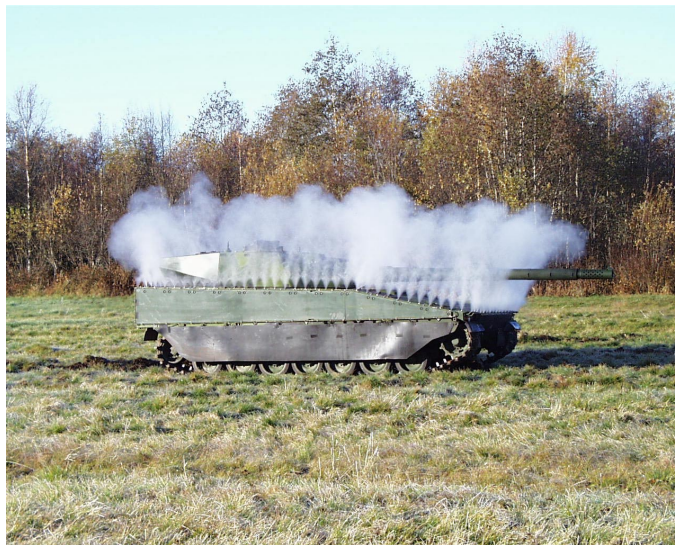


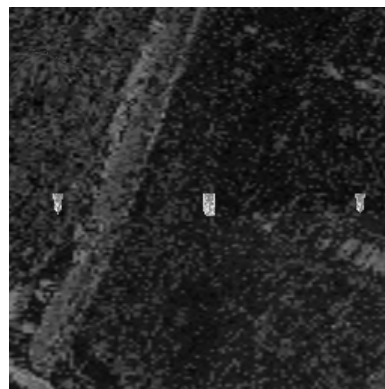
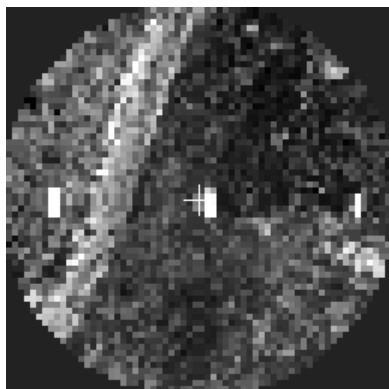
Ulrika Andersson, Annelie Tonnvik

## Simulering av störning mot slutfasstyrd granat



Ulrika Andersson, Annelie Tonnvik

## Simulering av störning mot slutfasstyrd granat





<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystemteknik Box 1165 581 11 Linköping	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--0133--SE	<b>Klassificering</b> Metodrapport
	<b>Forskningsområde</b> 6. Telekrig	
	<b>Månad, år</b> April 2001	<b>Projektnummer</b> E30323
	<b>Verksamhetsgren</b> 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	<b>Delområde</b> 61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd	
<b>Författare/redaktör</b> Ulrika Andersson Annelie Tonnvik	<b>Projektledare</b> Gustaf Olsson	
	<b>Godkänd av</b>	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b>	
<b>Rapportens titel</b> Simulering av störning mot slutfasstyrd granat		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b>  En simuleringstudie, med syfte att visa hur väl multispektral vattendimma fungerar som skydd mot slutfasstyrda granater, har genomförts med hjälp av simuleringspaketet OPTSIM. Olika ingångsparametrar i duellen har varierats för att undersöka dess inverkan på utgången av duellen.  Studien visar att vattendimman i huvudsak fungerar bra som skydd mot slutfasstyrda granater, under de förutsättningar som har antagits för respektive simuleringsserie, men att fordonens intäckning av vattendimma och dess kontrast gentemot bakgrunden har betydelse för vattendimmans effektivitet.		
<b>Nyckelord</b> Simulering, IR, målsökare, motmedel, multispektral vattendimma		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 85 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris: Enligt prislista</b>  <b>Sekretess</b>	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Warfare Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--0133--SE	<b>Report type</b> Methodology report
	<b>Research area code</b> 6. Electronic Warfare	
	<b>Month year</b> April 2001	<b>Project no.</b> E30323
	<b>Customers code</b> 5. Contracted Research	
	<b>Sub area code</b> 61 Electronic Warfare, Electromagnetic Weapons	
<b>Author/s (editor/s)</b> Ulrika Andersson Annelie Tonnvik	<b>Project manager</b> Gustaf Olsson	
	<b>Approved by</b>	
	<b>Scientifically and technically responsible</b>	
<b>Report title (In translation)</b> Simulation with jammed terminally guided projectile		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b>  The effect of using multispectral waterfog (MWF) as a countermeasure against thermally guided projectiles has been studied using the simulation package called OPTSIM. Different parameter settings have been used to test the outcome of the duel between thermally guided projectiles and armoured vehicles using MWF.  Simulations show that MWF can be an effective countermeasure against thermally guided projectiles. However, the probability for the projectile to hit the target depends on how well the vehicle is covered by MWF and the surroundings.		
<b>Keywords</b> Simulation, IR, Imaging Trackers, Countermeasures, Multispectral Water Fog		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 85 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>  <b>Security classification</b>	

# Innehåll

1	INTRODUKTION .....	7
2	METODBESKRIVNING .....	7
3	DISPOSITION.....	9
4	ALLMÄNT OM SIMULERINGSVERKTYGEN .....	11
5	INGÅNGSPARAMETRAR .....	13
5.1	OPTSIM parametrar .....	14
5.2	MAIS parametrar .....	14
5.3	IGOSS (I) parametrar .....	15
5.4	MUSS parametrar.....	15
5.5	IGOSS (II) parametrar .....	16
5.6	MSG parametrar.....	16
5.7	Robotdynamik parametrar .....	16
6	RESULTAT: GENERELLT OM VARJE SERIE .....	17
6.1	Serie 1 Referenskörningar.....	18
6.2	Serie 2 Vattendimmans aktiveringstid .....	19
6.3	Serie 3 Fordonens hastighet .....	21
6.4	Serie 4 Himmeltemperatures inverkan .....	24
6.5	Serie 5 Olika grader av fordonens intäckning av vattendimma.....	29
6.6	Sammanfattning av träffbild i tabellform .....	33
7	RESULTAT: DETALJER OM ENSTAKA SIMULERINGAR....	35
7.1	Serie 1 Referenskörningar – Utan vattendimma.....	36
7.1.1	Simulering Utan vattendimma, 0 m/s, kantfilter .....	36
7.1.2	Simulering Utan vattendimma, 5 m/s, kantfilter .....	37
7.1.3	Simulering Utan vattendimma, 10 m/s, kantfilter .....	38
7.1.4	Simulering Utan vattendimma, 0 m/s, spotfilter .....	39
7.1.5	Simulering Utan vattendimma, 5 m/s, spotfilter .....	40
7.1.6	Simulering Utan vattendimma, 10 m/s, spotfilter .....	41
7.2	Serie 2 Variation av vattendimmans aktiveringstid .....	42
7.2.1	Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, kantfilter .....	42
7.2.2	Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, kantfilter .....	43
7.2.3	Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, spotfilter.....	44
7.2.4	Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, spotfilter .....	45
7.3	Serie 3 Variation av fordonens hastighet – Med vattendimma .....	46
7.3.1	Simulering Fördröjningstid: 1s, 5 m/s, kantfilter .....	46

7.3.2 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 5 m/s, kantfilter .....	47
7.3.3 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 10 m/s, kantfilter .....	48
7.3.4 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 10 m/s, kantfilter .....	49
7.3.5 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 5 m/s, spotfilter .....	50
7.3.6 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 5 m/s, spotfilter .....	51
7.3.7 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 10 m/s, spotfilter .....	52
7.3.8 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 10 m/s, spotfilter .....	53
7.4 Serie 4 Variation av himmeltemperaturen .....	54
7.4.1 Negativ kontrast Himmeltemperatur 2°C.....	54
7.4.2 Positiv kontrast Himmeltemperatur 18°C.....	58
7.4.3 Utsuddade kontraster Himmeltemperatur 10°C.....	62
7.5 Serie 4 Variation av fordonens intäckning .....	66
7.5.1 Synlig front.....	66
7.5.2 Halva vagnen syns .....	70
8 SAMMANFATTNING .....	75
9 SLUTSATSER .....	77
10 APPENDIX A: .....	79
11 REFERENSER .....	85

## 1 Introduktion

En metod för att skydda stridsfordon, mot framförallt målsökande robotar och granater, är att omgärda fordonen med multispektral vattendimma. Vattendimman genereras av munstycken, utplacerade på stridsfordonet, med hjälp av en pump och en vattentank. Den multispektrala vattendimmans syfte är framförallt att dölja fordonet i de visuella och IR-områdena. Vattendimman påverkar starkt olika typer av målsökares (t.ex. korrelationsmålföljare och centroidmålföljare) möjlighet till målupptäckt och följning.

Denna rapport redovisar en generisk studie, där vattendimma har använts i duellsimuleringar för att skydda tre stridsvagnar mot en slutfasstyrd granat som använder sig av en bildalstrande målsökningsprincip. Syftet med rapporten är att redovisa vilka faktorer som påverkar utgången av en sådan duell. Olika parametrar har varierats, t.ex. starttider för vattendimman, munstyckenas placeringar, himlens temperatur, fordonens hastighet och anfallsaspekter. En mer detaljerad redovisning av studerade fall finns i kapitel 5.

## 2 Metodbeskrivning

Den valda målsökaren är helt generisk, men speglar tänkbart arbetssätt hos nuvarande eller framtida existerande system.

Både bakgrundsmodellen och målmodellerna är skapade med hjälp av SensorVison. 3D-modellen av bakgrunden har tagits fram genom att en laserradar har skannat in ett ca  $1 \times 2$  km<sup>2</sup> stort område i närheten av FOI-huset i Linköping [8]. Målmodellen har inte en äkta IR-signatur, utan är en 3D-modell med visuell textur, där gråskalenivåerna har översatts till temperaturer mellan 15 och 30°C.

I motmedelsmodellen har vi av simuleringstekniska skäl endast haft ett fåtal munstycken utplacerade på stridsvagnarna. För att kompensera för det låga antalet får en större vattenmängd passera genom varje munstycke, än vad som hade skett om man hade fler. Placeringen av munstyckena är också speciell i denna studie. De är placerade i en rad längst fram på fordonet, samt i en rad mitt på ovasidan. Vinden är satt så att den kommer rakt framifrån och blåser vattendimman över stridsvagnarna.

Granatmodellen kan köras med två olika filter: kantfilter och spotfilter. För samtliga simuleringar har båda filtren testats. Detta för att undersöka hur olika målsökningsprinciper inverkar på resultatet.

Under dessa förutsättningar har ett antal olika faktorer som kan påverka utgången i en duell mellan stridsvagnar och slutfasstyrda granater undersökts. Följande faktorer varierades: vattendimmans starttid, fordonens hastighet, himlens temperatur samt graden av intäckning av fordonen. För alla serier testades tre olika anfallsaspekter: 0, 45 och 90°.





### **3 Disposition**

Denna studie, som syftat till att undersöka hur väl multispektral vattendimma fungerar som skydd mot en slutfasstyrd granat beroende på vissa ingångsparametrar, har använt sig av ett antal simuleringsmodeller. Dessa modeller beskrivs kortfattat i kapitel 4. Sedan följer en beskrivning av de parametrar som använts som ingångsdata till de olika modellerna i kapitel 5. Gjorda simuleringar har delats in i serier och resultaten från dessa serier redovisas i kapitel 6. Resultat från en serie har sammanställts i en tabell där resultat i form av träff eller bom anges och analyseras, för de i serien ingående simuleringarna. Generella slutsatser för varje enskild serie redovisas också i kapitel 6. Förutom detta generella resultat som gäller för hela serien redovisas detaljer om vissa enskilda simuleringar i kapitel 7. Efter resultatredovisningen följer ett kapitel med en sammanfattning av resultaten från alla serier, följt av ett kapitel med slutsatser.

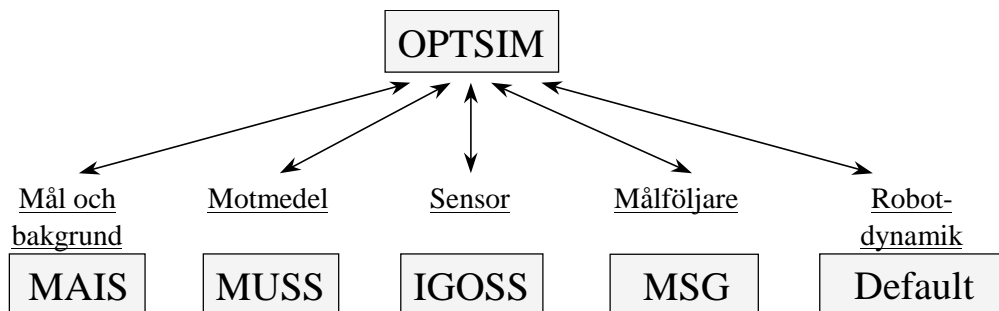


## 4 Allmänt om simuleringsverktygen

Under senare år har ett antal simuleringsverktyg (modeller) i form av datorprogram utvecklats inom projekt vid institutionen för *Telekrigvärdering* på FOI i Linköping. Dessa har använts som fristående program för olika typer av simuleringsverksamhet inom olika projekt. Olika typer av målföljningsmodeller har t.ex. använts direkt mot videoupptagningar för att värdera olika typer av motmedel. De enskilda modellerna är mycket användbara som fristående program men genom att koppla samman dem ökar användbarheten. Exempelvis kan de sammankopplade modellerna användas för telekrigstudier i duell-form i dynamiska scenarier [1] eller för utvärdering av autonoma varnarsystem [2].

Vid studier av dynamiska telekrigdueller modelleras bl a hur rörliga mål i en given bakgrund kan skyddas med hjälp av olika former av motmedel, under anfall av robotar med olika passiva optroniska sensorsystem. För att kunna göra sådana studier meningsfulla måste en simuleringsmiljö, förutom att modellera motmedel i form av t.ex. rök, dimma, facklor eller laserstörare, kunna beskriva scenariot som innehåller en bakgrund, och olika objekt i form av flygplan, fartyg, eller markbaserade stridsfordon. Dessutom bör simuleringen kunna beskriva hur denna bild av scenen degenereras i ett sensorsystem, och den ska kunna beskriva hur en målsökare reagerar på den slutliga bilden.

För att göra allt detta har ett antal datormodeller kopplats samman. Det program som kopplar ihop de övriga modellerna är OPTSIM (OPTronic Simulation Interface Model) se figur 4.1. En mera detaljerad beskrivning av metodiken i OPTSIM finns i [3].



↑  
↓ = Meddelanden i form av bilder och parametrar

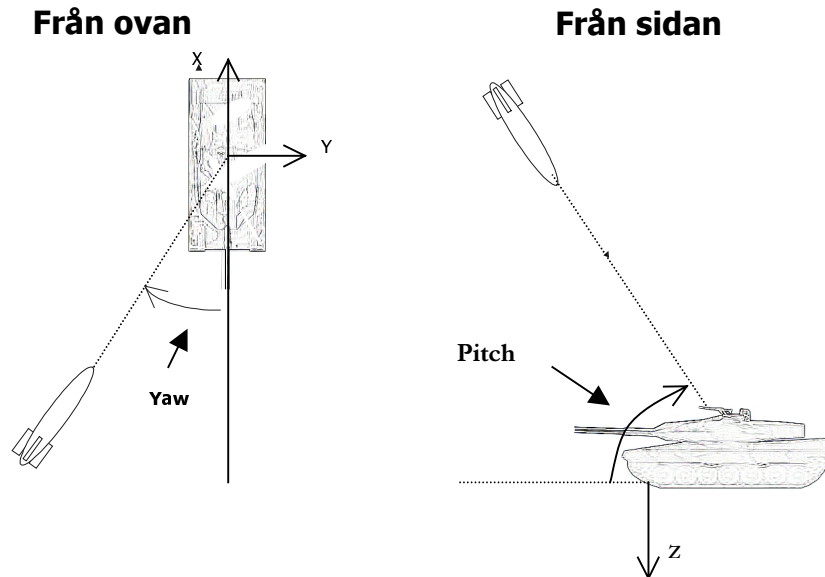
**Figur 4.1** Modellstruktur för OPTSIM-simuleringar genomförda inom studien.

De modeller som kopplats samman i den här studien är MAIS[4] (Model of Atmospheric effects on Images in Sensor systems) som genererar 2D IR-bilder av 3D objekt i 3D-bakgrunder med hänsyn tagen till atmosfärsdämpning. MUSS[5] (MUlti Spektral Stridsrök) som genererar motmedel i form av dimma, rök eller facklor. IGOSS[6] (Image Generation in Optronic Sensor Systems) som modellerar en sensors beteende. Dessutom används målföljarmodellen MSG[7] som är en modell av en slutfasstyrd granat. För att beskriva robotdynamiken har den inbyggda standardmodulen i OPTSIM använts, vilket är en förenklad modell.



## 5 Ingångsparametrar

I detta kapitel redovisas vilka ingångsparametrar som användes till de olika modellerna i OPTSIM paketet vid den aktuella simuleringsomgången.



**Figur 5.1** Bild som visar geometrier vid simuleringar.

Stridsfordonen står uppställda på koordinaterna (0,0,0), (0,50,0) resp. (0,-50,0). Pitch-vinkeln har hållits konstant, 60°, under alla simuleringar medan yaw varierades mellan tre olika vinklar: 0°, 45° och 90°. Fem olika serier gjordes (se tabell 5.1). Varje serie har körts två gånger, med två olika filter (kant- resp spotfilter).

Serie	Beskrivning
1	Referensmätning utan vattendimma.
2	Vattendimmans aktiveringstid
3	Fordonens hastighet
4	Himmeltemperaturens inverkan
5	Olika grader av fordonens intäckning av vattendimma

**Tabell 5.1** Beskrivning av serier.

Aspektvinklar (= yaw) och de ingående komponenterna som bestämde vilken av de fem simuleringserierna som pågick styrdes helt genom parameterbyten i OPTSIM utan att basvärden för ingångsparametrar i de övriga modellerna påverkades. Skillnader mellan olika simuleringar finns därför redovisade i avsnittet om OPTSIM nedan. De övriga modellerna hade samma inställningar under de simuleringar där de ingick. Dessa inställningar finns redovisade nedan under respektive avsnitt och i appendix A. Öppningshöjden för granatens målsökare är satt till 1000 m. Målen har inte gjort några undanmövningar under förloppet, utan är stillastående eller så rör de sig framåt i x-led.

## 5.1 OPTSIM parametrar

Parametrar som inte ändras mellan olika simuleringar redovisas i Appendix A, tabell 9.1. De parametrar som varierar och som användes i OPTSIM-programmet under de olika försöksserierna anges nedan i tabellform. I tabell 5.2 redovisas parametrar som kan ändras mellan olika serier och i tabell 5.3 redovisas vilka vinklar och utgångskoordinater för granaten som användes. Definitionen på de vinklar som anges i tabell 5.2 och 5.3 finns angivna i figur 5.1.

Simulerings-serie	Målets Hastighet [m/s]	Aspektvinkel	Fördröjning till motmedelsinsats [s]
1	0, 5, 10	0°, 45°, 90°	-----
2	0, 5, 10	0°, 45°, 90°	0, 1, 2, 2.7, 3.1, 3.5
3	0, 5, 10	0°	1, 2.7, 3.1
4	0	0°, 45°, 90°	1, 2.7, 3.1
5	0	0°, 45°, 90°	1, 2.7, 3.1

*Tabell 5.2 Parametrar i OPTSIM som ändras mellan serier.*

I varje simulering startade stridsvagnarna på positionerna (0,0,0), (0,-50,0) och (0,50,0). Startpunkten för granaten varierades mellan tre olika fall. Pitchvinkeln var alltid 60°.

Simulerings-index	X <sub>R</sub> [m]	Y <sub>R</sub> [m]	Höjd <sub>R</sub> [m]	Yaw <sub>R</sub> [°]	Pitch <sub>R</sub> [°]
filter_0	-577	0	1000	0	60
filter_45	-408	-408	1000	45	60
filter_90	0	-577	1000	90	60

*Tabell 5.3 Parametrar i OPTSIM som ändras inom en serie. Filter i Simuleringsindex svarar mot typ av filter (edge eller spot). (R) står för robot.*

Beteckningen *filter\_X* kommer att användas i tabeller i kapitel 5. *X* anger från vilken riktning granaten kommer in mot målen. *Filter* anger om kant- eller spot-filter har använts under segmenteringsfasen, se avsnitt 5.6 för mer information.

## 5.2 MAIS parametrar

MAIS[4] är modellen som beskriver bakgrunden och målen. Signaturen på bakgrunden har skapats med hjälp av SensorVision och motsvarar signaturen som den ser ut mitt på dagen under sommaren registrerade med sensorer med känslighetsområde inom det kortvågiga IR-bandet (3-5µm). Radiansnivåer hos bakgrunden har inte erhållits direkt från SensorVision utan skalats till nivåer svarande mot emissiviteten 1.0 (endast egenstrålning) och temperaturer mellan 10 och 20 °C. För att minska effekterna av ett enstaka bildelement i texturbilden kan lösas upp vid korta avstånd används texturfilterfunktionen i OpenGL. Förutom IR-signaturer beskrivs bakgrunden även geometriskt med hjälp av en 3D-modell. 3D-modellen har

tagits fram genom att en laserradar har skannat in ett cirka 1x2 km<sup>2</sup> stort område i närheten av FOI-huset i Linköping [8].

Modellen av stridsvagnarna är också baserad på en 3D-modell. IR-signaturen hos dessa objekt har skapats genom att koppla gråskalenivåer från en visuell textur till radiansnivåer svarande mot emissiviteten 1.0 och temperaturer mellan 15 och 30 °C. Eventuella avgaser från vagnarna finns inte med i modellen.

MAIS har också möjlighet att lägga till effekten av atmosfärstransmission och emission. I dessa simuleringar har dock inga sådana beräkningar gjorts.

### 5.3 IGOSS (I) parametrar

Addering av objekt och bakgrundsbilder har av historiska skäl gjorts med hjälp av sensormodellen IGOSS [6] eftersom rörelseoskärpa som uppkommer när objekt haft en stor transversell rörelse har kunnats simuleras. I de simuleringar som presenteras i denna rapport är rörelseoskärpa, p.g.a. att objektet har en stor hastighet, inte en speciellt viktig effekt att ta hänsyn till och det är därför lättare att hantera objekt och bakgrund i samma modell. Det är däremot viktigt att kunna styra objekten från OPTSIM och av den anledningen måste modellen MAIS hanteras som en objektmodell i OPTSIM i stället för att använda den som en bakgrundsmodell. Detta innebär dock att bilden från MAIS inte kommer att skickas vidare till andra modeller om inte bilden adderas till en bakgrundsbild och denna addering (eller i detta fallet omvandling) sker med hjälp av sensormodellen IGOSS (i praktiken ändras inte bilden av denna hantering i detta fall).

### 5.4 MUSS parametrar

Motmedelsmodellen MUSS användes under simuleringarna för att generera motmedel i form av multispektral vattendimma. De data som varierar i MUSS mellan serierna finns redovisade i tabell 5.4. Data för vattendimman finns redovisade i tabell 9.3, Appendix A. Placeringarna för munstycken, samt data som varierar mellan munstycken finns i tabell 9.4 och 9.5, Appendix A. Dimman, som genereras i MUSS, utvecklas ur munstycken som är utplacerade på stridsvagnen. Av simuleringstekniska skäl används endast ett fåtal munstycken. Dessa är placerade i en rad i fronten och i en rad mitt på stridsvagnen. För att kompensera det låga antalet munstycken, så ökar man vattenmängden per munstycke. För fullgott skydd bör det finnas munstycken över hela stridsvagnen. I dessa simuleringar kommer vinden rakt framifrån och blåser dimman över stridsvagnen.

I serie 5 undersöks effekterna då vissa delar av stridsvagnen framträder trots dimman. Då har det testats dels att ta bort den främre raden av munstycken och dels att flytta de främre munstyckena en liten bit bakåt för att låta fronten av stridsvagnen synas.

Meteorologiska data som användes i modellen finns redovisade i tabell 9.6 Appendix A.

Serie	Temp. himmel	Del synlig
1	2°C	-
2	2°C	-
3	2°C	-
4	2°C, 10°C, 18°C	-
5	2°C	Fronten, halva

**Tabell 5.4** Parametrar i MUSS som ändras mellan serierna.



### 5.5 IGOSS (II) parametrar

IGOSS används även för att lägga till detektorbrus och andra effekter som påverkar vad detektorn ser. Dessa effekter adderas först efter det att motmedel har lagts till. De ingångsdata som använts till denna IGOSS modell finns redovisade i tabell 9.7, Appendix A.

### 5.6 MSG parametrar

Modellen för målsökaren heter MSG (Modell av Slutfasstyrd Granat) och är en generisk modell av en slutfasstyrd granat [7]. De parametrar som användes i denna modell finns redovisade i tabell 9.8, Appendix A.

Modellen är uppbyggd av fyra delar: förbehandling, segmentering, klassificering och målföljning. Förbehandlingen syftar till att efterlikna de bilder som detektorerna i en verklig granat skulle generera. Detektorerna antags vara placerade i en array som roterar för att alstra bilder. Segmenteringen består av en målframhävande filtrering och tröskling för att få fram lämpliga målkandidater. Det filter som används är antingen kantfilter eller spotfilter. Spotfiltret är ett punktframhävande filter, medan kantfiltret framhäver kanter. Alla simuleringar har körts med båda filtren för att se hur valet av filter påverkar utgången av duellen. Klassificeraren bedömer sedan vilken av målkandidaterna som är det lämpligaste målet, med hjälp av en boxklassificerare. Normalvärden till klassificeraren är framtagna med hjälp av träningssekvenser för att få fram värden som beskriver målen på bästa sätt. Normalvärden för stridsvagnarna är givna i tabell 9.9 och 9.10, Appendix A. Olika uppsättningar normalvärden användes för de olika filtren, beroende på att filtreringar med olika filter resulterar i olika binära beslutsbilder. Målvalet sker mellan 500 och 300 meters höjd, beroende på antalet målkandidater i bilden och deras position. Målföljaren består av en korrelationsmålföljare, följt av en centroidmålföljare de sista 200 metrarna. Anledningen till att en centroidmålföljare används de sista 200 metrarna är att i slutfasen så är målet större än målsökarens synfält, samt att en korrelationsmålföljare gärna söker sig till kanter och därmed lätt glider av målet.

### 5.7 Robotdynamik parametrar

För att styra en målsökare i OPTSIM finns det möjlighet att använda antingen en intern intergrerad del av OPTSIM eller en extern modell. Ett exempel på en extern modell är Dynamics[9]. Dynamics har möjlighet att kommunicera och använda robotdynamiken i de avancerade robotmodeller som framtagits inom projekt *Teknisk Hotsystemanalys*. I simuleringarna presenterade i denna rapport används den interna modulen. I detta fallet beskrivs projektilens rörelse med hjälp av syftbäringsstyrning [10] med en begränsad lateral acceleration styrd av  $g_{\max}$  på 60g. Den maximala styrningen per tidsenhet är satt till  $2^\circ$ . Ingångsdata till Robotdynamikblocket finns beskriven i tabell 9.11, Appendix A.

## 6 Resultat: Generellt om varje serie

I detta kapitel beskrivs de resultat som erhållits från de olika simuleringarna. Simuleringarna har delats upp i 5 serier. Varje serie redovisas var för sig i tabellform samt med generella slutsatser. För att avgöra om granaten träffar ett mål har fordonen och det relativa avståndet mellan fordonen och granaten ritats ut skalenligt i grafer samt att de inspelade simuleringarna har studerats. Graferna har plottats med hjälp av programmet OptsimGraph. Ett urval av graferna redovisas i detalj i kapitel 7. De träffar som är markerade med ett frågetecken (?) i tabellen har varit ytterst dåliga träffar. Det har varit svårt att avgöra genom att titta på grafer och studera sekvenserna om granaten träffar målet.

I sista kolumnen i tabellerna ges en närmare beskrivning till de simuleringar där granaten missar sitt mål. Beskrivningarna som anges försöker peka på vad det var som gick fel. Fem olika beskrivningar förekommer mest frekvent. Dessa beskrivs utförligare nedan.

*Klassificeringen* – innebär att ett felaktigt målval har gjorts, dvs ett falskmål har valts.

*Glider av målet* – innebär att målföljaren tappar målet gradvis, t.ex. genom att följepunkten förskjuts bakåt då dimman breder ut sig eller att målföljaren tappar målet beroendet på att fordonet kör in i ett parti där kontrasterna mellan fordonet och bakgrunden minskar.

*Låser över på bakgrunden* – innebär att målföljaren tappar målet helt från en bild till en annan. Uppkommer ofta då målföljaren låst på ett dimfritt mål som sedan täcks in i dimma och ibland då centroidmålföljaren går i gång, då målföljaren har följt ett dimintäckt mål med negativ kontrast.

*Dimmans utbredning* – innebär att målföljaren (låser på och) följer ett dimintäckt mål, men i och med att dimman har större area än fordonet så missar granaten.

Det har visat sig att utseendet hos bakgrunden är avgörande för om målsökaren glider av målet eller låser över på bakgrunden. När målsökaren följer ett mål som befinner sig i en jämn bakgrund glider den oftast i väg från målet gradvis då dimman sätts på medan den löper större risk att låsa över på bakgrunden om målet befinner sig i en klottrig bakgrund.

Den tid som anges som dimmans aktiveringstid räknas från simuleringens startögonblick. Då befinner sig granaten på en höjd av 1000 m och har en hastighet av 250 m/s. Det är alltså bara sista biten av granatens parabel som simuleras. Aktiveringstiden 0 s betyder alltså att dimman slås på precis då höjden är 1000 m.

Vissa simuleringar ser ut att förekomma i flera olika tabeller, men i själva verket är det olika simuleringar. De är namngivna på samma sätt och har likadana parameterlistor men simuleringarna har utförts upprepade gånger och därför kan resultatet variera något. Exempelvis så har simuleringen Edge\_90\_0\_2\_1 (Anfallsaspekt 90°, målens hastighet 0 m/s, himmeltemperatur 2°C, dimmans aktiveringstid 1s) genomförts i serierna 2 och 4 a) och i båda serierna missar granaten sitt mål, men i serie 2 väljs det högra fordonet som mål och målsökaren glider av målet och låser till sist över på bakgrunden och i serie 4 a) väljs fordonet i mitten som mål och målsökaren glider av målet mot eldröret. Skillnader i resultaten mellan samma simulering i olika serier beror på det brus som uppkommer i sensorn.

### 6.1 Serie 1 Referenskörningar

Denna serie visar resultatet från de körningar då den slutfasstyrda granaten kommer in mot fordonen utan att bli utsatt för motmedel. Fordonen har haft tre olika hastigheter; 0, 5, 10 m/s.

	Hastighet [m/s]	Träff	Analys
Edge_0	0	Ja	
Edge_45	0	Ja	
Edge_90	0	Ja	
Edge_0	5	Ja	
Edge_45	5	Ja	
Edge_90	5	Ja	
Edge_0	10	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_45	10	Ja	
Edge_90	10	Ja	
Spot_0	0	Ja	
Spot_45	0	Ja	
Spot_90	0	Ja	
Spot_0	5	Ja	
Spot_45	5	Ja	
Spot_90	5	Ja	
Spot_0	10	Ja	
Spot_45	10	Ja	
Spot_90	10	Ja	

**Tabell 6.1** Resultat av serie 1. Utförligare förklaringar till termerna i kolumnen "analys" ges i inledningen till kapitel 6.

Generellt för denna serie gäller att granaten inte har några problem att träffa ett fordon. Missen sker då kantfilter har används i segmenteringen. Under segmenteringen sker en styrning av granaten, i syfte att försöka hålla kvar så många målkandidater som möjligt i synfältet. Kantfiltret har en tendens att få granaten att styra iväg mot mer klottriga bakgrunder, p.g.a. att klotter i bakgrunden bedöms som målkandidater, och i dessa klottriga miljöer är det större risk att målsökaren blir avhakad.

## 6.2 Serie 2 Vattendimmans aktiveringstid

Denna serie testade vilken betydelse vattendimmans aktiveringstid har på resultatet. Sex olika fördröjningstider har använts; 0, 1, 2, 2.7, 3.1, 3.5 sekunder. Stillastående fordon har studerats. Dimman hade negativ kontrast; himlens temperatur var 2°C.

	Tidsfördröjning motmedel [s]	Träff	Analys
Edge_0	0	Nej	Glider av målet (mot eldröret)
Edge_45	0	Ja (?)	Eldrör
Edge_90	0	Nej	Klassificeringen
Edge_0	1	Ja (?)	Eldrör
Edge_45	1	Nej	Klassificeringen
Edge_90	1	Nej	Glider av målet/Dimmans utbredning
Edge_0	2	Nej	Glider av målet
Edge_45	2	Nej	Klassificeringen
Edge_90	2	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_0	2.7	Nej	Glider av målet
Edge_45	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_90	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_0	3.1	Ja	
Edge_45	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_90	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_0	3.5	Nej	Glider av målet
Edge_45	3.5	Nej	Glider av målet
Edge_90	3.5	Ja	
Spot_0	0	Nej	Klassificeringen
Spot_45	0	Nej	Klassificeringen
Spot_90	0	Nej	Klassificeringen
Spot_0	1	Nej	Klassificeringen
Spot_45	1	Nej	Klassificeringen
Spot_90	1	Nej	Klassificeringen
Spot_0	2	Nej	Klassificeringen
Spot_45	2	Nej	Klassificeringen
Spot_90	2	Nej	Glider av målet
Spot_0	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_45	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_90	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_0	3.1	Nej	Glider av målet
Spot_45	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_90	3.1	Ja	
Spot_0	3.5	Nej	Glider av målet
Spot_45	3.5	Ja	
Spot_90	3.5	Nej	Glider av målet

**Tabell 6.2** Resultat av serie 2. Utförligare förklaringar till termerna i kolumnen “analys” ges i inledningen till kapitel 6.

Generellt för denna serie gäller att granaten har problem att träffa målet. Anledningen till missarna varierar beroende på vilket filter som har använts vid segmenteringen och beroende på motmedlets fördröjningstid. De olika fördröjningstiderna är valda så att några infaller innan målval och några efter målval, beroende på när målvalet sker.

Tidpunkterna 0, 1 och 2 s ger likvärdiga resultat för respektive filter. När dimman aktiveras vid dessa tidpunkter är fordonen helt dimintäckta vid målval, med ett fåtal undantag för 2 s fördröjningstid. Tidpunkterna 2.7, 3.1 och 3.5 s ger likvärdiga resultat för respektive filter. När dimman aktiveras vid dessa tidpunkter sker målval innan dimman börjat utvecklas eller då den bara täcker fordonen delvis.

**Kantfilter:** När kantfilter används i segmenteringen är nästan alltid fordonen med som målkandidater, oavsett om de är intäckta i dimma eller inte. I 2/3 av fallen då fordonen är helt intäckta av vattendimma lyckas klassificeraren ändå välja ett av fordonen som mål. När ett korrekt målval har gjorts, trots dimintäckta fordon, är det sällan några problem med målföljningen, men i och med att vattendimmans area är betydligt större än fordonets area glider granaten förbi målet och slår ned bredvid. Det är också vanligt att målsökaren söker sig mot eldröret då centroidmålföljningen påbörjas vilket resulterar i att granaten slår ner framför vagnen och i värsta fall träffar eldröret. I de övriga fallen, då klassificeringen går fel, har de dimintäckta fordonen för stora areor och för låga medelvärden för att bedömas som ett optimalt mål. Om målsökaren ska bli helt avhakad är det bäst att dimman dyker upp strax efter pålåsning. Då byter fordonet kontrast under följefasen vilket ofta får korrelationsmålföljaren att låsa över på bakgrunden.

**Spotfilter:** När spotfilter används och motmedlet aktiveras i ett tidigt skede misslyckas oftast klassificeringen och således även målföljningen. När fordonen är intäckta i mörk vattendimma vid målval kommer beslutsbilden bara att innehålla falskmål. Spotfiltret kräver positiv kontrast hos målen för att kunna framhäva dem. När dimman aktiveras i ett senare skede, så att målval sker då fordonen är dimfria eller delvis täckta, glider målsökaren av målet eller låser över på bakgrunden.

Det är betydligt ovanligare att målsökaren låser över på bakgrunden när spotfilter används än när kantfilter används. Detta kan förklaras av att kantfiltreringen ofta får målsökaren att vandra iväg mot klotttiga områden och att målsökaren löper större risk att bli avhakad i sådana miljöer.

Målsökaren är speciellt känslig för avhakning vid två tillfällen, dels direkt efter att målval har gjorts och dels i övergången från korrelationsmålföljning till centroidmålföljning (på 200 meters höjd).

### 6.3 Serie 3 Fordonens hastighet

Denna serie testade om fordonens hastighet har någon inverkan på vattendimmans effektivitet. Tre olika fördröjningstider för motmedlet har använts; 1, 2.7 och 3.1 sekunder och tre olika hastigheter jämfördes; 0, 5 och 10 m/s. Fördröjningstiderna är valda så att dimman startar innan målval, efter målval, samt ungefär vid målval. Vattendimman hade negativ kontrast; himlens temperatur var 2°C.

#### a) Hastighet: 0 m/s

	Tidsfördröjning motmedel [s]	Träff	Analys
Edge_0	1	Ja (?)	Eldrör
Edge_0	2.7	Nej	Glider av målet
Edge_0	3.1	Ja	
Edge_45	1	Nej	Klassificeringen
Edge_45	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_45	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_90	1	Nej	Glider av målet (mot eldröret)
Edge_90	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_90	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_0	1	Nej	Klassificeringen
Spot_0	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_0	3.1	Nej	Glider av målet
Spot_45	1	Nej	Klassificeringen
Spot_45	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_45	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_90	1	Nej	Klassificeringen
Spot_90	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_90	3.1	Ja	

**Tabell 6.3** Resultat av serie 3. Utförligare förklaringar till termerna i kolumnen "analys" ges i inledningen till kapitel 6.

**b) Hastighet: 5 m/s**

	Tidsfördröjning motmedel [s]	Träff	Analys
Edge_0	1	Nej	Klassificeringen
Edge_0	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_0	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_45	1	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_45	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_45	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_90	1	Nej	Glider av målet/Låser över på bakgrunden
Edge_90	2.7	Nej	Glider av målet
Edge_90	3.1	Ja	
Spot_0	1	Nej	Klassificeringen
Spot_0	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_0	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_45	1	Nej	Klassificeringen
Spot_45	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_45	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_90	1	Nej	Klassificeringen
Spot_90	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_90	3.1	Ja	

**Tabell 6.4** Resultat av serie 3. Utförligare förklaringar till termerna i kolumnen "analys" ges i inledningen till kapitel 6.

## c) Hastighet: 10 m/s

	Tidsfördröjning motmedel [s]	Träff	Analys
Edge_0	1	Nej	Glider av målet
Edge_0	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_0	3.1	Nej	Glider av målet/Låser över på bakgrunden
Edge_45	1	Nej	Klassificeringen
Edge_45	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_45	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_90	1	Nej	Klassificeringen
Edge_90	2.7	Nej	Glider av målet
Edge_90	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_0	1	Nej	Klassificeringen
Spot_0	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_0	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_45	1	Nej	Klassificeringen
Spot_45	2.7	Nej	Glider av målet/Låser över på bakgrunden
Spot_45	3.1	Nej	Glider av målet
Spot_90	1	Nej	Klassificeringen
Spot_90	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_90	3.1	Ja	

**Tabell 6.5** Resultat av serie 3. Utförligare förklaringar till termerna i kolumnen "analys" ges i inledningen till kapitel 6.

Liksom i simuleringarna med stillastående fordon, serie 2, har granaten generellt problem med att träffa något av målen. Ett par skillnader i resultaten mellan simuleringar med stillastående fordon och fordon som förflyttar sig uppstår. En skillnad är att när fordonen rör sig breder dimman ut sig över ett större område. Detta medför att granaten får ett större bomavstånd i de fall då målsökaren låst över på dimman och glider av målet. En annan skillnad är att målsökaren löper extra risk att bli avhakad om fordonet som målsökaren låst på förflyttar sig in i ett område med mycket klotter.



#### 6.4 Serie 4 Himmeltemperaturens inverkan

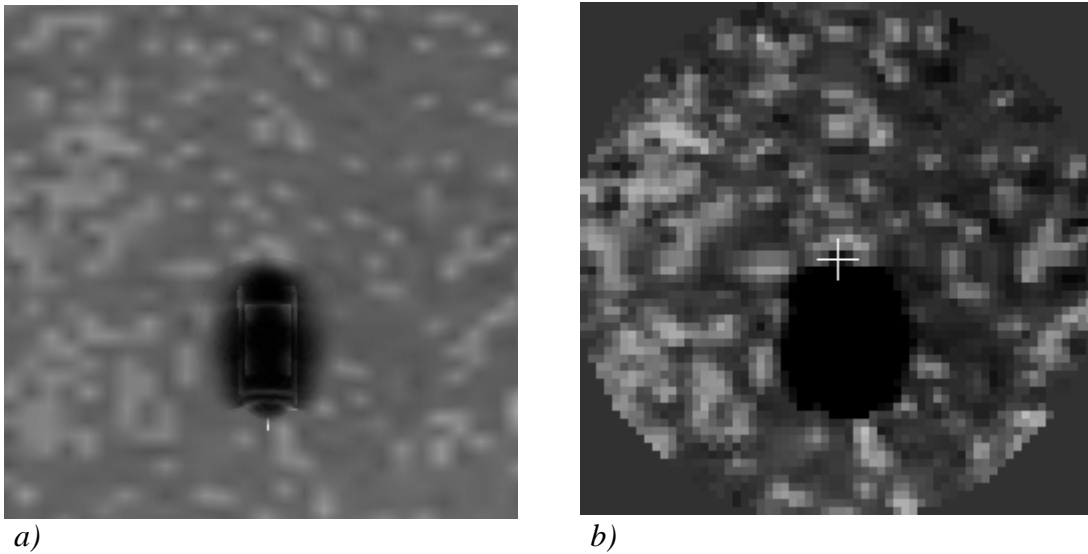
Denna serie testade hur vattendimmans olika uppträdanden i olika väderomständigheter påverkar vattendimmans effektivitet som motmedel. Dvs dimmans kontrast gentemot bakgrunden har varierats. Dimmans radians beror till största delen av reflekterad strålning från himlen. Genom att variera himlens temperatur i MUSS kan man ändra kontrasterna i bilden. För bildexempel se figur 6.1, 6.2 och 6.3. Denna serie använder genomgående stillastående fordon. Tre olika fördröjningstider för vattendimman har använts; 1, 2.7 och 3.1 s.

##### a) Negativ kontrast. Himmeltemperatur: 2°C

	Tidsfördröjning motmedel [s]	Träff	Analys
Edge_0	1	Ja (?)	Eldrör
Edge_0	2.7	Nej	Glider av målet
Edge_0	3.1	Ja	
Edge_45	1	Nej	Klassificeringen
Edge_45	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_45	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_90	1	Nej	Glider av målet (mot eldröret)
Edge_90	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_90	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_0	1	Nej	Klassificeringen
Spot_0	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_0	3.1	Nej	Glider av målet
Spot_45	1	Nej	Klassificeringen
Spot_45	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_45	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_90	1	Nej	Klassificeringen
Spot_90	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_90	3.1	Ja	

**Tabell 6.6** Resultat av serie 4 a). Utförligare förklaringar till termerna i kolumnen "analys" ges i inledningen till kapitel 6.

När dimman har negativ kontrast har granaten problem att träffa målen. För utförligare slutsatser se avsnitt 6.2. Exempel på hur dimma med negativ kontrast ser ut finns i figur 6.1.



**Figur 6.1** Bildexempel som visar dimma med negativ kontrast. a) visar bild från COUNTERMEASURE-blocket i OPTSIM och b) visar motsvarande bild från DYNAMIK-blocket.

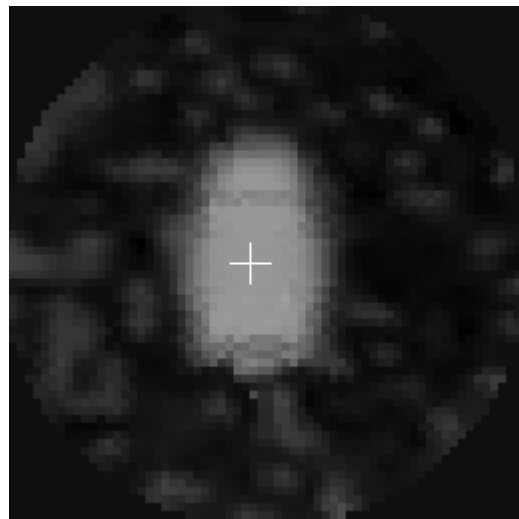
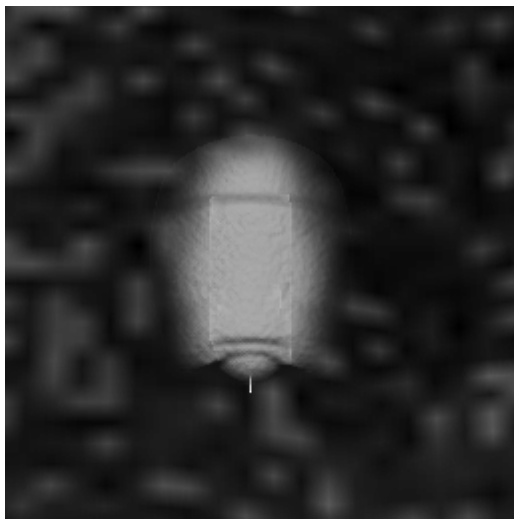
**b) Positiv kontrast. Himmelterperatur: 18°C**

	Tidsfördröjning motmedel [s]	Träff	Analys
Edge_0	1	Nej	Klassificeringen
Edge_0	2.7	Ja	
Edge_0	3.1	Ja	
Edge_45	1	Nej	Dimmans utbredning
Edge_45	2.7	Ja	
Edge_45	3.1	Ja	
Edge_90	1	Nej	Dimmans utbredning
Edge_90	2.7	Ja	
Edge_90	3.1	Ja	
Spot_0	1	Nej	Klassificeringen
Spot_0	2.7	Ja	
Spot_0	3.1	Ja	
Spot_45	1	Nej	Klassificeringen
Spot_45	2.7	Ja	
Spot_45	3.1	Ja	
Spot_90	1	Ja	
Spot_90	2.7	Ja	
Spot_90	3.1	Ja	

**Tabell 6.7** Resultat av serie 4 b). Utförligare förklaringar till termerna i kolumnen "analys" ges i inledningen till kapitel 5.

När dimman har positiv kontrast gentemot bakgrunden ökar träffsannolikheten väsentligt. Dimman utgör dock fortfarande ett skydd, i synnerhet om dimman startar vid en så pass tidig tidpunkt att dimman hinner breda ut sig ordentligt.

När dimman har positiv kontrast finns de dimintäckta fordonen med som målkandidater även då spotfilter har använts i segmenteringen. Att klassificeringen ändå har en tendens att gå fel beror på att dimman gör att fordonen får alldeles för stor area samt att standardavvikelsen för intensitetsvärdena minskar (dimman är homogen). Exempel på hur dimma med positiv kontrast ser ut finns i figur 6.2.



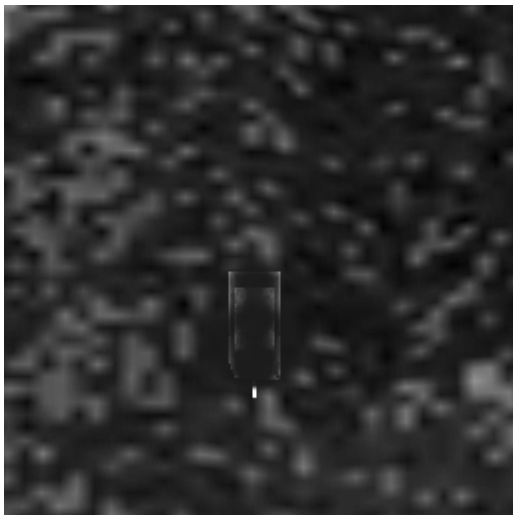
a) *Figur 6.2* Bildexempel som visar dimma med positiv kontrast. a) visar bild från COUNTERMEASURE-blocket i OPTSIM och b) visar motsvarande bild från DYNAMIK-blocket.

## c) Utsuddade kontraster. Himmeltemperatur: 10°C

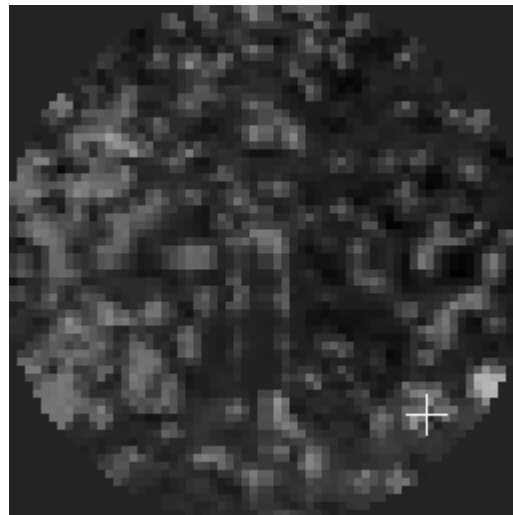
	Tidsfördröjning motmedel [s]	Träff	Analys
Edge_0	1	Nej	Klassificeringen
Edge_0	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_0	3.1	Nej	Glider av målet
Edge_45	1	Nej	Klassificeringen
Edge_45	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_45	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_90	1	Nej	Klassificeringen
Edge_90	2.7	Ja	
Edge_90	3.1	Ja	
Spot_0	1	Nej	Klassificeringen
Spot_0	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_0	3.1	Ja	
Spot_45	1	Nej	Klassificeringen
Spot_45	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_45	3.1	Ja	
Spot_90	1	Nej	Klassificeringen
Spot_90	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_90	3.1	Ja	

**Tabell 6.8** Resultat av serie 4 c). Utförligare förklaringar till termerna i kolumnen "analys" ges i inledningen till kapitel 6.

När dimman kontrasterar dåligt mot bakgrunden kan man se att även kantfilter har problem vid klassificeringen. I övrigt kan man se att målsökaren tenderar att låsa över på bakgrunden när dimman dyker upp, vilket beror på att målföljaren har större problem att följa en dimma med dåliga kontraster. När dimman har positiv och negativ kontrast lyckas ofta målföljaren låsa över på dimman och istället för att bli totalt avhakad, glider den gradvis ifrån målet allteftersom dimman breder ut sig. Exempel på hur dimma med utsuddad kontrast ser ut finns i figur 6.3.



a)



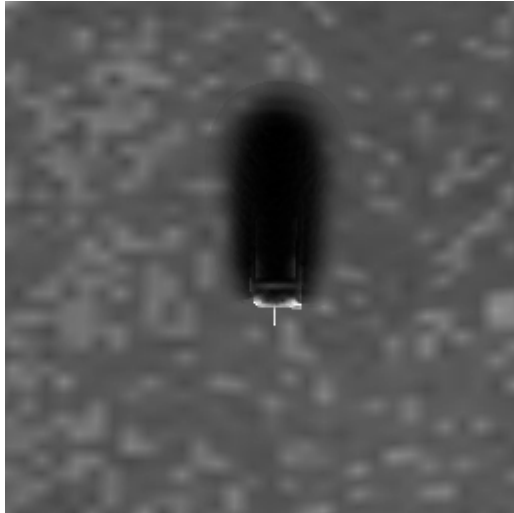
b)

**Figur 6.3** Bildexempel som visar dimma med utsuddad kontrast. a) visar bild från COUNTERMEASURE-blocket i OPTSIM och b) visar motsvarande bild från DYNAMIK-blocket.

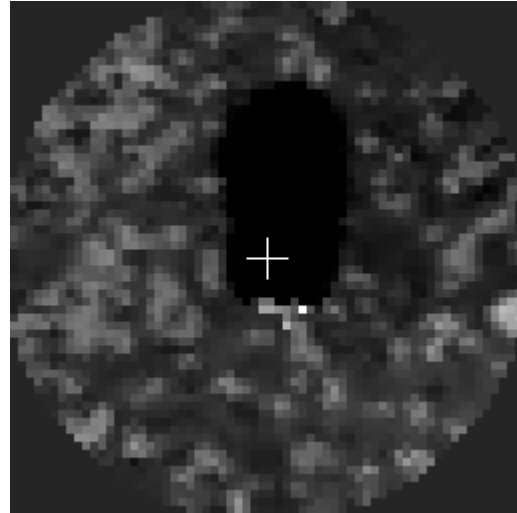
### 6.5 Serie 5 Olika grader av fordonens intäckning av vattendimma

Denna serie testade hur resultatet av duellsimuleringarna påverkades av att dels fronten på fordonen ej blev intäckta av dimma när motmedlet aktiverades och dels att endast halva vagnen blev intäckt, något som eventuellt skulle kunna inträffa om någon del av vattendimmasystemet havererade. Tre olika fördröjningstider har använts; 1, 2.7 och 3.1 sekunder. Stillastående fordon har studerats. Vattendimman hade negativ kontrast; himlens temperatur var 2°C.

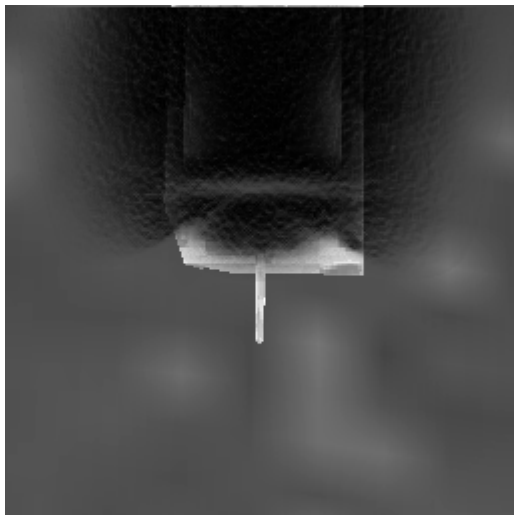
#### a) Fronten synlig



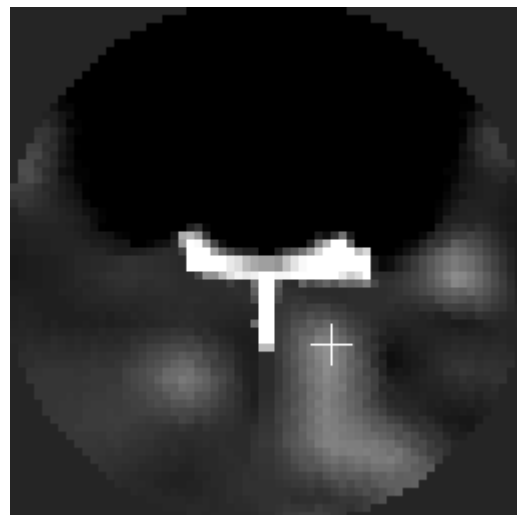
a)



b)



c)



d)

**Figur 6.4** Bildexempel som visar hur mycket fronten har syns i simuleringarna. a) visar bild från COUNTERMEASURE-bloket i OPTSIM och b) visar motsvarande bild från DYNAMIK-bloket. c) och d) visar bilder från ett senare tillfälle i granatens närmandeförlopp. Korset visar den punkt som målsökaren styr mot.

Figur 6.4 visar exempel på hur bilderna ser ut när fronten är synlig. På grund av att målsökaren har dålig upplösning märks det inte att fronten är synlig på hög höjd.

	Tidsfördröjning motmedel [s]	Träff	Analys
Edge_0	1	Nej	Glider av målet (mot fronten)
Edge_0	2.7	Ja (?)	Eldrör
Edge_0	3.1	Nej	Glider av målet
Edge_45	1	Nej	Klassificering
Edge_45	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_45	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_90	1	Nej	Glider av målet (mot fronten)
Edge_90	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_90	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_0	1	Nej	Klassificering
Spot_0	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_0	3.1	Nej	Glider av målet
Spot_45	1	Nej	Glider av målet (mot fronten)
Spot_45	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_45	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_90	1	Nej	Klassificering
Spot_90	2.7	Nej	Glider av målet
Spot_90	3.1	Ja (?)	Snuddar bakre delen av fordonet

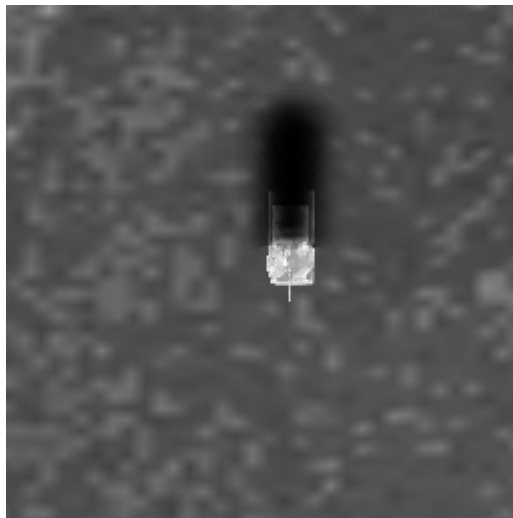
**Tabell 6.9** Resultat av serie 5 a). Utförligare förklaringar till termerna i kolumnen "analys" ges i inledningen till kapitel 6.

Generellt gäller att granaten missar sitt mål trots att fronten ej är intäckt i dimma. Träffarna som har inträffat har varit ytterst dåliga träffar, därav frågetecknen.

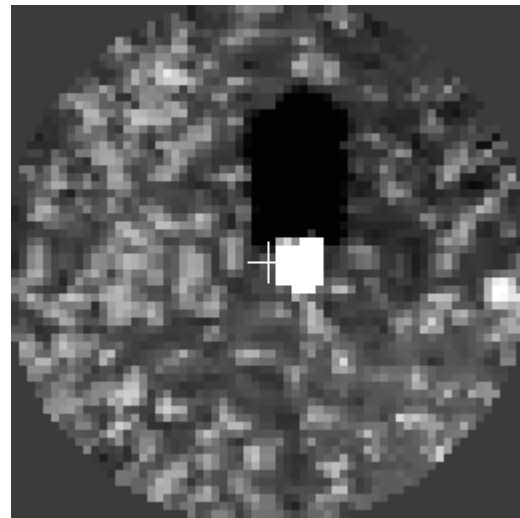
När kantfilter har använts kan man se att de tillfällen då målsökaren dragit sig mot fronten, har fordonen varit så gott som intäckt av dimma och målsökaren har låst mitt på dimman och följt den fram tills dess att centroidmålföljaren gått igång och då har målföljaren sökt sig fram mot fronten och eldröret. När dimman utvecklas efter mållåsning är det stor chans att målsökaren blir avhakad.

När spotfilter används och dimman har negativ kontrast måste fronten synas redan vid beslutsögonblicket för att följningen ska lyckas. Men eftersom målsökaren har dålig upplösning (32 detektorelement resulterar i bilder bestående av 64×64 pixlar) är det sällsynt att fronten syns tillräckligt tydligt vid beslutshöjden. Då dimman utvecklas efter mållåsning söker sig målföljaren längre och längre bak på fordonen.

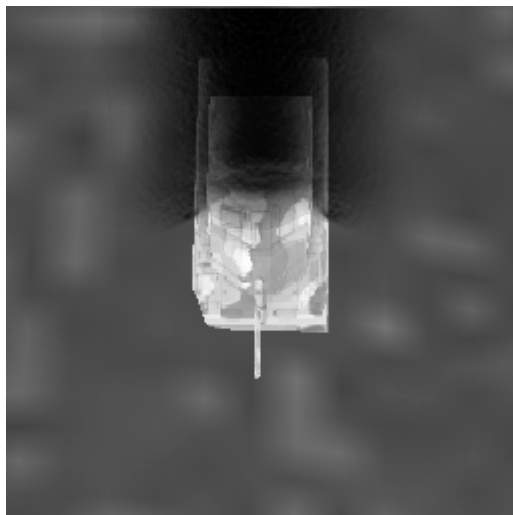
**b) Halva vagnen synlig**



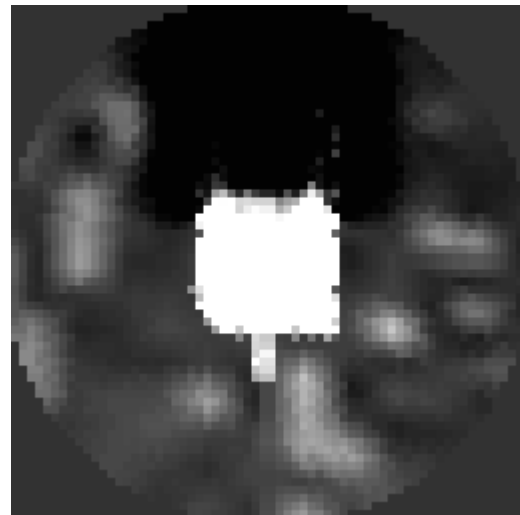
a)



b)



c)



d)

**Figur 6.5** Bildexempel som visar hur mycket fronten har syns i simuleringarna. a) visar bild från COUNTERMEASURE-blocket i OPTSIM och b) visar motsvarande bild från DYNAMIK-blocket. c) och d) visar bilder från ett senare tillfälle i granatens närmandeförlopp. Korset visar den punkt som målsökaren styr mot.

Figur 6.5 visar exempel på hur bilderna ser ut när endast halva vagnen dolts av vattendimma. Trots att målsökaren har dålig upplösning syns stridsvagnen tydligt på hög höjd.



	Tidsfördröjning motmedel [s]	Träff	Analys
Edge_0	1	Ja	
Edge_0	2.7	Ja	
Edge_0	3.1	Ja	
Edge_45	1	Ja	
Edge_45	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_45	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_90	1	Ja	
Edge_90	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Edge_90	3.1	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_0	1	Ja	
Spot_0	2.7	Ja	
Spot_0	3.1	Ja	
Spot_45	1	Ja	
Spot_45	2.7	Nej	Låser över på bakgrunden
Spot_45	3.1	Ja	
Spot_90	1	Ja	
Spot_90	2.7	Ja	
Spot_90	3.1	Ja	

**Tabell 6.10** Resultat av serie 5 b). Utförligare förklaringar till termerna i kolumnen "analys" ges i inledningen till kapitel 6.

När så pass mycket som halva vagnen är synlig trots användandet av vattendimma ökar träffsannolikheten väsentligt.

När kantfilter har använts löper målsökaren större risk att bli avhakad, vilket kan bero på att kantfiltreringen under segmenteringsfasen fått målsökaren att vandra iväg mot klottrigare bakgrunder.

## 6.6 Sammanfattning av träffbild i tabellform

Nedan visas en tabell över träffsannolikheterna för de olika serierna.

	Filter	#körningar	#träffar	Träffsannolikhet %
Serie 1	Edge	9	8	89
Serie 2	Edge	18	2 (4)	11 (22)
Serie 3a	Edge	9	1 (2)	11 (22)
Serie 3b	Edge	9	1	11
Serie 3c	Edge	9	0	0
Serie 4a	Edge	9	1 (2)	11 (22)
Serie 4b	Edge	9	6	67
Serie 4c	Edge	9	2	22
Serie 5a	Edge	9	0 (1)	0 (11)
Serie 5b	Edge	9	5	56
Serie 1	Spot	9	9	100
Serie 2	Spot	18	2	11
Serie 3a	Spot	9	1	11
Serie 3b	Spot	9	1	11
Serie 3c	Spot	9	1	11
Serie 4a	Spot	9	1	11
Serie 4b	Spot	9	7	78
Serie 4c	Spot	9	3	33
Serie 5a	Spot	9	0 (1)	0 (11)
Serie 5b	Spot	9	8	89

**Tabell 6.11** Sammanfattning över utfallet i de olika simuleringsserierna.

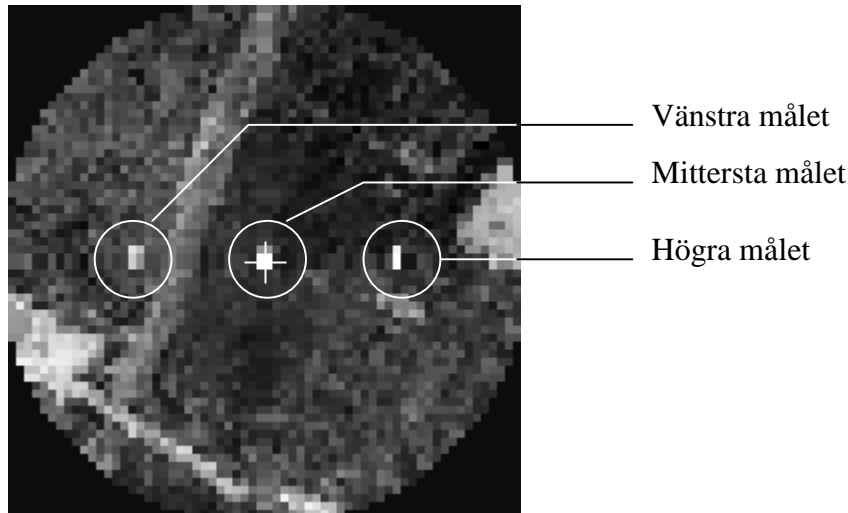
Siffror inom parantes är värden inklusive träffar på eldrör. I och med att antalet simuleringar för varje serie är litet, ger någon enstaka träff ett stort utslag i träffsannolikheten. För att få mer tillförlitliga värden måste fler simuleringar för varje serie utföras, men det är åtminstone möjligt att utläsa tendenser ur materialet som det sen är möjligt att utvärdera vidare.



## 7 Resultat: Detaljer om enstaka simuleringar

Detta kapitel innehåller detaljer och bilder från ett urval av de gjorda simuleringarna. Detaljstudier har gjorts för samtliga simuleringar men p.g.a. av den stora mängden simuleringar har vi valt att bara redovisa en delmängd av dessa detaljstudier. Detaljstudierna redovisas för att läsaren ska få en bättre insikt i arbetets gång men det är det fullständiga resultatet i kapitel 6 som är av största vikt.

Vi har valt att redovisa detaljstudier från simuleringar gjorda med anfallsvinkel  $0^\circ$  och två fördröjningstider för motmedlet, 1 och 3.1 s.



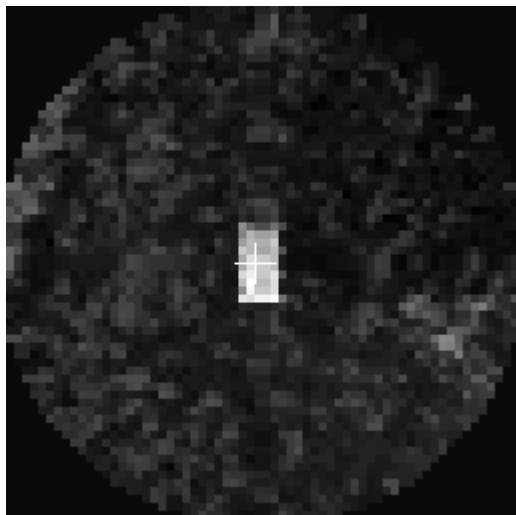
*Figur 7.1 Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid öppningsögonblicket.*

Ovan visas en bild av vad en granat i anfallsvinkel  $0^\circ$  (yaw  $0^\circ$  och pitch  $60^\circ$ ) ser i öppningsögonblicket på 1000 m höjd. Övriga bilder som visas i detta kapitel visar vad målsökaren ser vid beslutsögonblicket, som ligger mellan 500 och 300 m höjd. Dessutom finns figurer, ritade av programmet OptsimGraph, som visar målet och granatens position relativt målet i de olika simuleringarna. Koordinataxlarna i dessa grafer är ritade utifrån det jordfasta koordinatsystemet translaterat till centrum för målet i mitten. Figurer med dessa relativa positioner har använts för att bestämma var på fordonet roboten har träffat. Dessa träffpunkter har bekräftats av bildsekvenserna. Bildsekvenserna har dessutom använts till att studera och förklara robotens beteende i de enstaka fallen.

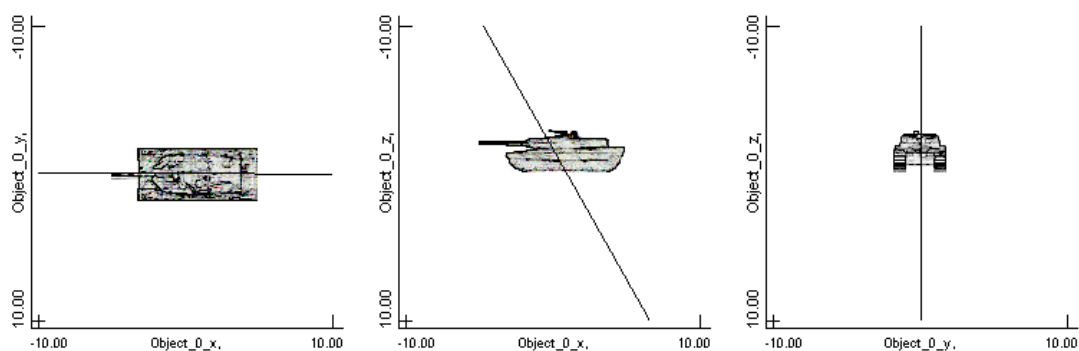
## 7.1 Serie 1 Referenskörningar – Utan vattendimma

### 7.1.1 Simulering Utan vattendimma, 0 m/s, kantfilter

I denna simulering väljer målsökaren fordonet i mitten som mål. Målföljaren lyckas därefter följa fordonet hela vägen och granaten får in en bra träff.



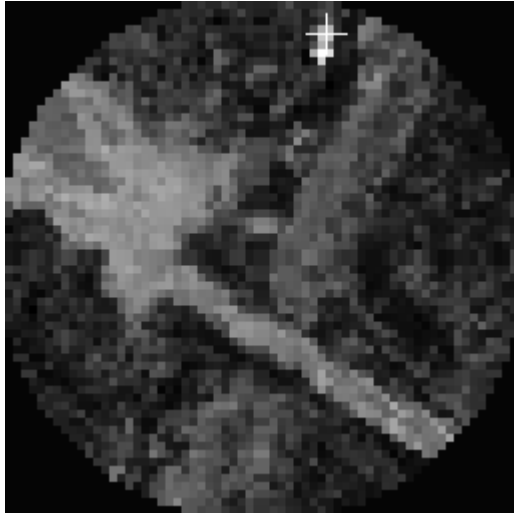
**Figur 7.2** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



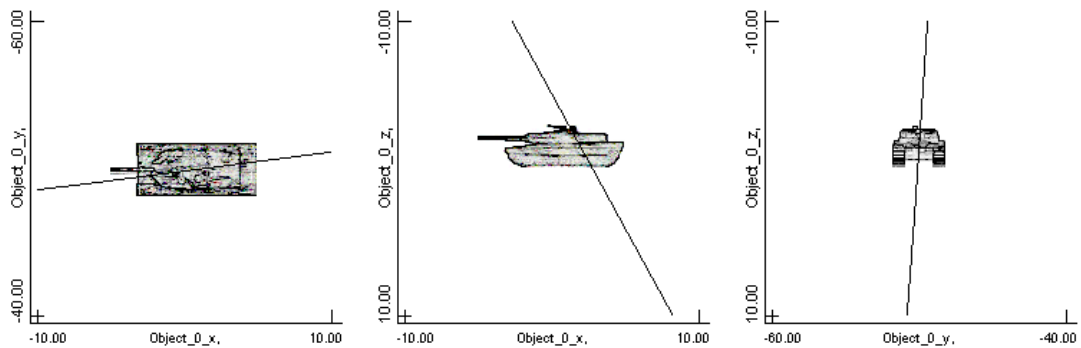
**Figur 7.3** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

### 7.1.2 Simulering Utan vattendimma, 5 m/s, kantfilter

I denna simulering väljs det vänstra fordonet. Detta är också det enda av fordonen som finns med i beslutsbilden beroende på att målsökaren har vandrat i väg under segmenteringen. Målföljaren lyckas därefter följa fordonet hela vägen och granaten får in en bra träff.



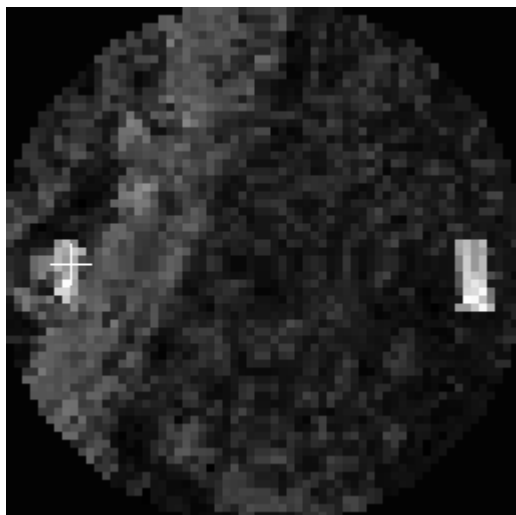
*Figur 7.4 Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.*



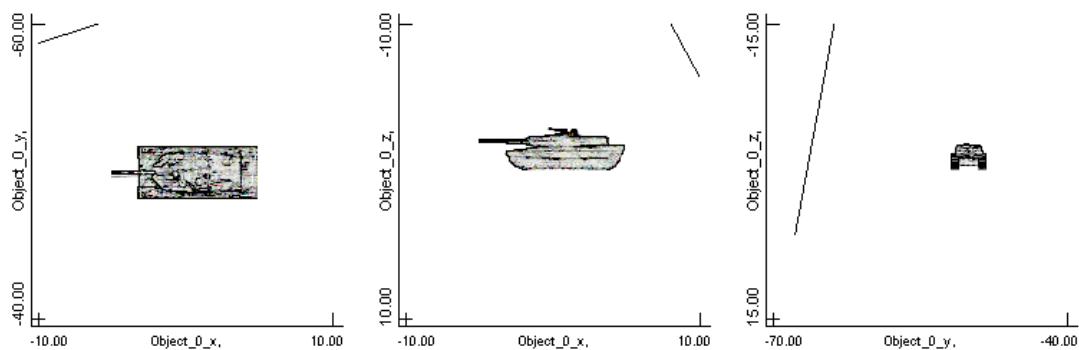
*Figur 7.5 En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).*

### 7.1.3 Simulering Utan vattendimma, 10 m/s, kantfilter

I denna simulering väljs det vänstra fordonet som mål. Målföljaren glider av målet när detta kör in i det ljusare området och därefter låser målsökaren över på bakgrunden.



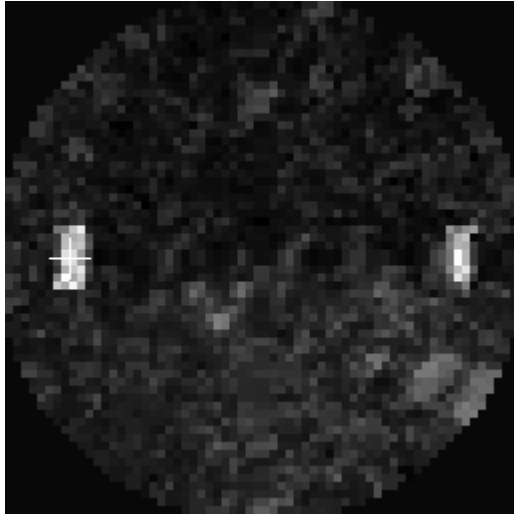
**Figur 7.6** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



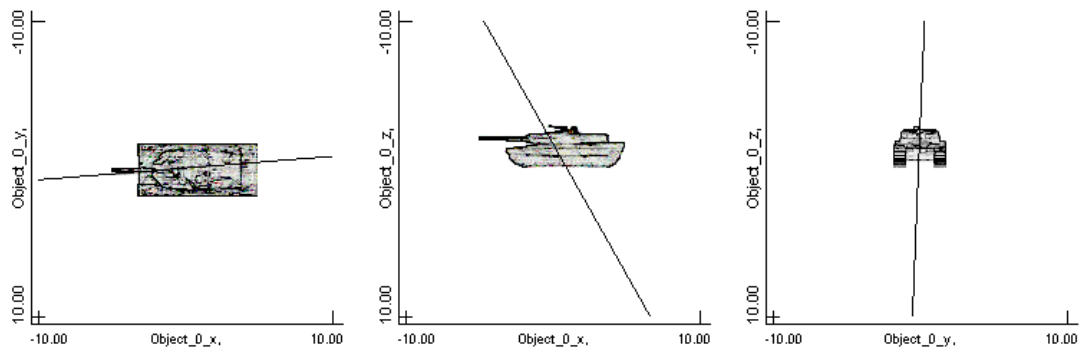
**Figur 7.7** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

#### 7.1.4 Simulering Utan vattendimma, 0 m/s, spotfilter

I denna simulering väljs fordonet i mitten som mål. Målföljaren lyckas därefter följa fordonet hela vägen och granaten får in en bra träff.



**Figur 7.8** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.

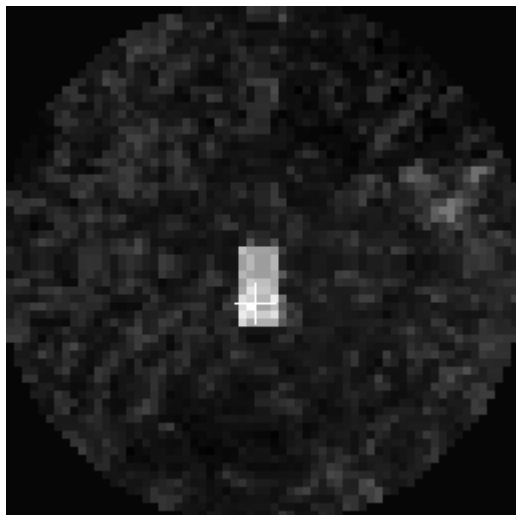


**Figur 7.9** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

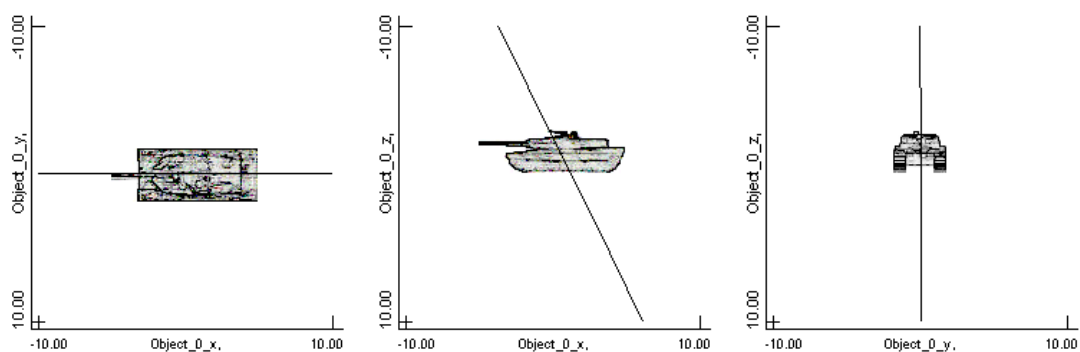


### 7.1.5 Simulering Utan vattendimma, 5 m/s, spotfilter

I denna simulering väljs fordonet i mitten som mål. Målföljaren lyckas därefter följa fordonet hela vägen och granaten får in en bra träff.



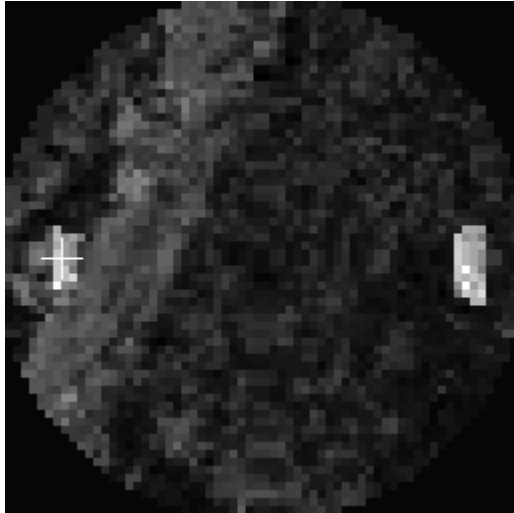
**Figur 7.10** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



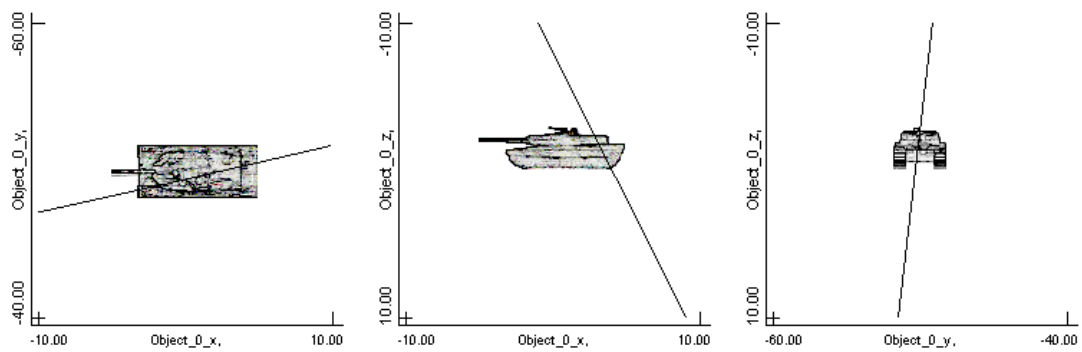
**Figur 7.11** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

### 7.1.6 Simulering Utan vattendimma, 10 m/s, spotfilter

I denna simulering väljs det vänstra fordonet som mål. Målföljaren lyckas därefter följa fordonet hela vägen och granaten får in en bra träff. Att träffpunkten är något förskjuten bakåt beror förmodligen på att granaten inte hinner kompensera tillräckligt för att fordonet rör sig framåt.



*Figur 7.12 Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.*

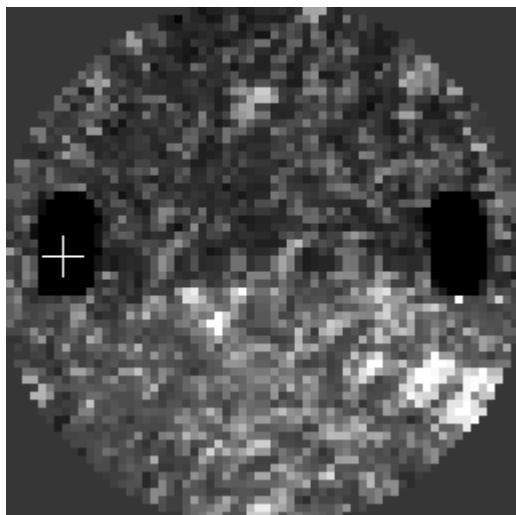


*Figur 7.13 En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).*

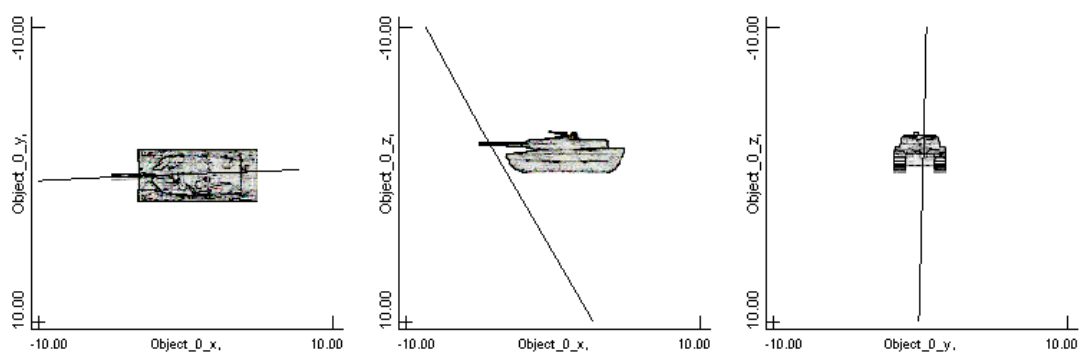
## 7.2 Serie 2 Variation av vattendimmans aktiveringstid

### 7.2.1 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, kantfilter

I denna simulering valdes ett av de dimintäckta fordonen som mål. Dimman gör att medelvärdet och standardavvikelsen för dessa målkandidater blir lägre än önskat och att arean blir för stor, men p.g.a. att det inte finns några andra lämpligare målkandidater kan de väljas ändå. När eldröret blir synligt i slutet av sekvensen söker sig målsökaren mot detta och granaten ser ut att få in en träff.



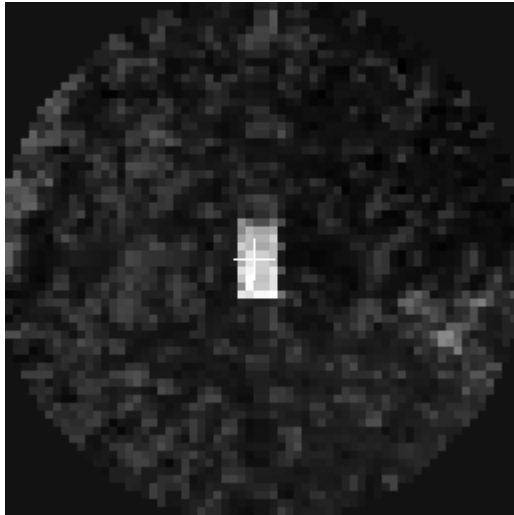
**Figur 7.14** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



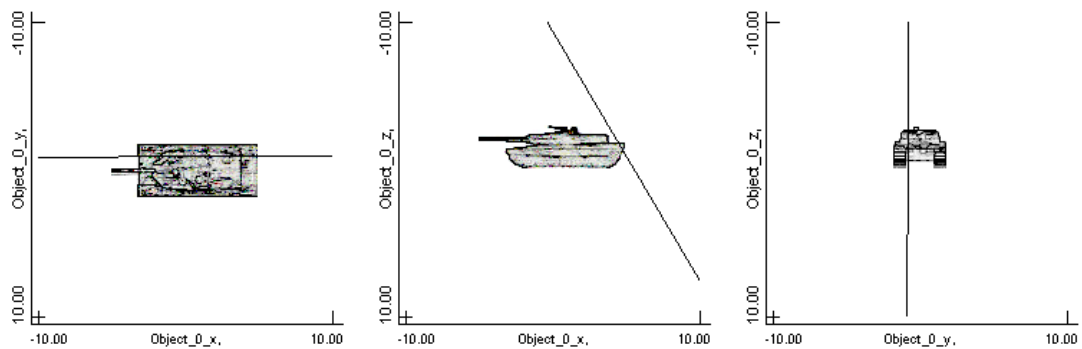
**Figur 7.15** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

### 7.2.2 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, kantfilter

I denna simulering låser målsökaren på fordonet i mitten innan dimman har utvecklats. När dimman utvecklas glider målsökaren bakåt och granaten slår ner på fordonets bakre delar.



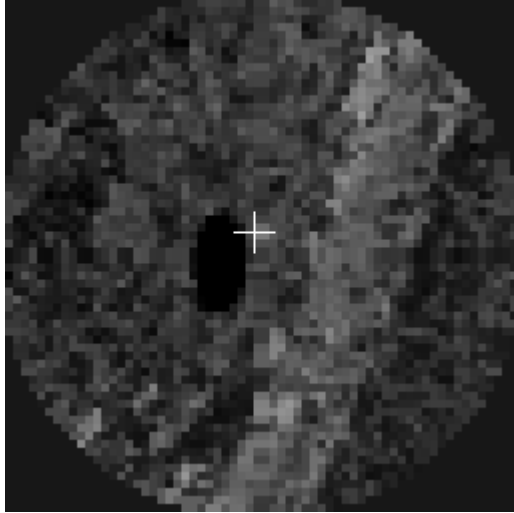
**Figur 7.16** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



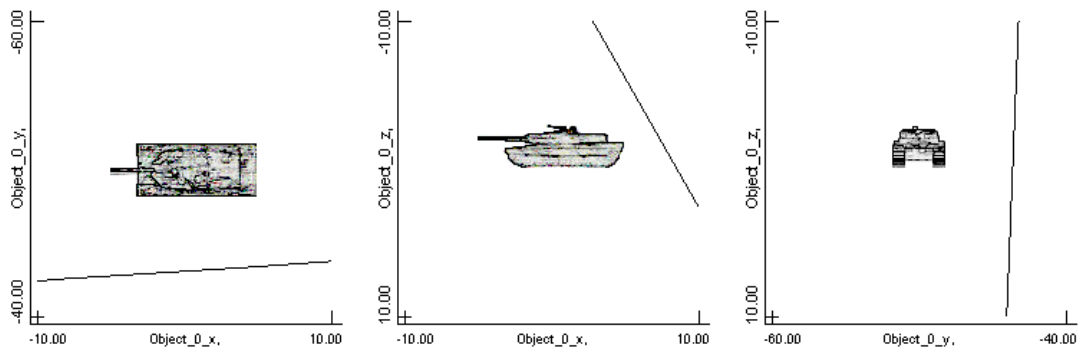
**Figur 7.17** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

### 7.2.3 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, spotfilter

I denna simulering går det fel redan vid klassificeringen. En punkt bredvid det vänstra fordonet väljs och granaten styr mot denna och missar därmed målet.



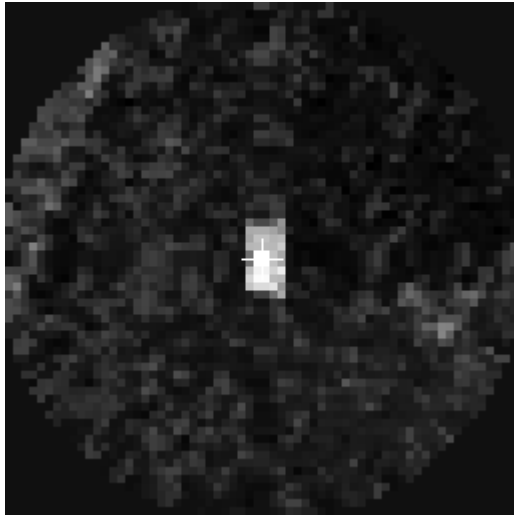
**Figur 7.18** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



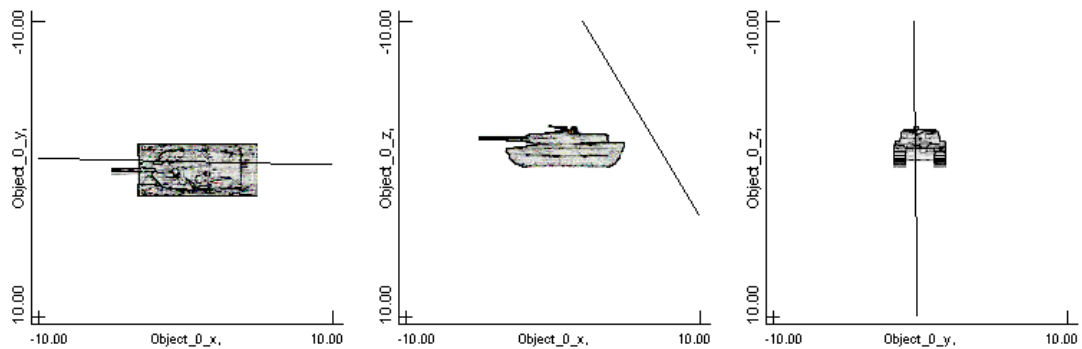
**Figur 7.19** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

### 7.2.4 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, spotfilter

I denna simulering sker målval innan dimman har utvecklats och fordonet i mitten väljs som mål. När dimman utvecklas förskjuts följepunkten bakåt och granaten slår ner bakom målet.



**Figur 7.20** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.

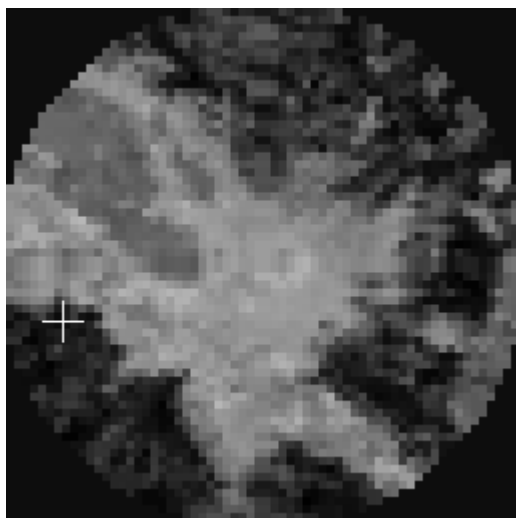


**Figur 7.21** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

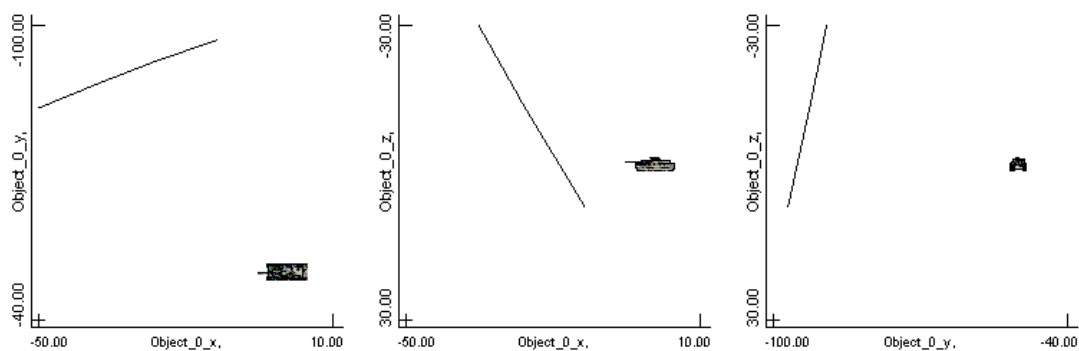
### 7.3 Serie 3 Variation av fordonens hastighet – Med vattendimma

#### 7.3.1 Simulering Fördröjningstid: 1s, 5 m/s, kantfilter

I denna simulering går klassificeringen fel och därmed även målföljningen. Målföljaren har vandrat iväg redan under segmenteringsfasen p.g.a. att kantfiltret hittat många objekt som tolkats som målkandidater.



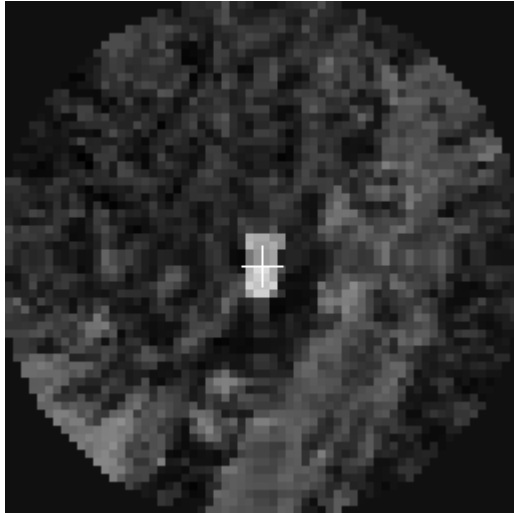
*Figur 7.22 Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.*



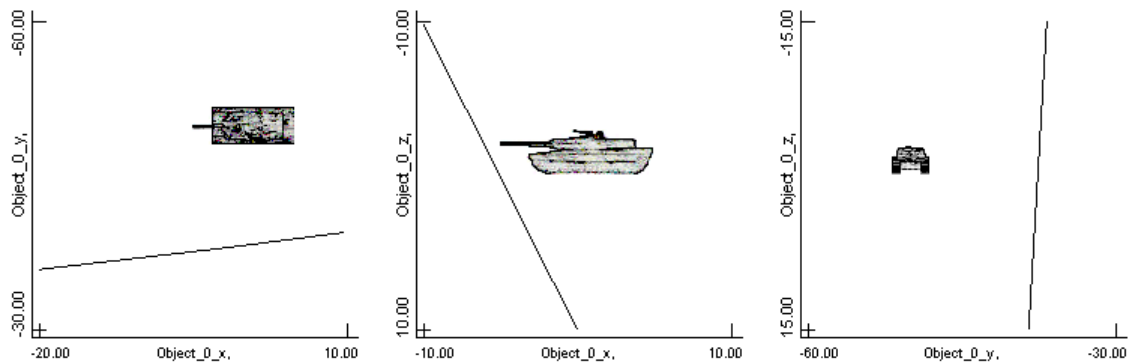
*Figur 7.23 En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).*

### 7.3.2 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 5 m/s, kantfilter

I denna simulering väljs det vänstra fordonet som mål. När dimman utvecklas blir målsökaren avhakad.



**Figur 7.24** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.

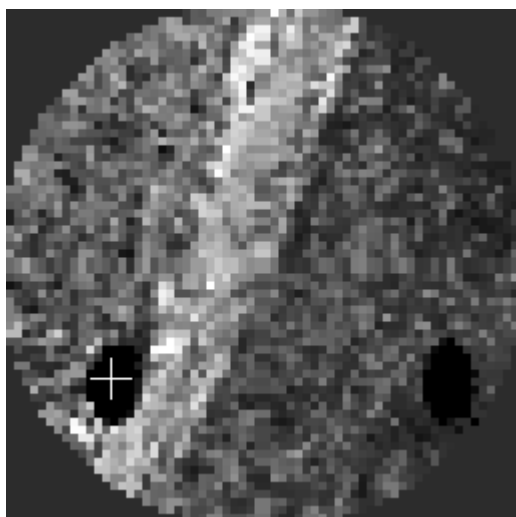


**Figur 7.25** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

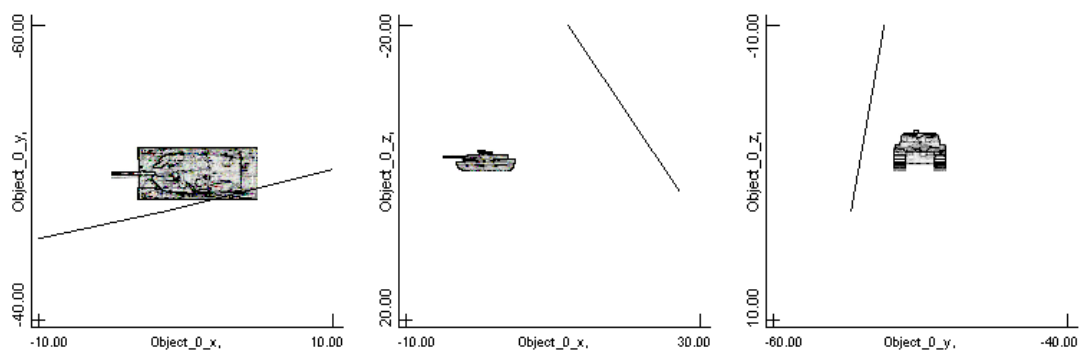


### 7.3.3 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 10 m/s, kantfilter

I denna simulering låser målsökaren på det vänstra dimintäckta fordonet. När dimman breder ut sig ytterligare glider målsökaren längre och längre bakåt på dimman. När centroidmålföljaren går igång lägger den sig med låspunkten strax bakom dimman. Detta resulterar i att granaten slår ner långt bakom fordonet. Den stora utbredningen hos dimman kan förklaras av att fordonet rör sig framåt.



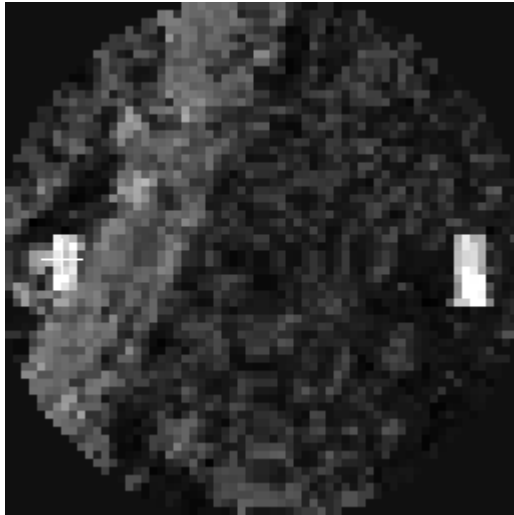
*Figur 7.26 Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.*



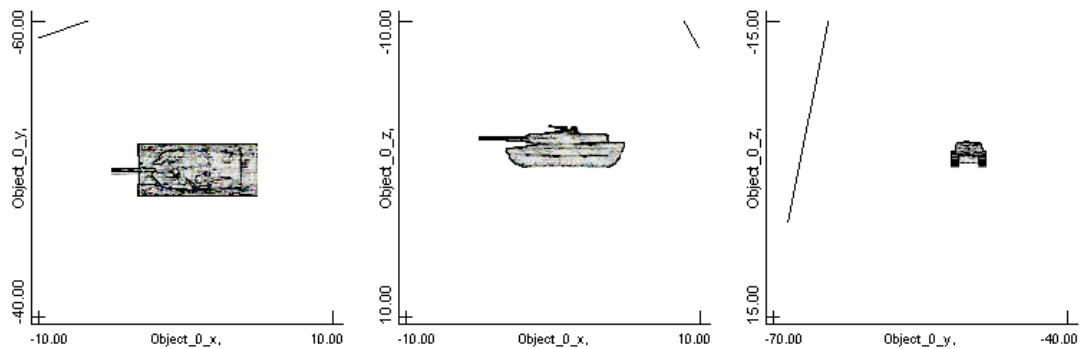
*Figur 7.27 En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).*

### 7.3.4 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 10 m/s, kantfilter

I denna simulering låser målsökaren på det vänstra fordonet. När fordonet kör in i det ljusare området glider målsökaren av målet. Detta sker innan dimman har utvecklats. När dimman utvecklas blir målsökaren totalt avhakad.



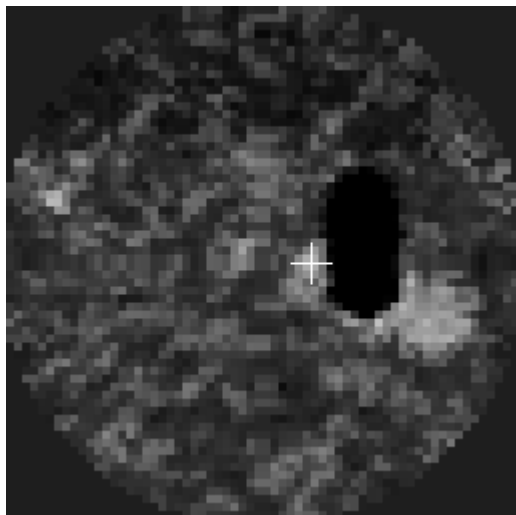
**Figur 7.28** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



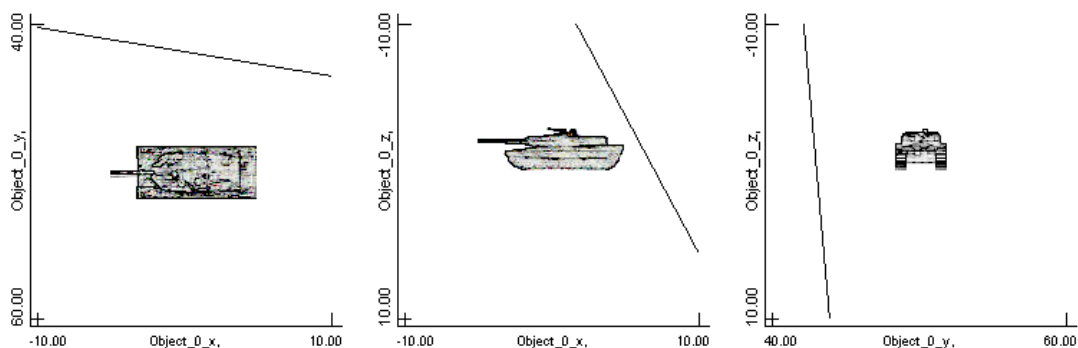
**Figur 7.29** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

### 7.3.5 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 5 m/s, spotfilter

I denna simulering går det fel redan vid klassificeringen. En punkt bredvid det högra fordonet väljs och granaten styr mot denna och missar därmed målet.



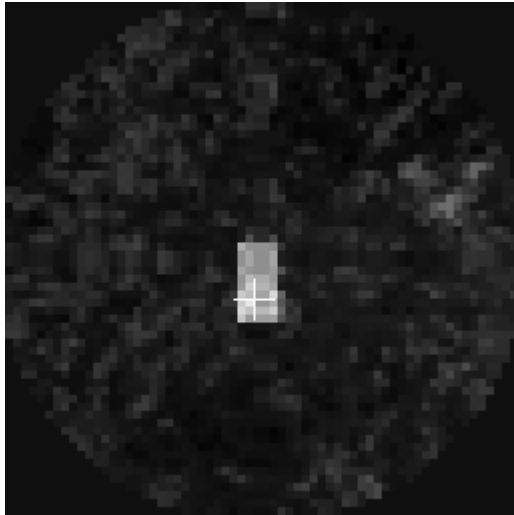
*Figur 7.30 Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.*



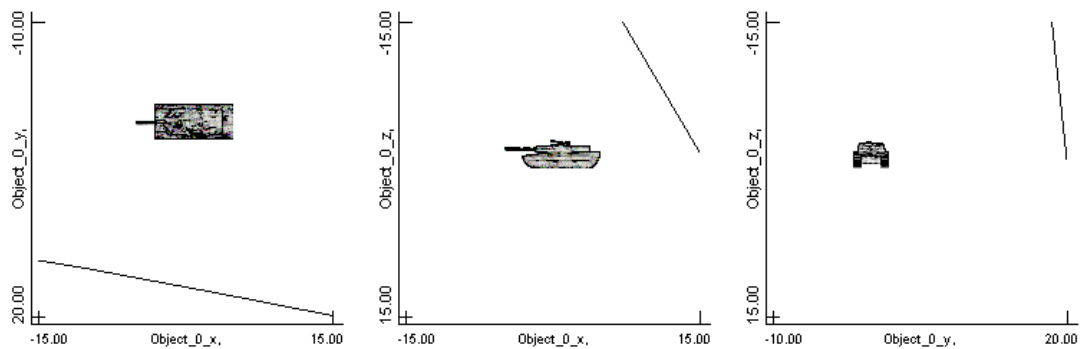
*Figur 7.31 En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).*

### 7.3.6 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 5 m/s, spotfilter

I denna simulering väljs fordonet i mitten som mål. Dimman är utvecklade vid målval. När dimman utvecklas låser målföljaren över på bakgrunden och granaten slår ner långt ifrån det valda målet.



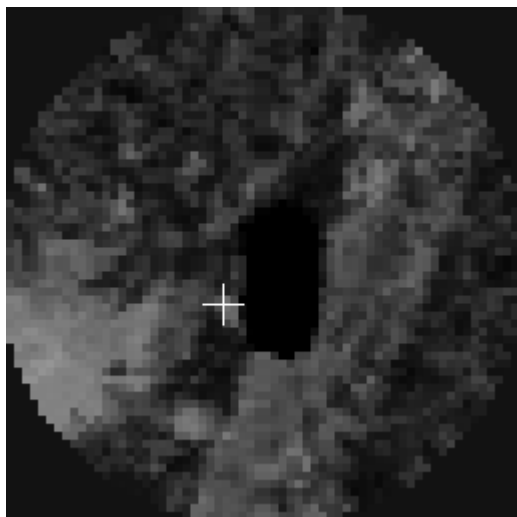
**Figur 7.32** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



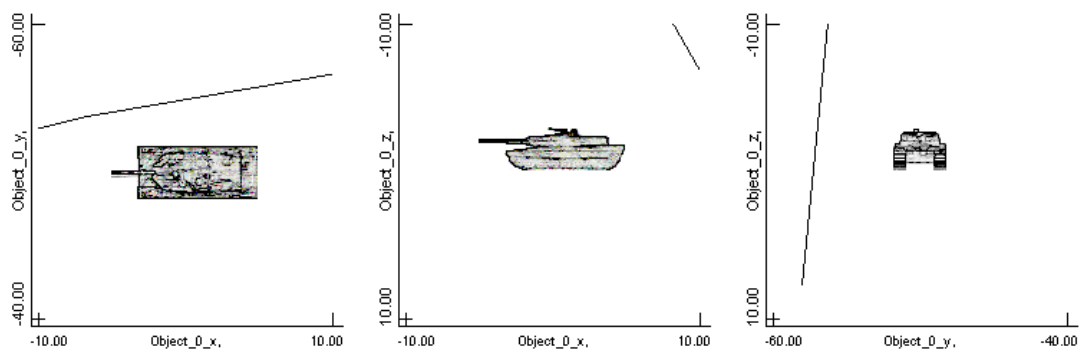
**Figur 7.33** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

### 7.3.7 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 10 m/s, spotfilter

I denna simulering går det fel redan vid klassificeringen och därmed misslyckas även målföljningen. En punkt bredvid det vänstra fordonet väljs och granaten slår ner långt från fordonet.



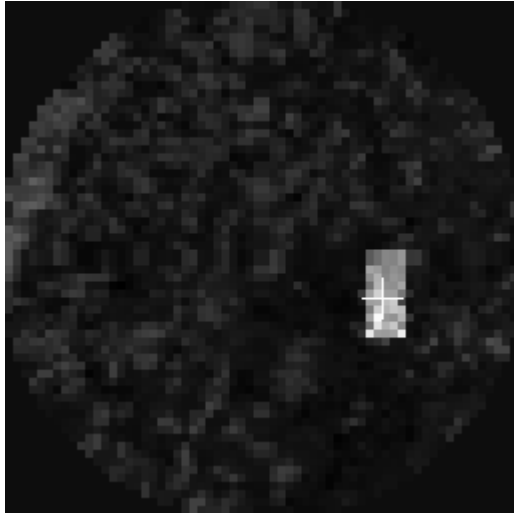
**Figur 7.34** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



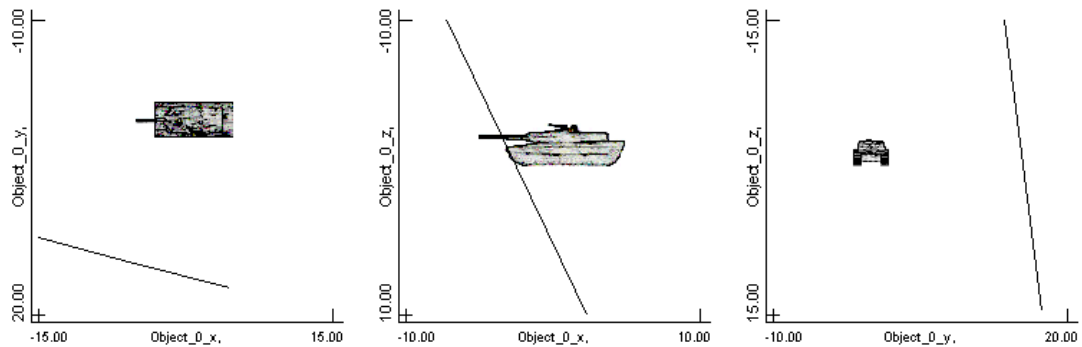
**Figur 7.35** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

### 7.3.8 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 10 m/s, spotfilter

I denna simulering väljs fordonet i mitten som mål. Dimman är utvecklade vid målval. När dimman utvecklas låser målföljaren över på bakgrunden och granaten slår ner långt ifrån det valda målet.



**Figur 7.36** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



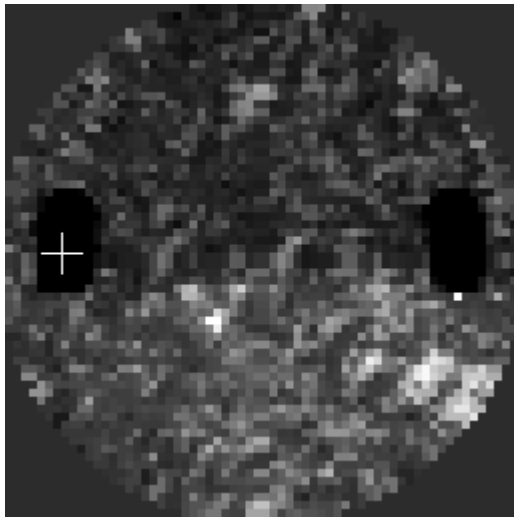
**Figur 7.37** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

## 7.4 Serie 4 Variation av himmeltemperaturen

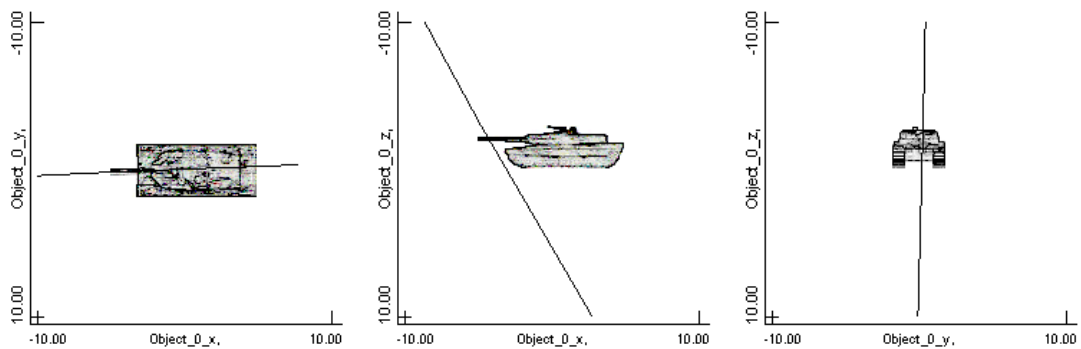
### 7.4.1 Negativ kontrast Himmeltemperatur 2°C

#### 7.4.1.1 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, kantfilter

I denna simulering valdes ett av de dimintäckta fordonen som mål. När eldröret blir synligt i slutet av sekvensen söker sig målsökaren mot detta och granaten ser ut att få in en träff på eldröret.



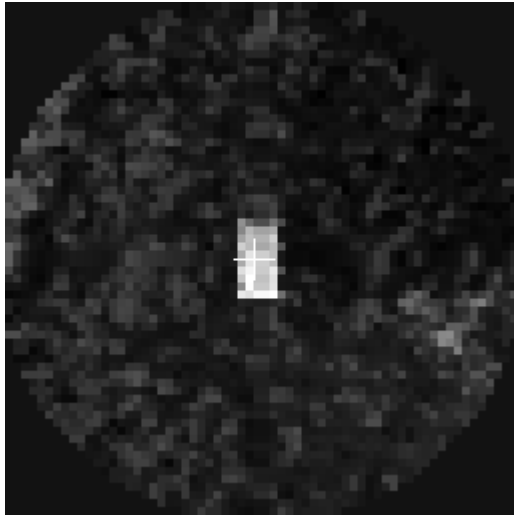
**Figur 7.38** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



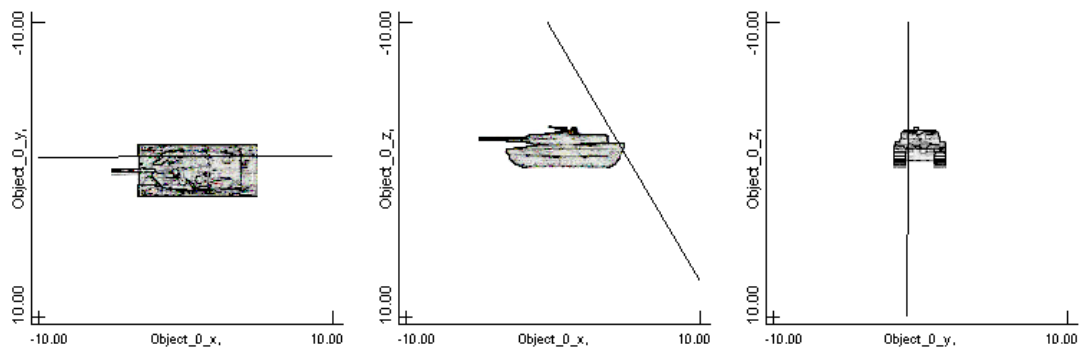
**Figur 7.39** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

#### 7.4.1.2 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, kantfilter

I denna simulering låser målsökaren på fordonet i mitten innan dimman har utvecklats. När dimman utvecklas glider målsökaren bakåt och granaten slår ner på fordonets bakre delar.



**Figur 7.40** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.

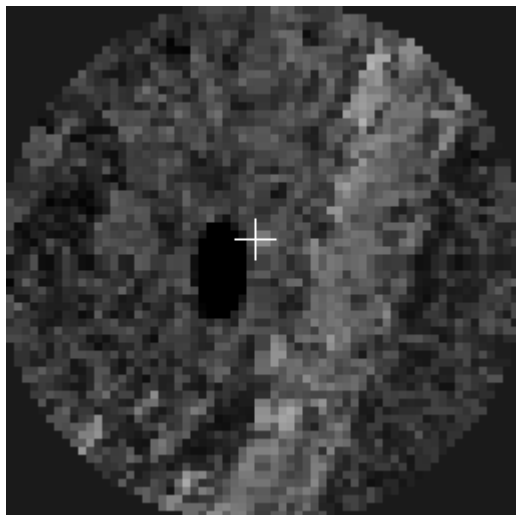


**Figur 7.41** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

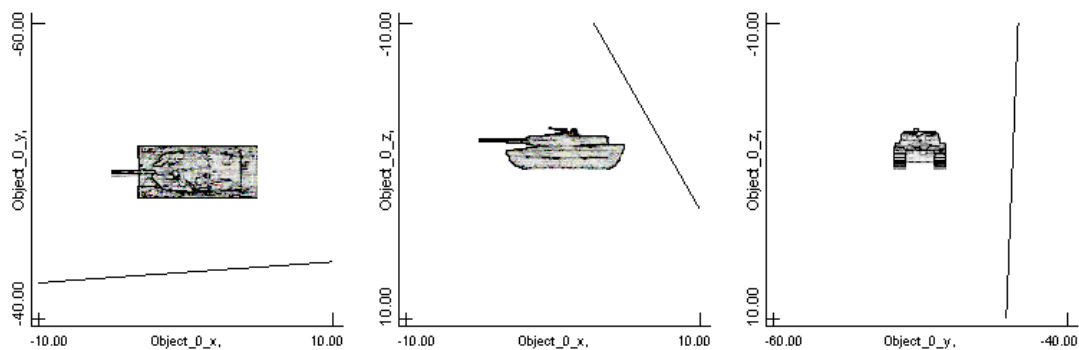


### 7.4.1.3 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, spotfilter

I denna simulering går det fel redan vid klassificeringen. En punkt bredvid det vänstra fordonet väljs och granaten styr mot denna och missar därmed målet.



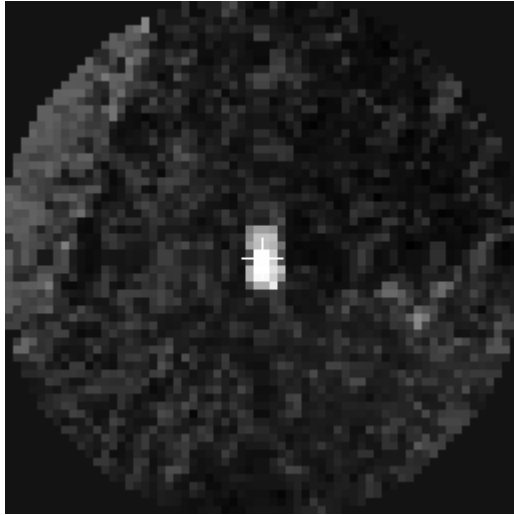
**Figur 7.42** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



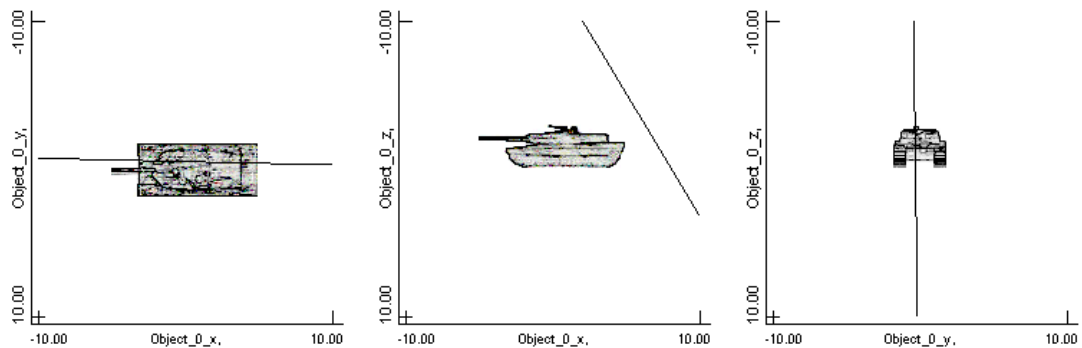
**Figur 7.43** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

#### 7.4.1.4 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, spotfilter

I denna simulering väljs fordonet i mitten som mål. När dimman breder ut sig förskjuts följepunkten bakåt och granaten slår ner bakom fordonet.



**Figur 7.44** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.

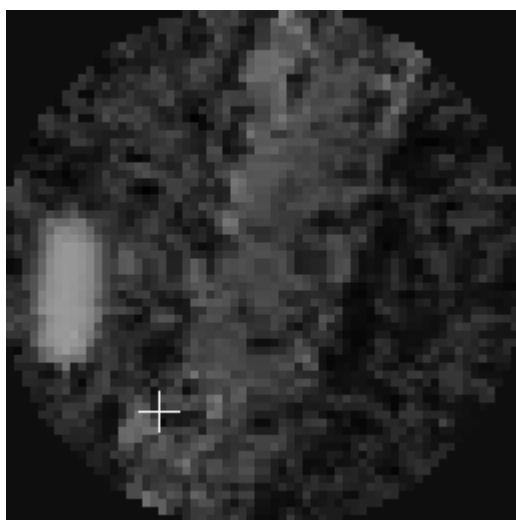


**Figur 7.45** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

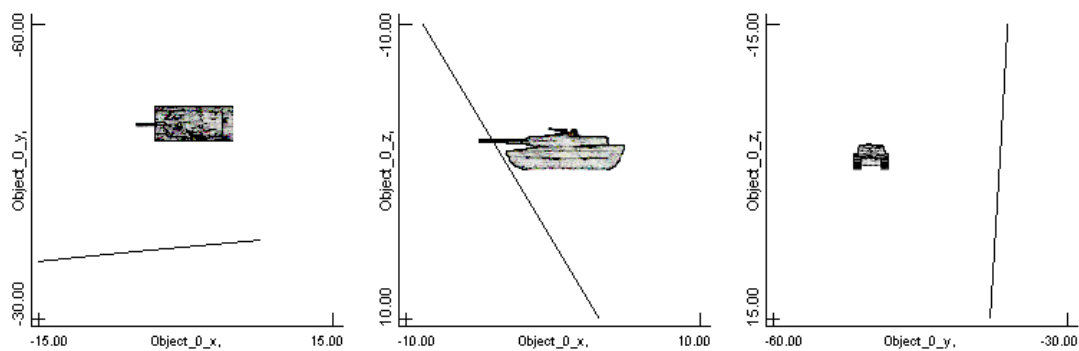
## 7.4.2 Positiv kontrast Himmeltemperatur 18°C

### 7.4.2.1 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, kantfilter

I denna simulering går det fel redan i klassificeringen och därmed misslyckas även målföljningen. Dimman är fullt utvecklad vid målval. Fordonet finns med som målkandidat men har för stor area i jämförelse med övriga målkandidater.



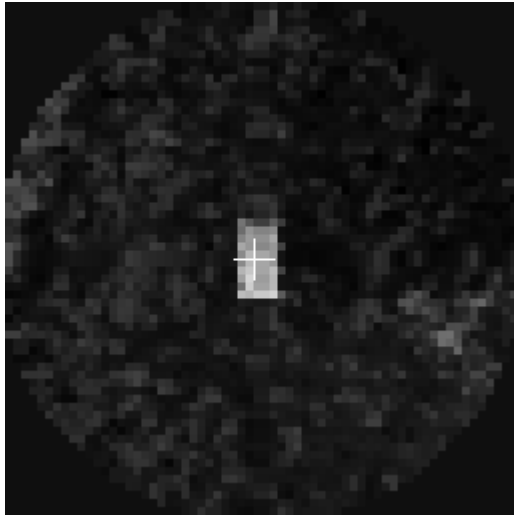
*Figur 7.46 Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.*



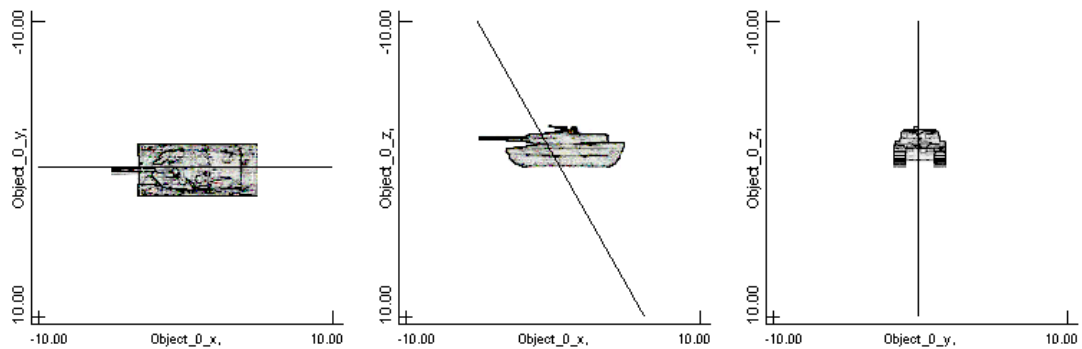
*Figur 7.47 En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).*

#### 7.4.2.2 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, kantfilter

I denna simulering väljs fordonet i mitten som mål. Dimman är ej utvecklad när målval sker. Målföljaren lyckas därefter följa fordonet hela vägen och granaten får in en bra träff.



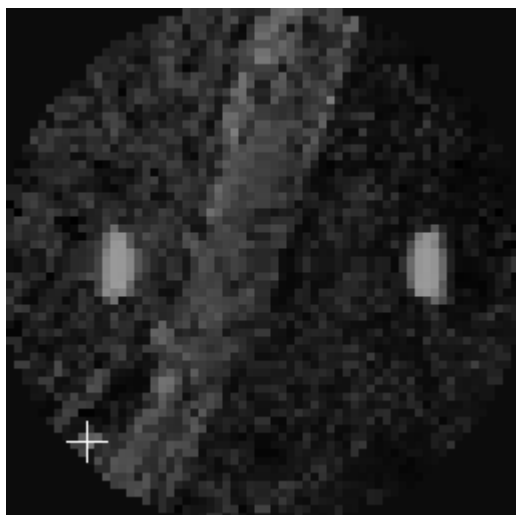
**Figur 7.48** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



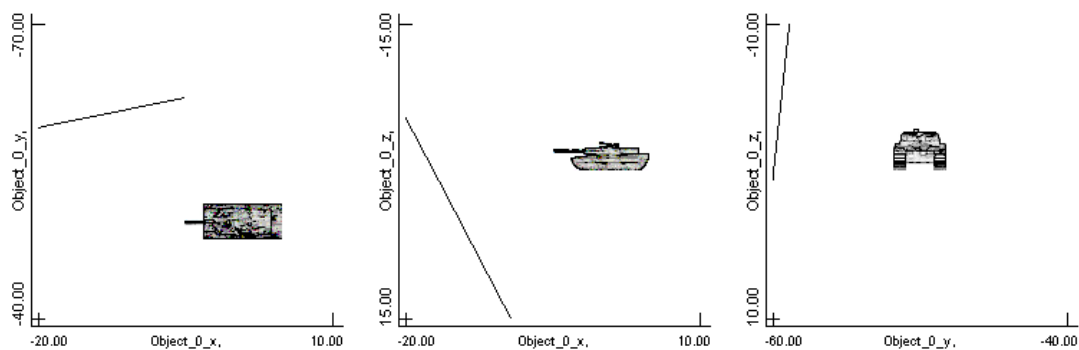
**Figur 7.49** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

### 7.4.2.3 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, spotfilter

I denna simulering går det fel redan i klassificeringen och därmed misslyckas även målföljningen. Dimman är fullt utvecklad vid målval. Fordonen finns med som målkandidater men har för stor areor och för låga standardavikelser i jämförelse med övriga målkandidater.



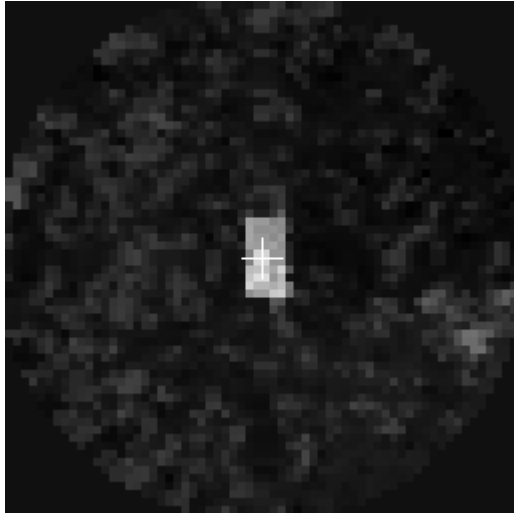
*Figur 7.50 Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.*



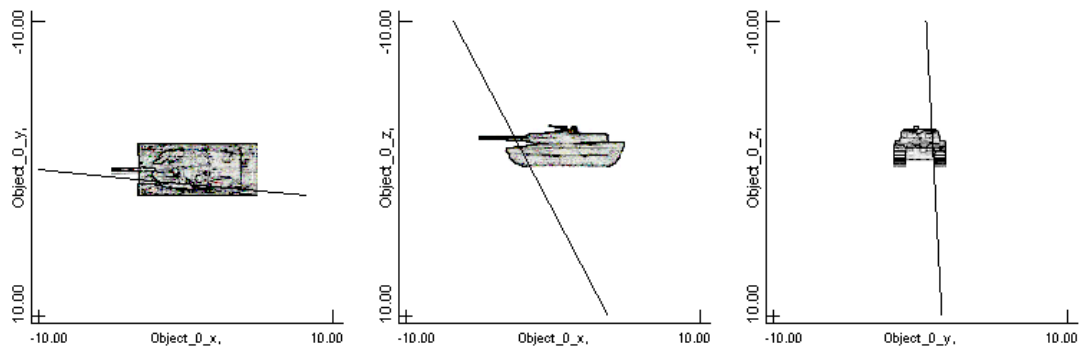
*Figur 7.51 En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).*

#### 7.4.2.4 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, spotfilter

I denna simulering väljs fordonet i mitten som mål. Dimman är ej utvecklad när målval sker. Målföljaren lyckas därefter följa fordonet hela vägen och granaten får in en träff. I slutet av följningen blir eldröret synligt vilket påverkar granaten att styra mot fronten.



*Figur 7.52 Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.*

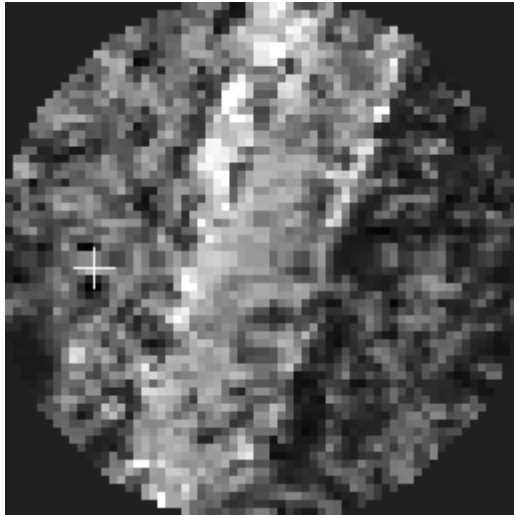


*Figur 7.53 En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).*

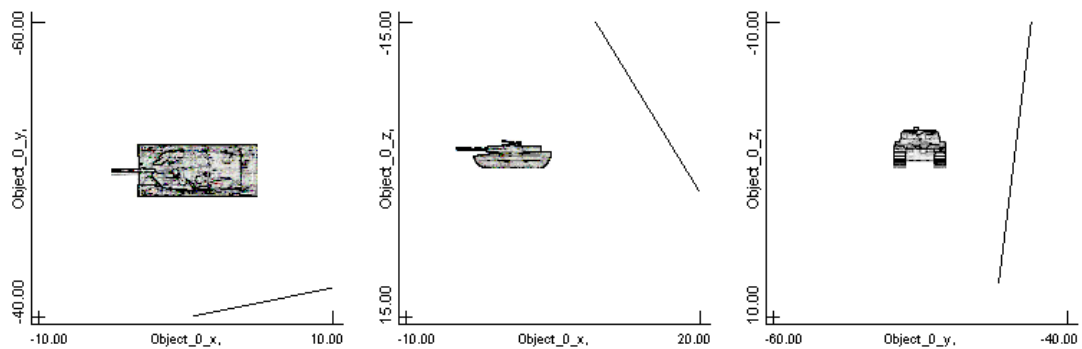
### 7.4.3 Utsuddade kontraster Himmeltemperatur 10°C

#### 7.4.3.1 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, kantfilter

I denna simulering går det fel redan vid klassificeringen och därmed misslyckas även målföljningen.



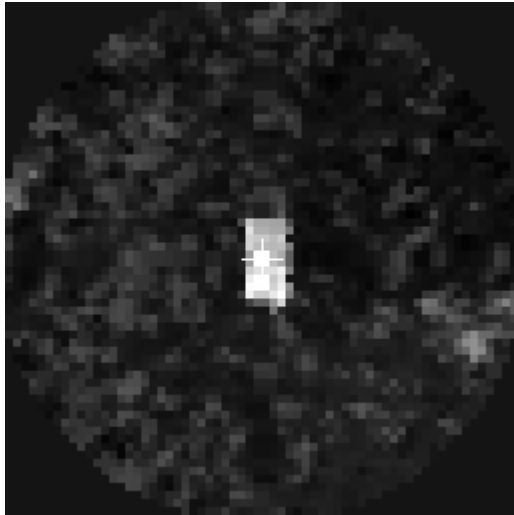
*Figur 7.54 Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.*



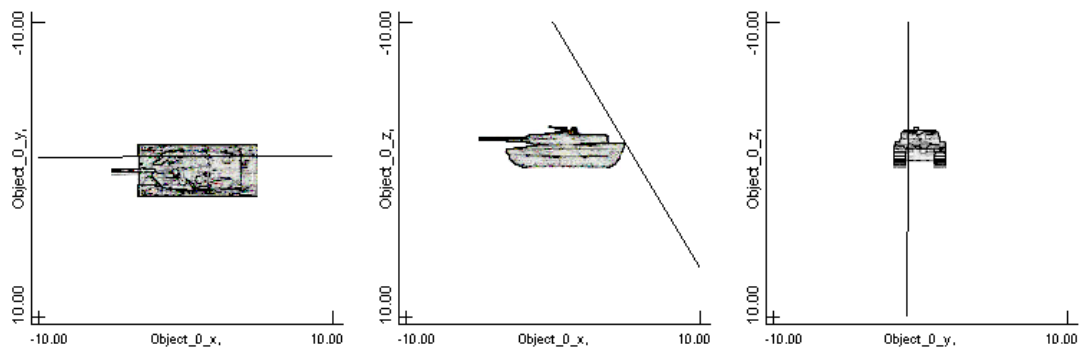
*Figur 7.55 En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).*

### 7.4.3.2 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, kantfilter

I denna simulering låser målsökaren på fordonet i mitten innan dimman har utvecklats. När dimman utvecklas glider målsökaren långsamt bakåt och granaten slår ner precis bakom fordonet.



**Figur 7.56** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.

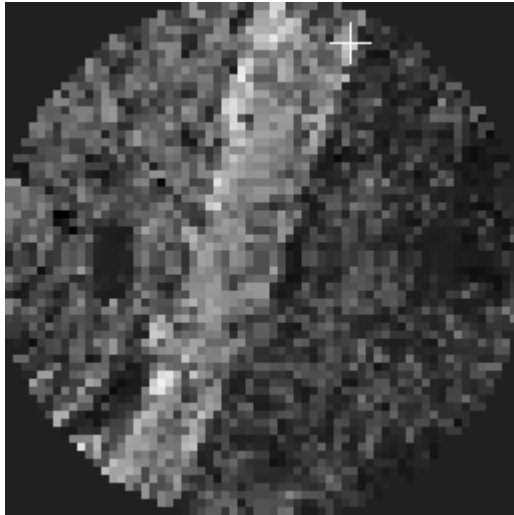


**Figur 7.57** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

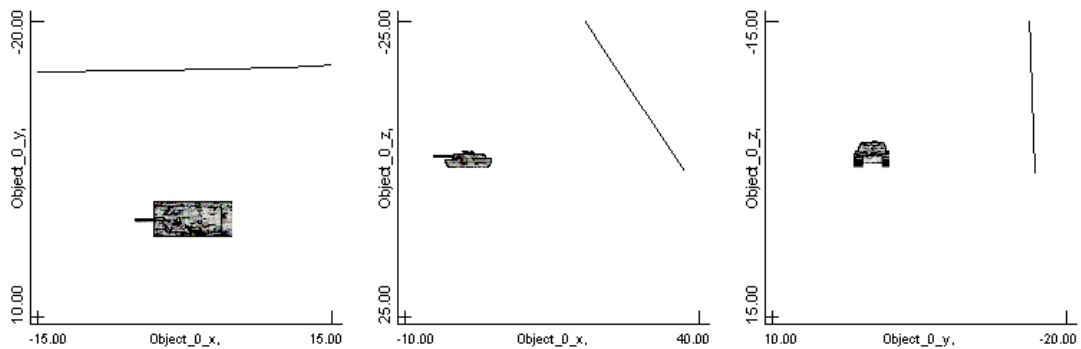


### 7.4.3.3 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, spotfilter

I denna simulering går klassificeringen fel och därmed misslyckas även målföljningen. Dimman är fullt utvecklad vid målval och beslutsbilden (trösklad, binär, version av figur 7.58) innehåller endast falskmål.



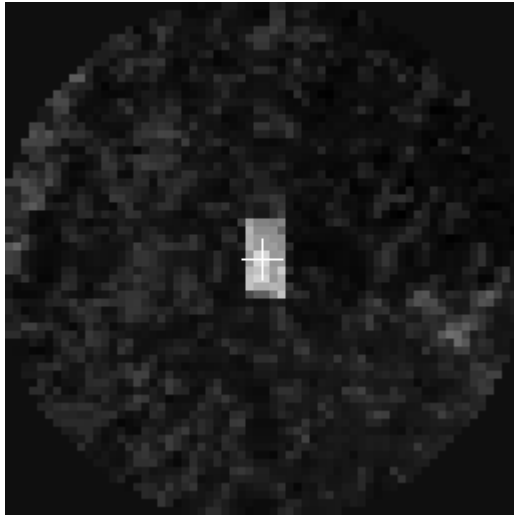
**Figur 7.58** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



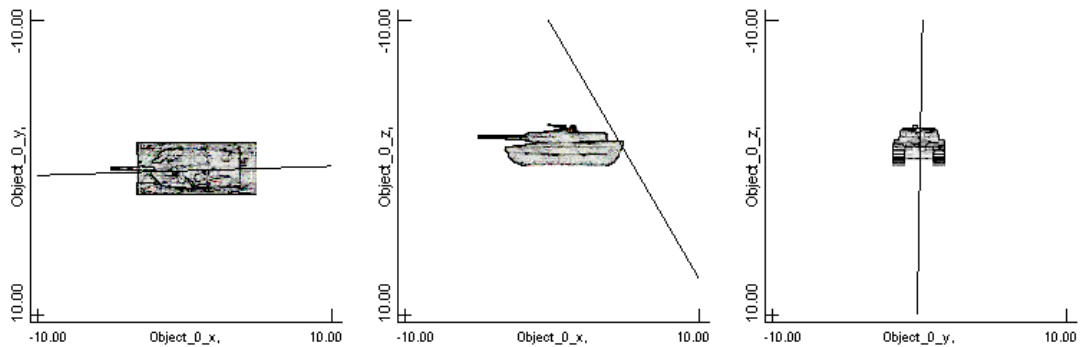
**Figur 7.59** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

#### 7.4.3.4 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, spotfilter

I denna simulering låser målsökaren på fordonet i mitten innan dimman har utvecklats. När dimman utvecklas glider målsökaren långsamt bakåt och granaten slår ner på fordonets bakre delar.



**Figur 7.60** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



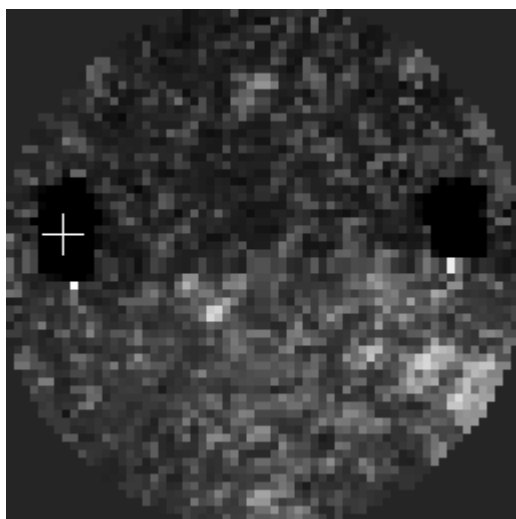
**Figur 7.61** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

## 7.5 Serie 4 Variation av fordonens intäckning

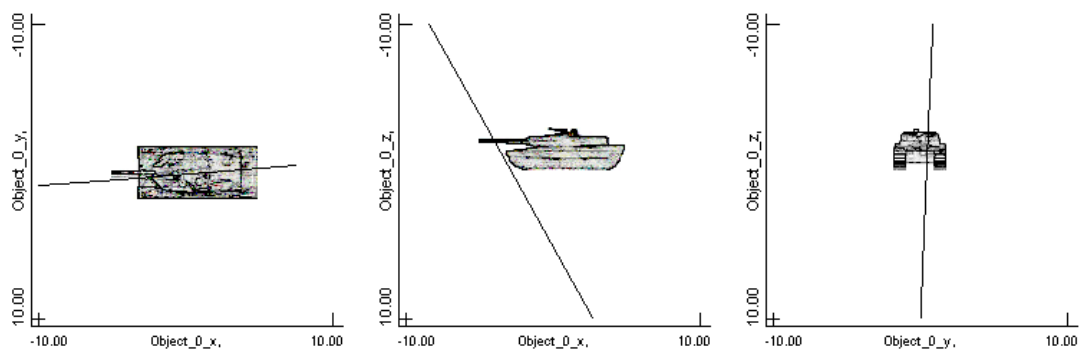
### 7.5.1 Synlig front

#### 7.5.1.1 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, kantfilter

I denna simulering är vattendimman utvecklad vid målval men klassificeraren lyckas trots detta peka ut fordonet i mitten som mål. När centroidmålföljaren går igång söker sig målföljaren mot fronten och eldröret och granaten slår ner precis framför fordonet.



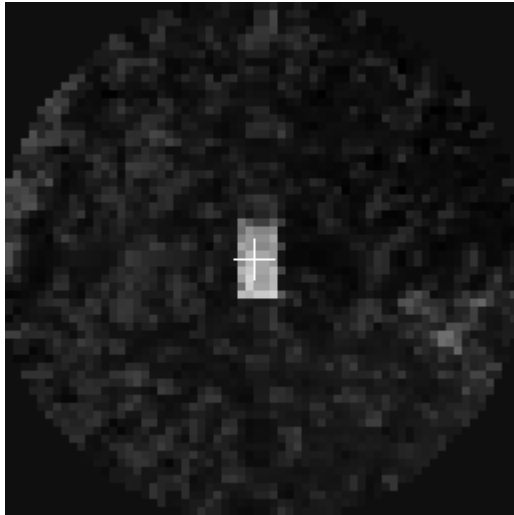
*Figur 7.62 Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.*



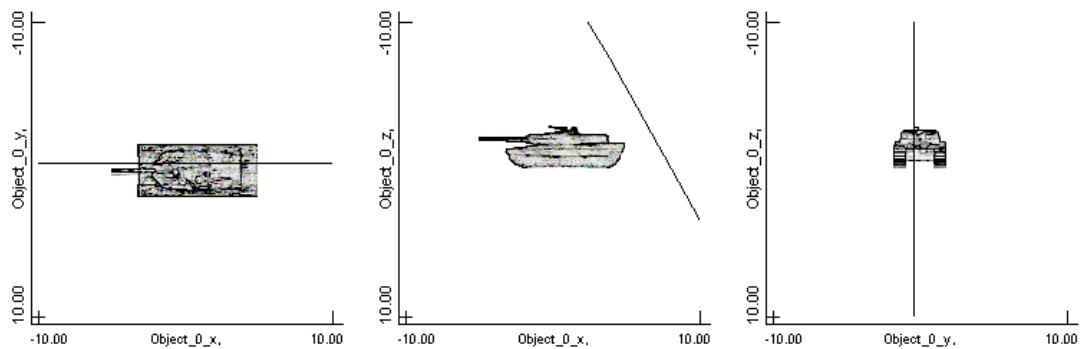
*Figur 7.63 En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).*

### 7.5.1.2 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, kantfilter

I denna simulering väljs fordonet i mitten som mål. Målval sker innan dimman har utvecklats och allteftersom dimman utvecklas glider målsökaren längre och längre bak på fordonet och granaten slår ned bakom.



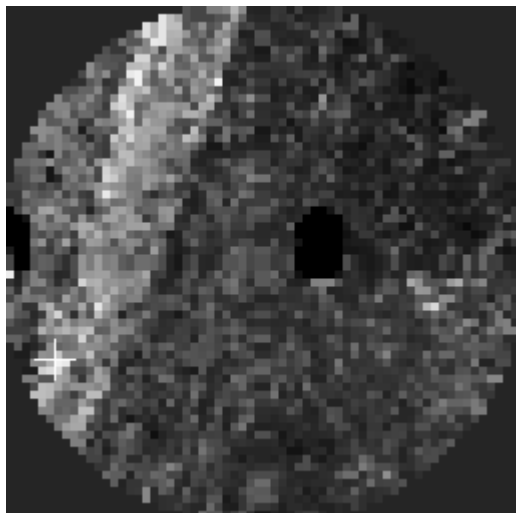
**Figur 7.64** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



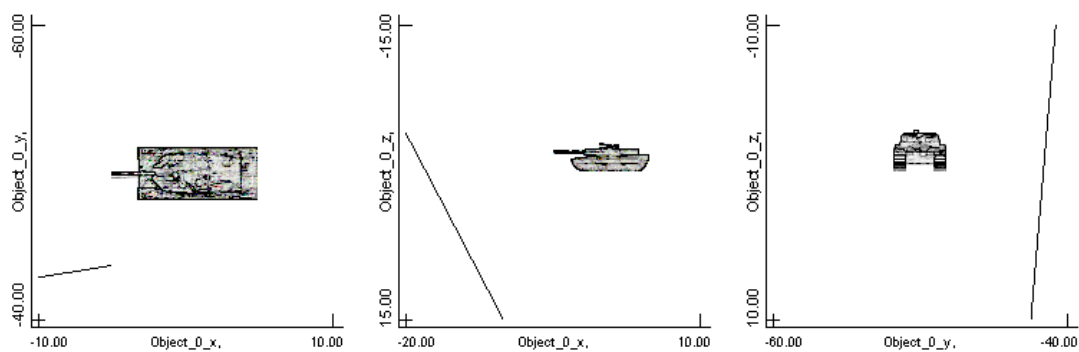
**Figur 7.65** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

### 7.5.1.3 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, spotfilter

I denna simulering går det fel redan i klassificeringen och därmed misslyckas även målföljningen. När spotfilter används i segmenteringen och dimman är fullt utvecklad vid målval (negativ kontrast) kommer trösklingen resultera i att beslutsbilden innehåller en stor mängd av falskmål.



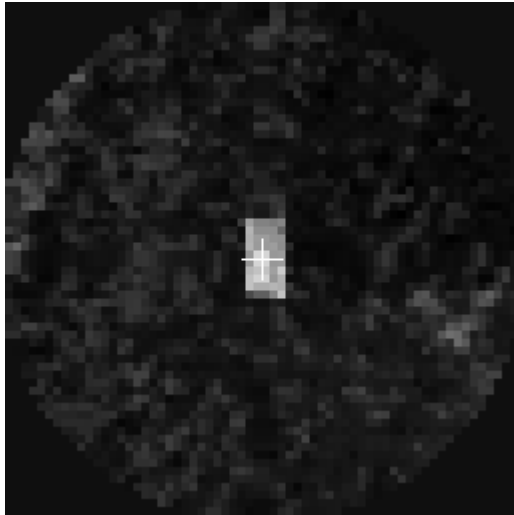
*Figur 7.66 Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.*



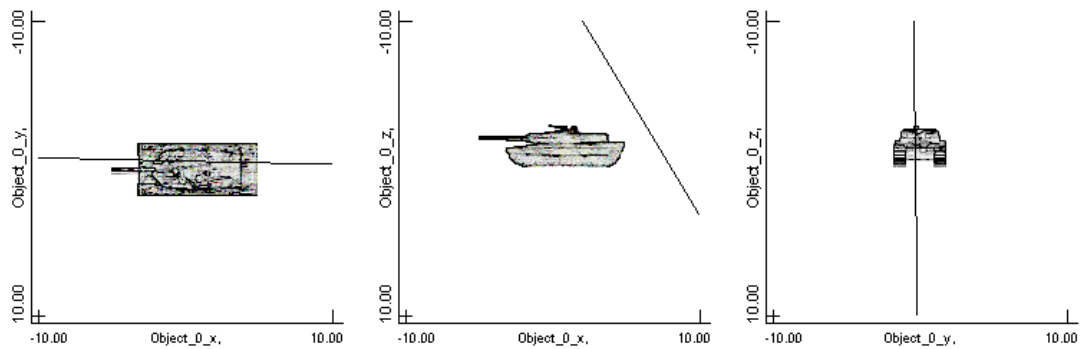
*Figur 7.67 En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).*

#### 7.5.1.4 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, spotfilter

I denna simulering väljs fordonet i mitten som mål. Målval sker innan dimman har utvecklats och allteftersom dimman utvecklas glider målsökaren längre och längre bak på fordonet och granaten slår ned bakom.



**Figur 7.68** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.

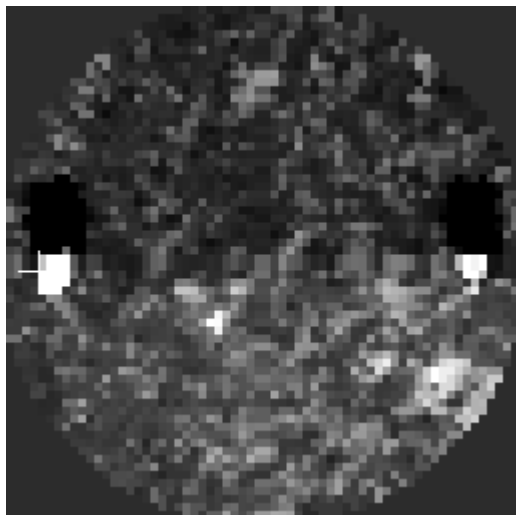


**Figur 7.69** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

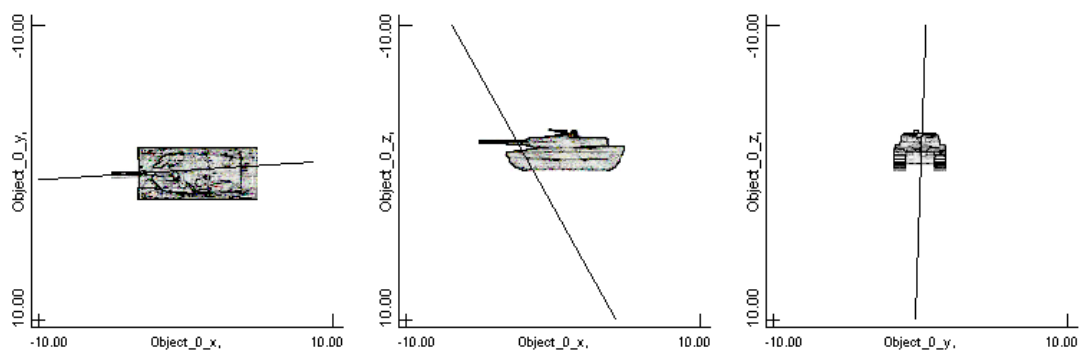
## 7.5.2 Halva vagnen syns

### 7.5.2.1 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, kantfilter

I denna simulering görs målvalet efter att dimman har utvecklats. Målsökaren väljer att följa målet i mitten. Målföljaren har sedan inga problem att följa målet.



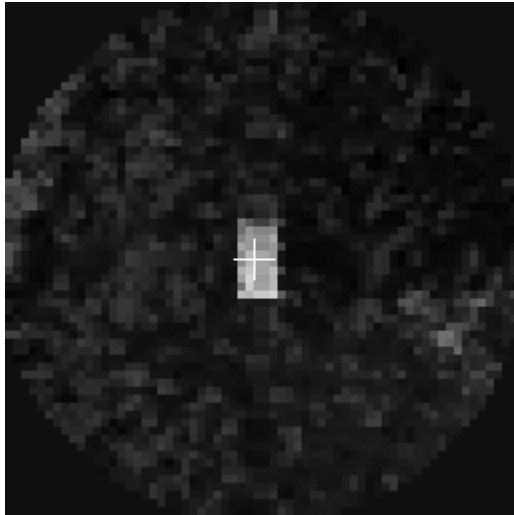
*Figur 7.70 Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.*



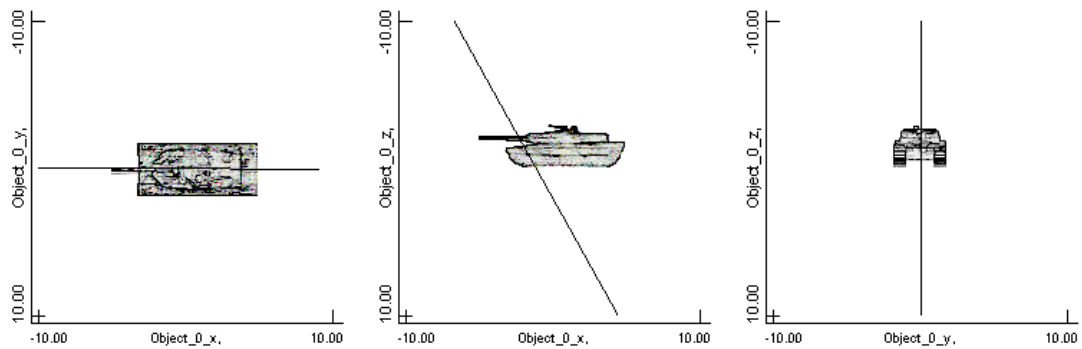
*Figur 7.71 En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).*

### 7.5.2.2 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, kantfilter

I denna simulering väljs fordonet i mitten som mål. Dimman är ej utvecklad när målval sker. Målföljaren lyckas därefter följa fordonet hela vägen och granaten får in en bra träff.



**Figur 7.72** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.

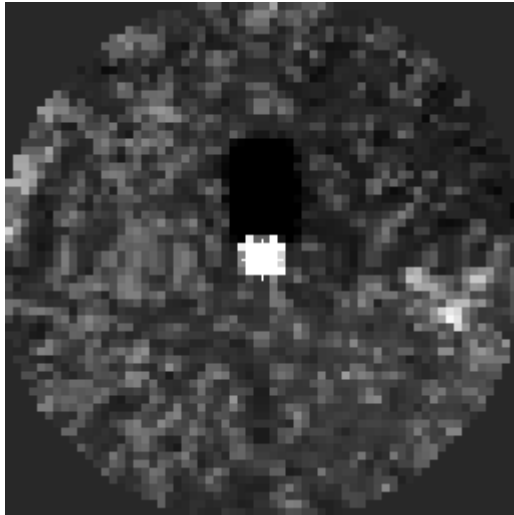


**Figur 7.73** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

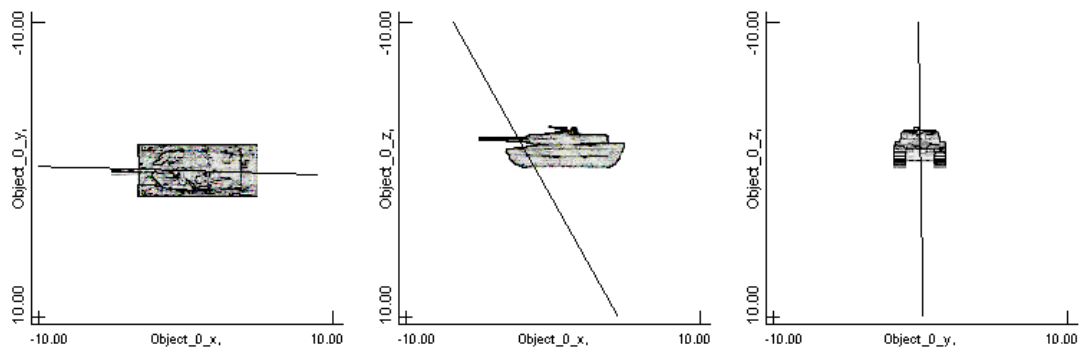


### 7.5.2.3 Simulering Fördröjningstid: 1 s, 0 m/s, spotfilter

I denna simulering görs målvalet efter att dimman har utvecklats. Målsökaren väljer att följa målet i mitten. Målföljaren har sedan inga problem att följa målet.



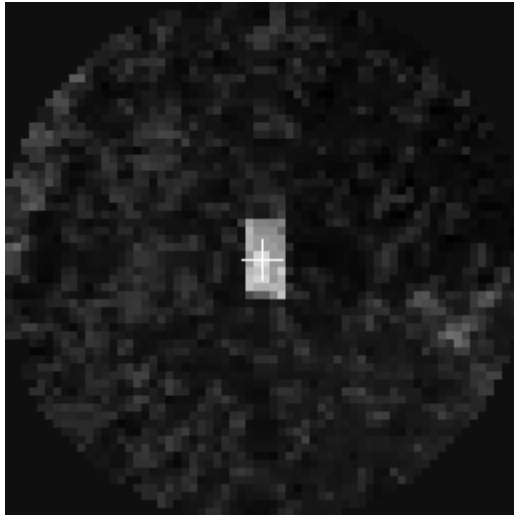
**Figur 7.74** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



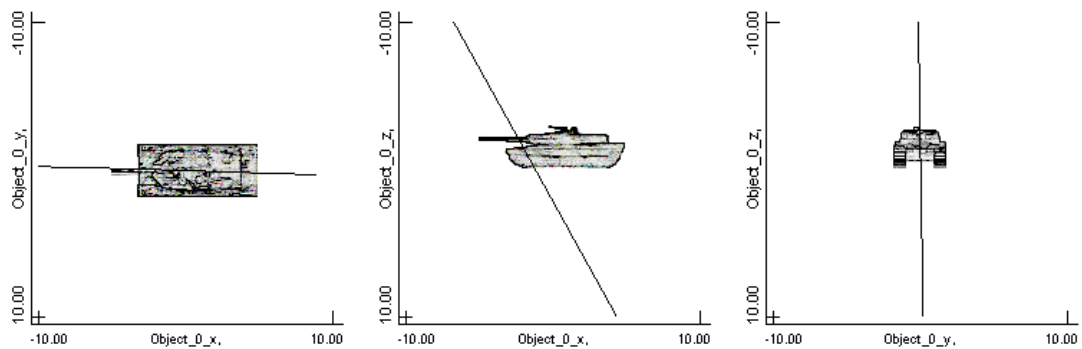
**Figur 7.75** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).

### 7.5.2.4 Simulering Fördröjningstid: 3.1 s, 0 m/s, spotfilter

I denna simulering väljs fordonet i mitten som mål. Dimman är ej utvecklad när målval sker. Målföljaren lyckas därefter följa fordonet hela vägen och granaten får in en träff.



**Figur 7.76** Bild från DYNAMIK-blocket i OPTSIM som visar målsökarens synfält vid beslutsögonblicket. Korset visar den punkt som målsökaren valt som mål.



**Figur 7.77** En bild som visar granatens bana relativt målet i 3 olika plan (XY, XZ och YZ).



## 8 Sammanfattning

Första serien utgjordes av referensmätningar utan vattendimma. Dessa utfördes för att verifiera att träffsannolikheten blir hög utan motmedel. Simuleringar med både stillastående och rörliga fordon undersöktes. Träffsannolikheten uppgick till 89% för kantfiltret och 100% för spotfiltret.

Sedan testades betydelsen av vattendimmans starttid. Sex olika tider, varav några innan pålåsning på mål och några efter pålåsning på mål, testades. Endast stillastående fordon och endast negativ kontrast hos dimman testades i dessa simuleringar. Resultaten blev något olika beroende på vilket filter som användes. När kantfilter används är det bättre att vattendimman sätts på efter granatens pålåsning. Målsökaren löper då stor risk att bli avhakad av dimman och oftast blir bomavstånden stora. När spotfilter används är det bäst om dimman har startat så pass tidigt att fordonen är helt intäckta vid pålåsningögonblicket. Då detta sker, misslyckas målsökaren redan vid målval. Träffsannolikheten blev 11% för både kant- och spotfiltret.

Tredje serien testade om och hur fordonens hastighet påverkade utgången. Tre olika hastigheter testades: 0, 5 och 10 m/s. För varje hastighet användes tre olika starttider av vattendimman. Simuleringarna visar att träffsannolikheten inte ändras nämnvärt då fordonen förflyttar sig jämfört med när de står stilla. Möjligtvis tenderar bomavstånden att bli större då fordonen rör sig framåt, tack vare att dimmans utbredning ökar då. Träffsannolikheten blev 11% både för kantfiltret och för spotfiltret både då fordonen står stilla och då fordonen rör sig framåt med 5 m/s. När hastigheten är 10 m/s blev träffsannolikheten 0% för kantfiltret och 11% för spotfiltret. Endast negativ kontrast hos dimman testades.

Fjärde serien testade hur himlens temperatur, d.v.s. kontrasten mellan bakgrund och vattendimma, påverkade resultatet. Temperaturer som svarade mot positiv kontrast, negativ kontrast samt ingen kontrast valdes. För både kant- och spotfiltret ökade träffsannolikheten betydligt då vattendimman hade en positiv kontrast mot bakgrunden (67% resp. 78%), jämfört med då dimman hade en negativ kontrast (11% för båda filtren). Att den ljusa dimman trots allt utgör ett skydd beror på att dimmans area i dessa fall är betydligt större än fordonet den döljer. Därför är det mest fördelaktigt att dimman sätts på i ett så tidigt skede som möjligt när dimman har positiv kontrast. Det är troligt att det går att minska de höga träffsannolikheterna (när dimman har positiv kontrast) något genom att låta fordonen förflytta sig framåt under dimman för att på så sätt påskynda dimmans utbredning. Detta har inte testats. När det inte fanns någon kontrast mellan dimma och bakgrund så blev träffsannolikheten 22% för kantfiltret och 33% för spotfiltret.

I sista serien testades hur graden av intäckning av fordonen i vattendimma påverkade resultatet. Först flyttades den främre raden med munstycken en bit bakåt så att fronten på stridsvagnarna blev synlig. Denna åtgärd ökade inte träffsannolikheten utan den blev 0% för båda filtren. Att träffsannolikheten inte ökade beror på målsökarens relativt dåliga upplösning då den endast utnyttjar 32 detektorelement. Sedan testades att helt ta bort den främre raden av munstycken och lämna halva fordonet synligt. Då ökade träffsannolikheten betydligt och blev 56% för kantfiltret och 89% för spotfiltret.

Flera av de träffar som inträffade när vattendimma användes, inträffade då granaten kom in i anfallsaspekten 90°. I denna aspekt syntes ofta sidan på stridsvagnen, trots vattendimman, vilket gjorde att det blev lättare att träffa. Bättre

utplacerade munstycken skulle kunna minska träffsannolikheten i den anfallsaspekten. Detta har ej testats.

## 9 Slutsatser

En simuleringstudie, med syfte att visa hur väl multispektral vattendimma fungerar som skydd mot slutfasstyrda granater, har genomförts med hjälp av simuleringspaketet OPTSIM. Olika faktorer i duellen har varierats för att undersöka dess inverkan på utgången av duellen. Studien visar att vattendimman i allmänhet fungerar bra som skydd mot slutfasstyrda granater, under de förutsättningar som har antagits för respektive simuleringsserie.

Fordonens intäckning av vattendimma är av betydelse för resultatet. Munstyckena bör vara utplacerade på ett sådant sätt att dimman täcker stridsvagnen i alla aspekter. Vattendimman bör även sättas på innan granaten kommit för nära. Det kan dock ske efter målval utan problem. (Några tester av vad "för nära" innebär har inte gjorts, men vid 200 meters avstånd då centroidmålföjaren kopplas in, bör fordonet helst vara täckt). Dimmans kontrast mot bakgrunden är också av väsentlig betydelse. Kontrasten beror på himlens temperatur. Positiv kontrast mellan bakgrund och dimma ökade träffsannolikheten betydligt.



## 10 Appendix A:

Följande tabeller anger de inställningar som har använts i respektive program vid simuleringarna. För mer ingående information om de olika parametrarna, bör de olika programmen studeras noggrannare. Se kapitel 10 för referenser.

Parameter	Värde	Enhet
Vertikalt synfält	10	°
Horisontalt synfält	10	°
Bildelement vertikalt	256	st
Bildelement horisontalt	256	st
$\lambda$	3 – 5	$\mu\text{m}$
Hastighet (R)	250	$\text{m s}^{-1}$
Frequency	10	$\text{s}^{-1}$
$Z_R$	-1000	m
Modul 1	Bakgrund (fix nivå = 0.1)	$\text{W sr}^{-1} \text{m}^{-2}$
Modul 2	MAIS (se kapitel 5.2)	-
Modul 3	IGOSS I (se kapitel 5.3)	-
Modul 4	MUSS	-
Modul 5	IGOSS II (se kapitel 5.5)	-
Modul 6	MSG (se kapitel 5.6)	-
Modul 7	Robotdynamik (se kapitel 5.7)	-

*Tabell 9.1 Parametrar i OPTSIM som inte ändras mellan simuleringar.*

Parameter	Värde	Enhet
Moduler	Movement	-
Typ av överföringsfunktion i Movement modulen	Sinc	-
Typ av detektor	Stirrande	-
Moving target	Nej	-
Bildfrekvens	50	Hz
Interlace	1	-

*Tabell 9.2 Ingångsparametrar till IGOSS I.*

Parameter	Värde	Enhet
Material	Rent vatten	-
Partikelradie	20	$\mu\text{m}$
Densitet	1	$\text{g cm}^{-3}$
Extinctionskoefficient	82.5	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$
Single scatter albedo	0.670275	-
Starttid	0	$\sigma$
Dimmans temperatur vid start	10	°C

*Tabell 9.3 Parametrar i MUSS för polymer. Gemensamt för alla munstycken.*



Position X [m]	Position Y [m]	Position Z [m]	Massemission [Kg/s]	Sigma X	Sigma Y
-3.6	-48.4	-2.2	0.1	0.9	0.9
-3.7	-49.5	-2.1	0.5	0.6	0.6
-4.2	-50	-2.1	0.2	0.6	0.6
-3.7	-50.5	-2.1	0.5	0.6	0.6
-3.6	-51.6	-2.1	0.1	0.9	0.9
-0.1	-48.2	-1.8	0.07	0.9	0.9
0	-49.5	-2.1	0.3	0.6	0.6
-0.2	-50	-2.1	0.2	0.6	0.6
0.1	-50.5	-2.1	0.3	0.6	0.6
-0.1	-51.8	-1.8	0.07	0.9	0.9
-3.6	1.6	-2.2	0.1	0.9	0.9
-3.7	0.5	-2.1	0.5	0.6	0.6
-4.2	0	-2.1	0.2	0.6	0.6
-3.7	-0.5	-2.1	0.5	0.6	0.6
-3.6	-1.6	-2.1	0.1	0.9	0.9
-0.1	1.8	-1.8	0.07	0.9	0.9
0	0.5	-2.1	0.3	0.6	0.6
-0.2	0	-2.1	0.2	0.6	0.6
0.1	-0.5	-2.1	0.3	0.6	0.6
-0.1	-1.8	-1.8	0.07	0.9	0.9
-3.6	51.6	-2.2	0.1	0.9	0.9
-3.7	50.5	-2.1	0.5	0.6	0.6
-4.2	50	-2.1	0.2	0.6	0.6
-3.7	49.5	-2.1	0.5	0.6	0.6
-3.6	48.4	-2.1	0.1	0.9	0.9
-0.1	51.8	-1.8	0.07	0.9	0.9
0	50.5	-2.1	0.3	0.6	0.6
-0.2	50	-2.1	0.2	0.6	0.6
0.1	49.5	-2.1	0.3	0.6	0.6
-0.1	48.2	-1.8	0.07	0.9	0.9

*Tabell 9.4* Positioner av munstycken, samt data som varierar mellan munstyckena. Koordinaterna har valts med antagandet att stridsvagnarna är parallella med x-axeln med fronten pekande i positiv riktning.

Position X [m]	Position Y [m]	Position Z [m]	Massemission [Kg/s]	Sigma X	Sigma Y
-1.3	-48.4	-2.2	0.1	0.9	0.9
-1.4	-49.5	-2.1	0.5	0.6	0.6
-1.5	-50	-2.1	0.2	0.6	0.6
-1.4	-50.5	-2.1	0.5	0.6	0.6
-1.3	-51.6	-2.1	0.1	0.9	0.9
-0.1	-48.2	-1.8	0.07	0.9	0.9
0	-49.5	-2.1	0.3	0.6	0.6
-0.2	-50	-2.1	0.2	0.6	0.6
0.1	-50.5	-2.1	0.3	0.6	0.6
-0.1	-51.8	-1.8	0.07	0.9	0.9
-3	1.6	-2.2	0.1	0.9	0.9
-3.1	0.5	-2.1	0.5	0.6	0.6
-3.2	0	-2.1	0.2	0.6	0.6
-3.1	-0.5	-2.1	0.5	0.6	0.6
-3.2	-1.6	-2.1	0.1	0.9	0.9
-0.1	1.8	-1.8	0.07	0.9	0.9
0	0.5	-2.1	0.3	0.6	0.6
-0.2	0	-2.1	0.2	0.6	0.6
0.1	-0.5	-2.1	0.3	0.6	0.6
-0.1	-1.8	-1.8	0.07	0.9	0.9
-1.3	51.6	-2.2	0.1	0.9	0.9
-1.4	50.5	-2.1	0.5	0.6	0.6
-1.5	50	-2.1	0.2	0.6	0.6
-1.4	49.5	-2.1	0.5	0.6	0.6
-1.3	48.4	-2.1	0.1	0.9	0.9
-0.1	51.8	-1.8	0.07	0.9	0.9
0	50.5	-2.1	0.3	0.6	0.6
-0.2	50	-2.1	0.2	0.6	0.6
0.1	49.5	-2.1	0.3	0.6	0.6
-0.1	48.2	-1.8	0.07	0.9	0.9

**Tabell 9.5** Positioner av munstycken för serie 5 då munstyckena är placerade så att en del av fronten syns, samt data som varierar mellan munstyckena. Koordinaterna har valts med antagandet att stridsvagnarna är parallella med x-axeln med fronten pekande i positiv riktning.

Parameter	Värde	Enhet
Azimutvinkel	0	°
Col. Vinkel	0	°
Temperatur, luft	10	°C
Temperatur, mark	9	°C
Ojämnhet	0,03	m
Vindhastighet	5	m s <sup>-1</sup>
Vindklass	D	-

**Tabell 9.6** Meteorologiska parametrar använda vid simuleringar med MUSS.

Parameter		Värde	Enhet
System	Moduler	Optics Detector Noise and nonuni.	-
	Typ av transmission	Unity	-
Optik	Typ av MTF	Gaussian Aberration	
	Diameter på apertur	0.067	m
	Måltemperatur	321	K
	Våglängd, start	3	$\mu\text{m}$
	Våglängd, slut (saknar betydelse i detta fallet men måste vara större än våglängd start)	5	$\mu\text{m}$
	Antal våglängdskanaler	10	Stycken
	Diameter på aberrationsfläck	0	Rad
	Transmissions och emmissionsfiler	-	-
	MTF Type	Staring CCD	-
Detector Noise and Nonuniformity	Bandwidth	25	Hz
	Frame rate	50	Hz
	Interlace	1	-
	Element size, X, Y	50	$\mu\text{m}$
	Element pitch X,Y	50.197	$\mu\text{m}$
	Detectivity, peak	$1 \times 10^{-9}$	$\text{m Hz}^{1/2} \text{W}^{-1}$
	Detectivity, F/#	1	-
	Target temperature	321	K
	F/# OF COLD SHIELD	1	-
	NEI (not used when equal to 0.0)	0	$\text{Wm}^{-2}$
	Non uniformity	0	-
	Optical focal length	0.07331	m

**Tabell 9.7** Ingångsdata till IGOSS II.

Parameter	Värde	Enhet
Sensorformation	Rotating array	-
FOV	10	-
Antal detektorelement	32	-
Integreringstid	0.0005	s
N <sub>fi</sub>	180	-
Beslutshöjd	Optimal höjd	-
Tröskel	0.5	-
Storlek på målföljarkärna	9	Pixels
Storlek på beräkningssytan	64	Pixels
Lambda	0.7	-
Målföljare	Korrelation	-

**Tabell 9.8** Ingångsdata till MSG

Egenskap	Min	Max	Medel	Std	Gräns
Area	0	58	29	8.4	-
Intesitet	0	-	-	-	5.5 e-10
Std	0	-	-	-	3 e-11
Form	-	-	-	-	0.4

**Tabell 9.9** Normalvärden för filter: Edge i MSG

Egenskap	Min	Max	Medel	Std	Gräns
Area	0	42	18	8.4	-
Intesitet	0	-	-	-	6 e-10
Std	0	-	-	-	1.6 e-11
Form	-	-	-	-	0.4

**Tabell 9.10** Normalvärden för filter: Spot i MSG

Parameter	Värde	Enhet
"Seamode"	Nej	-
Maximal acceleration, $g_{\max}$	60	m/s <sup>2</sup>
Syftbäringskonstant, K1	4	-
Max degree/ frame	2	°

**Tabell 9.11** Ingångsdata till robotdynamikblocket i OPTSIM.



## 11 Referenser

- [1] Christer Wigren, Lars Tydén och Carl Hedberg, *Simulering av störning mot passiva elektro-optiska målföljare*, FOA-rapport FOA-R--99-01164-616--SE, Juni 1999.
- [2] Christer Wigren, *A Generic IRST Detection Performance Model*, FOA-rapport FOA-R--00-01464-616--SE, Mars 2000.
- [3] Carl Hedberg, Lars Tydén och Christer Wigren, *Generell metod för simulering av elektro-optiska telekriqdueller*, FOA-rapport FOA-R--99-01160-616--SE, Juni 1999.
- [4] Christer Wigren, *MAIS, an Atmosphere and Background Model for Electro-Optical Simulations*, FOA-rapport FOA-R--00-01677-616--SE, November 2000.
- [5] Lars Tydén, *MUSS, Multi Spectral Smoke Model*, FOA-rapport FOA-R--97-00576-616--SE, November 1997.
- [6] Christer Wigren, *IGOSS, Model of Image Generation in Optronic Sensor Systems*, FOA-rapport FOA-R--97-00582-616--SE, November 1997.
- [7] Ulrika Andersson och Annelie Tonnvik, *Detection and Target Tracking in the Infrared Region*, FOA-rapport FOA-R--00-01639-616--SE, September 2000.
- [8] Osborn Conning & Andreas Schön, *Landscape Models Based on Laser Radar Elevation Data*, LITH-ISY-EX-3037.
- [9] Torbjörn Andersson, *Integration ACSL – OPTSIM*, FOA-rapport FOA-R--00-01689-616--SE, December 2000.
- [10] John H. Blakelock, *Automatic Control of Aircraft and Missiles*. 2nd ed. Kapitel 8, Ekvation 8-7, 1991: John Wiley & Sons, Inc.