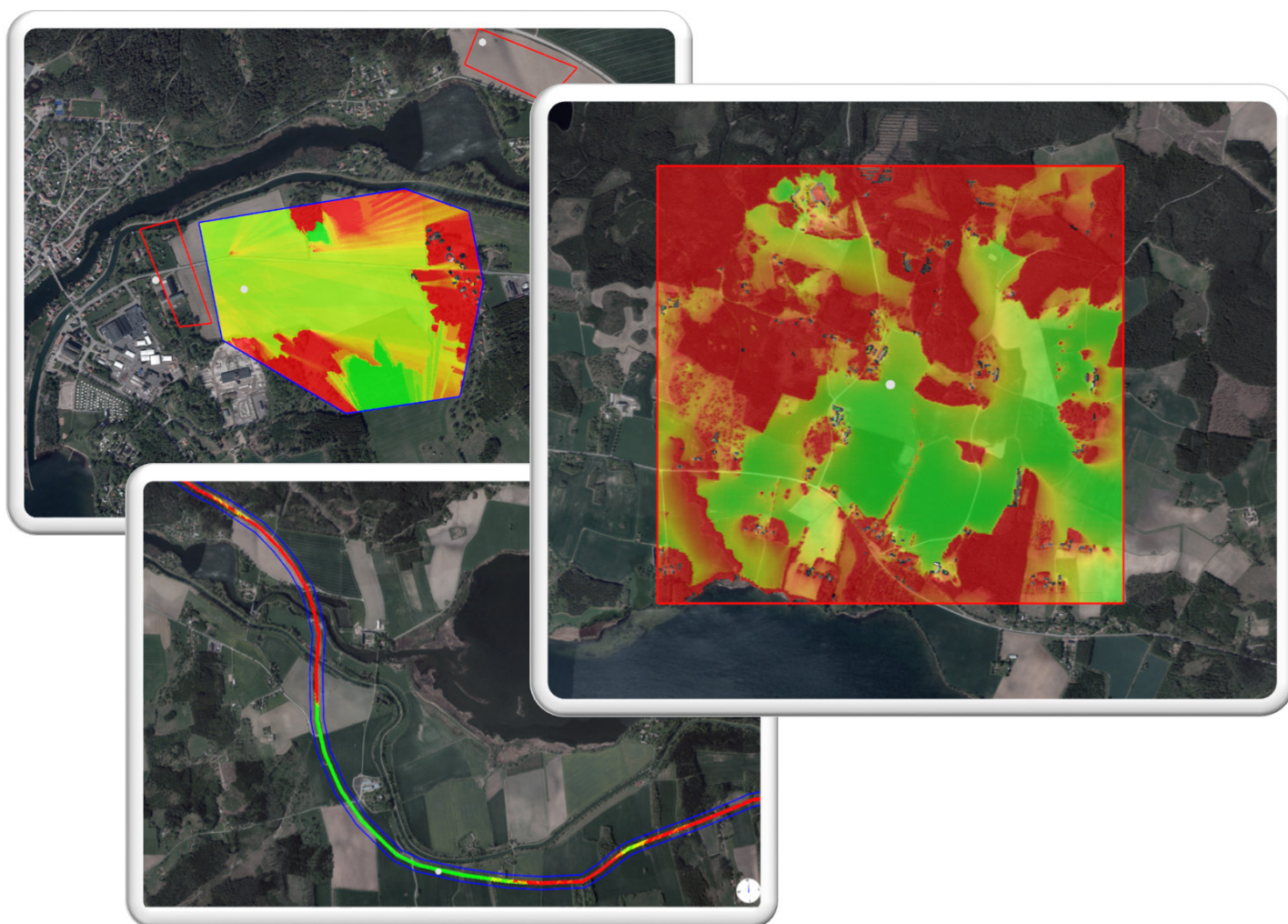


Avancerad Terränganalys för Modellering och Simulering 2018-2020

Slutrapport för projektet ATMOS inom
FoT-område Ledning och MSI

GUSTAV TOLT, BRITTA LEVIN, JOHAN HEDSTRÖM,
VIKTOR DELESKOG, ULF SÖDERMAN, SARA MOLIN



Gustav Tolt, Britta Levin, Johan Hedström, Viktor
Deleskog, Ulf Söderman, Sara Molin

Avancerad Terränganalys för Modellering och Simulering 2018-2020

Slutrapport för projektet ATMOS inom FoT-område Ledning
och MSI

Titel	Avancerad Terränganalys för Modellering och Simulering 2018-2020 – Slutrapport för projektet ATMOS inom FoT- område Ledning och MSI
Title	Advanced Terrain Analysis for Modelling and Simulation 2018-2020
Rapportnr/Report no	FOI-R--5092--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2020
Antal sidor/Pages	35
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Forskningsområde	Ledningsteknologi
FoT-område	Ledning och MSI
Projektnr/Project no	E72886
Godkänd av/Approved by	Johan Allguren
Ansvarig avdelning	Ledningssystem
Exportkontroll	Innehållet är granskat och omfattar ingen information som är underställd exportkontrollagstiftningen

Bild/Cover: FOI

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

Den här rapporten sammanfattar projektet ATMOS (Avancerad Terränganalys för Modellering och Simulering) 2018-2020 inom FoT Ledning och MSI. Målet i ATMOS har varit att utveckla metoder och algoritmer för automatiserad terränganalys i syfte att höja kvaliteten på olika typer av simuleringar och påvisa nyttan med verktyg som ger automatiserat stöd att tolka geografiskt dataunderlag i samband med planering av militära markoperationer.

Inom ATMOS har verktyget ASTERIKS tagits fram som ger användare möjlighet att i realtid analysera terrängen ur olika perspektiv utifrån ett antal valbara parametrar. I en första version har funktionaliteten i ASTERIKS fokuserats på analys av siktförhållanden och fysiskt skydd för att ge stöd för utvärdering av grupperingsplatser och stridsställningar. Verktyget har validerats i ett mindre försök, där planeringssituationen gällde en pluton men användningsområdet är generellt. Försöket genomfördes som en självständig uppgift i kombination med demonstration och intervju. Avsikten var att deltagarna skulle få möjlighet att själva välja lämpliga områden för vidare analys. Uppgiften kan lösas på många olika sätt, och en fullständig utvärdering av systemet skulle krävt ett större antal deltagare och fler försökssituationer än vad som var möjligt att genomföra inom ramen för projektet.

Vidare har en metod för att identifiera alternativ för framryckningsstråk för stridsfordon utvecklats. Metoden nyttjar tidigare framtagna algoritmer för ruttplanering och går ut på att genomföra ett stort antal sökningar varvid mönster framträder som visar möjliga alternativ. Metoden bedöms primärt vara användbar i simuleringssammanhang, för att styra enheter mot taktiskt fördelaktiga terrängpartier och på så sätt minska behovet av manuellt arbete och förbättra möjligheten att framställa stora mängder varierade träningsdata för utveckling av maskininlärningsalgoritmer.

Slutligen har projektet bidragit till att integrera terränganalysfunktioner i simuleringsmotorn NetScene, bl.a. för att ge stöd för utveckling av funktioner för optimal sensorplanering i FOIs Multisensorsimuleringslab (MSSLab), samt i simuleringsramverket FLAMES för att höja kvaliteten på stridssimuleringar på fordonsnivå.

Nyckelord: Terränganalys, geografisk information, simulering.

Summary

This report summarizes the ATMOS project (Advanced Terrain Analysis for Modelling and Simulation) 2018-2020, with in the Swedish Armed Forces' R&D program. The objective of ATMOS has been to develop methods and algorithms for automated terrain analysis aiming at increasing the quality of different types of simulations, and to show the benefits of tools offering automated support to interpret geographical data when planning military ground operations.

Within ATMOS the tool ASTERIKS has been developed, that allows users to analyse the terrain in real-time from different perspectives through a set of variable parameters. In a first version, the functionality of ASTERIKS focuses on analysing visibility conditions and physical cover to support evaluation of vantage points. The tool was validated in an initial round of trials for planning on platoon-level but its applicability is quite general. The trial was conducted as a stand-alone exercise in combination with demonstrations and interviews. The purpose was to give the participants the opportunity to choose suitable terrain areas for closer inspection. The task can be approached in several ways, and a thorough validation of the tool would require a greater number of participants and situations than what was possible to realize within this project.

A method for identifying alternatives regarding avenues of approach for combat vehicles has also been developed. The method uses previously developed path planning algorithms and involves conducting a large number of path searches and aggregating those into a summarizing picture that shows possible alternatives. The method is deemed primarily applicable in simulation contexts, e.g. to direct simulated units towards tactically advantageous terrain, thus reducing the need for manual work in scenario set-up phases, and to produce large quantities of representative training data for development of machine learning algorithms.

The project has also contributed to integrating terrain analysis functions in the NetScene simulation engine, e.g. to support development of functions for optimal sensor planning in FOI Multi Sensor Simulation Lab (MSSLab), and in the FLAMES simulation framework to increase the quality of combat simulations of ground vehicles.

Keywords: Terrain analysis, geographical information, simulation.

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Rapportens upplägg	7
1.2	Projektets syfte	7
1.3	Projektets mål	7
1.4	Nyttan för Försvarsmakten	7
1.5	Fokus och avgränsning.....	8
1.6	Tillvägagångssätt.....	8
2	Terränganalysverktyget ASTERIKS	9
2.1	Plattform och terrängunderlag	9
2.2	Funktionalitet.....	10
3	Validering av terränganalysalgoritmer	15
3.1	Metod	15
3.2	Geografiskt område och kartmateriel	15
3.3	Scenario.....	16
3.4	Planeringsuppgift och demo av ASTERIKS	16
3.5	Resultat.....	17
3.5.1	Område nr 1.....	17
3.5.2	Område nr 2.....	18
3.5.3	Område nr 3.....	20
3.5.4	Område nr 4.....	21
3.5.5	Område nr 5.....	23
3.6	Diskussion och slutsatser	26
4	Integration med simuleringsmotorn NetScene.....	27
4.1	GAL Light.....	27
4.2	Utökad terränganalysförmåga i NetScene	28
5	Stöd att hitta framryckningsstråk	30
5.1	Metod	30
5.2	Resultat och diskussion.....	31
6	Ny kunskap i sammanfattning	33
7	Framtida arbete	35

1 Inledning

Den här rapporten redovisar uppnådda resultat och framkomna slutsatser inom det treåriga FoT-projektet Avancerad Terränganalys för Modellering och Simulering (ATMOS). ATMOS har pågått 2018-2020 och tillhört FoT-området Ledning och MSI.

1.1 Rapportens upplägg

I detta kapitel beskrivs projektet i stort med syfte, mål och inriktning. Kapitel 2 beskriver terränganalysverktyget ASTERIKS som utvecklats för att bl.a. göra prov och försök med validering av terränganalysmetoder. I kapitel 3 redovisas ett försök med verktyget och slutsatser därifrån. I kapitel 4 visas hur delar av projektets resultat har integrerats i simuleringsmotorn NetScene och kapitel 5 beskriver en metod ämnad som stöd för identifiering av kanaliserande terräng och alternativa framryckningsvägar. I kapitel 6 besvaras projektets frågeställningar med utgångspunkt i kunskap som skapats i projektet. Kapitel 7 slutligen beskriver kort några olika verksamheter i vilka resultat från ATMOS väntas komma att användas framöver.

1.2 Projektets syfte

Det överordnade syftet med ATMOS är att förbättra kvaliteten i bedömningar och simuleringar kopplade till militära markinsatser. Projektet vill visa hur nya typer av terränganalyser kan användas för att höja effekten av träning och utveckling samt påvisa värdet av detaljerade och noggranna geografiska data i militära tillämpningar för planering och terrängbedömningar. ATMOS vill också bidra till att höja kvaliteten inom simuleringstillämpningar och att skapa en ökad förståelse för terrängrelaterade möjligheter och problemställningar.

1.3 Projektets mål

Projektets mål är att svara på följande frågeställningar:

- Hur kan olika typer av automatiserade terränganalysfunktioner förbättra kvaliteten hos stridssimuleringar?
- Hur kan automatisk extraktion av terrängegenskaper stödja modellering och simulering av olika enheters beteende?
- Hur kan avancerad terränganalys användas för att stödja bedömanden av möjliga eller troliga framryckningsstråk?
- Kan komplexa automatiska analyser av högupplösta 3D terrängmodeller ge fördelar i spel och bedömanden på stabsnivå?

Dessa diskuteras närmare i kapitel 6.

1.4 Nyttan för Försvarsmakten

Kunskap om hur terrängen bör utnyttjas för att nå övertag gentemot en motståndare är en grundläggande och ofta avgörande faktor för framgång på stridsfältet. De senaste åren har en enorm ökning skett vad gäller tillgång till noggrann och aktuell geografisk information, vilket ökar möjligheterna att göra mer detaljerad planering av militära markinsatser. Exempel på sådant stöd är optimerat val av framryckningsväg och grupperingsplats, samt uppskattning av observations- och verkansområde. Detta kan omsättas till förbättrade möjligheter till rörlighet, skydd av eget förband, informationsinhämtning samt val av utgångspunkt för bekämpning.

Med tillgång till högupplöst och tillförlitlig digital geografisk information (geodata) skapas möjlighet att genomföra avancerade analyser av terrängen. Ökad datorprestanda,

såsom processorkraft, minskar också successivt problematiken kring bearbetning av stora datamängder. För att ta tillvara dessa nya möjligheter behövs dock system som både kan analysera geodata och presentera resultatet.

Genom projektet ATMOS får Försvarsmakten och FMV:

- Bättre förutsättningar att utnyttja simuleringar som stöd i utveckling och värdering av ny förmåga och nya systemkoncept;
- Ökad förmåga att bedriva träningsverksamhet i simulerade miljöer;
- Ökat stöd vid inriktning av framtida verksamhet, utvärdering av nya koncept och framtagande av kravspecifikationer;
- Ökad kunskap kring möjligheter att utnyttja nya typer av geografiska data för analyser och bedömningar.

1.5 Fokus och avgränsning

Terränganalys brukar användas som en sammanfattande benämning på analyser som baseras på geografiska data och syftar till att utvärdera eller ”poängsätta” terrängen utifrån olika egenskaper. I militära sammanhang kan det handla om flera saker, t.ex. att bedöma framkomlighet eller siktförhållanden, identifiera riskområden avseende upptäckt eller bekämpning, identifiera lämpliga framryckningsstråk, samordningslinjer eller kanaliserande terräng, estimerar framryckningshastigheter, hitta vadvägar, samt förutse vilka tänkbara grupperingsplatser som kan vara olämpliga att välja efter en period med kraftigt regn.

Fokus för detta projekt har varit att utveckla automatiska analysmetoder för åskådliggörande av militärt intressanta områden i terrängen, närmare bestämt metoder för att *hitta och värdera möjliga stridsställningar* (terrängpartier varifrån egna markenheter med förväntad fördel kan bekämpa en fiende), samt för att *identifiera tänkbara framryckningsstråk*, områden i terrängen där en motståndare kan förväntas uppträda.

1.6 Tillvägagångssätt

Då projektet är relativt litet har samverkan aktivt sökts med andra projekt för att skapa synergier och mervärden av resultat från ATMOS. ATMOS har strävat efter att materialisera resultat i plattformsberoende programkod för att på så sätt erbjuda något som relativt enkelt kan integreras och anpassas för olika behov. En sådan lösning blir ofta effektivt då den minskar det sammantagna behovet av underhåll av kod och antalet särlösningar. Detta garanterar dessutom att de olika värdtillämpningarnas terränganalys sker på samma sätt; då terrängen ofta utgör spelplanen i olika simuleringar och spel är det viktigt att automatiska terränganalyser görs på ett spårbart sätt så att simuleringar kan kopplas samman, resultat kan aggregeras och värderas sinsemellan på ett trovärdigt sätt. Projektet har byggt vidare på metoder och mjukvara som utvecklats inom projektets föregångare (Terränganalys för simuleringstillämpningar¹) för att därigenom säkerställa att forskningsresultat och mjukvaruverktyg fortlever och vidareutvecklas.

För att i största möjliga mån utnyttja potentialen i den stora ökningen vad gäller tillgång på geografiska data med hög upplösning (<1 m) utnyttjar projektet analysmetoder inspirerade av, och ibland hämtade från, datorgrafiks- och datorspelsområdet, t.ex. för beräkningar av siktanalys med hjälp av strålsparning (eng. ray tracing) och hantering av stora 3D-terrängområden.

Dialog med representanter från Försvarsmakten har förts för att tydliggöra problemställningar och värdera projektets resultat gentemot militära behov och förväntningar, främst med representanter från Markstridsskolan och Ledningsregementet.

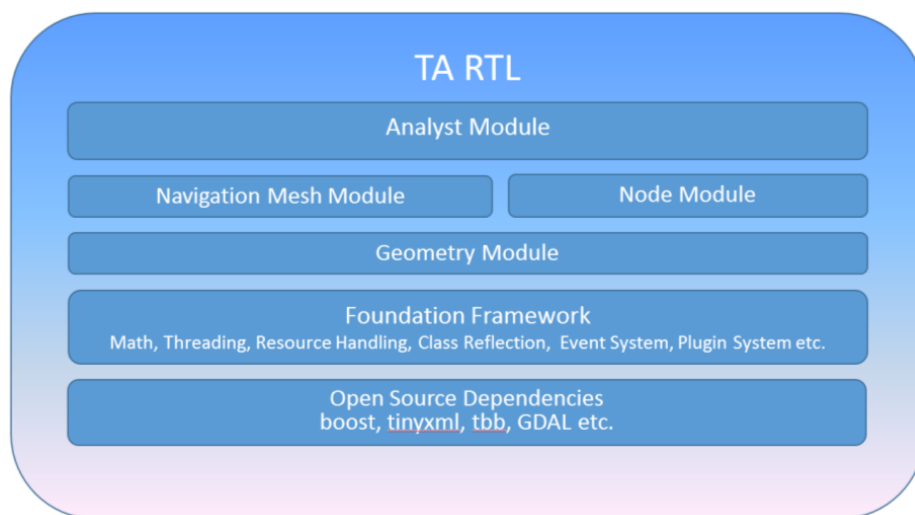
¹ G. Tolt, J. Hedström, P. Follo, ”Terränganalys för simuleringstillämpningar”, FOI-R--4537--SE, 2017

2 Terränganalysverktyget ASTERIKS

För att möjliggöra validering av terränganalysfunktioner tillsammans med användare har ATMOS under 2019 och 2020 tagit fram verktyget *ASTERIKS* – Avancerat Stöd för TERRänganalys I Komplexa Stridsmiljöer. *ASTERIKS* är ett interaktivt laborations- och visualiseringsverktyg i vilket parametrar kan varieras och resultat visualiseras för användare. *ASTERIKS* har kapacitet att i realtid och med automatik analysera stora mängder geografisk information enligt ställda kriterier.

2.1 Plattform och terrängunderlag

ASTERIKS bygger i grunden på mjukvaruplattformen Geo Analysis Library² (GAL) – en samling integrerade mjukvarukomponenter för hantering och analys av flera typer av geografiska data (Figur 1). Syftet med GAL är att samla beräkningseffektiva och stabila funktioner för grundläggande operationer på geografiska data och göra det enklare att utveckla lösningar för specifika tillämpningar, såsom *ASTERIKS*.



Figur 1. Strukturen i Geo Analyst Library (GAL). TA RTL står för Terrain Analysis Runtime Library.

Det geografiska dataunderlaget som *ASTERIKS* utför analyserna på kan varieras efter behov. Grunden utgörs av

- Markhöjdmodell: "Höjddata, grid 2+3" (Lantmäteriet), 2 m upplösning;
- Ythöjdmodell: "Ytmodell från flygbilder⁴" (Lantmäteriet), 50 cm upplösning;
- Markslagsklassning: "Nationella marktäckedata (NMD)⁵" (Naturvårdsverket), ca 10 m upplösning;
- Bakgrundsbilder för visualisering: Flygfoton, satellitbilder och rasterkartor av varierande härkomst och upplösning

De bakomliggande dynamiska datainläsningsfunktionerna i GAL medför att *ASTERIKS* kan hantera data i olika upplösning. Verktöget kan använda ett underlag för beräkningarna

² Se FOI-R--4537--SE. GAL utvecklades inom FoT-projektet TAST (Terränganalys för simuleringstillämpningar) och har underhållits inom projektet ATMOS.

³ <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/geodataprodukter/produktlista/hojddata-grid-2/>

⁴ <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/geodataprodukter/produktlista/ytmodell-fran-flygbilder/>

⁵ <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Kartor/Nationella-Marktackedata-NMD/>

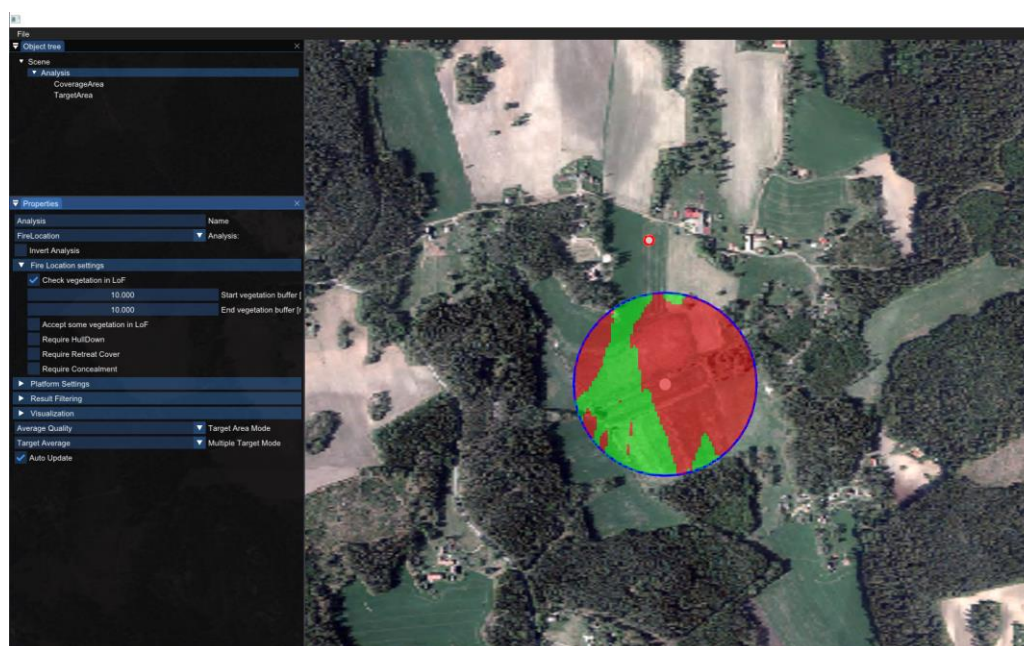
och ett annat för visualisering, t.ex. göra analyser på en maximalt högupplöst 3D-modell och sedan presentera resultatet på en mer lågupplöst form. Detta medger att en dators beräkningsprestanda prioriteras till terränganalysen och kvaliteten på visualiseringen sänkas.

ASTERIKS drar nytta av de mest högupplösta nationella data som finns tillgängliga och räknar i "full 3D" med hänsyn till vegetationsvolymen. Det senare innebär t.ex. för siktanalyser att beräkningsalgoritmerna inte hanterar vegetation som antingen helt genomtränglig eller helt blockerande, utan att sikten är *graderad* beroende på hur långt in i vegetationen ett mål står och på hur tät skogen är. Vi känner inte till något annat verktyg som är uppbyggt på samma sätt, och det skiljer sig i detta avseende markant från hur siktanalyser görs i t.ex. ArcGIS eller SLB i vilka resultatet av en siktberäkning typiskt är binärt (sikt eller inte sikt). Vanligen görs siktanalyser på mer lågupplöst material att inte samma detaljeringsgrad kan uppnås. ASTERIKS nyttjar grafikshortsaccelererade 3D-beräkningsteknik (via stöd från GAL-biblioteket) vilket gör att stora datamängder ofta kan analyseras utan märkbar fördröjning.

2.2 Funktionalitet

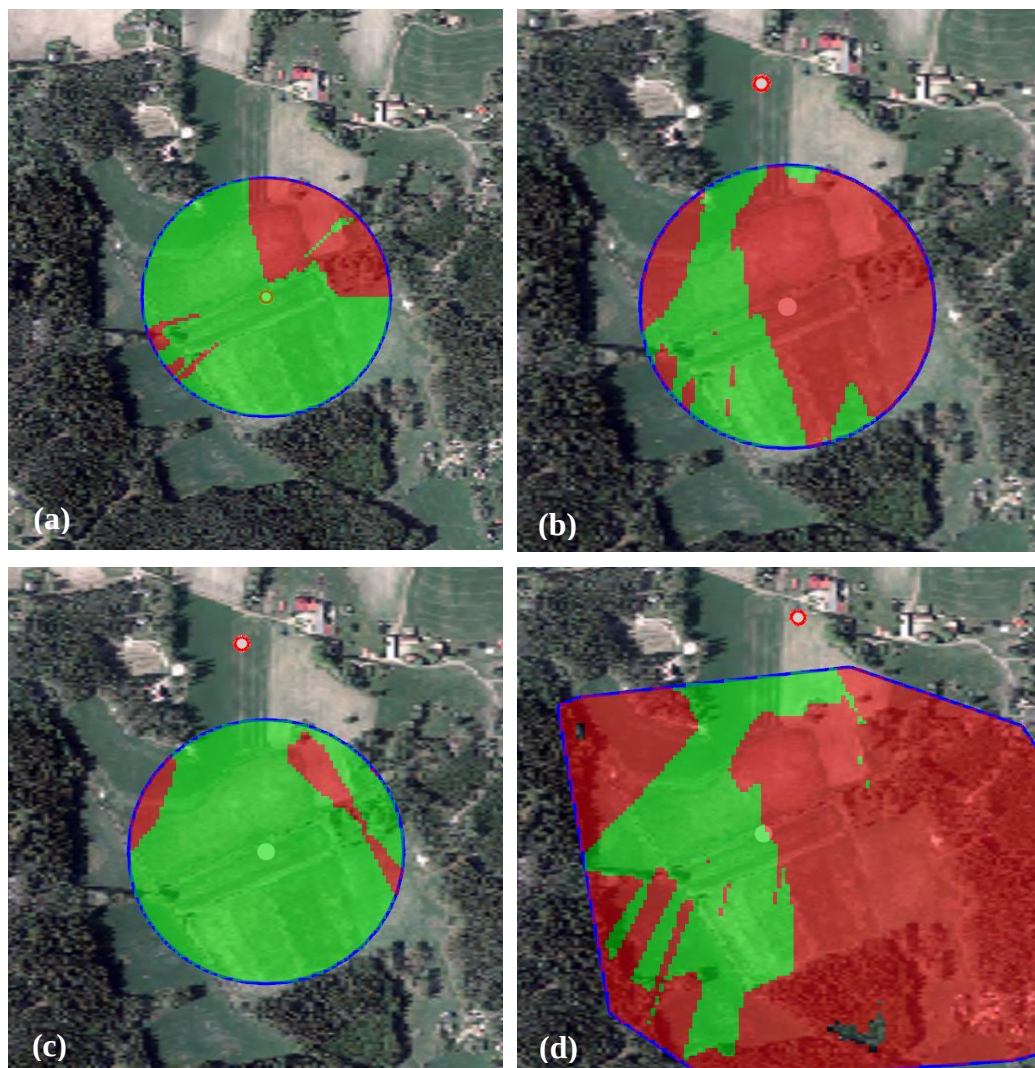
Terränganalysen baseras på ett antal ställda villkor och valbara nivåer på olika parametrar. Genom att ändra villkor och parametrar i realtid går det att se effekten av olika inställningar och få stöd vid tolkningen av det som visas. Gränssnittets layout med det analyserade området inom blå cirkel ses i Figur 2. Resultatet av terränganalysen presenteras i form av transparenta pixlar mot en bakgrund som är valbar. Pixelstorleken kan varieras, för exemplen i detta kapitel valdes 6 x 6 m stora pixlar medan analysen i försöken gjordes med pixlar på 12 x 12 m.

Beräkningen görs på mycket detaljerad nivå vilket innebär att små förändringar av parametrarna kan få stor inverkan på analysen. Resultatet påverkas väsentligen av ansatta egenskaper hos egna såväl som motståndarens enheter. För analysen väsentliga ingångsvärden är också från vilken höjd över marken som egna enheter kan observera och höjden på motståndarens fordon. I aktuellt försök ansattes att egna eldrörs höjd över marken var 2,3 m och att chassihöjden på motståndarens fordon var 1,6 m.



Figur 2. ASTERIKS användargränssnitt med aktuell parameteruppsättning till vänster.

Analysen är upplagd på så sätt att det finns ett analysområde och en intressepunkt eller intresseområde. Färgkodningen är steglös och går från grönt, via gult till rött. Grönt innebär full siktlinje, gult betyder att det finns begränsningar och vid rött kan inte intressepunkten ses från någon del av analysområdet. Såväl analysområde som intressepunkt går att ändra oberoende av varandra, vilket illustreras i Figur 3. Exempelen i kapitlet är framtagna med satellitfoto som bakgrund, men i det genomförda försöket (kapitel 3) användes omväxlande kartbild och satellitbild.



Figur 3. Variation i analysområden.

Figur 3a visar en intressepunkt, med radien 10 m, som befinner sig mitt i det cirkulära analysområdet. Grön färg indikerar de punkter inom cirkeln varifrån det är möjligt att se intressepunkten eller alla punkter inom cirkeln som kan ses från intressepunkten.

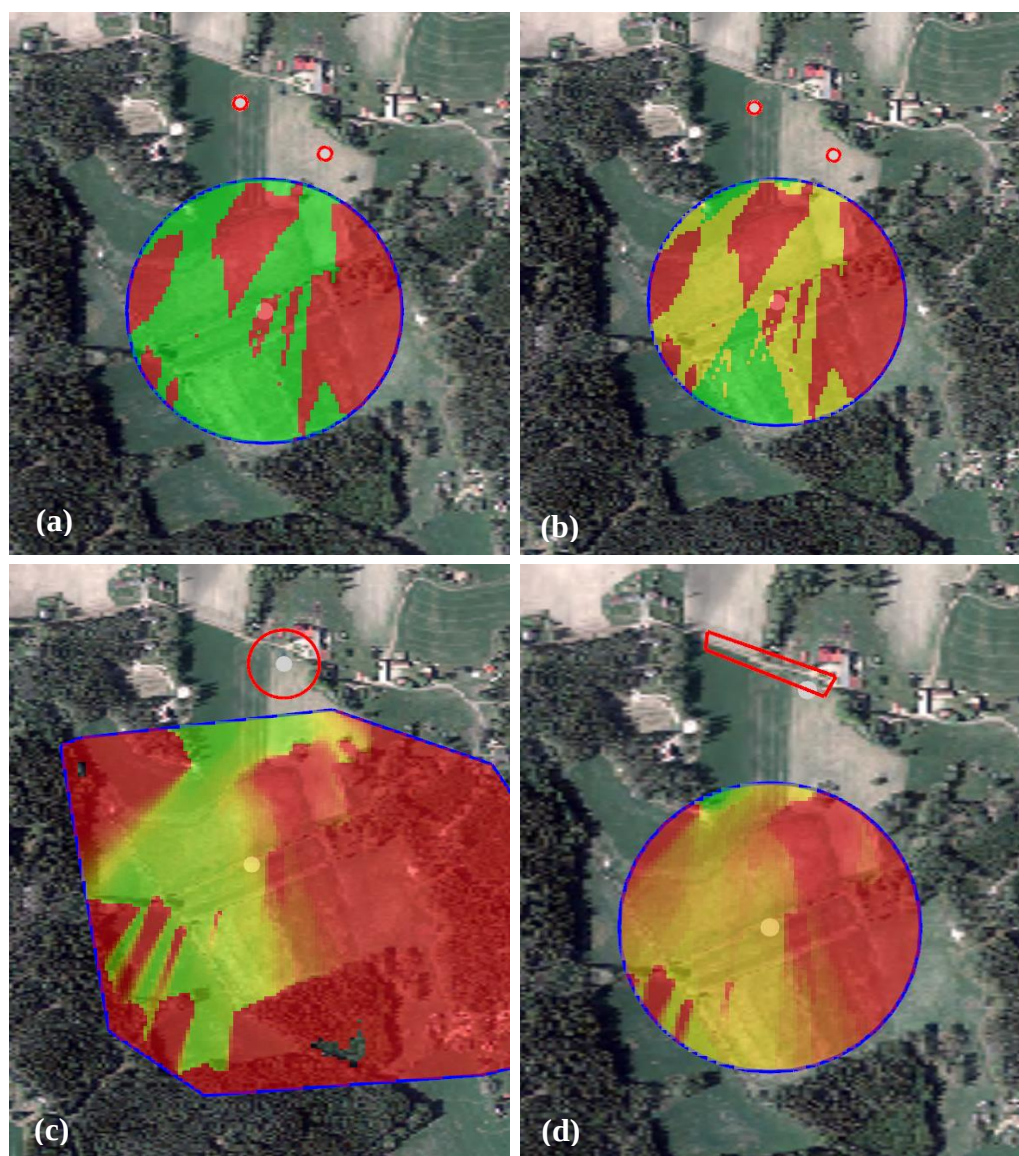
Figur 3b illustrerar ett läge i vilket intressepunkten har flyttats utanför cirkeln. Den nya positionen innebär att möjligheten att se intressepunkten har begränsats avsevärt. I övrigt är tolkningen av färger på samma sätt som i Figur 3a.

Figur 3c visar samma situation som i Figur 3b men i detta fall tar inte analysen hänsyn till vegetationen. Funktionen att koppla till och från villkor såsom presentation av vegetation underlättar förståelsen för vad som är orsaken bakom siktlinjebegränsningar. Analysen

visar i detta fall att det finns vegetation som hindrar fri sikt, vilket kan vara svårt att se på karta såväl som satellitfoto.

Figur 3d ger exempel på analysområde med oregelbunden form och storlek. Områdets form väljs manuellt genom att klicka ut hörnpunkter på kartan.

Arbetsmetodiken är att flytta omkring analysområde och intressepunkter för att undersöka terrängen och komma fram till optimal grupperingsplats. Figur 4 anger även hur antalet intressepunkter kan utökas eller byta form för att underlätta analysen av flera eller sammanhängande hot.



Figur 4. Variation i intressepunkter och intresseområden.

Figur 4a visar två intressepunkter med radien 10 m, som befinner sig strax utanför det cirkulära analysområdet. Grön färg betyder att minst en intressepunkt ses från aktuell punkt i analysområdet, givet aktuella parameterinställningar. Röd färg betyder som förut att ingen intressepunkt är synlig från aktuell punkt i analysområdet.

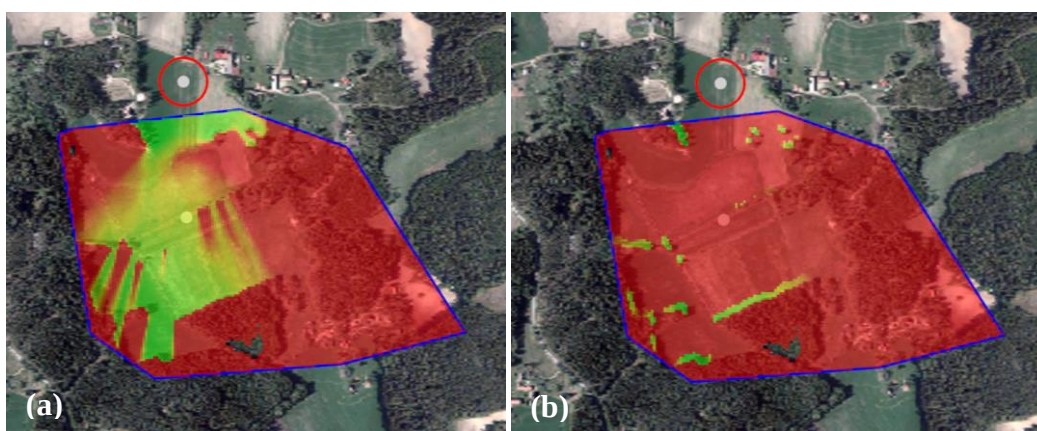
Figur 4b illustrerar samma situation men nu med en inställning som motsvarar medelvärdesbildning. Nu betyder grön färg att båda intressepunkterna kan ses från aktuell

punkt i analysområdet, medan gul färg betyder att enbart en av de två intressepunkterna är synliga. Röd färg betyder som tidigare att ingen av punkterna kan ses.

Figur 4c visar en intressepunkt vars radie har ökat till 55 m. Den ökade storleken innebär att intressepunkten kan bli delvis synbar från delar av analysområdet, vilket indikeras med del gula färgsättningen.

Figur 4d illustrerar ett till storlek och form anpassat intresseområde för en vägsträcka. Att enbart en mycket liten del av analysområdet är grönt betyder att det är mycket få punkter inom analysområdet som kan se hela intresseområdet. Funktionen är till exempel användbar för att få ett helhetsgrepp om en tänkt framryckningsstråk.

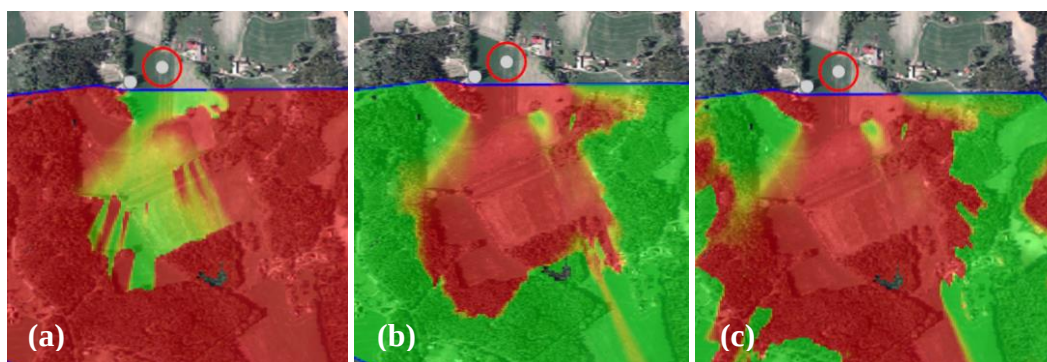
ASTERIKS har också funktionalitet som gör det möjligt att inkludera tillgång till skydd i analysen. Det kan röra sig om minskad sannolikhet för upptäckt genom kamouflage i form av vegetation (se Figur 5) eller möjlighet att backa tillbaka till position som ger fysiskt skydd genom terrängens utformning (se Figur 6).



Figur 5. Tillgång till kamouflage från vegetation.

Figur 5a anger *siktförhållanden* inom ett utvalt analysområde med samma färgindikering som tidigare.

Figur 5b illustrerar situationen när villkoret *tillgång till skydd i form av kamouflage* lagts till. Skyddet innebär att egna enheter blir mer svårupptäckta genom att stå placerade framför eller i växtlighet. Grön färg betyder i detta fall att det just där finns tillgång till vegetation, som är högre än fordonet, upp till 10 m bakom analyspunkten.



Figur 6. Tillgång till skydd från vegetation och terrängformationer.

Figur 6a anger *siktförhållanden* inom ett utvalt analysområde med samma färgindikering som tidigare (grön/gul/röd – full/partiell/ingen sikt).

Figur 6b illustrerar situationen när villkoret istället är *tillgång till skydd från vegetation och terrängformationer*. Grön färg betyder i detta fall att finns skydd från direkteld och att vegetationen är tillräckligt tjock för att bedömas ge fysiskt skydd. Vilket skydd vegetation ger kan varieras som en parameter i analysen.

Figur 6c visar läget för villkoret *enbart tillgång till skydd från terrängformationer*, dvs att vegetationen inte anses ge nämnvärt skydd.

Det går att variera både arbetsmetod och betraktelsesätt vid undersökning av lämplig grupperingsplats. Endera kan analysområdet flyttas omkring för att söka lämplig grupperingsplats mot motståndarens tänkta placering/framryckningsstråk eller så flyttas intressepunkterna omkring för att söka optimal placering mot många möjliga placeringar/framryckningsstråk. Det omvända betraktelsesättet innebär att intressepunkterna istället används för att ange och placera ut egna enheter. För denna användning är det viktigt att nyttja relevanta parametrar, dvs. att om så krävs ställa om vagnshöjden för intressepunkten så att den motsvarar data för egna enheter.

3 Validering av terränganalysalgoritmer

I ATMOS-projektet har under 2020 ett första försök genomförts för att undersöka och med hjälp av ASTERIKS exemplifiera vilka taktiska fördelar som kan uppnås med stödsystem baserade på högupplösta digitala terrängdata. Syftet med försöket var att mer i detalj undersöka nyttan med den föreslagna terränganalysen i samband med planering av militära operationer och få konkreta exempel på situationer i vilka verktyget kan användas för att komma till nya insikter eller få hypoteser bekräftade.

Tidigare studerade användningsområden för högupplöst geodata har rört applikationer relaterat till optimering av vägval. Denna inriktning rörde möjligheten till att *optimera förutsättningarna för val av grupperingsplats för en stridsvagnspluton utifrån förmågan att bekämpa samtidigt som terrängen erbjuder visst skydd*.

Den övergripande frågeställningen kan brytas ner i ett antal delfrågor:

- Vad kan terränganalys baserat på högupplöst digital geodata bidra med vid val av grupperingsplats?
- Vilka typer av analyser är intressanta?
- I vilka skeden förväntas analysen göra nytta?
- Vem bör ha tillgång till analysmöjligheterna?
- Hur ska ett gränssnitt utformas för att tillvarata den informationsmängd som finns i geodata?

För att försöka svara på dessa frågor togs en försöksuppställning fram som baserades på jämförelse mellan information från papperskarta, analys av digitala data och erfarenheter från kontroller av faktiska förhållanden på några platser i terrängen. Försöket utformades som en kortare planering med hjälp av papperskarta följt av en interaktiv demonstration i ASTERIKS kombination med intervjufrågor. Eftersom ASTERIKS användargränssnitt inte är explicit framtaget ur ett användbarhetsperspektiv gav det inte stöd för att närmare analysera frågan om gränssnittsutformning.

3.1 Metod

Uppgiften började med att deltagarna fick ta del av förutsättningarna i form av scenario och kartunderlag. Därefter instruerades deltagarna att försöka bortse från osäkerheten i motståndarens val av framryckningsväg och mer förutsättningslöst välja ut tre lämpliga grupperingsplatser för egen styrka i form av en stridsvagnspluton. När planeringen var klar undersöktes de utvalda grupperingsplatserna i verktyget ASTERIKS. Uppgiften genomfördes individuellt av två deltagare med relevant bakgrund från tjänstgöring i Försvarsmakten.

3.2 Geografiskt område och kartmateriel

Det valda geografiska området ligger strax norr om Linköping med bredden 27,5 km och höjden 16,5 km. Området valdes utefter ett flertal kriterier för att det skulle:

- vara tillräckligt stort för att medge valmöjlighet med avseende på grupperingsplatser,
- innehålla för Sverige representativ terräng,
- innehålla varierande terräng som medger god möjlighet att demonstrera verktygets olika funktioner,
- vara avståndsmässigt rimligt att åka ut till platsen från Linköping.

Kartunderlaget var hämtat från Nationell Militär Kartserie (NMK) och baserat på informationsmängden i kartor med skala 1:50000 respektive 1:100000. Från detta underlag

skrevs två olika papperskartor ut i A1-format med skala 1:33000, dvs. 3 cm på kartan motsvarade 1 km i verkligheten. Deltagarna fick själva avgöra vilken papperskarta som var bäst lämpad för planeringen.

3.3 Scenario

Det bedömdes inte nödvändigt att ta fram ett komplext scenario med välutvecklad realism och taktisk finess för att generera de situationer som behövdes för försöksverksamheten. Därför minimerades kontexten och beskrivningen begränsades till att omfatta en mycket kortfattad statisk scenariobeskrivning. Bortsett från själva planeringsuppgiften var scenariots innehåll och taktiska riktighet således av underordnad betydelse. Fokus var på val av grupperingsplats för egna enheter givet de förutsättningar som gavs.

Scenariobeskrivning:

”Säkerhetsläget är osäkert, det finns fientliga styrkor på flera platser i Mälardalen och Östra Götaland. Efter flera sammandrabbningar har de egna styrkorna dragit sig tillbaka till en linje strax öster om Vättern. Det har nu inkommit rapporter om fientlig verksamhet i ett område ca 8 km nordost om Roxenbaden, såsom visas i Figur 7. Observationerna gäller en UAV, luftlandsättning av bedömt plutons storlek, en stridsvagnspluton och en mekaniserad pluton. Vid observationen rörde sig fordonen i riktning västerut. Bedömningen är att dessa styrkor avser fortsätta i riktning mot Kvarn. Du har en stridsvagnspluton till förfogande och behöver hitta en lämplig plats för att skapa en förberedd eldställning.”



Figur 7. Utvalt geografiskt område norr om Linköping.

3.4 Planeringsuppgift och demo av ASTERIKS

Deltagarna instruerades att inta en planeringsroll och föreställa sig att de hade i uppgift att välja lämplig grupperingsplats för en stridsvagnspluton. Avsikten var att etablera en förberedd stridsställning med fokus på möjligheten att få ut stridsavstånd och eget skydd med hjälp av terrängen. Deltagarna valde själva att inkludera annan taktisk hänsyn, såsom tillgång till minering och omgrupperings- och urdragningsvägar. De uppmuntrades att tänka högt under planeringen och redogöra för sina val. I uppgiften ingick att välja ut tre möjliga grupperingsplatser och rangordna dessa utifrån hur pass bedömt lyckade de var sett till den tänkta stridsuppgiften. Planeringsuppgiften tog 20 till 25 minuter i anspråk.

När planeringen var genomförd fick deltagarna en kortare introduktion till ASTERIKS funktionalitet och användargränssnitt. Demonstrationen omfattade utvald och relevant funktionalitet i ASTERIKS som i omfattning motsvarade den beskrivning som gavs i kapitel 2.

Sista momentet bestod i att med hjälp av ASTERIKS systematiskt analysera alla valda grupperingsplatser. Avsikten var att undersöka om uppfattningen från planeringen stämde med den bild som verktyget gav av grupperingsplatsen. Ett syfte var också att visa andra typer av analyser som är möjliga vid tillgång till högupplösta digitala geodata. Total tid för försöket var två timmar.

3.5 Resultat

Deltagarna valde att planera på den karta vars underlag kom från 1:50000-delen, dvs. det mer detaljerade underlaget. De valde att utveckla uppgiften genom att lägga till några taktiska randvillkor såsom att det skulle gå att ta sig till och från platsen, lägga ut minor för att förhindra att motståndaren följer efter och att växelvis röra sig bakåt. Grupperingsplatserna valdes med samma grundkriterier (möjlighet att få ut längre sikt/skjutavstånd, bekämpa från flanken samt att dra sig ur växelvis) men förutsättningarna varierade från plats till plats. De utvalda terrängavsnitten studerades därefter med hjälp av verktyget ASTERIKS för att se om deltagarnas antaganden om platserna stämde. I de flesta fall föranledde analysen skäl för deltagarna att omvärdera sin initiala uppfattning.

Nedan redovisas resultatet av planeringen, dvs. utvalda platser och tänkt gruppering på kartan, följt av den analys som gjordes med verktyget. Det redovisade resultatet är beräknat mot en pixelstorlek om 4 m.

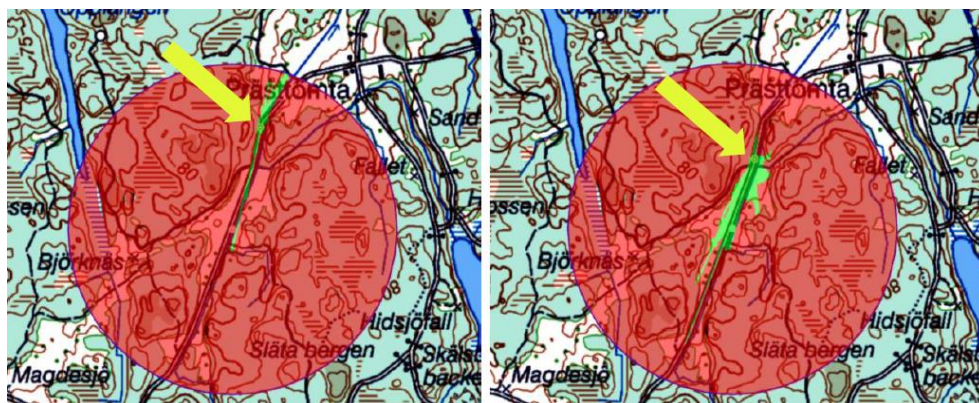
3.5.1 Område nr 1



Figur 8. Vald grupperingsplats för pluton i nedre delen av förmodat öppet område.

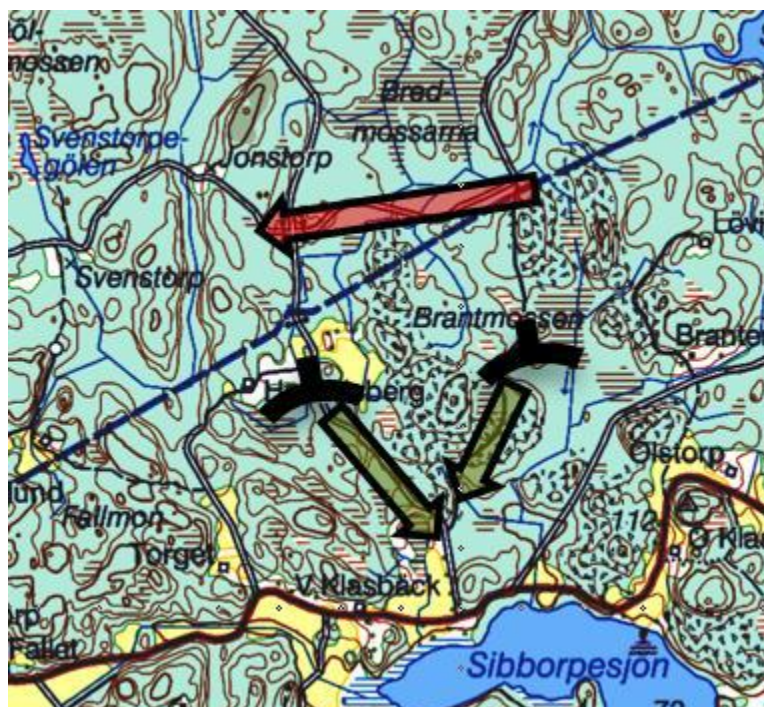
Detta område rangordnades lågt eftersom det inte är optimalt att bekämpa motståndarens vagnar framifrån. Terrängen, se den röda pilens spets i Figur 8, tvingar motståndaren att följa en viss framryckningsväg, men döljer samtidigt själva framryckningen.

Av Figur 9 framgår att intressepunkten, dvs. motståndarens vagn, behövde komma längre ner (närmare de egna vagnarna) än avsett för att det skulle gå att bekämpa från någon del av den planerade egna grupperingen.



Figur 9. Gul pil indikerar intressepunkten, dvs. motståndarens vagn. Grön färg visar fri sikt som tidigare beskrivits.

3.5.2 Område nr 2

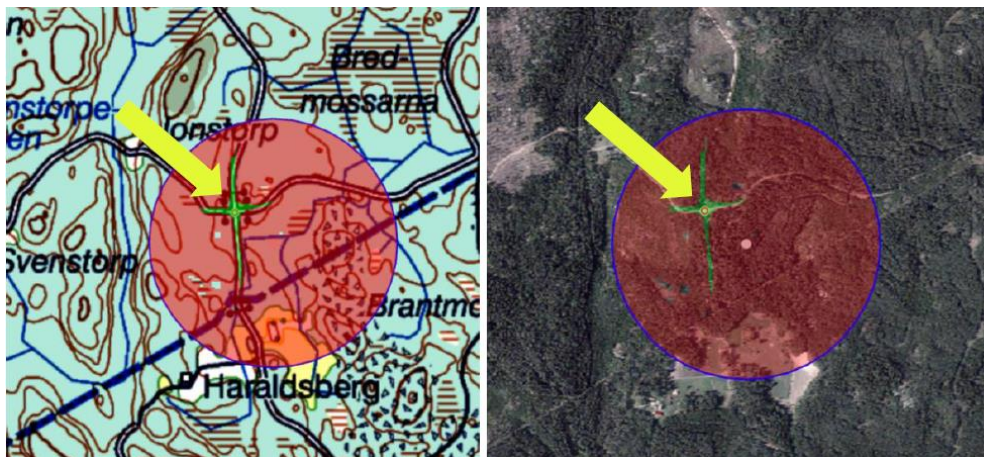


Figur 10. Gruppering valt för att kunna bekämpa från sidan och samtidigt vara dold av terrängen.

Detta område var bland annat valt utifrån möjligheten att arbeta med minering för att tvinga fram ett visst beteende hos motståndaren.

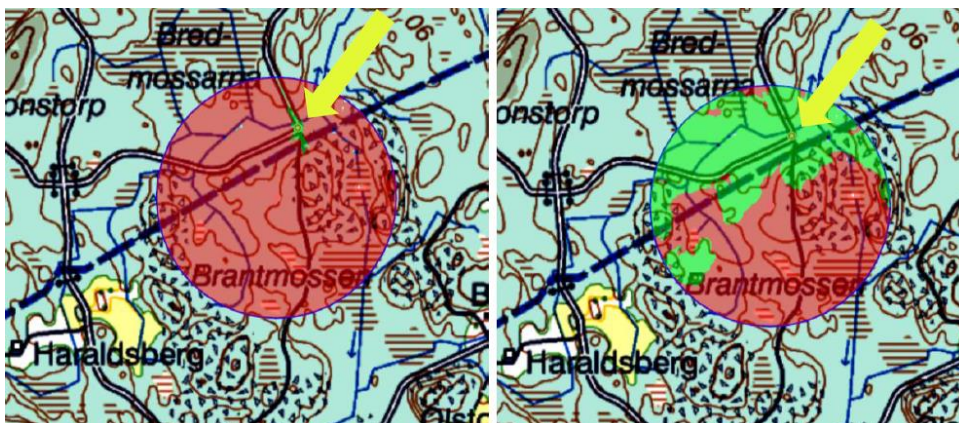
Figur 10 visar hur de egna vagnarna förväntades vara dolda av terrängen samtidigt som de befann sig i en position där de kunde bekämpa från sidan. De förmodade skjutavstånden var 600 m (vänster) respektive 500 m.

Analysen med ASTERIKS avslöjade att ingen av vägarna var ett lämpligt alternativ för gruppering. De var varken så raka eller öppna som kartan antydde. För att uppnå fri sikt på den vänstra vägen skulle de egna vagnarna behövt flyttas fram 300 m närmare korsningen, se Figur 11.



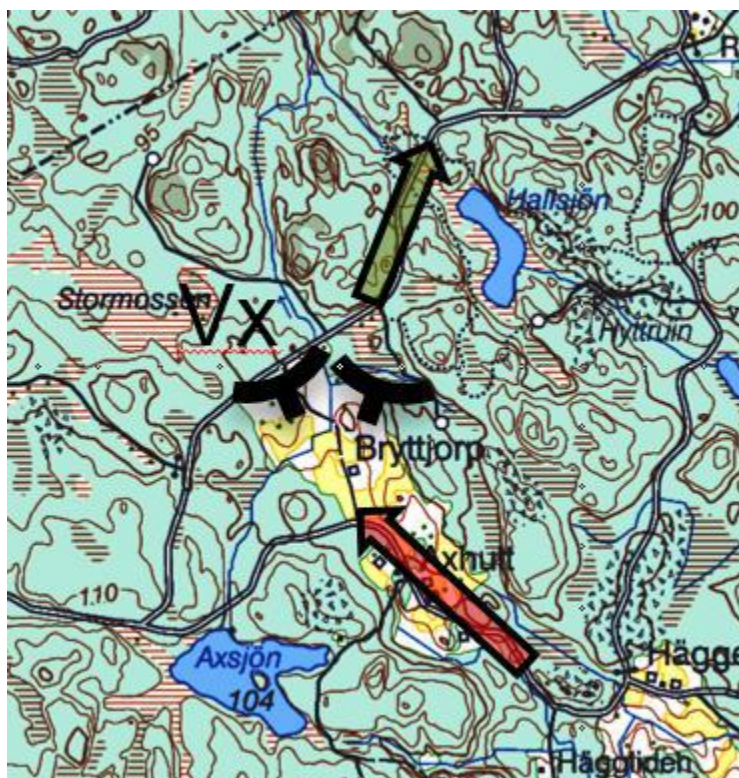
Figur 11. Vänster grupperingsplats. Gul pil indikerar intressepunkten, dvs. motståndarens vagn.

För den högra vägen var situationen ännu svårare. Som framgår av Figur 12 var sikten runt korsningen mycket begränsad, vilket söderifrån framförallt orsakades av terrängformationer.



Figur 12. Höger grupperingsplats. Gul pil indikerar intressepunkten, dvs. motståndarens vagn. I vänster bild betyder grön färg fri sikt med hänsyn taget till terräng medan höger bild visar fri sikt utan terräng.

3.5.3 Område nr 3

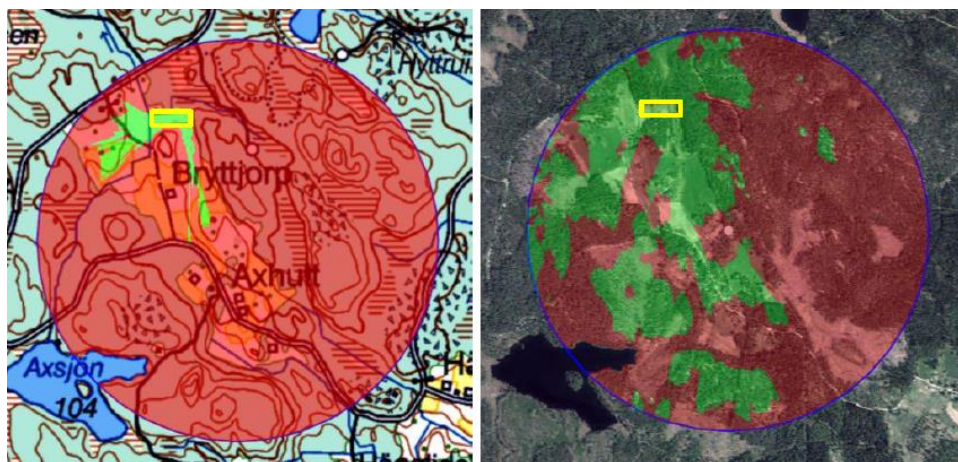


Figur 13. Gruppering vald för att kunna bekämpa från flanken och få ut längre skjutavstånd.

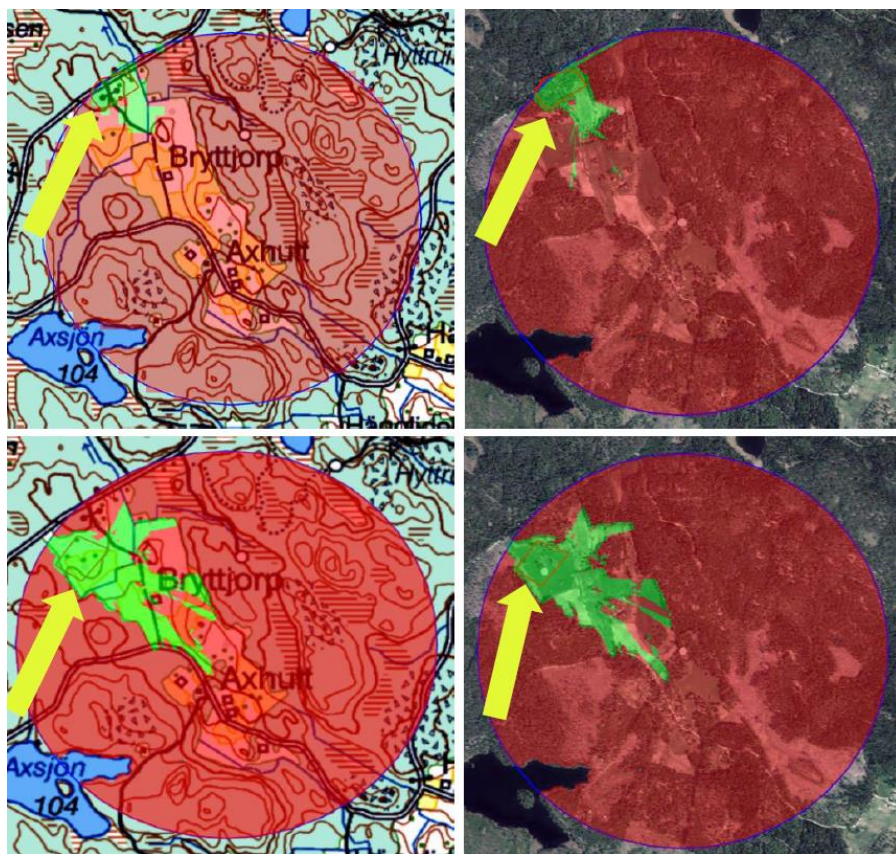
Området var valt utifrån kriteriet att det skulle gå att bekämpa motståndaren när denne framrycker längs en väg såsom framgår av Figur 13.

Undersökning med ASTERIKS visade att ingen av de utvalda grupperingsplatserna var lämplig. Den vänstra bilden i Figur 14 visar att det inte gick att se vägen från grupperingsplatsen. Den främsta orsaken visade sig vara skyl i form av vegetation. Detta framgår av den högra bilden där vegetationen inte är med i beräkningen.

Av de övre bilderna i Figur 15 framgår att planeringen ledde till att den andra grupperingsplatsen (Vx) hamnade i skog varvid siktältet blev mycket begränsat. De nedre bilderna visar att läget förbättras avsevärt om grupperingsplatsen förflyttas något, men möjligheten att bekämpa fordon längs vägen är fortsatt klart begränsad.

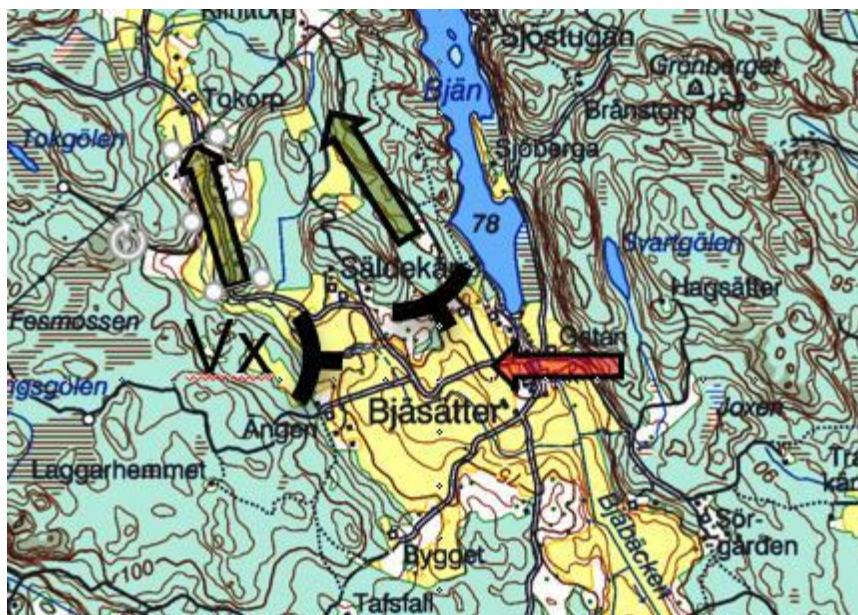


Figur 14. Höger grupperingsplats. Gul ruta indikerar egen tänkt grupperingsplats.



Figur 15. Vänster grupperingsplats. Gul pil indikerar intresseområdet, i det här fallet tänkt område för den egna grupperingen.

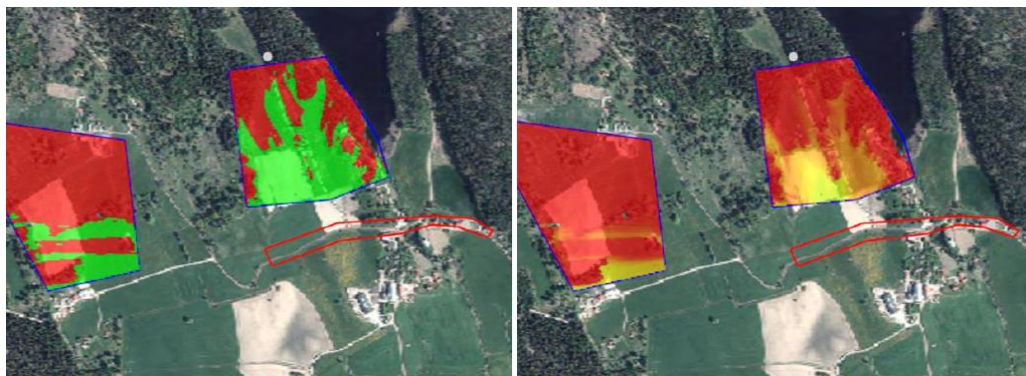
3.5.4 Område nr 4



Figur 16. Gruppering vald för att kunna bekämpa från flanken och få ut längre skjutavstånd.

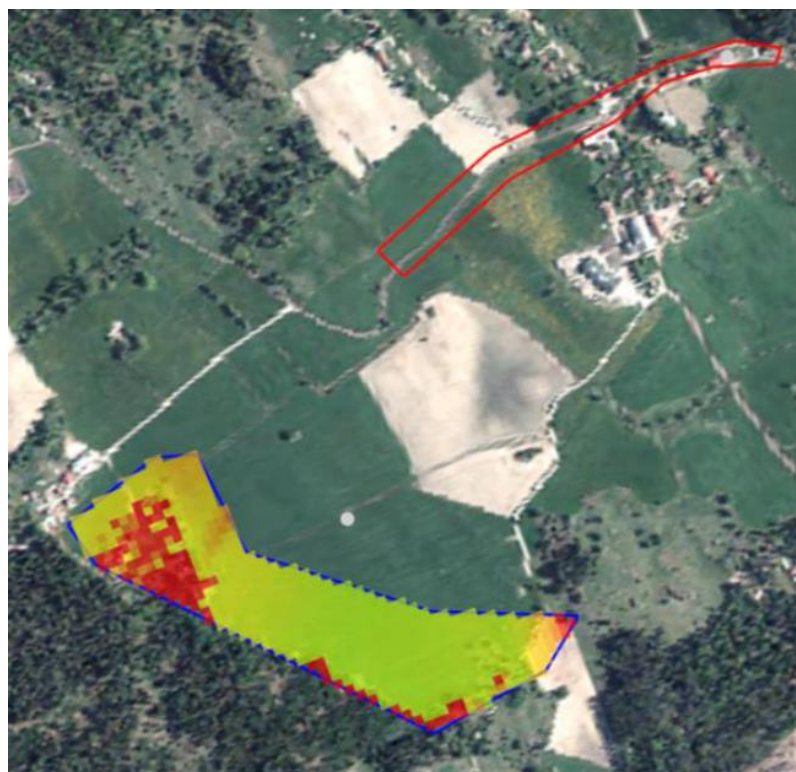
Området var valt utifrån kriteriet att det skulle gå att bekämpa motståndaren när denne framrycker längs vägen. Analysen gjordes samtidigt mot de båda planerade grupperingsplatserna (Figur 16).

Två varianter av analys presenteras i Figur 17. Intresseområdet, dvs. motståndarens tänkta framryckningsstråk, indikeras av det röda område som omsluter vägen i figuren. Den vänstra bilden visar grönt där *någon del av intresseområdet är synligt* från respektive punkt i analysområdet, vilket ger många möjliga grupperingsplatser. Den högra bilden visar istället *medelvärdet för siktlinjer mot intresseområdet*, dvs. gul färg betyder att ungefär halva vägsnittet är synligt från respektive punkt och röd färg att ingen eller en väldigt liten del av vägen är synlig. Med det senare kriteriet blir inte de tänkta grupperingsplatserna lika fördelaktiga.

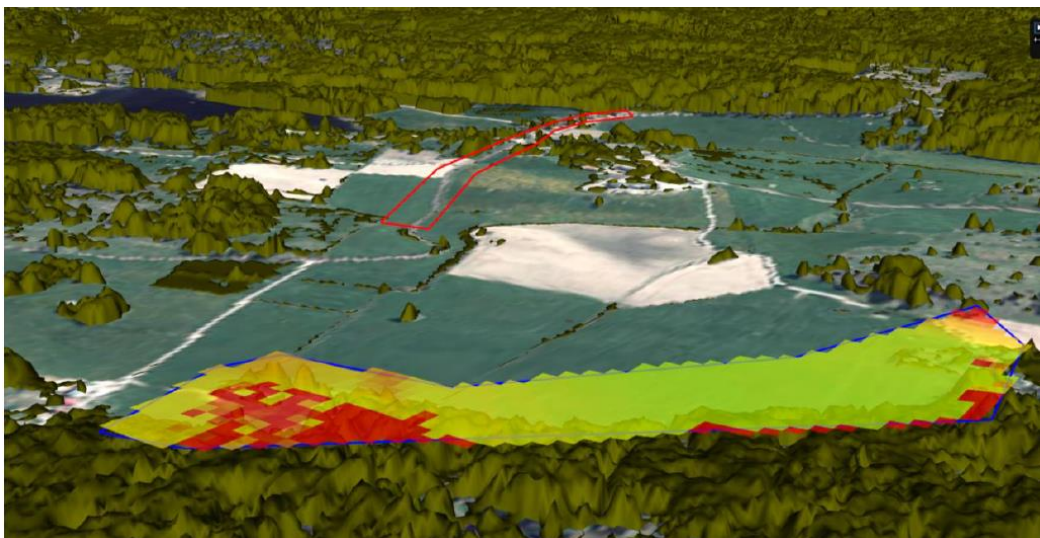


Figur 17. Analys av valda grupperingsplatser med olika analyskriterier.

Den öppna platsen såg dock ut att erbjuda andra alternativ, vilket föranledde en sökning efter möjliga grupperingsplatser i den södra delen av samma geografiska område. Figur 18 visar resultatet av analysen för ett intresseområde strax framför skogskanten. En del av området i den vänstra delen visas med rött, vilket inte hade förväntats eftersom det rör sig om brukad jordbruksmark. Förklaringen är att siktlinjen begränsas av en mindre samling träd, vilket dels framgår av 3D-vyn i Figur 19 och vid en närmare granskning av Figur 17.

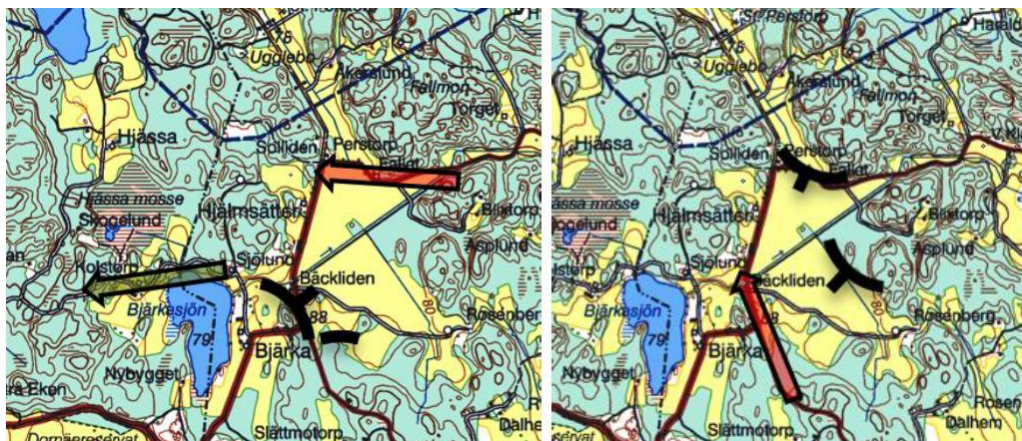


Figur 18. Ny möjlig grupperingsplats vald med hjälp av ASTERIKS.



Figur 19. I vissa fall bidrar 3D-vyn till att förtydliga höjdförhållanden som begränsar siktlinjen.

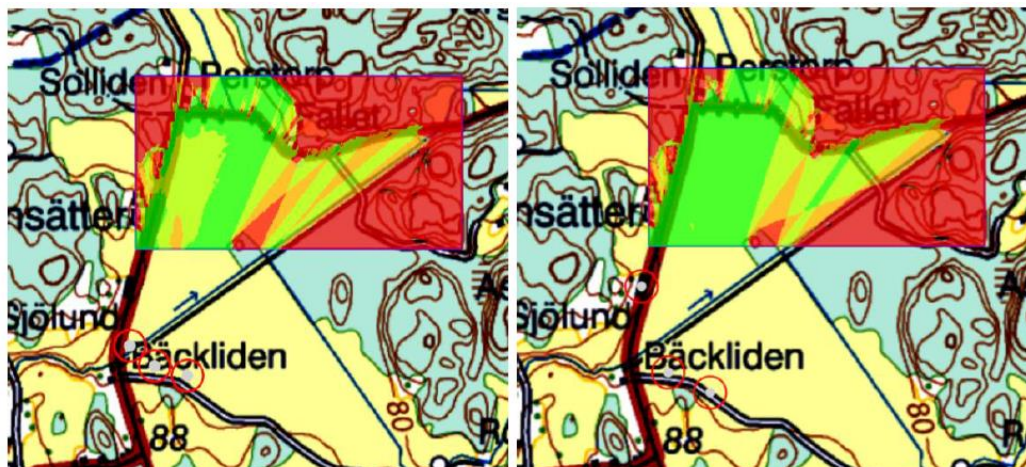
3.5.5 Område nr 5



Figur 20. Respektive deltagares val av grupperingsplats med kriterierna möjlighet att få ut längre skjutavstånd och att kunna skjuta från flanken.

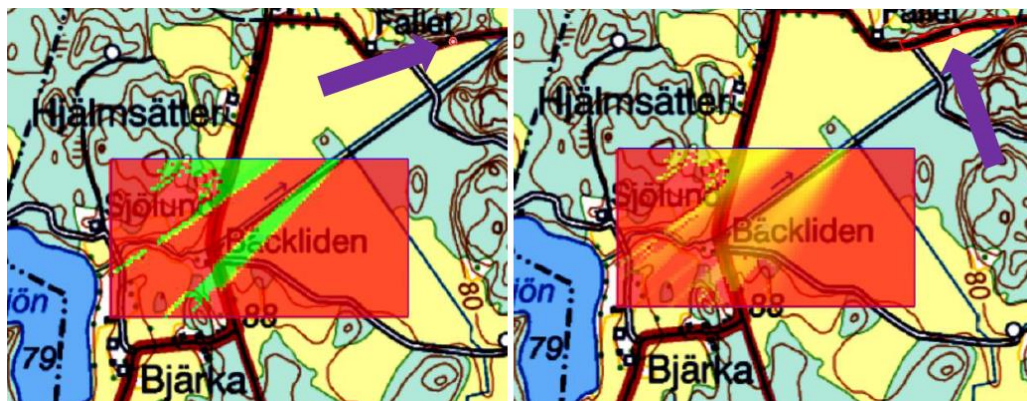
Båda deltagarna valde att gruppera sin pluton vid samma öppna fält men på var sin sida, såsom framgår av Figur 20. Vid den efterföljande analysen med ASTERIKS visade sig den vänstra planeringen bli som förväntat medan den högra inte alls uppfyllde behoven.

För analysen av det vänstra området i Figur 20 placerades tre egna vagnar ut i plutonens avsedda position. Vagnarna motsvaras av intresspunkterna i Figur 21, dvs. de röda cirkelarna som i detta fall ökats till radien 50 m. I den vänstra bilden ses att grupperingen inte är optimal sett till möjligheten att se större delar av vägen. Om en vagn flyttas till en annan position, som kan ses i högra bilden, ökar förutsättningarna betydligt.



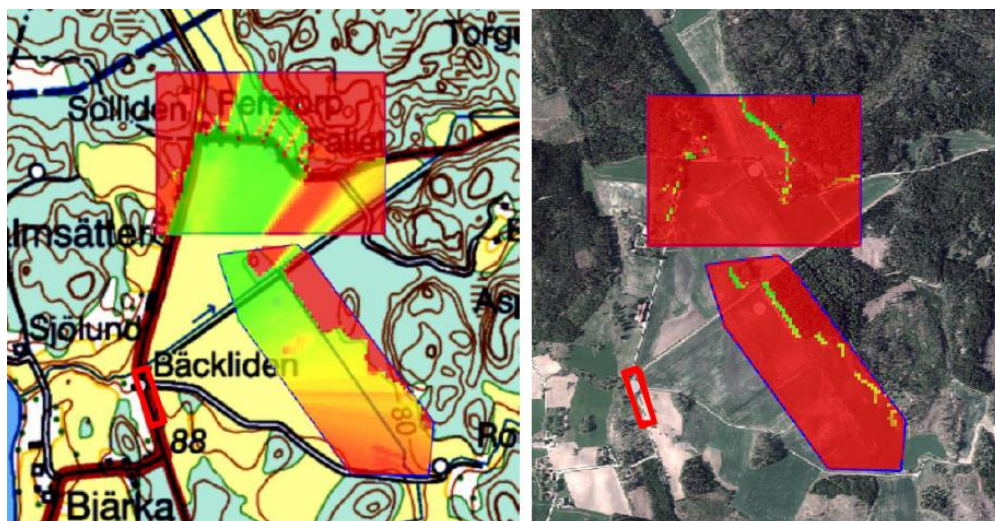
Figur 21. Analys av valda grupperingsplatser med variation i vagnarnas position.

Figur 22 illustrerar den omvända analysen där motståndarens vagn placerats ut som en intressepunkt, respektive ett intresseområde längs vägen. Notera hur det utstickande terrängpartiet effektivt skymmer sikten.



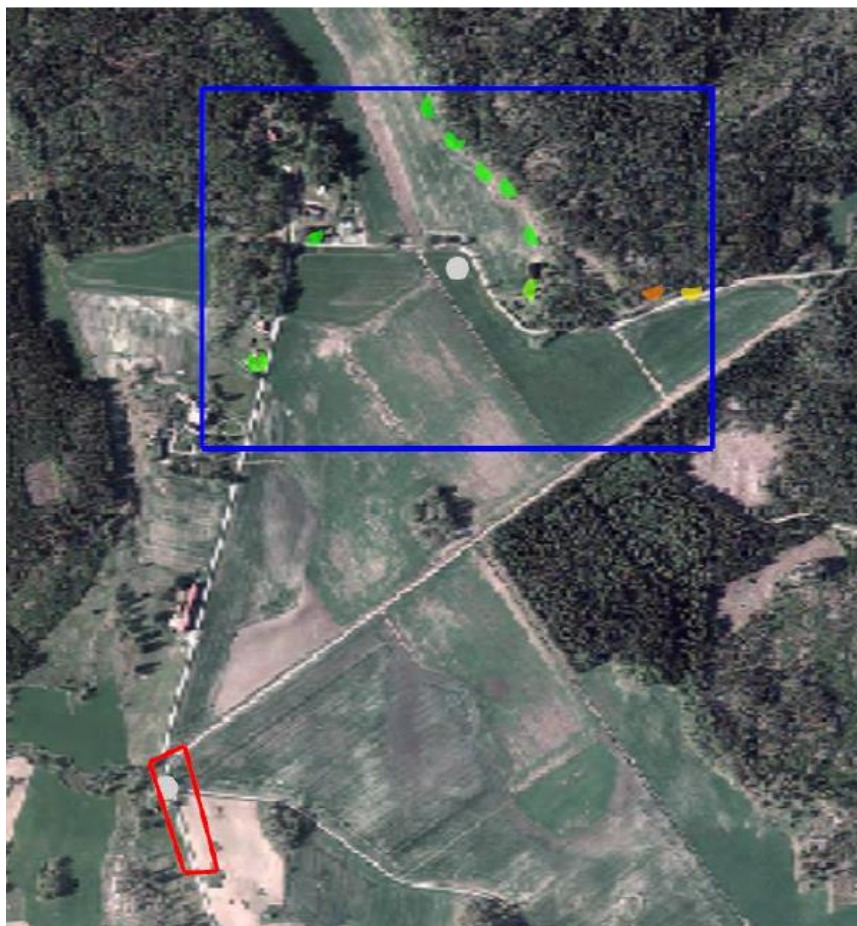
Figur 22. Sökning av lämplig grupperingsplats med variation av motståndarens representation, vilket pekas ut av den violetta pilen.

För analysen av det högra området i Figur 20 placerades ett intresseområde ut längs vägen där motståndaren förväntades framrycka. Den vänstra bilden i Figur 23 visar att det fanns goda möjligheter till fri sikt från de tänkta grupperingsplatserna. Den högra bilden indikerar att platserna också medgav kamouflage i form av vegetation 20 m bakom vagnarna.



Figur 23. Analys av valda grupperingsplatser mot ett intresseområde längs vägen.

En annan möjlighet att få stöd i val av plats redovisas i Figur 24. I detta fall har analysen gjorts med kriteriet ”välj ut de 10 bästa grupperingsplatserna”.



Figur 24. Av ASTERIKS utvalda grupperingsplatser.

3.6 Diskussion och slutsatser

Dagens sätt att planera, utgående från ett kartunderlag⁶, ger en uppfattning om ”de stora dragen”. Det går inte att förutse hur platsen kommer att se ut i detalj. Planeringen leder till bedömt möjliga och ungefärliga placeringar av egna enheter, medan den slutliga positioneringen bestäms först på plats. I praktiken blir det en överraskning, som kan leda till omplanering.

Höjdkurvor används mest för att planera framryckning men inte för att välja grupperingsplats. Små höjdskillnader är svårt att utläsa från kartan då den inte medger den detaljnoggrannheten. Det kan dessutom vara svårt att avgöra om det rör sig om en sänka eller höjd. Kartografiskt ritade objekt presenteras inte heller i sin naturliga storlek.

En stödfunktion baserad på analys av högupplöst terräng, såsom demonstrerats med hjälp av ASTERIKS, bidrar med möjlighet till ökad insikt om platsens egenskaper och lämplighet för den avsedda uppgiften.

Försöket har tydliggjort att en analys som utgår från högupplöst digital geografisk information kan bidra genom att ge ökad möjlighet att:

- Kontrollera en vald plats lämplighet sett till egenskaper som fri sikt, möjlighet till kamouflage från vegetation samt skydd från terrängformationer.
- Söka en lämplig plats sett till egenskaper som fri sikt, möjlighet till kamouflage från vegetation samt skydd från terrängformationer.
- Inkludera en större informationsmängd genom att till exempel ta hänsyn till vegetation och terrängformationer.
- Höja kvaliteten på planeringen genom att den baseras på mer noggranna grunddata.
- Filtrera och ställa in olika parametrar för att få en sammanvägd analys av olika eftersökta geografiska egenskaper.
- Få en snabb visuell indikation på en grupperings lämplighet genom överlagrad och avvikande färgsättning.
- Växla mellan olika bakgrunder för att på så sätt öka tolkningen av analyserna.
- Ansätta den höjd över marken som observationen skall göras från och därmed exempelvis undersöka vad en låg farkost i praktiken kommer att se.

⁶ Försvarsmakten, ”Handbok Markstrid – Bataljon”, 2016 (MSH Bat 2016), FM2016-6316:4.

4 Integration med simuleringsmotorn NetScene

Som ett led i att bidra till ökad nytta av terränganalys i simuleringstillämpningar har arbete genomförts i ATMOS för att på ett effektivt sätt nyttja högupplöst terrängdata i scenariomotorn *NetScene*. *NetScene* är en av FOI egenutvecklad applikation för att styra simuleringar bl.a. i den modulära simuleringsmiljön FOI *MultiSensorSimuleringsLab*⁷ (MSSLab). *NetScene* används även som bas i simuleringsverktyget EWSim⁸ på telekrigområdet.

Genom ett samarbete mellan projekten ATMOS och VISS ("Värdering av intelligenta sensorsystem" 2018-2020 inom FoT Sensorer och Signaturer) har GAL integrerats med *NetScene* så att en användare kan få stöd med t.ex. siktanalys och automatisk ruttplanering.

Siktanalys används bl.a. för utveckling av algoritmer för sensorplanering. Ruttplanering underlättar för implementation av scenarion då rutter inte behöver ritas för hand. Det gör det t.ex. möjligt att köra ett stort antal scenarion med varierande rutter för att på så sätt framställa stora mängder träningsdata för träning av maskininlärningsmetoder för sensorstyrning och sensorplanering.

4.1 GAL Light

Det programbibliotek som möjliggör integrationen kallas *GAL Light* (GALL) och bygger på *Geo Analyst Library* (GAL⁹). GALL har utvecklats inom ATMOS för att göra funktionaliteten i GAL mer tillgänglig med ett gränssnitt särskilt anpassat för *NetScene*.

Del av förutsättningarna är att GAL är utvecklat i programmeringsspråket C++ vilket inte är kompatibelt med modulgränssnittet i *NetScene*, som är utvecklat i Java. Därför krävs det en brygga mellan dessa programmeringsspråk. Eftersom GAL är ett stort bibliotek och terrängmodulen ibland endast behöver tillgång till viss funktionalitet har en lättviktsvariant av GAL kallad *GAL Light* (GALL) utvecklats. GALL gör det då möjligt att på ett enklare sätt integrera funktionalitet för analys av terrängdata i andra applikationer förutom den ovan beskrivna.

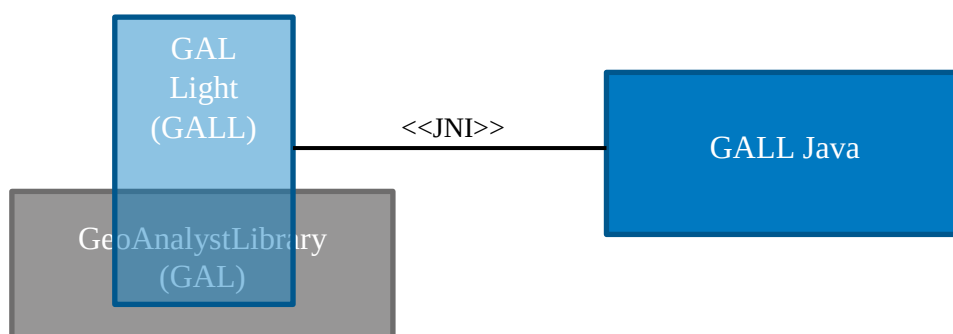
Kopplingen mellan GALL och terrängmodulen i *NetScene* sköts av ett ytterligare bibliotek – *GALL Java*. Detta bibliotek är en översättning av GALL, som är skrivet i C++, till Java genom att nyttja gränssnittet *Java Native Interface* (JNI¹⁰). JNI gör det möjligt att anropa funktioner i C++ från Java. En översikt över kopplingarna mellan biblioteken visas i Figur 25.

⁷ F. Näsström, J. Allvar, V. Deleskog, "Simulation framework for research of 'intelligent' reconnaissance systems", SET-241 9th Military Sensing Symposium, Quebec City, 2017

⁸ L. Tyden, m fl, "Genomförd verksamhet 2016 i projektet Duellsimulering framtida telekriginsatser", FOI-R--4321--SE, 2017

⁹ G. Tolt, J. Hedström, P. Follo, "Terränganalys för simuleringstillämpningar", FOI-R--4537--SE, 2017

¹⁰ <https://docs.oracle.com/en/java/javase/11/docs/specs/jni/intro.html#java-native-interface-overview>



Figur 25 Koppling av biblioteken GAL, GALL och GALL Java. GALL är ett lättviktsbibliotek som nyttjar viss funktionalitet i GAL. JNI används för att brygga anrop från Java till C++ genom biblioteket GALL Java.

4.2 Utökad terränganalysförmåga i NetScene

Genom att integrera GALL med NetScene kan nu terrängdata nyttjas på ett enklare och tillförlitligare sätt. Detta nyttjas främst för att styra simuleringsentiteter men också för uppdragsplanering, som t.ex. ett spaningsuppdrag med UAV.

De prioriterade funktionerna i GALL har varit:

- Terränganalys för att beräkna terränghöjd vid en viss punkt och siktavstånd.
- Ruttplanering för att utifrån terrängtyper och fordonsklass beräkna möjliga rutter mellan en start- och slutpunkt.

Funktionalitet för siktavståndsberäkningar har implementerats fullt ut och nyttjas, medan ruttplaneringen är under utveckling.

I Figur 26 illustreras exempel på hur GALL används i NetScene för att visualisera synfältet hela varvet runt på en meters höjd och det projicerade synfältet från en UAV på 300 m höjd. Främst nyttjas MSSLab för simuleringar av spaningssituationer från mark och luft. Genom att i NetScene ha tillgång till funktioner för terränganalys och ruttplanering ger det möjligheter att generera scenarion med högre kvalitet där resultat kan användas som underlag i t.ex. värderingsstudier. I FoT-projektet VISS önskar man värdera nyttan med hur avancerad terränganalys kan användas redan vid planeringsstadiet av ett spaningsuppdrag med en UAV. Genom att ha tillgång till högupplöst terrängdata kan ruten för en UAV beräknas för att maximera sikten mot spaningsmålet men samtidigt även minimera upptäckt av en motståndare genom att utnyttja terrängen. Eftersom MSSLab är en gemensam resurs, som är tillgänglig för flera projekt, bidrar det till att högupplöst terränganalys blir mer tillgängligt och sedermera även mer efterfrågat.

I applikationen skapas scenarion i vilka olika entiteter, t.ex. markfordon, flygfarkoster och sensorer, som ska simuleras placeras ut i en terräng. Som standard är terrängen en kartprojektion utifrån någon referensellipsoid. För att möjliggöra nyttjande av mer detaljrik terrängdata har NetScene stöd för att integrera terränger genom ett modulgränssnitt. En terräng som implementerar detta modulgränssnitt ger stöd för NetScene att t.ex. beräkna exakt terrängposition och visualisera synfält utmed marknivå och från ovan mark. Denna funktionalitet erbjuder ett stöd vid skapande och analys av scenarion. Dock har det praktiska värdet av detta hittills varit tämligen begränsat eftersom NetScene inte kunnat hantera högupplösta data, något som är avgörande för möjligheten att på ett realistiskt sätt simulera enskilda fordons uppträdande i ett spaningsscenario. Med anledning av det har ATMOS prioriterat arbete med att utveckla en terrängmodul i NetScene som kan nyttja högupplöst terrängdata.

Kontentan av arbetet är att två hittills av varandra oberoende miljöer – simuleringsmotorn NetScene och terränganalyspaketet GAL (Geo Analyst Library) – nu har integrerats så att

simuleringar kan dra direkt nytta av terränganalysfunktioner, t.ex. för att enkelt och med betydligt högre tillförlitlighet styra simulerade (mark)entiteter på ett realistiskt sätt i olika scenarion.



Figur 26 Karta över Kvarn samt visualiserad terrängdata i NetScene. Synfältet runt om punkten A på 1 m höjd över marknivån (grönt). Det projicerade synfältet från en sensor monterad i en UAV placerad vid punkten B på 300 m höjd över marken (rött).

5 Stöd att hitta framryckningsstråk

I föregångaren till ATMOS-projektet – TAST (Terränganalys för simuleringstillämpningar, 2015-2017) – utvecklades bl.a. algoritmer för optimal ruttplanering för stridsfordon genom att väga ihop olika kriterier, såsom hastighet, framkomlighet, skydd och upptäcktsrisk¹¹. ATMOS bygger vidare på de resultaten och flyttar fokus från rutter för enskilda stridsfordon, till *hur ruttoptimeringsalgoritmer kan ge en ökad förståelse för vad ett visst geografiskt område erbjuder för möjligheter och begränsningar avseende förbands framryckning*.

Det brukar i sammanhanget talas om begrepp som t.ex. *kanaliserande terräng* och *nyckelterräng*. Kanaliserande terräng begränsar ett förbands möjligheter att manövrera på önskat sätt. Ett exempel på det är en smal passage som måste passeras för att förbandet ska kunna lösa sin uppgift. Med nyckelterräng avses områden som är viktiga att behärska då de är fördelaktiga för att påverka en motståndare eller styra dennes uppträdande.

5.1 Metod

Principen bygger på att en stor mängd förhållandevis enkla ruttplaneringar utförs över ett givet område, med en algoritm som tillåter sammanvägning av olika kriterier för att på så sätt bygga upp en bild av möjliga stråk genom terrängen. Ruttplaneringen måste dels ta hänsyn vilken typ av enhet som avses (i detta fall stridsfordon) och dels även väga in taktiska aspekter. Det kan vara stor skillnad mellan en rutt som bara är kortaste framkomliga väg och en rutt i vilken det avses t.ex. att använda terrängens beskaffenhet för att undgå upptäckt.

Algoritmen som använts här är i grunden en A*-sökalgorithm och varje pixel i kartbilden tilldelas ett värde, en kostnad, som beskriver hur oattraktiv pixeln är att besöka. Det gör att sökalgoritmen dras till pixlar med låg kostnad. I en traditionell användning av A*-algoritmen för ruttsökning har kostnaden bara att göra med terräng- och fordonsegenskaper, t.ex. framkomlighet på olika typer av underlag, för att på så sätt räkna ut den snabbaste vägen mellan två punkter. Genom att även poängsätta pixlar utifrån deras lämplighet ur ett taktiskt perspektiv kan man emellertid påverka vilka rutter som algoritmen hittar genom terrängen, så att resultatet inte alltid blir den kortaste/snabbaste vägen.

Det intressanta uppstår när kostnaden avsevärt höjs för att passera terräng som typiskt är taktiskt ofördelaktig, såsom stora öppna ytor eller terrängpartier som begränsar förbandets manöverförmåga (t.ex. smala passager). Om sökalgoritmen hittar att den bästa ruten (den med minst kostnad) fortfarande passerar genom terräng som normalt bör undvikas kan detta tyda på att handlingsalternativen är begränsade och att den ogynnsamma terrängen måste passeras för att den aktuella uppgiften ska kunna lösas.

I ATMOS-projektet har en första analysmetod baserat på denna idé utvecklats som går ut på följande:

1. Tilldela varje position/pixel i terrängen kostnader svarande mot hur ofördelaktiga de anses vara. Denna analys görs för närvarande i MATLAB och går i en första ansats ut på att ge höga kostnader till *stora öppna ytor* där risken för upptäckt och bekämpning är stor, samt till områden där det visserligen finns framryckningsmöjligheter via vägar eller öppningar i terrängen, men där terrängen i övrigt är *svårframkomlig*. Det senare är tänkt att avspegla att sådan terräng inskränker större förbands manöverfrihet och/eller medför låg framryckningshastighet.

¹¹ G. Tolt, J. Hedström, S. Bruvoll, M. Asprusten, "Multi-Aspect Path Planning for Enhanced Ground Combat Simulation", IEEE CISDA (Computational Intelligence for Security and Defense Applications), Hawaii, USA, Nov. 2017.

2. Definiera ett *scenario* i form av start- och målområden, motsvarande ett tänkt förbands uppgift att ta sig från en utgångsgruppering till ett tänkt anfallsmål inom en viss tid. Det går även att lägga till krav på hur lång tid en rutt får motsvara, för att undvika alltför orealistiska alternativ.
3. Kör ett stort antal ruttsökningar med slumpmässiga start- och målpositioner och aggregera rutterna i ett *2D-histogram* (s.k. heatmap) som visar hur många rutter som passerat en viss pixel. I detta steg används ett system med *dynamisk ökning av vikterna* för att motverka att samma rutter upprepas alltför ofta och att istället alternativa framryckningsstråk uppträder. Återviktningmekanismen är enkel och innebär att alla pixlar som besökts av en rutt tilldelas en liten extra vikt som minskar chansen att pixeln besökts nästa gång och som efter hand blir så stor så att sökalgoritmen till slut hittar andra vägar som är billigare, om möjligt.

5.2 Resultat och diskussion

Resultatet blir en kartbild som kan ge indikationer om var i terrängen en motståndare kan komma att röra sig och vilka terrängpartier som är viktiga att bevaka. Flaskhalsar i terrängen framträder tydligt, liksom ett slags nätverksstruktur som visar möjliga framryckningsstråk.

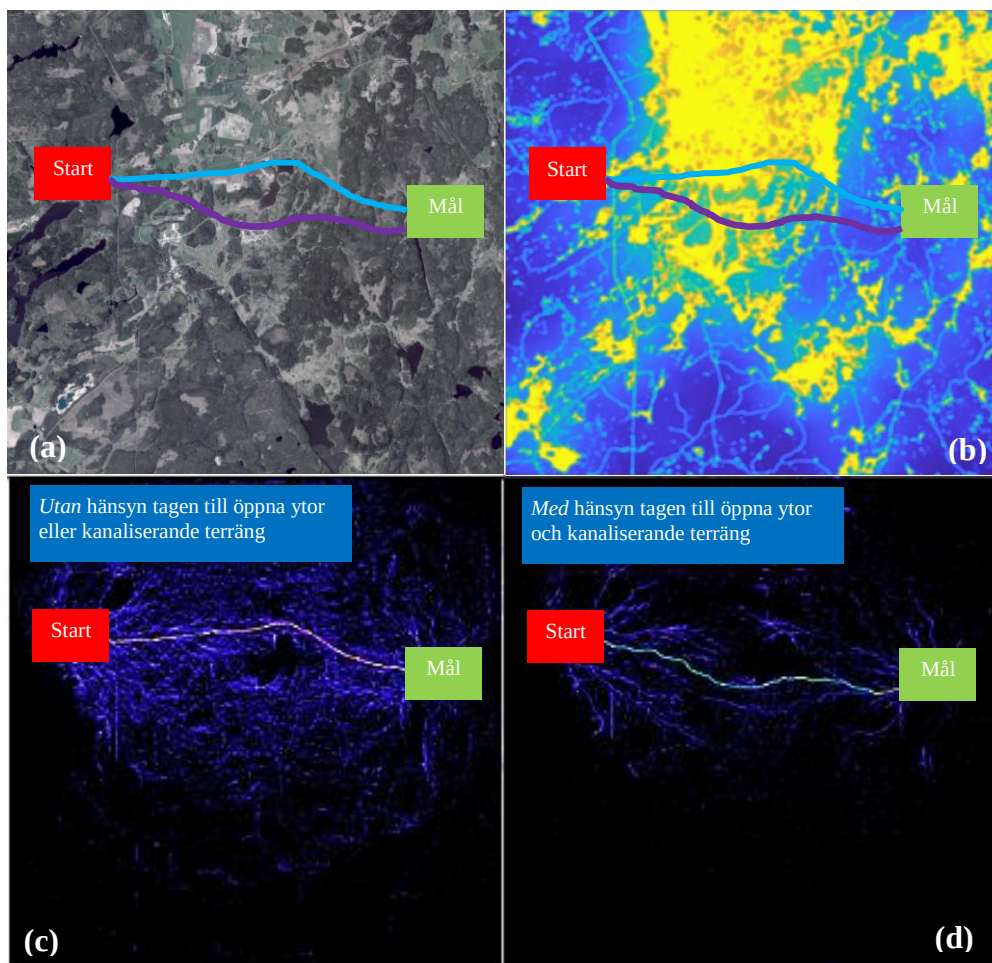
Det bör påpekas att denna metod behöver vidareutvecklas och förfinas innan dess användbarhet i samband med planering av militära operationer kan värderas. Metoden kan i sin nuvarande form dock sannolikt utgöra underlag för utveckling av scenarion och åstadkomma grundläggande beteenden i simuleringar. Vidare diskussioner kommer att föras med FoT-projekt inom Sensorer och Signaturer i samband med simuleringsscenarion för framställning av syntetiska data för metod- och algoritmutveckling. Där handlar det om automatiserad framställning av taktiskt relevanta rutter för att producera stora mängder träningsdata med realistisk variation i målspelet. Arbetet kopplar på så sätt till det arbete med integration som diskuteras i kapitel 4.

Analysen är främst tänkt att användas i ett förberäkningssteg, som underlag för planering av en insats eller för att öka realismen i övningsscenarion utan krav på realtidsprestanda. De genererade bilderna kan dock sedan användas för visualisering eller som indata till terränganalysmetoder som i sin tur är avsedda för realtidstillämpning.

Figur 27 visar ett exempel i vilket en ruttplaneringsalgoritm körts 1000 gånger med olika ingångsvärden. Ruttplaneringen prioriterar generellt vägar, åkrar och fält framför skog eller annan svårframkomlig terräng, men tar även hänsyn till bedömningar om terrängens lämplighet ur ett taktiskt perspektiv. Resultatet sammanställts som en densitetsbild som visar hur många gånger de beräknade rutterna passerar respektive pixel. Ju fler rutter som passerar genom ett visst terrängparti, desto mer kanaliserande tycks terrängen vara.

Algoritmen utgår från information om terrängens egenskaper och fordonets framkomlighet och hittar vägar genom olika typer av terräng. Det geografiska dataunderlaget i analysen är en kombination av de senaste nationellt tillgängliga kartunderlagen – markmodell (2 m upplösning), ythöjdmodell (0,5-1 m upplösning) och markslagsklassificering (ca 10 m upplösning).

Figur 27a visar ett 10 km x 10 km stort område i Kvarn strax norr om Linköping. I det aktuella scenariot antas att en motståndare vill ta sig från en utgångsgruppering till ett målområde på andra sidan det öppna fältet. I scenariot finns en tidsaspekt att ta hänsyn till vilket gör att framryckningsvägar alltför långt ifrån den snabbaste inte beaktas. Figur 27b visar en poängsättning av terrängen där gul färg betyder terräng som helst bör undvikas. Figur 27c och Figur 27d visar 2D-histogram ("heat maps", densitetskartor) som illustrerar resultatet av den storskaliga ruttsökningen, med respektive utan hänsyn tagen till de taktiska aspekterna. Skalan är logariterad för att bättre visa vilka områden som ruttplanering utvärderat – de huvudsakliga gul-röda linjerna motsvarar i själva verket pixlar med storleksordningen 100 gånger fler rutter än andra pixlar.



Figur 27. Resultatet av 1000 slumpmässiga ruttsökningar för att hitta framryckningsstråk. Det ljusblå stråket motsvarar det snabbaste fallet men som till stor del går över det öppna fältet. Det lila stråket visar ett alternativt resultat som medför liknande framryckningstid, men som i större utsträckning utnyttjar terrängen på ett fördelaktigt sätt.

6 Ny kunskap i sammanfattning

Väpnade styrkor har ett behov av att optimera förutsättningarna för framryckning och strid. Detta kan omsättas till förmågor som ökar möjligheten till rörlighet, skydd av eget förband, informationsinhämtning samt val av utgångspunkt för bekämpning av motståndaren. En slutsats från projektet ATMOS är att tillgång till detaljerad och aktuell geografisk information, i kombination med implementation på kraftfull beräkningshårdvara, bedöms öka möjligheten till att använda automatiserade terränganalysmetoder för att optimera val av framryckningsväg, grupperingsplats samt beräkning av sikt- och verkansområde.

Nedan diskuteras projektets övergripande frågeställningar närmare.

- *Hur kan olika typer av automatiserade terränganalysfunktioner förbättra kvaliteten hos stridssimuleringar?*

Funktioner för att ge simulerade enheter ett naturligt och taktiskt relevant uppträdande i terrängen är avgörande för att uppnå god trovärdighet i stridssimuleringar. Enheter som utnyttjar terrängen på ett realistiskt vis är bl.a. viktigt för att med hög kvalitet använda simuleringarna som effektivt motspel och på så sätt höja effektiviteten och minska kostnaderna förknippade med träning och övning. Algoritmer framtagna inom ATMOS har bidragit till detta genom att de använts som delkomponenter i olika simuleringsramverk, inte minst genom stöd till projektet SSSV-Mark¹² under 2018. ATMOS har tillhandahållit terränganalysalgoritmer som SSSV-Mark har integrerat i sitt simuleringsbaserade verktyg för analys av markstrid baserat på stridssimuleringsramverket FLAMES¹³. Det handlade om två typer av funktionalitet för att höja realismen och trovärdigheten för dynamiska markstridssimuleringar: ruttplanering och identifikation av stridsställningar.

Arbetet i ATMOS har även gett insikter om vikten av att betona terränganalys som ett sätt att påvisa möjliga handlingsalternativ eller förstärka terrängens egenskaper på olika sätt. Det bör poängteras att terränganalysen endast påvisar terrängens möjligheter och begränsningar utifrån tillgängligt underlag och svarar inte fullt ut på frågor vart enheter verkligen ska bege sig eller hur någon ska uppträda i en viss situation. Därtill kommer faktorer som scenario, lägesbild, taktik, accepterat risktagande, oförutsägbarhet och mycket annat, vilket i slutändan ofta faller avgörandet.

Automatiska terränganalysfunktioner kan användas för att ta fram stora mängder träningsdata för maskininlärningsbaserad utveckling av komplexa simuleringsmodeller. Terränganalysen i sig ger som sagt inte hela svaret, men genom att analysera terrängen utifrån endast objektiva egenskaper (t.ex. fysiskt skydd i en viss riktning, siktförhållanden och framkomlighet) kan detta användas som underlag i utvecklingen av simuleringsmodeller, utan behov av maskininläring för att lära sig vad terrängen betyder i alla sådana avseenden. Genom att analysera stora mängder detaljerade geografiska data och ”poängsätta” terrängens lämplighet ur olika perspektiv (t.ex. för snabb framryckning, stridsställning eller skyddsnivå) kan dessa utgöra underlag till spel och simuleringar i vilka simulerade agenter lär sig taktiken ovanpå detta, dvs. vilka beslut som är optimala under ibland snabbt skiftande förhållanden. Automatiska terränganalysfunktioner kommer att utgöra en viktig komponent i framtida autonoma plattformar som behöver förmåga att ”förstå” terrängen för att självständigt lösa uppgifter.

- *Hur kan automatisk extraktion av terrängegenskaper stödja modellering och simulering av olika enheters beteende?*

¹² D. Oskarsson och T. Westman, ”Simuleringsbaserat stöd till spelverksamhet och värdering – Beteendemodeller”, FOI-R--4848—SE, 2020

¹³ <https://www.ternion.com/flames-overview/>

Med hjälp av terränganalys kan områden automatiskt identifieras som svarar mot militärt fördelaktiga punkter, så att simulerade enheter upplevs göra bättre och mer realistiska val beträffande målpunkter eller grupperingsplatser. Det höjer kapaciteten att simulera såväl egna, kompetenta och självständiga gruppmedlemmar, som en kvalificerad motståndare.

Vinsten bedöms vara störst för markenheter från plutonsnivå och nedåt. En slutsats från ATMOS är att upplösning och noggrannhet i det geografiska underlaget som idag finns tillgängligt gör det särskilt lämpat för analyser för stridsfordon. Stridsfordonens storlek och form svarar relativt väl mot de detaljer som återfinns i det nationellt tillgängliga geografiska informationsunderlaget; det som i underlaget ser ut som en höjdstruktur som erbjuder fysiskt skydd för ett stridsfordon visar sig vid en närmare kontroll allt som oftast vara det. Dock finns inga garantier för att de faktiska förhållandena vid en viss plats inte har förändrats sedan det geografiska underlaget upprättades och att analysen därför kan bli missvisande.

- *Hur kan avancerad terränganalys användas för att stödja bedömanden av möjliga eller troliga framryckningsstråk?*

Högupplösta geografiska underlag kan avslöja möjligheter avseende framryckning i terrängpartier där detaljnivån i traditionella kartunderlag är alltför låg för att man ska identifiera mindre öppningar och passager. Den potentiella vinsten med detta är tydligast på lägre förbandsnivåer, eftersom bedömanden på högre nivåer (bataljon och brigad) görs utan behov av att studera terrängen på den detaljnivån.

Ruttplaneringsalgoritmer för enskilda fordon för att hitta den optimala ruten mellan två positioner (som utvecklats inom ATMOS-projektets föregångare) kan även appliceras i större skala för att undersöka tänkbara färdvägar och alternativ i terrängen. Genom att i ruttplaneringen ta hänsyn till att motståndaren helst undviker kanaliserande terräng eller större öppna ytor, och att simulera ett stort antal rutter kan mönster framträda som indikerar vilka framryckningsalternativ en fiende rimligen har för att lösa sin uppgift. Exempel på detta visas i kapitel 5.

- *Kan komplexa automatiska analyser av högupplösta 3D terrängmodeller ge fördelar i spel och bedömanden på stabsnivå?*

Det tillgängliga geografiska dataunderlaget blir allt bättre och mer mångfacetterat (höjdmodeller, markmodeller, markslagsklassning, skoglig information, flygfoton, etc.) vilket gör att analyser som tidigare endast hade bäring på simuleringsvärlden nu är tillämpbara i mycket högre utsträckning även för planering av militära insatser.

Utmaningen är dock att hitta rätt avvägning i vilken nivå på analysen är tillräckligt hög för att bidra till stabens förståelse av terrängen, och samtidigt tillräckligt begränsad för att undvika att ”bygga in” alltför många aspekter som inte enkelt går att representera, ta hänsyn till eller värdera. Även en helautomatisk analys, som endast görs utifrån ett fåtal aspekter, kan dock tjäna ett syfte som en ”second opinion”, i vilken staben genom att se terrängegenskaper förstärkta på olika sätt kan få idéer och förslag på alternativa tillvägagångssätt att ta med i sin bedömning.

Automatiserad terränganalys kan hjälpa användare att fästa sin uppmärksamhet på relevanta avsnitt i terrängen. Det kan annars vara väldigt svårt att tillgodogöra sig stora mängder högupplöst och mångfacetterade geografiska data som ofta i praktiken inte går att visualisera i sin helhet på en dator. Terränganalysverktyget ASTERIKS (kapitel 2) och varianter därav bör kunna bidra till detta.

7 Framtida arbete

Det har varit en grundläggande ambition i ATMOS att resultat från projektet ska komma andra verksamheter till del. ATMOS har utgjort en bas för utveckling av grundläggande analysförmågor som kan bidra till att höja förmågor och kvaliteter i olika tillämpningar. Därför är det särskilt glädjande att såväl kunskap som algoritmer från ATMOS kan komma att användas i flera projekt under 2021, eller i vissa fall redan under slutet av 2020:

- Vidareutveckling och integration av *terränganalysfunktioner i NetScene* för att stödja framtagning av scenarion och styra simulerade enheter, t.ex. genom ruttplanering eller bedömning av framryckningsstråk, i det nya FoT-projektet ”Värdering av AI för Sensorsystem” inom FoT Sensorer och signaturanpassning.
- Utveckling av *planeringsverktyg för indirekt pansarvärnsförmåga*. Målet är att vidareutveckla och anpassa existerande algoritmer till ett verktyg för att stödja prov- och försöksverksamhet under 2022.
- Utveckling av en metod för *bedömning av siktförhållanden i vegetation* under 2021-2022. Uppgiften är att ta hänsyn till detaljerat underlag information om skogstyper, validera resultat gentemot kontrollmätningar i fält och därvid få bättre underlag för bedömningar angående upptäckts- och verkansavstånd i beklädda miljöer.
- Stödja FoT-projektet *Framtida ledning och ledningsplatser* inom Ledning och MSI med kunskap om hur allt mer automatiserad och förfinad terränganalys kan påverka utveckling inom ledningsområdet med horisont 2045.
- Utveckling av metod för siktfältsbaserad uppskattning av *spaningsräckvidder för stridsteknisk RPAS* inom projektet Markoperativ värdering.

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