

FFI RAPPORT

Program for generering av 2D sikkerhetsmaler

GRANDUM Øyvind, DULLUM Ove

FFI/RAPPORT-2006/02672

Program for generering av 2D sikkerhetsmaler

GRANDUM Øyvind, DULLUM Ove

FFI/RAPPORT-2006/02672

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT (FFI)
Norwegian Defence Research Establishment

UNCLASSIFIED

P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY
REPORT DOCUMENTATION PAGE

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2006/02672	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 42
1a) PROJECT REFERENCE V/1017/913	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE Program for generering av 2D sikkerhetsmaler Program for generating 2D Weapon Danger Areas		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) GRANDUM Øyvind, DULLUM Ove		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN:		
a) <u>Range Safety</u>	a) <u>Sikkerhet i skytefelt</u>	
b) <u>Weapon Danger Area</u>	b) <u>Sikkerhetsmal</u>	
c) <u>ArcGIS</u>	c) <u>ArcGIS</u>	
d) _____	d) _____	
e) _____	e) _____	
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT A computer program for generating Weapon Danger Areas (2D) is developed. The program is an add-on module to the cartographic software ArcGIS/ArcView from ESRI. This report documents the algorithms utilized, and demonstrates how to use the program. The program allows the user to plot Weapon Danger Areas on a map. The algorithms are based on the NATO STANAG 2240 and 2401. The program is developed for direct fire and indirect fire weapons in the ground-to-ground role. A flat (2D) terrain is assumed. Optionally, the terrain is taken into account to find the first possible hit point.		
9) DATE 2007-03-08	AUTHORIZED BY This page only Jan Ivar Botnan	POSITION Director

ISBN 978-82-464-1125-5

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHold

	Side	
1	INNLEDNING	7
2	FORUTSETNINGER	7
3	OM PROGRAMMET	8
3.1	WDATools	8
3.2	NABK-Interface	10
4	ALGORITMER FOR DIREKTESKYTENDE VÅPEN	11
4.1	Hoveddelene	11
4.2	Feilbudsjett-området (EBA - Error Budget Area)	11
4.3	Rikosjettområdet (RDA)	13
4.4	Tilbakekast-området	14
4.5	Utkast-området	14
4.6	Bakblåst-området	14
4.7	Splintområde	15
4.8	Spesielle tilfeller	15
5	ALGORITMER FOR INDIREKTE SKYTENDE VÅPEN	16
5.1	Hoveddelene	16
5.2	Sprenggranat uten baseburn	17
5.3	Sprenggranat med baseburnmotor	19
5.4	Cargogranat uten baseburnmotor (inkludert lysgranater)	20
5.5	Cargogranat med baseburnmotor (ekskludert lysgranater)	24
5.6	Ellipsenes dimensjoner for cargogranater	24
6	METEOROLOGI	27
6.1	Generisk værtelegram	27
6.2	Beregning av 50- og 95-percentil for vind	29
6.3	Beregning av systematisk feil	30
APPENDIKS		
A	BRUKSANVISNING WDATOOLS	34
B	BEGREPER, FORKORTELSER OG SYMBOLER	37
B.1	Begreper og størrelser	37
B.2	Forkortelser	40

B.3	Symbolliste	40
	Litteratur	42

40

42

Program for generering av 2D sikkerhetsmaler

1 INNLEDNING

FFI har på oppdrag fra Forsvarsbygg utviklet et PC-basert planleggingsverktøy for å generere 2D sikkerhetsmaler for Hærens våpen. Programmet er laget som en modul til kartverktøyet ArcGIS/ArcView fra ESRI/Geodata. Algoritmene er i henhold til NATO STANAG 2401 (1) og 2240 (2). Denne rapporten beskriver programmet og algoritmene som ligger bak. For forklaring av sentrale begreper henvises til Appendiks B.1.

Verktøyet er laget til bruk for Regionfelt Østlandet, men kan like gjerne brukes for andre felt som har kartgrunnlag i ArcGIS.

2 FORUTSETNINGER

Verktøyet genererer 2D-maler, dvs. det forutsettes i utgangspunktet flatt terreng. Det tas således ikke hensyn til terrenget når det gjelder rikosjettlengder og nedslagsfelt. Terrengdata (høydedata) kan imidlertid velges brukt til å finne første mulige nedslagspunkt (for flatbane) og høydeforskjellen mellom standplass og målområde (for krumbane).

Rekkevidden for prosjektilet og dets rikosjett beregnes ved ballistiske simuleringer. Til dette brukes generiske værprofiler (for lufttrykk, temperatur og vind). For beregning av elevasjon brukes ICAO normal-atmosfære med null vind. For beregning av systematiske feil og maksimal rekkevidde for rikosjetter (MRR) benyttes en mer konservativ værprofil med lavere tetthet og medvind/sidevind. Brukeren kan velge mellom atmosfærer med moderat eller sterk vind.

Malene regnes å ha et sikkerhetsnivå svarende til $p = 1 \cdot 10^{-6}$, dvs. sjansen for at prosjektilet, fragment eller substridsdel skal havne utenfor malen er mindre enn $1 \cdot 10^{-6}$. Dette er forutsatt en normalfordeling av spredning og systematiske feil. Det er ikke tatt høyde for grove feil gjort av våpenoperatør.

3 OM PROGRAMMET

3.1 WDATools

Program-modulen kalles *WDATools*, og er programmert i programmeringsspråket C#.NET som et COM-object til kartverktøyet ArcView.

Algoritmene som er implementert er basert på NATO STANAG 2240 for generering av 2D sikkerhetsmaler, kalt *Allied Range Safety Publication (ARSP) –Vol 2: Weapon Danger Areas/Zones for Unguided weapons for use by NATO Forces in a Ground Role (2)*

Sikkerhetsmalene deles opp i to hovedgrupper: Indirekte skytende våpen og direkte skytende våpen med ulike algoritmer. Disse hovedgruppene er videre delt i følgende kategorier våpen:

Direkte våpen	Indirekte våpen
Håndvåpen	Feltartilleri
Avdelingsvåpen	Bombekastere
Panservern	
Maskinkanon	
Stridsvogn	

Tabell 3.1 Kategorier våpen

Innenfor disse kategoriene velges først våpen, deretter ammunisjon og evt. ladning og brannrør.

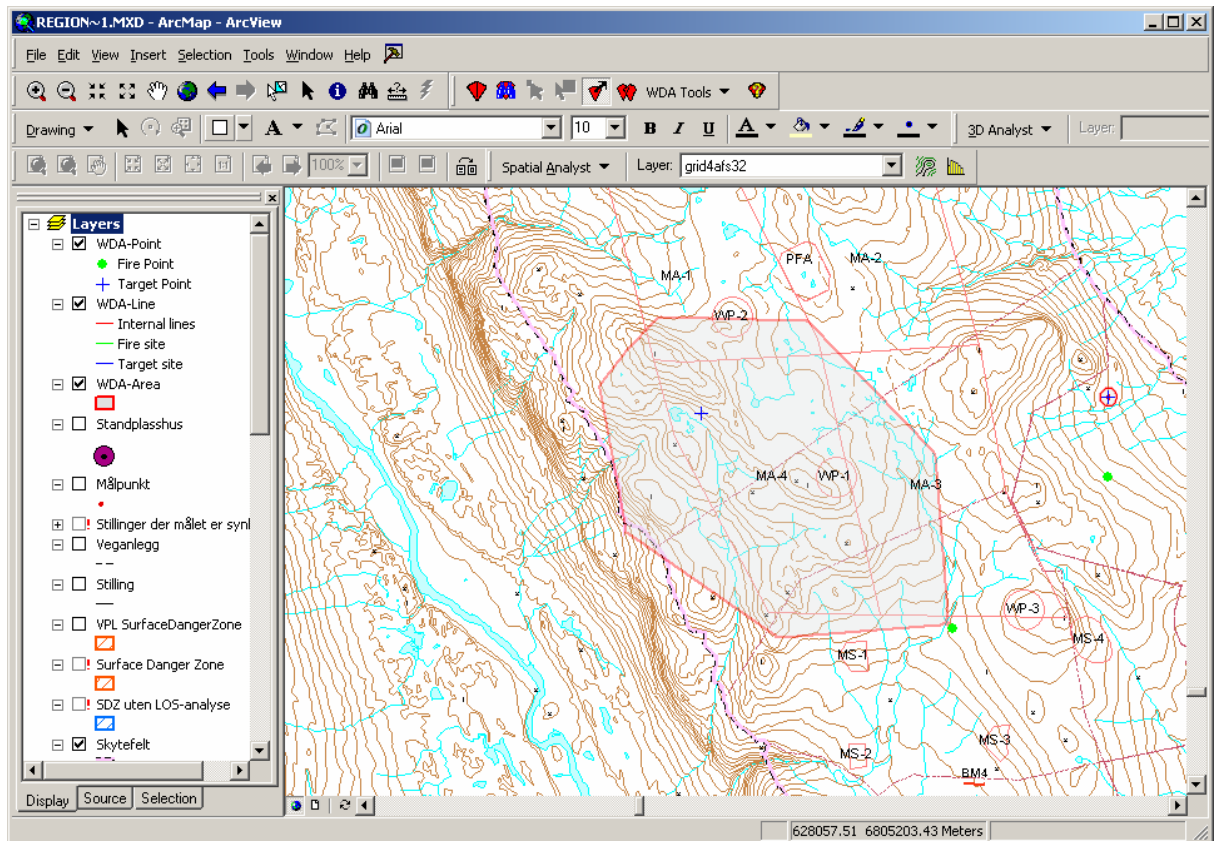
Standplass og mål velges på flere måter, både med koordinater, direkte tegning på skjermen, og bruk av eksisterende geometri-objekter (ved å velge navn eller klikke på objektet). Standplass og mål kan enten være 0-dimensjonale (punkter), 1-dimensjonale (kurver) eller 2-dimensjonale (polygoner). Både standplass og mål kan bestå av multiple objekter, også blandet (f.eks. et punkt og en linje).

Når malen er tegnet, kan den flyttes ved å forandre standplass- eller målområdet. Hele malen kan også flyttes hvis ikke lokal topologi er benyttet ved generering av malen.

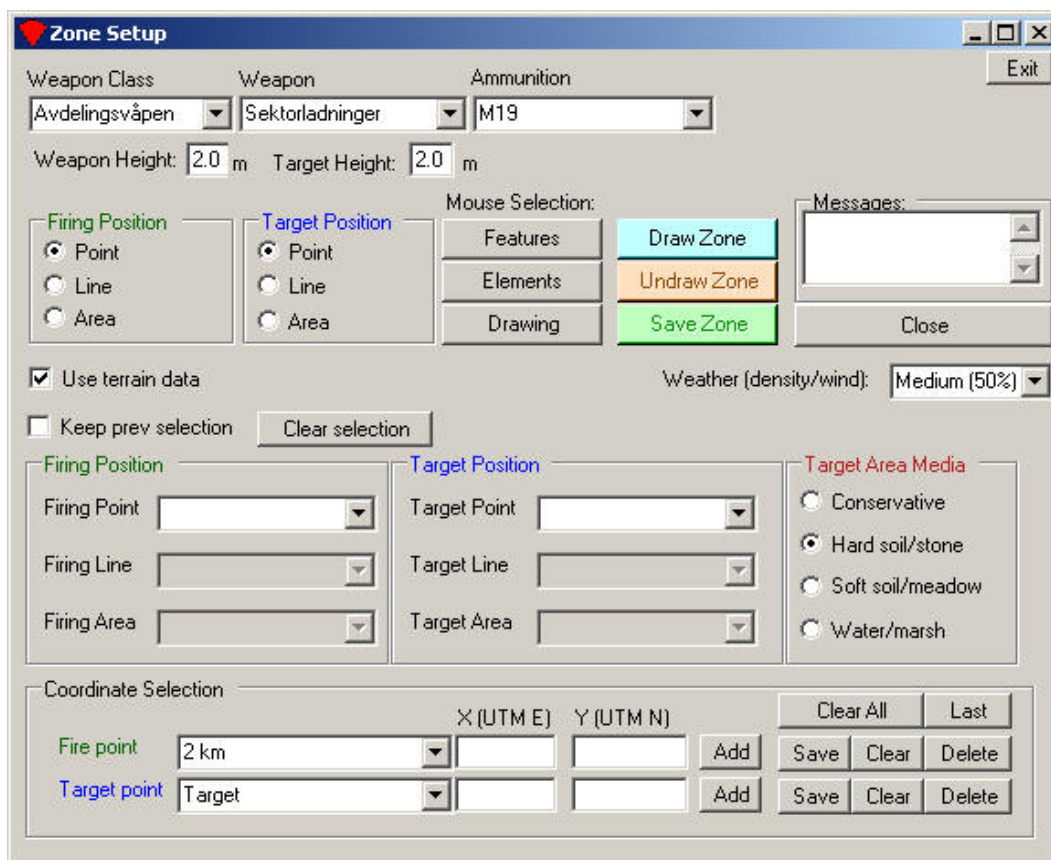
Flere maler kan slås sammen (kombineres). Dette er aktuelt dersom det er flere standplasser og/eller flere målområder.

Detaljert bruksanvisning er gitt i Appendiks A.

Figur 1 og Figur 2 viser eksempler på brukergrensesnittet for programmet.



Figur 1 ArcView med WDATools installert som verktøylinje (røde ikoner). Inntegnet er et eksempel med 12.7 mm mitraljøse.



Figur 2 Hoved-brukergrensesnittet for generering av maler

3.2 NABK-Interface

For alle ballistikkberregninger for indirekte våpen (artilleri og bombekaster) benyttes NABK (*Nato Armaments Ballistic Kernel*), se ref (6). Dette skjer via et interface programmert i ADA (siden NABK er programmert i ADA). Interfacet er koblet til WDATools som et COM-objekt. Det er foreløpig versjon 3.0 av NABK som benyttes, da senere versjoner (ver 6.0) har for stor stack-størrelse i forhold til hva som tolereres av .NET 2.0.

NABK-Interface beregner MRR, tilfeldig feil, systematisk feil. Til beregning av systematiske feil benyttes ikke NABK, men algoritmen ODA (4). Denne er beskrevet i avsnitt 6.3, side 30.

Dokumentasjon på algoritmene i NABK finnes i ref (6).

4 ALGORITMER FOR DIREKTESKYTENDE VÅPEN

Direkteskytende våpen, eller flatbanevåpen, er alle typer våpen som sikter direkte på målet og går i en forholdsvis flat bane. Karakteristisk for flatbanemalene er at fareområdet alltid strekker seg helt fra standplass. For normale skyteavstander vil det alltid være et rikosjettområde.

4.1 Hoveddelene

Malene for direkteskytende våpen består av følgende deler:

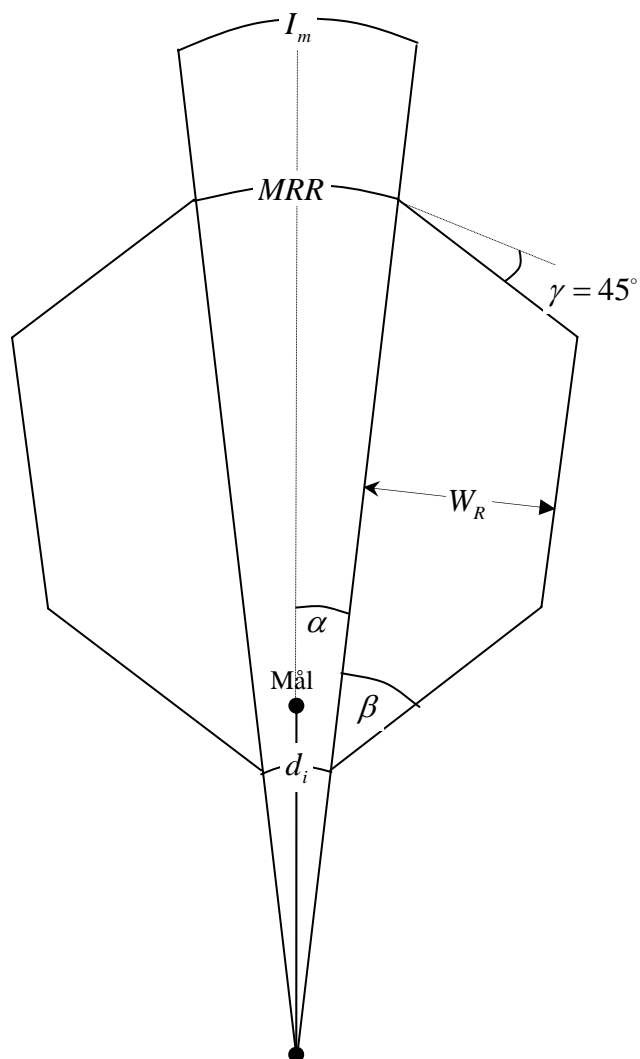
- Feilbudsjett-område ("EBA - Error Budget Area")
- Rikosjett-område
- Tilbakekast-område ("Back-splash area")
- Utkast-område (drivspeil etc)
- Bakblåst-område (for raketter)
- Splintsone

Disse er nærmere omtalt nedenfor.

For spesielle våpen, f.eks. raketter som ERYX og TOW, er det egne maler hvis dimensjoner er oppgitt i *Håndbok for skyte- og øvingsfelt* (3).

4.2 Feilbudsjett-området (EBA - Error Budget Area)

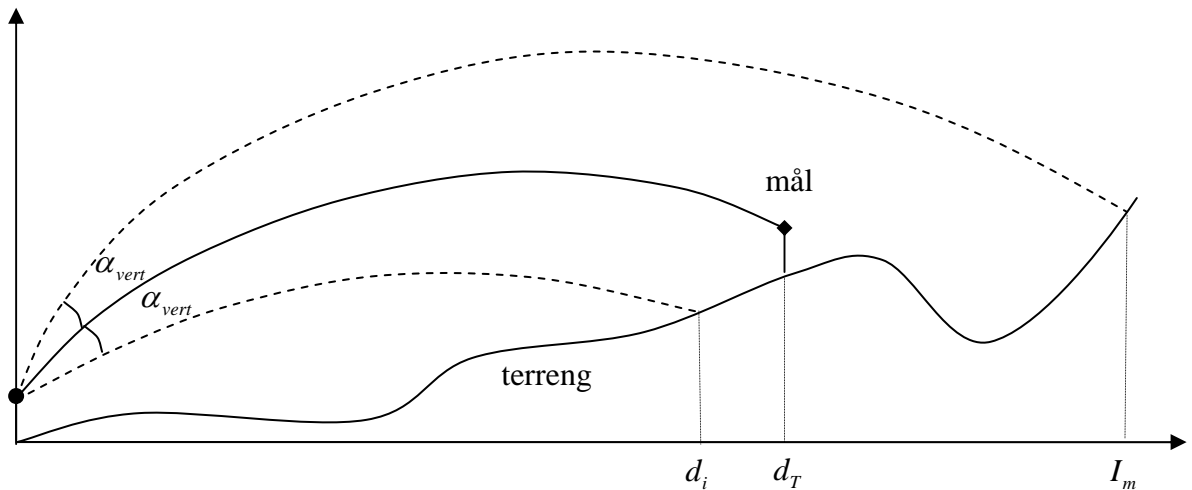
Rundt et punktmål tegnes et sektorsegment, basert på spredning og systematisk feil i lengde og side. Feilene fra spredning (skudd-til-skudd-feil) og systematiske feil (feil i middeltreffpunkt) summeres kvadratisk til total feil, gitt ved et standardavvik. Dette gjøres i lengde og bredde av skyteretningen. Feilfordelingen får dermed en elliptisk form. Standardavviket multipliseres med 5,3 svarende til en sannsynlighet for å treffe utenfor ellipsen på $1 \cdot 10^{-6}$ (gitt en normalfordeling). Dette tilsvarer 7,8 PE ("Probable Error"). Verdiene for 5,3 standardavvik er gitt i *Håndbok for skyte- og øvingsfelt* (3) i form av sidespredningsvinkelen α .



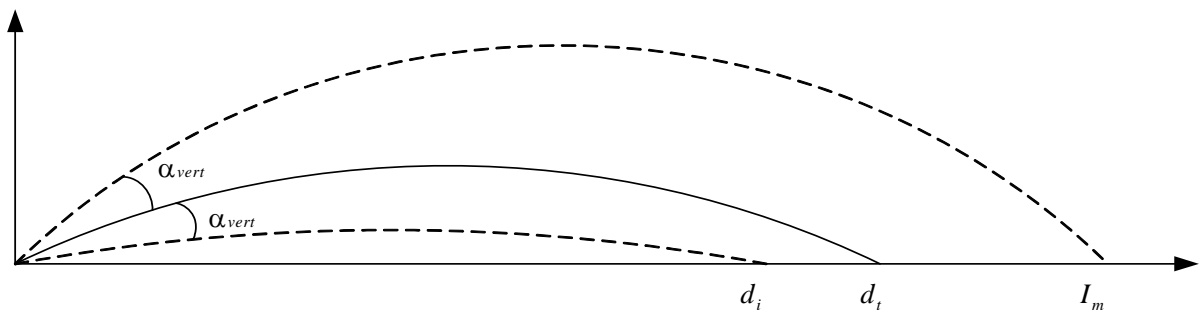
Figur 3 Feilbudsjettområdet (EBA) rundt punktmålet. Denne er bestemt av nøyaktighet og spredning i form av spredningsvinkelen α . Rikosjettområdet er også vist, med rikosjett-sidevinkel β og rikosjett-bredde W_R

Avstanden til første mulige nedslagspunkt benevnes d_i , og er bestemt fra nedslaget man får når man skyter med redusert elevasjon $\theta = \theta_{nom} - \alpha_{vert}$, der α_{vert} er vertikal spredningsvinkel. Dette er avhengig av lokal topologi og munningens og målets høyde over bakken. Når høydedata finnes, tas det hensyn til topologien når første mulige nedslagspunkt skal bestemmes. Hvis ikke, antas det verste tilfelle, nemlig at både våpen og mål har null høyde over bakken, og bakken er flat. For flate baner med stor spredning ender det siste ofte med at nærmeste treffpunkt $d_i=0$.

Tilsvarende får man lengste rekkevidde I_m ved å skyte med elevasjon $\theta = \theta_{nom} + \alpha_{vert}$ med medvind og redusert lufttetthet. Graden av medvind og redusert tetthet bestemmes av brukeren i form av tre valg: "Normal atmosfære", "middels atmosfære" (50-percentil) og "ekstrem atmosfære" (95-percentil). For nærmere beskrivelse av disse tre atmosfærene, se avsnitt 6.2 (side 29).



Figur 4 Illustrasjon av korteste, nominell og lengste rekkevidde, med topologi



Figur 5 Illustrasjon av korteste, nominell og lengste rekkevidde, uten topologi

4.3 Rikosjettområdet (RDA)

Fra første mulige nedslag (avstand d_i fra standplass) kan rikosjett starte. Største mulige rekkevidde til en rikosjett antas å være den såkalte MRR ("Maximum Ricochet Range"). Denne defineres som avstanden hvor nedslagsvinkelen er lik kritisk nedslagsvinkel for rikosjett. Kritisk nedslagsvinkel er avhengig av jordsmonn og prosjektil, og er tabulert i *Håndbok for skyte- og øvingsfelt* (3).

Største mulige (innenfor rimelige sannsynligheter) sidevinkel for rikosjett β er oppgitt i *Håndbok for skyte- og øvingsfelt*. Generelt kan denne settes lik den kritiske rikosjettvinkelen.

Maksimal avstand sideveis som rikosjetten kan gå er antatt å være

$$w_R = \frac{MRR - d_i}{k} \quad (4.1)$$

der k er et heltall som beskriver jordsmonnet. Tabell 4.1 nedenfor viser verdiene av k som er brukt i dette arbeidet.

Jordsmonn	k
Konservativt ("worst case")	2
Stein, hard jord	4
Myk jord	6
Myr, vann	8

Tabell 4.1 Jordsmonn beskrevet ved konstanten k

4.4 Tilbakekast-området

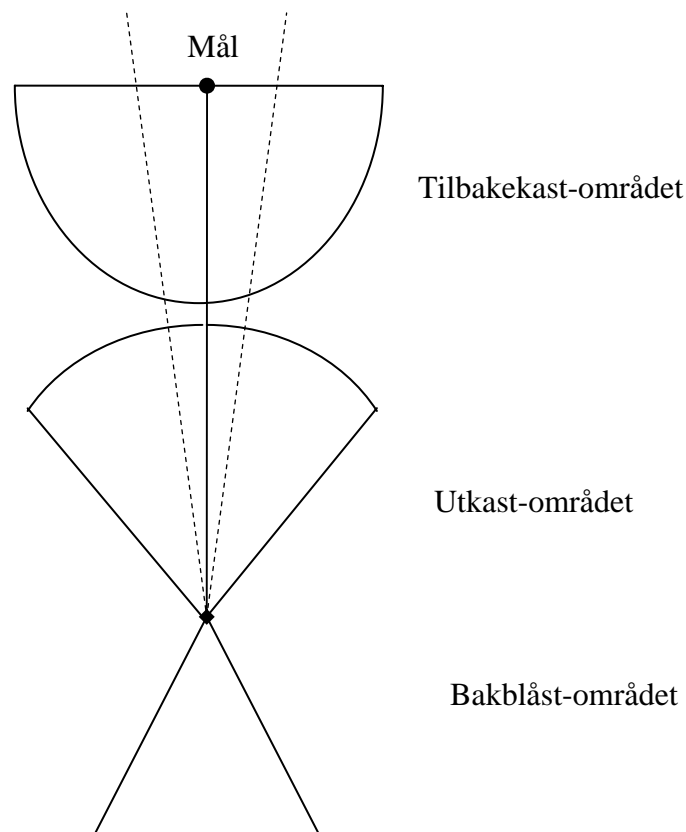
Minimum målavstand d_m er bestemt av farlig avstand til målet med tanke på tilbakekast av prosjektil og/eller splinter ved anslag. Programmet gir advarsel hvis målet er plassert nærmere enn dette ($d_t < d_m$). Det blir tegnet en sikkerhetssone som en halvsirkel med radius d_m rundt målet, se Figur 6.

4.5 Utkast-området

Utkastområdet er en sirkelsektor ved gitt åpningsvinkel og radius, se Figur 6. Dette forårsakes av drivspeil eller andre objekter som frigjøres ved avfyring.

4.6 Bakblåst-området

Bakblåst-området er gitt som en trekant med gitt bakover-avstand og bredde bakerst.

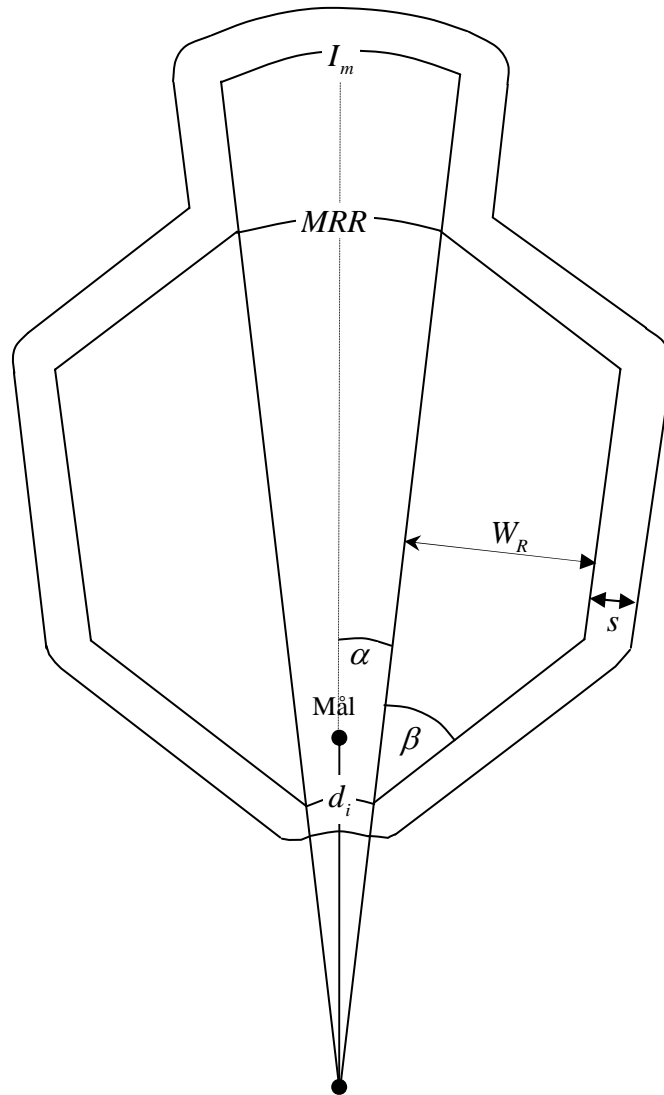


Figur 6 Tilbakekast-området, utkast-området og bakblåst-området

4.7 Splintområde

Det tegnes et splintområde hvis prosjektilet har en splintavstand. Denne tegnes slik at avstanden fra alle mulige nedslagspunkt til splint-randa er lik splintavstanden. Det innebærer bl.a. at splint-randa avrundes rundt konvekse hjørner.

Splintområdet går aldri bakenfor våpenet, men avsluttes i tilfelle ved en linje vinkelrett ut fra våpenet.



Figur 7 Splintområdet rundt området for mulig nedslag i tilfellet hvor $s < d_i$

4.8 Spesielle tilfeller

Hvis målet ved en feiltakelse er plassert lengre unna enn mulig rekkevidde, settes lengste rekkevidde I_m til maksimal rekkevidde med brukerens valgte meteorologiske forhold, mens korteste rekkevidde d_i settes til maksimal rekkevidde med normal-atmosfære.

5 ALGORITMER FOR INDIREKTE SKYTENDE VÅPEN

Indirekte skytende våpen, eller krumbanevåpen, er artilleri og bombekaster. Malene er karakterisert ved at hovedfareområdet er rundt målet. I tilfeller med usikkert brannrør kan dette også strekke seg fra standplass. Det skilles mellom granater med sub-ammunisjon (cargo) og sprenggranater.

5.1 Hoveddelene

Malene for indirekte skytende våpen består av følgende deler:

- Feilbudsjett-område (EBA)
- Splint-område
- Rikosjett-område (RDA)
- Fareområde for tidlig brannrørsfunksjon (nærhetsbrannrør og mekaniske brannrør)

Tillegg for granater med baseburn:

- Nedslagsområde for sviktende baseburn-motor

Tillegg for cargo-granater:

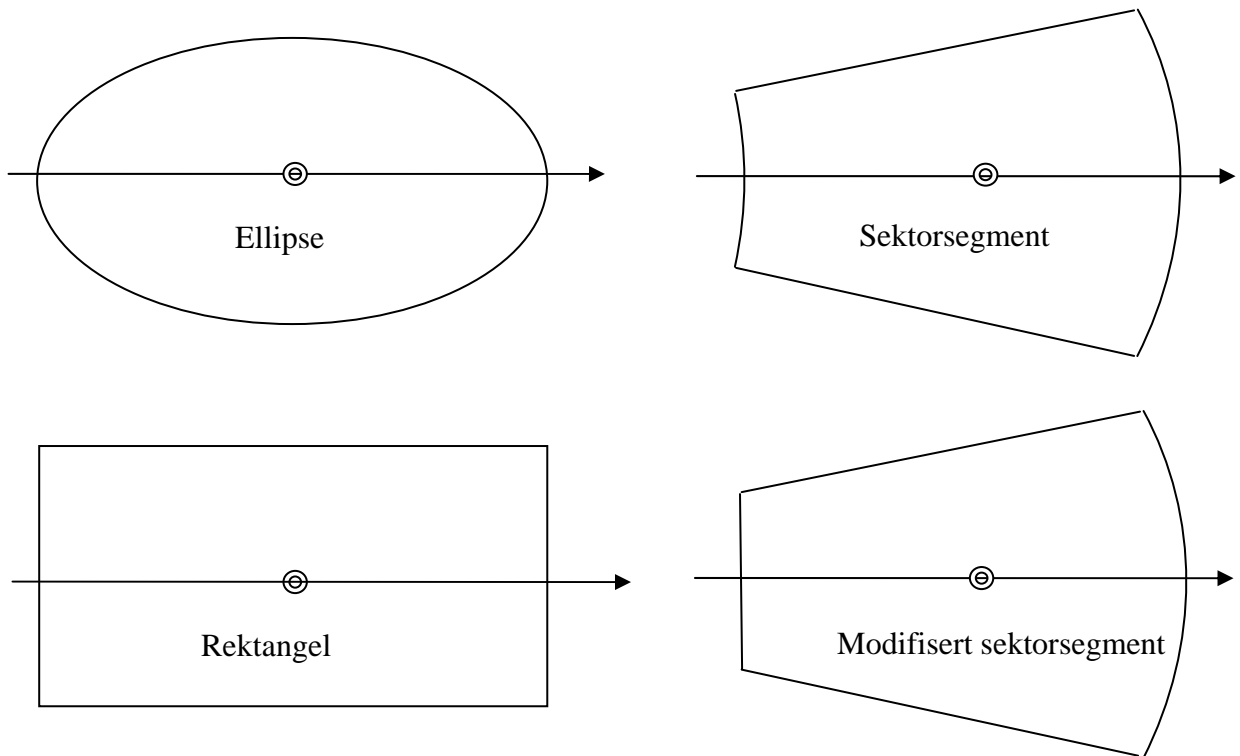
- Nedslagsområde for tom bøssing ("Empty Canister")
- Nedslagsområde for granat uten brannrørsfunksjon ("No Fuze Function", NFF)

Alle ballistiske parametere blir regnet ut med *NABK-interface*: MRR ("Maksimum Ricochet Range"), nedslagspunkter, systematisk og tilfeldig feil, samt nedslagspunkter og vindavdrift for bomblets/lyselement.

Rikosjettområdet blir beregnet på samme måte som for direkte skytende våpen, se avsnitt 4.3.

Størrelsen på fareområdet rundt nedslagsområdet (feilbudsjettområdet) blir bestemt fra spredning og systematiske feil for granat (og evt. bomblet) og splinter. Disse blir gitt i form av standardavvik i lengde og side. Standardavvikene for systematisk og tilfeldig feil for funksjoneringspunktet blir multiplisert med faktor 5,3 (som tilsvarer 7,8 PE).

Som form på malene er valgt ellipser. Disse gir den matematisk mest korrekte representasjonen. Brukeren kan også velge rektangulære eller sektorsegmenter, se Figur 8.



Figur 8 Mulige former på feilbudsjett-området: Ellipse (standard), rektangel, sektorsegment, modifisert (avkortet) sektorsegment

For nærhetsbrannrør vil detonasjonspunktet være 5-15 meter over målet i nærhetsmodus. Ved skrå baner kan "No-Fuze-Function"-punktet (NFF) bli noen titalls meter lengre, men ved disse nedslagsvinklene får man uansett en rikosjettsone som spiser opp denne. Det tas derfor hensyn til NFF-sone kun for ammunisjon med temperingsbrannrør og ikke for ammunisjon med nærhetsbrannrør.

5.2 Sprenggranat uten baseburn

For sprenggranater uten baseburnmotor er fareområdet i målområdet representert med to konsentriske ellipser:

E0) Ellipse rundt nedslagspunktet med halvaksler a og b , bestemt av systematisk og tilfeldig feil for nedslagspunktet, se Figur 9.

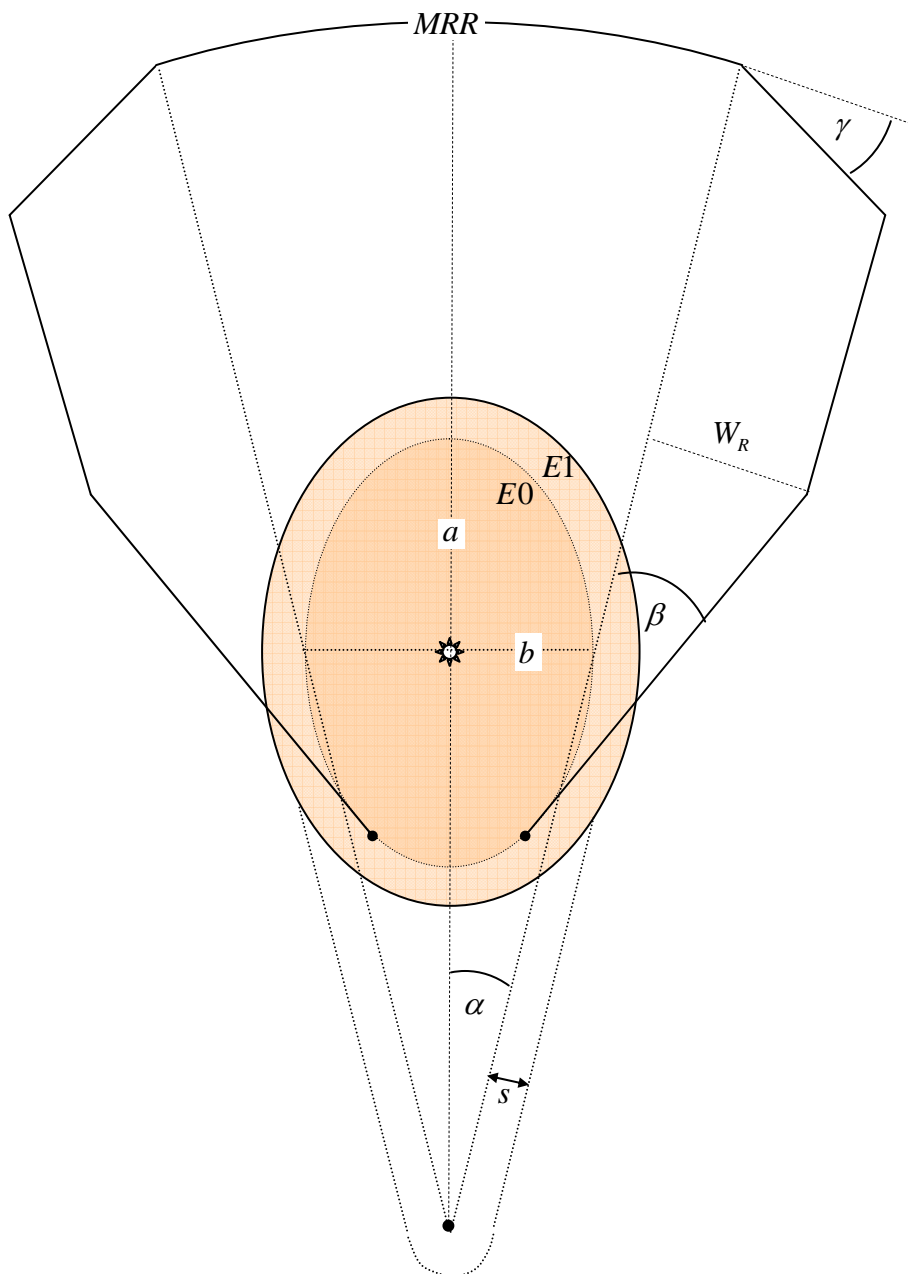
E1) Tillegg rundt E0 svarende til splintavstand.

Rikosjettområdet strekker seg fra randen på den innerste ellipsen E0, og begrenset oppad av MRR. Startpunktet for rikosjettområdet er bestemt av at linjen tangerer ellipsen.

Spredningsvinkelen α er bestemt ved at vinkelbeinene skjærer ellipsen rett til siden for målpunktet, se Figur 9.

For granater med usikre brannrør (mekaniske tidsbrannrør og nærhetsbrannrør) teller også den stiplede spredningssektoren med i malen. Brukeren kan velge om han/hun vil ha tegnet denne sonen.

I tillegg til feilbudsjettområdet kommer en splintzone med avstand s rundt feilbudsjettområdet. For indirekte skytende våpen anses sannsynligheten for detonasjon av granat *etter* rikosjett for liten til at det må tas hensyn til. Derfor brukes ikke splintområde rundt rikosjettområdet.



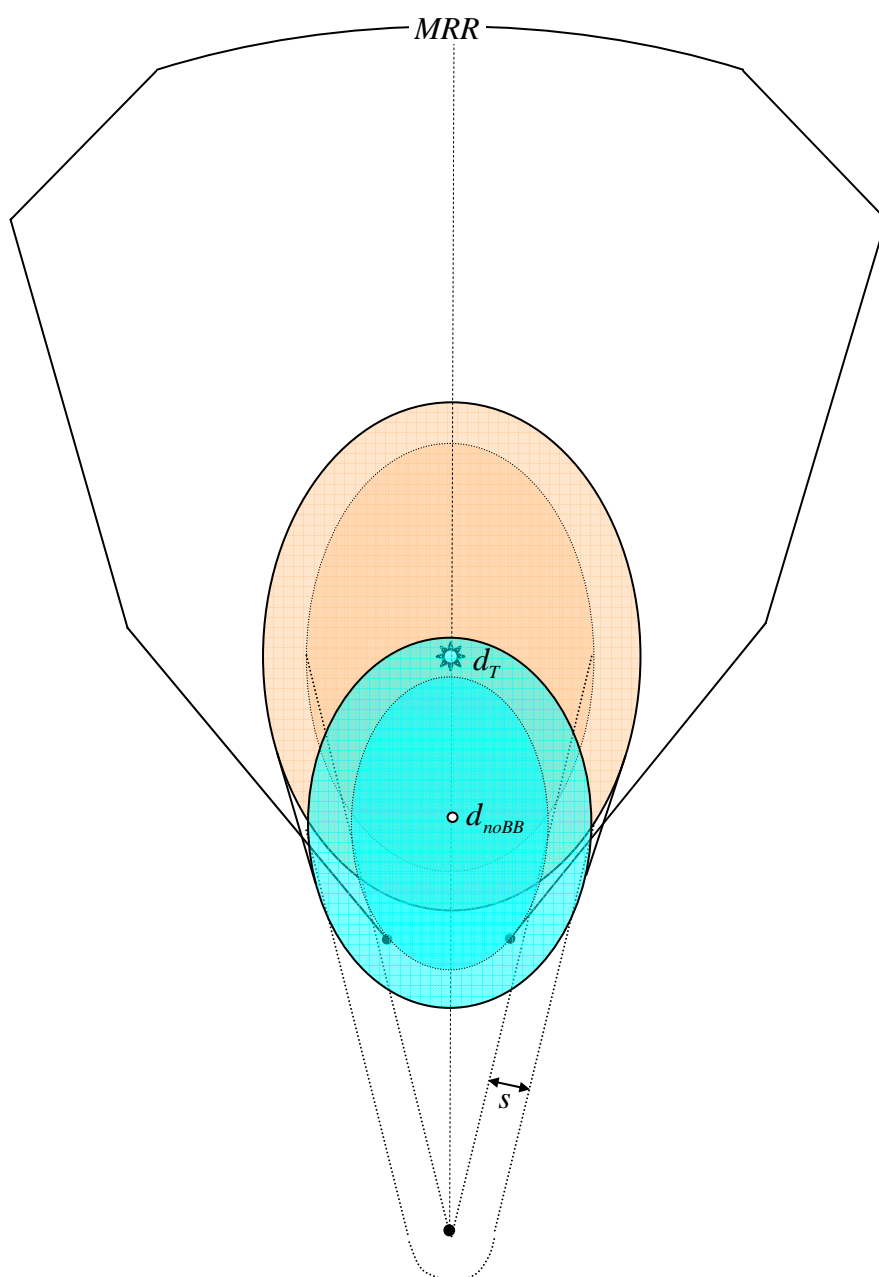
Figur 9 Fareområde for indirekte skytende våpen uten cargo og baseburnmotor, men med splintområde

5.3 Sprenggranat med baseburnmotor

For granater med baseburn, må det tas høyde for at baseburnmotoren kan svikte når som helst langs banen. Dette gir en skare av nedslagsfelt med kortere avstand til nedslag. I praksis tegnes ellipsene for korteste nedslag og lengste nedslag med en omhylningskurve rundt, se Figur 10.

Det antas at størrelsen på den innerste sonen skaleres med avstanden, dvs. at begge halvaksene skaleres med faktoren $\frac{d_{noBB}}{d_T}$. Dette kan gjøres fordi spredningen og systematiske feil typisk vokser omtrent proporsjonalt med avstanden. Den ytterste sonen legges på som splintavstand, som før.

Innslagspunktet for rikosjett er nå på ellipsen for granat uten baseburnmotor, mens ytreranden for rikosjettområdet er, som før, MRR for granat med baseburn.



Figur 10 Fareområde for sprenggranater, med baseburnmotor. Faresonen for tidlig funksjonering er også tegnet inn.

5.4 Cargogranat uten baseburnmotor (inkludert lysgranater)

For cargogranater blir malene langt mer komplisert (se Figur 11). Granaten støter ut sub-stridsdelene i en slik høyde at falltiden for sub-stridsdelene blir som spesifisert, f.eks. 8,5 sekunder. Disse har en spredning i lengde og side, inkludert vindavdrift, regnet ut med NABK. Videre har disse en splintavstand som må legges til. Figur 11 viser de aktuelle fareområdene for cargo-ammunisjon uten baseburn (med unntak av sone for tidlig utstøtning). Rikosjettområdet er bare antydnet.

Lysgranater

Lysgranater blir i denne sammenheng regnet som cargo fordi man har en utstøtning på samme måte som carcoammunisjon. Det blir som for cargoammunisjon tegnet tre fareområder i tillegg til rikosjettområdet. Fareområdet rundt målet blir bestemt av hovedgranatens spredning og systematisk feil samt vindavdrift til lyselementet. Den fallende lyssatsen utgjør neppe særlig fare for personell i målområdet, men målområdet er likevel tatt med pga mulig skogbrannfare der lyselementet lander. Det planlegges å gjøre dette til en opsjon i senere versjoner av programmet.

Det forutsettes at lysgranatene ikke har baseburn-motor, da algoritmene i NABK og NABK-interface ikke takler dette pr. i dag. Det er dog relativt enkelt å rette på dette hvis behovet skulle oppstå.

Bombletbanene

Substridsdelene fordeler seg langs en ellipse på bakken. Banen for de fire ytterbombletene blir simulert med NABK og bestemmer halvaksene i denne ellipsen ($s_{sb,x}$ og $s_{sb,z}$). I tillegg beregnes vindavdrift i maksimalt uheldig retning, f.eks. sidevind mot høyre for de substridsdelene som drar til høyre. Dette skjer ved tommelfingerregelen

$$\Delta s = W[\text{knop}] \frac{h_{FF}[\text{m}]}{100} \quad [\text{m}] \quad (5.1)$$

Der W er vind i knop, h_{FF} er funksjoneringshøyden i meter. Avdriften legges til bomblet-ellipsen i alle retninger.

Til dette antas samme generiske værtelegram (i 200 meters høyde) som er benyttet i beregning av systematisk feil og MRR (brukerbestemt). Standard-valget for dette er 50-percentilen, se avsnitt 6.

Lysgranater har kun én ”substridsdel” bestående av et lyselement. Lyselementet er tenkt å dale ned på målet. Lysgranater har to funksjoneringsstrinn: Trinn1: Lyselementet støtes ut fra bøsningen. Denne faller i typisk 8 sekunder. Det antas ubetydelig avdrift i forhold til bøsningen. Trinn2: Fallskjermen løses ut og lyset tennes. Det forutsettes at dette skjer rett over målet. Hvis ildledningssystemet i virkeligheten tar hensyn til vindavdrift (ikke implementert i ildledningssystemet NORTaC pr. i dag), må sikkerhetsmalene også endres, siden nedfallspunktet til granaten kan bli vesentlig endret. Avdriften til lyselementet kan bli stort siden det driver med vinden. Avdriften i alle retninger regnes ut ved

$$\Delta s = W \frac{h_{FF}}{V} \quad (5.2)$$

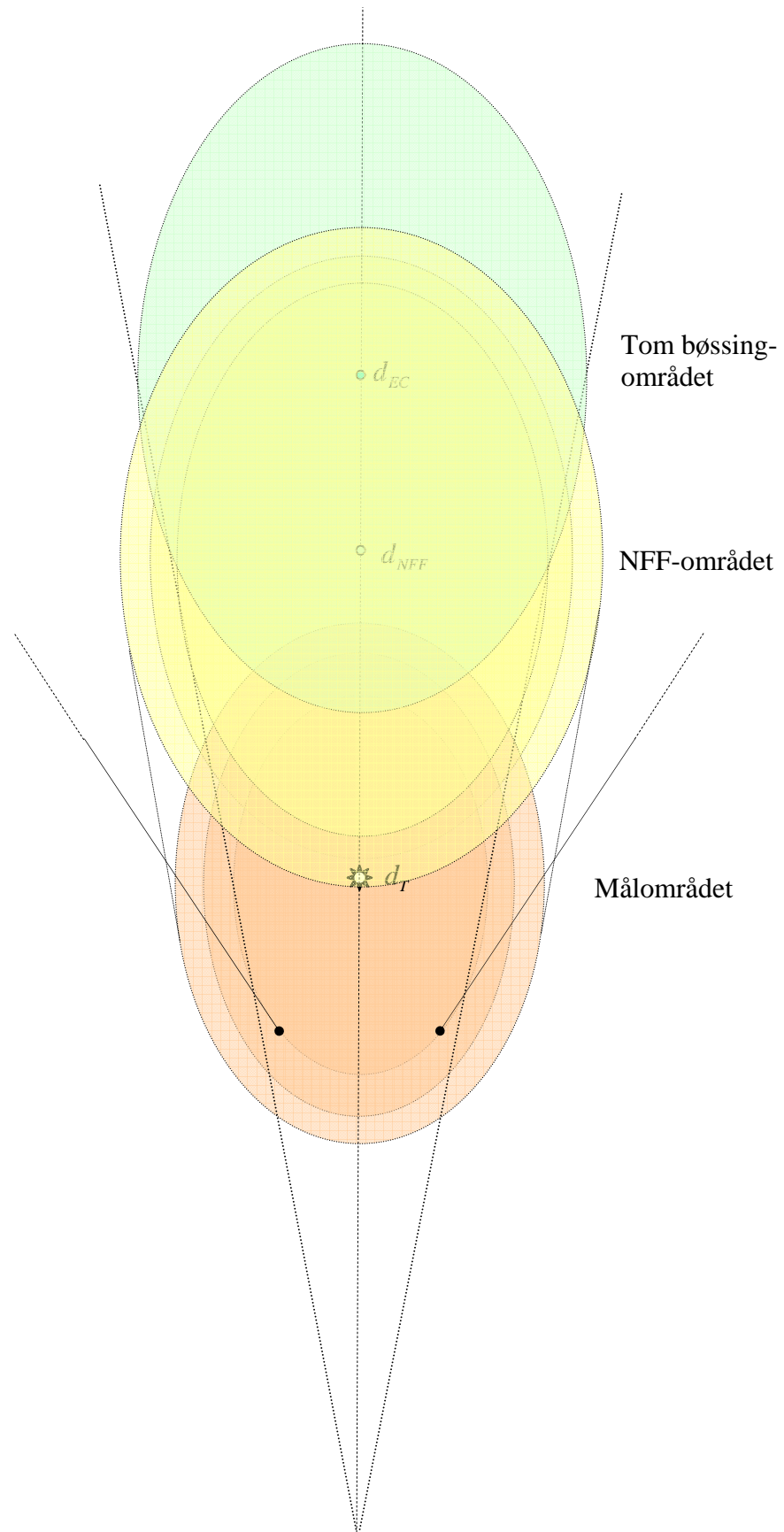
Der W [m/s] er vind, h_{FF} er funksjoneringshøyden, V er fallhastigheten. Vindstyrken blir tatt fra 95-percentilen, i 400 meters høyde over bakken.

Den tomme bøsningen går lengre enn gjennomsnittet av substridsdelene, og krever en egen faresone, dog uten splintavstand. Fareavstanden i side skaleres med avstanden, mens fareavstanden i lengde er mer usikker. Det er observert at bøsningen kan gå lengre enn en massepunktmodell skulle tilsi. Dette kan dels skyldes at bøsningen får en ekstra hastighet etter utstøtning (typisk 70 m/s), dels at bøsningen får løft. Maksimalavstand for en slik tom bøsning er ikke kjent. I mangel av bedre informasjon settes den økte avstanden i forhold til målpunktet til 50% lengre enn den økte avstanden for granater uten utstøtning ("No Fuze Function"). NABK har ikke funksjonalitet til å beregne bane for tom bøsning. Beregninger med baneberegningsprogrammet CALCUL viser at bøsningen går svært lik som NFF-tilfellet. Bøsningen mister omtrent halvparten av massen ved utstøtning, men får samtidig ca 70 m/s ekstra hastighet. Disse effektene synes å oppheve hverandre i stor grad. Det anbefales i STANAG'en (2) å multiplisere bøsning-lengden med en sikkerhetsfaktor, men denne er ikke spesifisert. Vi har liten kjennskap til hvor kort en tom bøsning kan gå. Det er derfor tatt høyde for at den kan lande hvor som helst mellom målet og maksrekkevidden, ved at det tegnes en omhylningskurve mellom det indre av feilbudsjett-området (uten bombletspredning) og tom-bøsning-området

"No Fuze Function" (NFF)

Det må tas høyde for at brannrøret ikke fungerer og granaten lander uten utstøtning. Posisjon og spredning av NFF-punktet regnes ut av NABK. Det antas at den eventuelle cargo-utstøtningen etter landing gir en spredning ikke større enn i det normale tilfellet. Vindavdrift av subammunisjonen tas ikke med i dette tilfellet. I tillegg kommer splintavstand. Hvis NFF-området og målområdet er sammenhengende, lages en omhylningskurve om disse for å glatte ut malen.

Rikosjettområdet går ut fra NFF-sonen. Det går også ut en rikosjettsonen fra tom-bøsning-sonen, men denne vil være inkludert i den første rikosjettsonen, og ignoreres derfor.



Figur 11 Fareområde for cargo-granater uten baseburn. Starten på rikosjettområdet er skissert. For usikre brannrør kommer et tillegg.

5.5 Cargogranat med baseburnmotor (ekskludert lysgranater)

For cargogranater med baseburnmotor kan granaten gå kort hvis motoren ikke tenner eller svikter på et tidspunkt. Simuleringer med BALDER (FFI-program basert på NABK) sannsynliggjør at granatene i de aller fleste tilfeller, kanskje alle, vil gå i bakken før utstøtning hvis baseburnmotoren svikter fra start. Nedslagspunktet for granat uten baseburn regnes ut ved å simulere med samme elevasjon og temperingstid.

Dette resulterer i det generelle tilfellet i tre nye sett med ellipser som i Figur 11. For å få med alle mellomliggende tilfeller (svarende til delvis funksjonering av baseburnmotor), trekkes det forbindelseslinjer (mer konkret: en konveks omhylningskurve) mellom en gitt sone og dens normale motpart. Da får man 3 sammenkoblede ellipser svarende til nedslagspunkt for cargo, granatens nedslagspunkt ved NFF og nedslagspunkt for bøsning. Det tas til slutt en union av disse, evt. med en konveks omhylningskurve.

Merk at NABK og NABK-interface i skrivende stund ikke takler lysgranater med baseburnmotor.

5.6 Ellipsenes dimensjoner for cargogranater

Tabell 5.2 og Tabell 5.3 nedenfor summerer opp dimensjonene (halvaksene) til ellipsene for cargogranater.

Størrelse	Forklaring	Finnes ved
m	Sikkerhetsfaktor	= 5,3
d_T	Avstand fra standplass til mål	Fra kartverktøyet
d_{NBB}	Avstand fra standplass til cargo nedslagssentrum uten baseburn	NABK
$d_{NFF, NoBB}$	Avstand fra standplass til nedslag uten utstøtning, og uten baseburn	NABK
d_{EC}	Avstand fra standplass til nedslag for tom bøssing ("Empty Canister").	Inntil bedre modeller finnes: $d_{EC} = d_T + f(d_{NFF} - d_T)$, $f = 1.50$
$d_{EC, NBB}$	Avstand fra standplass til nedslag for tom bøssing ("Empty Canister"), uten baseburn	Inntil bedre modeller finnes: $d_{EC, NBB} = d_{NBB} + f(d_{NFF, NBB} - d_{NBB})$, $f = 1.50$
$\sigma_{x, RTR}$	Skudd-til-skudd-spredning av nedslagspunktet for cargo, std.avvik lengde og side	NABK
$\sigma_{z, RTR}$		
$\sigma_{x, MPI}$	Systematisk feil (spredning av middeltreffpunkt), std.avvik lengde og side	ODA
$\sigma_{z, MPI}$		
$\sigma_{x, RTR, NFF}$	Skudd-til-skudd-spredning av nedslagspunktet for NFF, std.avvik lengde og side	Skaler cargo-centerspredning med avstand
$\sigma_{z, RTR, NFF}$		
$\sigma_{x, RTR, EC}$	Skudd-til-skudd-spredning av nedslagspunktet for bøssing, std.avvik lengde	Inntil bedre modeller finnes: $\sigma_{z, RTR, EC} = f \cdot \sigma_{z, RTR, NBB}$, $f=1.20$
$s_{sb, x}$	Halvakser for bomblet-ellipsen, lengde og side	NABK
$s_{sb, z}$		
$\Delta s_{sb, w, x}$	Vindavdrift, sub-ammunisjon, lengde og side	NABK-interface
$\Delta s_{sb, w, z}$		
s_{frag}	Fragmentavstand for sub-ammunisjon	Gitt, ref (3).

Tabell 5.1 Symbolforklaring, cargo-granater

Ellipse	BB	Halvakse, lengde	Tillegg cargospredning, lengde	Tillegg splinter, lengde
Cargo- området	Av	$m \frac{d_{NBB}}{d_T} \sqrt{\sigma_{x,RTR}^2 + \sigma_{x,MPI}^2}$	$s_{sb,x} + \Delta s_{sb,w,x}$	s_{frag}
	På	$m \sqrt{\sigma_{x,RTR}^2 + \sigma_{x,MPI}^2}$	$s_{sb,x} + \Delta s_{sb,w,x}$	s_{frag}
NFF- området	Av	$m \frac{d_{NBB}}{d_T} \sqrt{\sigma_{x,RTR,NFF}^2 + \sigma_{x,MPI}^2}$	$s_{sb,x}$	s_{frag}
	På	$m \sqrt{\sigma_{x,RTR,NFF}^2 + \sigma_{x,MPI}^2}$	$s_{sb,x}$	s_{frag}
Tom bøssing - området	Av	$m \frac{d_{NBB}}{d_T} \sqrt{\sigma_{x,RTR,EC}^2 + \sigma_{x,MPI}^2}$	0	0
	På	$m \sqrt{\sigma_{x,RTR,EC}^2 + \sigma_{x,MPI}^2}$	0	0

Tabell 5.2 Ellipsenes dimensjoner, lengde

Ellipse	BB	Halvakse, side	Tillegg cargospredning, side	Tillegg splinter, side
Cargo- området	Av	$m \frac{d_{NBB}}{d_T} \sqrt{\sigma_{z,RTR}^2 + \sigma_{z,MPI}^2}$	$s_{sb,z} + \Delta s_{sb,w,z}$	s_{frag}
	På	$m \sqrt{\sigma_{z,RTR}^2 + \sigma_{z,MPI}^2}$	$s_{sb,z} + \Delta s_{sb,w,z}$	s_{frag}
NFF- området	Av	$m \frac{d_{NFF,NBB}}{d_T} \sqrt{\sigma_{z,RTR}^2 + \sigma_{z,MPI}^2}$	$s_{sb,z}$	s_{frag}
	På	$m \sqrt{\sigma_{z,RTR,NFF}^2 + \sigma_{z,MPI}^2}$	$s_{sb,z}$	s_{frag}
Tom bøssing - området	Av	$m \frac{d_{EC,NBB}}{d_{NFF}} \sqrt{\sigma_{z,RTR,NFF}^2 + \sigma_{z,MPI}^2}$	0	0
	På	$m \frac{d_{EC}}{d_{NFF}} \sqrt{\sigma_{z,RTR,NFF}^2 + \sigma_{z,MPI}^2}$	0	0

Tabell 5.3 Ellipsenes dimensjoner, side

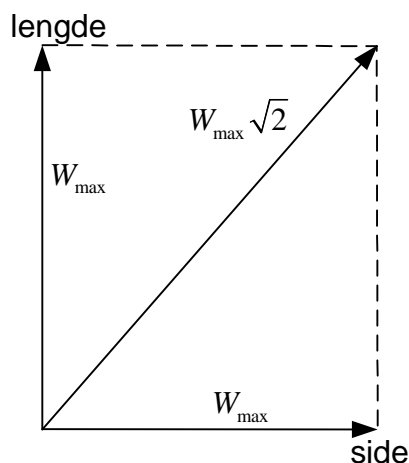
6 METEOROLOGI

Været har påvirkning på både bomavstand og maksimal rikosjett-lengde (MRR). For beregning av usikkerhet i treffpunkt pga været brukes algoritmen ODA. Denne er beskrevet i bl.a. (4), og skissert i avsnitt 6.3. Kort fortalt går ODA ut på at man med utgangspunkt i et værtelegram med en gitt alder bruker statistikk over vindens variasjoner i høydesonene til å bestemme sannsynlig bomavstand i side og lengde.

Det er først og fremst vindstyrken og alderen på værtelegrammet som bestemmer usikkerheten i middeltreffpunktet. Jo sterkere vind, desto større usikkerhet. *Det er tatt utgangspunkt i at det aktuelle værtelegrammet kan være opptil 4 timer gammelt.*

6.1 Generisk værtelegram

For beregning av sikkerhetsmal brukes et *generisk værtelegram* med sterk vind, lavt lufttrykk (lufttetthet) og standard lufttemperatur. ”Sterk vind” betyr at vindstyrken er i ytterkanten av den såkalte ”95-percentilen”, dvs. at vindstyrken statistisk sett er mindre eller lik dette i 95% av tiden. I tillegg antas maksimal uheldig retning på vinden i alle soner, noe som sjeldent opptrer. For å beregne bomavstand i lengde antas sterk (med-) vind i lengderetningen, mens for å beregne bomavstand i side antas sterk vind i sideretningen (til venstre). For å slå dette sammen i en simulering, benyttes et værtelegram hvor både lengde og sidekomponenten er maksimal. Den absolutte vindstyrken blir da $W_{\max} \sqrt{2}$.



Temperaturen i seg selv har lite å si for treffnøyaktighet og rekkevidde (MRR). Lufttettheten (eller lufttrykket) har lite eller ingenting å si for beregning av skytenøyaktigheten, men har betydelig innvirkning på MRR. Liten tetthet gir større MRR. Temperaturen virker inn via tettheten idet trykk, temperatur og tetthet er korrelert gjennom den ideelle gassloven

$$p = \rho RT, \quad R=287.1 \text{ J/kg/K} \quad (6.1)$$

Vi er ute etter ”verste tilfelle” hvor lufttrykket er lavt mens temperaturen er høy. Ved bakkenivå kan man anta en øvre temperaturgrense på 35°C, dvs en økning på 20°C (6.9%) fra standard-temperaturen. Et eksempel fra GUACA modellen (se ref (5), side 19) viser at den relative temperaturforskjellen oppover i høyden holder seg ganske konstant, helt opp til tropospausen.

Samtidig er lufttrykket meget sjeldent lavere enn 35 mbar (3.5%) under normalen ved havoverflaten.

Endringen i relativ lufttetthet blir da

$$\frac{\rho}{\rho_{std}} = \frac{p_{std} + \Delta p}{R(T_{std} + \Delta T)} \frac{RT_{std}}{p_{std}} = \frac{p_{std}}{1 + \frac{\Delta T}{T_{std}}} \approx 0.90 \quad (6.2)$$

Kombinasjonen høy temperatur og lavt trykk kan altså i verste fall gi 10% redusert tetthet. Dette svarer godt til anbefalingen i STANAG (2) hvor man anbefaler å redusere trykket med 100 hPa (og holde temperaturen konstant).

Overfor nevnte faktor 0.90 representerer en ekstrem vær-situasjon med lavt lufttrykk og høy sommervarme, noe som neppe opptrer samtidig. For å få en mer realistisk modell-atmosfære, kan man benytte et mindre ekstremt ytterpunkt. F.eks. 9 °C økt temperatur (T=24 °C) og 20 hPa redusert lufttrykk gir en faktor 0.95. Denne vil dekke de aller fleste praktiske tilfeller.

For enkelthets skyld implementeres det generiske værtelegrammet med en faktor for redusert tetthet, men beholder standard temperatur.

Atmosfæremodell	Faktor lufttrykk	Faktor temperatur
Normal	1	1
Medium	0.95	1
Ekstrem	0.90	1

Tabell 6.1 Faktor redusert lufttrykk i tre atmosfæremodellene

6.2 Beregning av 50- og 95-percentil for vind

Statistikk (middelverdi og standardavvik) over vind er hentet fra GUACA (Global Upper Air Climatic Atlas) (se ref (5), side 8). Vindstyrke beskrives statistisk med en Weibull-fordeling

$$f(x) = \frac{k}{x} \left(\frac{x}{c} \right)^k e^{-(x/c)^k} \quad (6.3)$$

med c = karakteristisk vind (m/s) og en formfaktor k (dimensjonsløs), og hvor x =gitt vindhastighet.

For å finne 95-percentilen må vi kjenne c og k og bruke den kumulative fordelingen

$$F(x) = 1 - e^{-(x/c)^k} \quad (6.4)$$

Generelt er $1 - \alpha$ percentilen (hvor $\alpha = 0.05$ i vårt tilfelle) gitt ved

$$x = c(-\ln \alpha)^{1/k} \quad (6.5)$$

For hver sone blir k og c bestemt ut fra uttrykkene for middelverdi og standardavvik:

$$\begin{aligned} \mu &= c\Gamma(1+1/k) \\ \sigma^2 &= c^2\Gamma(1+2/k) - \Gamma^2(1+1/k) \end{aligned} \quad (6.6)$$

hvor $\Gamma(x) = \int_{t=0}^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$ er den matematiske *gamma*-funksjonen.

Høyde	Vind (m/s)	Vind (knop)
0	6.0	11.8
1414	7.9	15.6
2948	9.9	19.5
5489	14.5	28.4
7083	17.8	35.0
9032	21.1	41.5
10220	21.0	41.2
11656	18.0	35.3
13513	14.6	28.7
16127	11.6	22.7
18415	10.2	20.1
20564	10.4	20.4
23824	11.9	23.4
30940	16.0	31.3

Tabell 6.2 Representativ 50-percentil for vindstyrke. Vindstyrken for null høyde er modifisert fra 2.9 m/s til 6 m/s.

Høyde	Vind (m/s)	Vind (kts)
0	13.0	25.5
1414	18.2	35.7
2948	22.8	44.8
5489	32.7	64.2
7083	41.3	81.0
9032	49.3	96.7
10220	49.2	96.6
11656	41.7	81.7
13513	34.1	66.8
16127	32.4	63.4
18415	34.8	68.3
20564	39.2	77.0
23824	45.8	89.9
30940	55.9	109.7

Tabell 6.3 Representativ 95-percentil for vindstyrke. Vindstyrken for null høyde er modifisert fra 6.0 m/s til 13 m/s.

De generiske værtelegrammene har nullpunkt på havnivå. I skytemalprogrammet kan man velge høyde over havet. Dette innebærer at standplass kan være mye høyere enn nullpunktet for værtelegrammet. Dette skulle ikke gi nevneverdige feil i temperatur og trykk, men vinden vil bli noe sterkere enn om værtelegrammet var generert fra riktig høyde. Feilen blir imidlertid liten nok til å kunne ignoreres. Feilen går også i konservativ retning.

De generiske værtelegrammene brukes kun for krumbane, siden de gir for kraftige vinder nær bakken hvor flatbaneprojektillene stort sett går. For flatbane-malene brukes samme reduksjon i lufttetthet, men med en konstant vind svarende til sone 0 i de generiske værtelegrammene.

6.3 Beregning av systematisk feil

For beregning av systematisk feil pga usikkerhet i vind, temperatur og tetthet, brukes algoritmen ODA, dokumentert i ref (4). Grunnet noen trykkfeil i denne rapporten gjengis hovedformlene her.

Standardavviket for middeltreffpunktets plassering i lengde og side er gitt ved

$$\sigma_{tot,x} = \left(\frac{\partial R}{\partial w_x} \sigma_{wx,ball} \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial \rho} \sigma_{\rho,ball} \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial T} \sigma_{T,ball} \right)^2 - 2f(h) \frac{\partial R}{\partial \rho} \frac{\partial R}{\partial T} \rho_{T,ball}^2 \quad (6.7)$$

$$\sigma_{tot,z} = \left(\frac{\partial Z}{\partial w_z} \sigma_{wz,ball} \right)^2 \quad (6.8)$$

Der $f(h)$ er korrelasjonskoeffisienter avhengig av høyden, tabulert i (4).

De partiell-deriverte er sensitiviteten av hhv vindhastighet, tetthet og lufttemperatur på rekkevidden og sideavdriften. Disse finnes ved å simulere baner med perturbasjoner i hhv vind, tetthet og temperatur. For cargo- og lys-ammunisjon simuleres banene til temperingstiden er nådd. Det er altså bomavstanden til funksjoneringspunktet som blir regnet ut i vårt tilfelle.

$\sigma_{w_{x,ball}}$, $\sigma_{\rho_{ball}}$, $\sigma_{T_{ball}}$ er såkalt ”ballistisk avvik” i hhv. lengdevind, tetthet og temperatur. Disse er standardavvikene til såkalt ”ballistisk vind”, ”ballistisk tetthet” og ”ballistisk temperatur”, som igjen er gjennomsnittlige eller ”effektive” konstante verdier gjennom hele flukten. Ballistisk vind, tetthet og temperatur kan skrives som vektete verdier av de faktiske verdiene:

$$w_{ball,j} = \sum_{i=1}^j g_{ij}^w w_i \quad (6.9)$$

$$\rho_{ball,j} = \sum_{i=1}^j g_{ij}^{\rho} \frac{\rho_i}{\rho_{std,i}} \quad (6.10)$$

$$T_{ball,j} = \sum_{i=1}^j g_{ij}^T \frac{T_i}{T_{std,i}} \quad (6.11)$$

Indeksen j er indeksen til øverste aktuelle sone som prosjektilet beveger seg gjennom. Vektene g_{ij} er gitt i tabellene nedenfor.

Linje\sone	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	20	80																						
3	9	19	72																					
4	6	12	26	56																				
5	4	8	15	20	53																			
6	3	6	10	13	20	48																		
7	3	5	8	9	12	19	42																	
8	3	4	7	8	9	12	19	38																
9	2	3	7	7	8	8	12	19	34															
10	2	3	6	6	7	7	8	11	19	31														
11	2	2	6	6	6	7	7	8	11	18	27													
12	2	2	5	5	5	6	6	6	7	9	11	36												
13	1	2	3	4	4	4	5	5	5	5	8	17	36											
14	1	2	2	4	3	3	4	4	4	4	5	9	17	38										
15	0	1	1	4	3	3	4	4	4	4	5	9	11	15	32									
16	0	0	1	4	3	4	4	4	4	4	5	9	9	11	14	24								
17	0	1	1	3	4	4	4	4	4	4	5	8	9	10	9	12	22							
18	0	1	1	2	4	4	3	3	3	4	4	8	8	9	8	8	10	20						
19	0	1	1	1	3	4	3	3	3	4	4	7	8	8	8	7	8	10	17					
20	0	1	1	1	3	4	3	3	3	4	4	7	7	8	7	7	6	7	9	15				
21	0	1	1	1	2	4	3	3	3	4	4	7	7	7	7	7	6	6	7	8	12			
22	0	1	1	1	2	4	3	3	3	4	4	7	7	7	7	6	6	6	5	5	8	10		
23	0	1	1	1	2	4	3	3	3	4	4	7	7	6	6	6	6	5	5	5	6	6	9	
24	0	1	1	1	2	4	3	3	3	4	4	7	6	6	6	6	6	5	5	5	4	4	5	9

Tabell 6.4 Vektingstabell for vind (vektall i prosent)

Linje\sone	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	35	65																						
3	16	28	56																					
4	12	18	27	52																				
5	9	16	21	19	35																			
6	7	12	17	15	14	35																		
7	6	9	14	13	11	9	31																	
8	7	8	13	12	10	9	10	31																
9	6	7	12	10	9	9	9	10	29															
10	5	7	12	9	9	9	8	7	6	28														
11	4	7	11	8	8	8	8	7	6	6	27													
12	4	7	11	9	8	8	7	6	5	5	6	25												
13	4	6	10	9	8	7	6	5	5	4	5	5	26											
14	4	6	9	8	8	6	5	5	5	4	4	3	4	30										
15	4	6	10	7	8	6	5	5	5	4	4	3	3	5	25									
16	3	5	11	7	7	6	5	5	5	4	4	3	3	4	6	20								
17	3	5	9	8	7	6	5	5	4	4	4	3	3	4	6	6	18							
18	3	6	8	9	6	6	6	4	3	4	4	4	3	4	5	4	5	15						
19	3	6	9	8	6	6	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	12						
20	3	6	9	7	6	6	5	5	5	4	3	3	4	5	4	3	3	3	5	10				
21	3	5	9	8	6	5	5	5	5	4	4	3	4	4	4	3	3	3	4	4	9			
22	3	4	8	9	6	5	4	4	5	4	4	3	4	4	5	4	3	3	3	2	3	8		
23	4	4	8	8	8	6	5	4	4	4	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	2	3	7	
24	4	4	8	7	7	7	6	5	4	4	3	3	3	4	4	4	3	2	2	3	2	2	2	5

Linje\sone	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	43	57																						
3	22	31	47																					
4	15	21	32	32																				
5	11	17	25	22	25																			
6	9	13	20	19	18	21																		
7	8	11	17	17	15	14	18																	
8	7	9	15	15	13	12	13	16																
9	6	8	14	13	12	11	11	9	14															
10	6	7	12	12	11	11	10	9	9	13														
11	5	7	6	11	10	10	9	9	8	9	12													
12	4	7	6	9	8	9	8	8	7	7	7	18												
13	3	6	5	8	8	8	7	7	6	6	6	13	15											
14	3	6	4	7	7	7	6	6	6	6	5	11	9	14										
15	2	6	3	6	6	6	6	6	6	5	5	10	8	10	13									
16	1	5	3	5	6	6	6	6	5	5	4	9	7	9	10	13								
17	1	5	3	5	5	6	6	5	5	5	4	8	7	7	8	9	11							
18	2	6	3	5	5	6	5	5	5	5	4	8	7	7	6	6	7	9						
19	2	6	2	5	5	6	5	5	5	5	4	8	7	7	5	5	6	6	8					
20	2	6	2	5	5	6	5	5	5	4	4	8	7	7	5	5	5	4	5	7				
21	2	5	2	5	5	5	5	5	4	4	4	7	7	6	6	5	4	4	4	4	6			
22	2	4	3	5	5	5	5	5	4	4	4	7	7	6	6	5	4	4	3	3	3	5		
23	2	4	3	5	5	5	5	5	4	4	4	7	7	6	5	5	4	4	3	3	2	3	4	
24	2	4	4	5	5	5	5	5	4	4	4	7	6	6	5	4	4	4	3	2	2	3	3	3

Tabell 6.5 Vektingstabell for temperatur (øverst) og lufttetthet (vektall i prosent)

Ballistisk avvik regnes ut ved å ta i betraktning korrelasjon mellom nærliggende soner:

$$\rho_{w,j}^2 = \sum_{i=1}^j g_{ij}^2 \sigma_{ij}^2 + \sum_{i=2}^j 2\rho_{i,i-1} g_{i,j} g_{i-1,j} \sigma_{u,i} \sigma_{u,i-1} \quad (6.12)$$

Der $g_{ij} = g_{ij}^w$ er vekt faktorene for vind. Korrelasjonskoeffisientene for vind $\rho_{i,i-1}$ er

$$\begin{aligned} \rho_{i,i-1} &= 0.34 \text{ for } i = 2 \\ \rho_{i,i-1} &= 0.19 \text{ for } i = 3,4,5,\dots,12 \\ \rho_{i,i-1} &= 0.19 \text{ for } i > 12 \end{aligned} \quad (6.13)$$

Tilsvarende gjelder for ballistisk avvik i trykk og temperatur ($\sigma_{\rho,ball}$ og $\sigma_{T,ball}$).

Korrelasjonskoeffisientene for tetthet og temperatur er antatt å være hhv 100% og 50% høyere enn for vind. Standardavviket i vind, tetthet og temperatur er antatt å følge:

$$\sigma_w(\tau) = 0.093 \left(\frac{w^4 \tau_s}{h} \right)^{1/3} [m/s] \quad (6.14)$$

$$\sigma_\rho(\tau) = 0.33 \sqrt{(0.25 + e^{-0.00025h}) \tau_h} [\%] \quad (6.15)$$

$$\sigma_T(\tau) = 0.25 \sqrt{(0.6 + e^{-0.00025h}) \tau_h} [\%] \quad (6.16)$$

der τ_s er målingens alder i sekunder, τ_h målingens alder i timer, w =vindhastigheten (m/s), h =høyde over bakken i meter.

APPENDIKS

A BRUKSANVISNING WDATOOLS

WDATools er programmert som en verktøylinje i ArcGIS/ArcView. Programmet beregner og tegner sikkerhetsmaler på kart i ArcView. Malene, inkludert indre linjer, standplass- og målområde, kan lagres som shape-filer. Malene kan flyttes ved å flytte/endre standplass og/eller målområdet, eller ved å flytte hele malen. Flere maler kan kombineres i en mal.

Å sette opp en mal



Trykk på første ikonet i verktøylinja for å starte input-dialogen.

Zone Setup

Weapon Class: Maskinkanon | Weapon: CV9030N BM-II | Ammunition: 30 mm MP-T

Weapon Height: 2.0 m | Target Height: 2.0 m

Firing Position: Point, Line, Area

Target Position: Point, Line, Area

Mouse Selection: Features (Draw Zone), Elements (Undraw Zone), Drawing (Save Zone)

Use terrain data | Keep prev selection | Clear selection | Weather (density/wind): Medium (50%)

Firing Position: Firing Point, Firing Line, Firing Area

Target Position: Target Point, Target Line, Target Area

Target Area Media: Conservative (2), Hard soil/stone (4), Soft soil/meadow (6), Water/marsh (8)

Coordinate Selection:

	X (UTM E)	Y (UTM N)	Add	Save	Clear	Delete
Fire point	2 km		Add	Save	Clear	Delete
Target point	Target		Add	Save	Clear	Delete

Clear All | Last | Save | Clear | Delete

Details | Close | Exit

1. Velg suksessivt våpenklasse, våpen, ammunisjon, evt. brannrør og ladning. For flatbane kan våpen- og målhøyden over bakken spesifiseres.

For krumbane kan man velge å skyte med overgrader (Elevation=High) eller undergrader (Elevation=low). For krumbane kan man velge om man vil kutte bort sikkerhetssonen for tidlig brannrørsfunksjon, i de tilfellene hvor brannrørene er usikre.

2. Velg geometrisk type for standplass og målområde (punkter, kurver, arealer).

3. Velg standplass og mål. Dette kan gjøres på flere måter:

For punkter kan koordinatene spesifiseres (disse kan lagres og hentes frem senere):

For alle geometrityper kan man velge navngitte objekter som allerede eksisterer i kartet i "feature layers" hvis navn må være korrekt satt i "Settings".

For alle geometrityper kan man velge standplass og mål med musa. Velg da om objektene er eksisterende objekter i feature layers ("Features"), eksisterende objekter som grafikk ("Elements") eller om man ønsker å tegne selv. Ved tegning av linjer og polygoner, klikkes en gang for hvert linjestykke og avsluttes med dobbeltklikk. Mål velges ved å holde nede Shift-knappen, mens standplass velges uten Shift-tast. Flere separate objekter kan velges ved å holde nede Ctrl-tasten.

Hvis f.eks. standplassområdet er sammensatt av ulike geometrityper, f.eks. linjer og punkter, så kan man krysse av for "Keep prev Selection" og velge i flere omganger.

4. Velg om man vil bruke terrenghøydedata for å bestemme første mulige nedslagspunkt (gjelder flatbane) og få med høydeforskjell på standplass og målområdet (gjelder krumbane). Velger man bort dette (eller terrenghøydedata ikke finnes), må høyden over havet spesifiseres.

Use terrain data Altitude: m

5. Velg jordmonnstype (for rikosjett). Standard er ”hard jord/stein”. Lavere tall gir større rikosjett.

Target Area Media

Conservative (2)

Hard soil/stone (4)

Soft soil/meadow (6)

Water/marsh (8)

6. Velg værtype: ”Normal” (Standard-atmosfære uten vind), ”Medium” (reduisert tetthet og middels vind), Extreme (uvanlig lav tetthet og sterk vind). Standard er ”Medium”.

Weather (density/wind):

7. Tegne malen: Trykk ”Draw Zone”.

Draw Zone

Undraw Zone

Save Zone

8. Lagre malen

Modifisere maler



Standplass og mål kan flyttes separat med musa (venstre knapp).

Malen kan også flyttes i sin helhet med høyre musknapp (hold inne under flytting), forutsatt at malen ikke er generert med bruk av terrengdata.

Kombinere maler



Flere maler kan kombineres ved å velge disse med musa og høyreklikke.

Behandle Shape-filer



Med ”Shape file Viewer” kan man velge lagrete maler som skal vises. Her kan man også slette maler.

Shape file Viewer

Select the zones to be drawn on map

Zone Name	ID	Date and Time	Area (m2)
12.7 mm API/Ball	491	2006.09.01 09:21:13	4991643
12.7 mm API/Ball	492	2006.09.01 09:21:24	13331501
12.7 mm MP	495	2006.09.05 11:19:14	18698405
7.62 blyfri (200)	493	2006.09.01 03:31:17	2635256
7.62 mm blyfri	489	2006.08.31 04:14:36	2063691
7.62 mm blyfri	499	2006.09.21 11:55:22	5703024
DM642-DM52/8-13 km	134	2006.06.16 10:39:26	6260139
DM642-DM52/8-17 km	135	2006.06.16 10:39:26	2850083
DM642-DM52/8-9 km	133	2006.06.16 10:39:25	21195413
DM642-DM72/3M-12 km	138	2006.06.16 10:39:27	2395864
DM642-DM72/3M-6 km	136	2006.06.16 10:39:26	18349304
DM642-DM72/3M-9 km	137	2006.06.16 10:39:27	6630871
DM642-DM72/4M-12 km	140	2006.06.16 10:39:27	7298658
DM642-DM72/4M-16 km	141	2006.06.16 10:39:28	2680033

Display:

Area

Interior lines

Fire site

Target site

Update

Select all

Deselect all

Delete from Shapefile

Show Hidden

Hide

Unhide

Display

Close

B BEGREPER, FORKORTELSER OG SYMBOLER

B.1 Begreper og størrelser

EBA

EBA står for "Error Budget Area (feilbudsjettområde). Dette er fareområdet rundt målet som er bestemt av feilbudsjettet, dvs. tilfeldig og systematisk feil i leveringen. Dette er normalt en ellipse, men kan ha andre former (se Figur 8, side 17).

Kritisk nedslagvinkel

Nedslagsvinkel er vinkelen mellom banen og horisontalen ved nedslag. I modellen antas det at prosjektilet ikke vil rikosjettere hvis nedslagsvinkelen er større enn en bestemt vinkel. Denne vinkelen kalles kritisk nedslagsvinkel, IC_{Crit} ("Impact Angle Critical").

Massepunktmodell

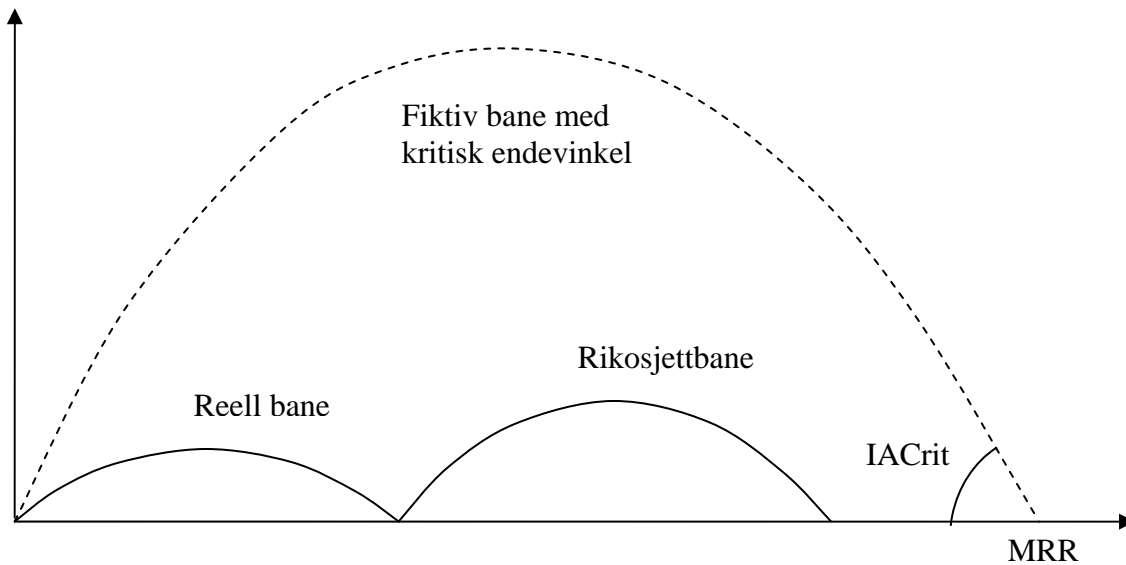
Banesimuleringsmodell hvor de eneste kreftene som virker er luftmotstand og gravitasjon. Brukes til ballistiske beregninger for flatbanevåpen. For krumbanevåpen brukes en *modifisert* massepunktmodell hvor det tas hensyn til at spinnende granater har en mindre angrepsvinkel til side som gir økt luftmotstand og avdrift.

Minimum målavstand

Minimum målavstand er minste tillatte målavstand med tanke på fare for tilbakekast.

MRR

Sentralt i algoritmene er begrepet MRR ("Maksimal Ricochet Range") – Maksimal Rikosjettlengde. Denne er definert som den rekkevidden som er slik at nedslagsvinkelen er lik den kritiske nedslagsvinkelen. I modellen brukes hypotesen om at en rikosjett svært sjelden eller aldri vil gå lenger enn MRR . Dette er basert på erfaringsdata.



Figur App. 1 Rikosjettene antas å aldri gå lengre enn MRR. Den fiktive banen har nedslagsvinkel lik kritisk nedslagsvinkel og rekkevidde lik MRR.

NFF

NFF står for "No Fuze Function", og betegner tilfellet hvor en cargogranat ikke støter ut subammunisjonen, men går i bakken uten brannrørsfunksjon.

PE

PE er et statistisk mål på spredning i et ensemble, f.eks. en skuddserie. Hvis skuddene er normalfordelt vil rundt 50% av skuddene havne innenfor 1 PE. For normalfordelte skudd er $1 \text{ PE} = 0.57449$ standardavvik.

Rikosjett-bredde

Det er rikosjettens maksimale avvik (i meter) til side for skuddretning.

Rikosjett-sidevinkel

Det er maksimal vinkel til siden som en rikosjett antas å kunne få. Denne måles fra skuddretning.

Standardavvik

Statistiske mål på spredningen i et ensemble, f.eks. en skuddserie. Hvis skuddene er normalfordelt forventes at rundt 68% av skuddene havner innenfor 1 standardavvik, 95% av skuddene innen 2 standardavvik, 99% av skuddene innen 3 standardavvik. Sjansen for å havne utenfor 5,3 standardavvik er ca $1 \cdot 10^{-6}$. Ved normalfordeling er 1 standardavvik = 1.4826 PE.

Spredningsvinkel

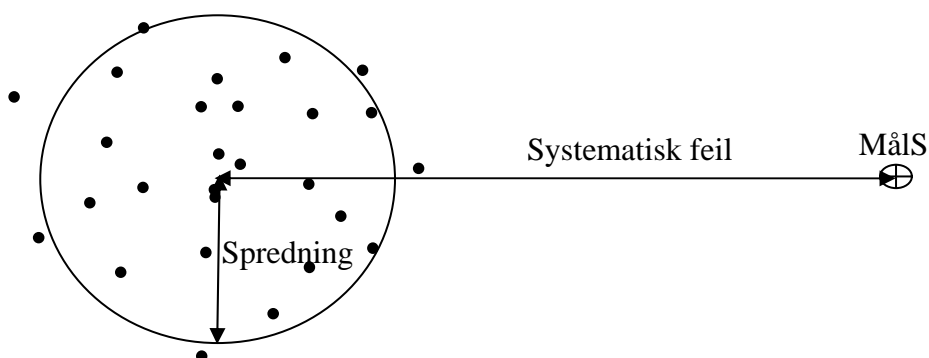
Spredningsvinkelen er den maksimale vinkelen fra siktelinja som prosjektilet antas å avvike med. Det skilles mellom vertikal spredningsvinkel α_{vert} og horisontal spredningsvinkel α_{hor} . Ofte er disse like. Når det ikke er spesifisert om det er horisontal eller vertikal spredningsvinkel,

menes horisontal spredningsvinkel, ofte kalt bare α .

Systematisk og tilfeldig feil

Systematisk feil for en skuddserie er middeltreffpunktets ("Mean Point of Impact", MPI) avvik fra målet.

Tilfeldig feil, også kalt spredning, er skuddenes individuelle avvik i en skuddserie. Denne måles i standardavvik eller PE ("Probable Error") fra middeltreffpunktet.



Figur App. 2 Tilfeldig feil (spredning) er skuddenes individuelle spredning, mens systematisk feil er middeltreffpunktets avstand til målet.

Middeltreffpunktene for mange serier antas å være normalfordelt, og fordelingen angis ved standardavvik i lengde og side $\sigma_{MPI,x}$ og $\sigma_{MPI,z}$ (eller i PE). Fordelingen er sentrert i målet, men *forventet bomavstand* blir likevel forskjellig fra null. Hvis $\sigma_{MPI,x} = \sigma_{MPI,z}$ (sirkulær fordeling) er forventet bomavstand, dvs den mest sannsynlige bomavstanden, lik $1.2533 \sigma_{MPI}$.

B.2 Forkortelser

ADA	Programmeringsspråk utviklet av det amerikanske forsvaret
ARSP	Allied Range Safety Publication
C#.NET	Programmeringsspråk nylig utviklet av Microsoft
CALCUL	Baneberegningsverktøy utviklet ved FFI
EBA	Feilbudsjettområde ("Error Budget Area")
EC	Tom bøssing ("Empty Canister")
GUACA	Global Upper Air Climatic Atlas
MPI	Middeltreffpunkt ("Mean Point of Impact")
MRR	Maksimum rikosjett-rekkevidde ("Maximum Ricochet Range")
NABK	NATO Armaments Ballistic Kernel
NATO STANAG	NATO Standardization Agreement
NBB, NoBB	Uten baseburn motor ("No Base Burn")
NFF	Brannrøret går ikke av ("No Fuze Function")
ODA	Værmodell for beregning av systematiske feil
PE	"Probable Error", en avstand svarende til sannsynlighet=50%
PT	Punktmål ("Point Target")
RDA	Rikosjett-fareområde ("Ricochet Danger Area")
RTR	Skudd-til-skudd ("Round-to-Round")
SB	Sub-stridsdeler (bomblets)

B.3 Symbolliste

Størrelse	Forklaring
α	Spredningsvinkel horisontalt (halvvinkel)
α_{vert}	Spredningsvinkel vertikalt (halvvinkel)
β	Spredningsvinkel horisontalt for rikosjett (halvvinkel)
λ	Avkortningsvinkel for rikosjettsonen (se Figur 3). Normalt satt til 45° .
d_T	Avstand fra standplass til mål
d_m	Minimum målavstand
W_R	Rikosjett-bredde (maksimalt avvik til side)
$\sigma_{x,RTR}$	Skudd-til-skudd-spredning i lengderetning, standardavvik
$\sigma_{z,RTR}$	Skudd-til-skudd-spredning i sideretning, standardavvik
$\sigma_{z,MPI}$	Systematisk feil i lengderetning, standardavvik
$\sigma_{z,MPI}$	Systematisk feil i sideretning, standardavvik
$S_{sb,x}$	Bomblet-ellipsens halvakse i lengde
$S_{sb,z}$	Bomblet-ellipsens halvakse til side
S_{frag}, S	Sikker avstand for fragmenter

I_m	Lengste rekkevidde skutt innenfor vertikal spredningsvinkel
d_i	Korteste rekkevidde skutt innenfor vertikal spredningsvinkel
θ	Elevasjonsvinkel
ρ	Lufttetthet
a, b	Store og lille halvakse i ellipser
k	Indikator for jordsmonn, $k=2$ (hardest), 4, 6, 8
m	Sikkerhetsfaktor = 5,3. Multipliseres med standardavvik
p	Lufttrykk
R	Gasskonstant for luft, $R= 287.1$ J/kg/K

Litteratur

- (1) NATO (2004): STANAG 2401, ARSP Vol 1 - *Weapon Danger Area/Zones for Unguided Weapons for Use by NATO Forces in a Ground Role – Factors and Processes* (NATO/PfP Unclassified)
- (2) NATO (2005): STANAG 2240, ARSP Vol 2 - *Weapon Danger Area/Zones for Unguided Weapons for Use by NATO Forces in a Ground Role – Applications* (NATO/PfP Unclassified)
- (3) Forsvarsbygg (2006): Håndbok for skyte- og øvingsfelt, Forsvarsbygg
- (4) Dullum O (2003): Nøyaktighet og effekt av artilleriammunisjon, FFI/RAPPORT-2003/00986, Begrenset
- (5) Dullum O (1996): Climatic Meteorological Messages for Field Artillery, FFI/RAPPORT-96/05645, Ugradert
- (6) Haarseth E, Cappelen D, Dullum O (1998): NATO Artillery Ballistic Kernel, 98/05980 , Ugradert