eftersom en operation kan innebära inbrytning i en byggnad. Dessutom är det snabba förlopp och korta siktsträckor som gör striden svår. Striden kan ske på gator, under mark i avlopp och inne i hus som kan vara höga och på så sätt ge försvarande sida fördelar. Den som har lokalkännedom har stora fördelar i denna miljö. Eftersom siktlinjer skymms av hus så är det inte uppenbart vad egna och motståndarsidans förband kan se från olika positioner. En 3D modell kan ge information och underlätta siktlinjesberäkningar, vilket kan förbättra spatial lägesförståelse och därmed dessutom förhindra vådabeskjutning av egna soldater.

FOI MEMO	Datum/Date Följande är en översikt.	Sida/Page 10 (11)
Titel/Title 2D och 3D visualisering		Memo nummer/number FOI Memo 4880

6 Sammanfattning

Information kan och bör ibland presenteras i 3D, men när, hur och vad som ska visas är beroende av situationen. Människans perceptuella och kognitiva egenskaper är gränssättande och innebär i vissa fall att viss typ av presentation inte är lämplig, t.ex. att göra metrisk bedömning (dvs. ange avstånd) är i de flesta fall olämpligt. Med kunskap och förståelse om dessa perceptuella begränsningar så kan användaren av ett system förlita sig mer på det tekniska systemets än på egna bedömningar. Sensorer som används för att inhämta information är också gränssättande (men kan visualiseras) och styr vilken typ av information som kan anges med vilken noggrannhet. Arbetssituationen och användarens uppgifter måste analyseras noggrant för att kunna ge honom/henne rätt information för att optimera prestation i aktuell situation. En annan viktig del är hur osäkerheter i data presenteras. Det finns flera tekniker för detta, t.ex. göra information suddig, färgkoda, visa spridning med t.ex. inre och yttre cirklar. Ett praktiskt exempel kan vara att visa färgkodade kupoler med hotområden (se Figur 5). Eftersom det finns osäkerheter i all 3D data, t.ex. all terrängdata så kommer frågan upp vad för osäkerhet som ska visualiseras. Det är troligen inte möjligt att visualisera alla osäkerheter i terrängdata eftersom det blir plottrigt. Uppgiften om vad som är mest relevant måste troligen styras, dvs. i ett fall visualiserar man hotområden och osäkerheter, medan det vid invisning av mål kan vara mest väsentligt att visualisera risker.

En grundförutsättning för att kunna ge konkreta förslag, är som alltid att diskutera med de faktiska användarna av ett aktuellt system för att vidare förstå deras arbetssituation och dessutom komplettera detta med egna observationer och försöksverksamhet. Denna information kan sedan integreras med vetenskaplig kunskap och därifrån kan ett konkret designförslag tas fram för en situation som vidare kan utvärderas med FM personal.

FOI MEMO	Datum/Date datum och utgåvdatum	Sida/Page 11 (11)
Titel/Title 2D och 3D visualisering		Memo nummer/number FOI Memo 4880

7 Referenser

- Albery, W. B. E. (2012). *Rotary-Wing Brownout Mitigation: Technologies and Training*: RTO Technical Report: (TR-HFM-162): NATO.
- Bennett, N., & Flach, J. (1997). Visual Displays. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics* (pp. 659-696). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Bruce, V., Green, P., & Georgeson, M. (1996). *Visual Perception*. Hove, UK: Psychology Press Taylor & Francis group.
- Farber, J., & Rosinski, R. (1978). Geometric transformations of pictured space. *Perception*, 7(3), 269-282.
- Fechner, G. (1860/1966). *Elements of Psychophysics (Translated by Adler, H.E.)* (Vol. 1). New York: Holt, Rinehart, and Winston (Original work published in 1860).
- Fineman, M. (1996). *The Nature of Visual Illusion*. New York: Dover.
- Gibson, J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Goff, C., Ball, A., Yapp, J., Pearce, S., & Ceawford, F. (2010). Developing a 3-D Landing Symbolology Solution for Brownout American Helicopter Society 66th Annual Forum.
- Haskell, I., & Wickens, C. (1993). Two- and Three-Dimensional Displays for Aviation: A Theoretical and Empirical Comparison. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(2), 87-109.
- Lif, P. (2012). The use of 2D and 3D displays in military settings. (Dissertation of Philosophy), Uppsala University. (ISBN 978-91-554-8290-9).
- Lind, M., Bingham, G. P., & Forsell, C. (2003). Metric 3D structure in visualizations. *Information Visualization*, 2, 51-57.
- Ma, K.-L., Stompel, A., Bielak, J., Ghattas, O., & Kim, E. J. (2003). Visualizing Very Large-Scale Earthquake Simulations. Paper presented at the Supercomputing, Phoenix, Arizona, USA.
- Maki, R., Maki, W., & Marsh, L. (1977). Processing locational and orientational information. *Memory & Cognition*, 5, 602-612.
- Marr, D. (1982). *Vision*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Norman, J. (2002). Two visual systems and two theories of perception: An attempt to reconcile the constructivist and ecological approaches. *Behavioral and Brain Sciences*, 25, 73-144.
- Pang, A. (2001). Visualizing Uncertainty in Geo-spatial Data. Paper presented at the Workshop on the Intersection between Geospatial Information Technology.
- Smith, J. D., & Ellis, S. R. (1982). Avoidance maneuvers selected while viewing cockpit traffic displays. *Proceedings of the Human Factors Society 26th Annual Meeting* (pp. 772-776). Santa Monica, USA.
- Szoboszlay, Z., Turpin, T., & McKinley, R. L. (2009). *Symbology for Brown-out Landings: The first simulation for the 3D-LZ Program*. Paper presented at the American Helicopter Society 65th Annual Forum, Grapevine, Texas, USA.
- Todd, J. T., Tittle, J. S., & Norman, J. F. (1995). Distortions of three-dimensional space in the perceptual analysis of motion and stereo. *Perception*, 24(1), 75-86.
- Weber, E. H. (1834/1978). *The Sense of touch (Translated by Ross, H. E.)* New York: Academic Press. (Original work published in 1834).
- Wickens, C. D. & Hollands, J. (2000). *Enginerring Psychology and Human Performance* New York: Prentice Hall.
- Wickens, C. D., Hollands, J., Banburry, S. & Parasuraman, R. (2013). *Engineering Psychology and Human Performance* New York: Pearson Education Inc.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se