

VBIED Tool – et verktøy for estimering av trussel fra en bilbombe

Jo Hagness Kiran

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

18. november 2009

FFI-rapport 2010/02387

1101

P: ISBN 978-82-464-1850-6

E: ISBN 978-82-464-1851-3

Emneord

VBIED

Fragmenter

Trykk

Skade

Sårbarhetsanalyse

Godkjent av

Eirik Svinsås

Prosjektleder

Jan Ivar Botnan

Avdelingssjef

Sammendrag

VBIED Tool er et verktøy for estimering av trusselen og skadeomfanget fra bilbomber.

Verktøyet har som hensikt å sammenfatte data fra tidligere utførte tester, og utvide dette datasettet via enkle antagelser til å omfatte ladninger utover det som ble testet. Man kan benytte verktøyet som en del av en større analyse, ved å eksportere data om trusselen for videre behandling i andre programmer, eller utføre sårbarhetsanalysen i programmet selv.

Denne rapporten forklarer i korthet bruken av programmet, samt metodene benyttet for å utføre beregningene. Til slutt undersøkes forskjellene metodene resulterer i.

English Summary

VBIED Tool is a toolbox designed to estimate the threat and damagepotential of a Vehicle Borne Improvised Explosive Device (VBIED).

The purpose of the toolbox is to gather data from performed full-scale tests and through the use of simple assumptions extend the data to charges outside the original scope of the tests. The toolbox can be used as a part of a larger analysis, by exporting data for further processing in other software suites, or as a stand-alone vulnerability analysis tool.

This report briefly explains the use of the program and the methods used to perform the necessary calculations. The final chapter is devoted to a brief comparison of the different methods used.

Innhold

1	Bakgrunn	7
2	Programfunksjoner	8
3	Beregningsmetoder	10
3.1	Fragmentgenerering	11
3.1.1	FFI 1	12
3.1.2	FFI 2	15
3.1.3	TNO	16
3.1.4	Kommentar	17
3.2	Fragmentutkast	18
3.2.1	FFI 1	18
3.2.2	FFI 2	20
3.2.3	TNO	20
3.2.4	Kommentar	20
3.3	Utslagssannsynlighet	21
3.3.1	Uniform	21
3.3.2	Vinkelavhengig	22
3.3.3	Skade fra fragmenter	23
3.4	Trykk	24
4	Sammenligning av metodene	26
4.1	Fragmentgenerering	26
4.2	Fragmentutkast	29
4.3	Utslagssannsynlighet	31
5	Fremtidig arbeid	34
	Referanser	35
	Appendix A Dataeksport	36

1 Bakgrunn

Improviserte bomber (IED) er en stor trussel både mot militære styrker i internasjonale operasjoner og mot det sivile samfunn. En IED defineres som en hjemmelaget bombe konstruert og anvendt på en måte som ikke er i henhold til vanlig militær doktrine. Bomben kan være laget av militært eller kommersielt tilgjengelig sprengstoff og utstyr, eller hjemmelaget sprengstoff. Denne definisjonen er meget vag, og omfatter alt fra små brevbomber til lastebiler fylt med sprengstoff. STANAG 2280 har delt begrepet IED i to kategorier som igjen er inndelt etter ladningsmengden benyttet;

Små/personbårne bomber (Ladningsmengde TNT)	Bilbomber (Ladningsmengde TNT)
Brev bombe (0,125 kg)	Motorsykkkel (50 kg)
Pakke (1,5 kg)	Personbil (400 kg)
Stor koffert (9 kg)	Van (1500 kg)
Bombebelte (9 kg + fragmenter)	Mellomstor lastebil (4000 kg)
Bag (20 kg)	Stor lastebil (> 4000 kg)

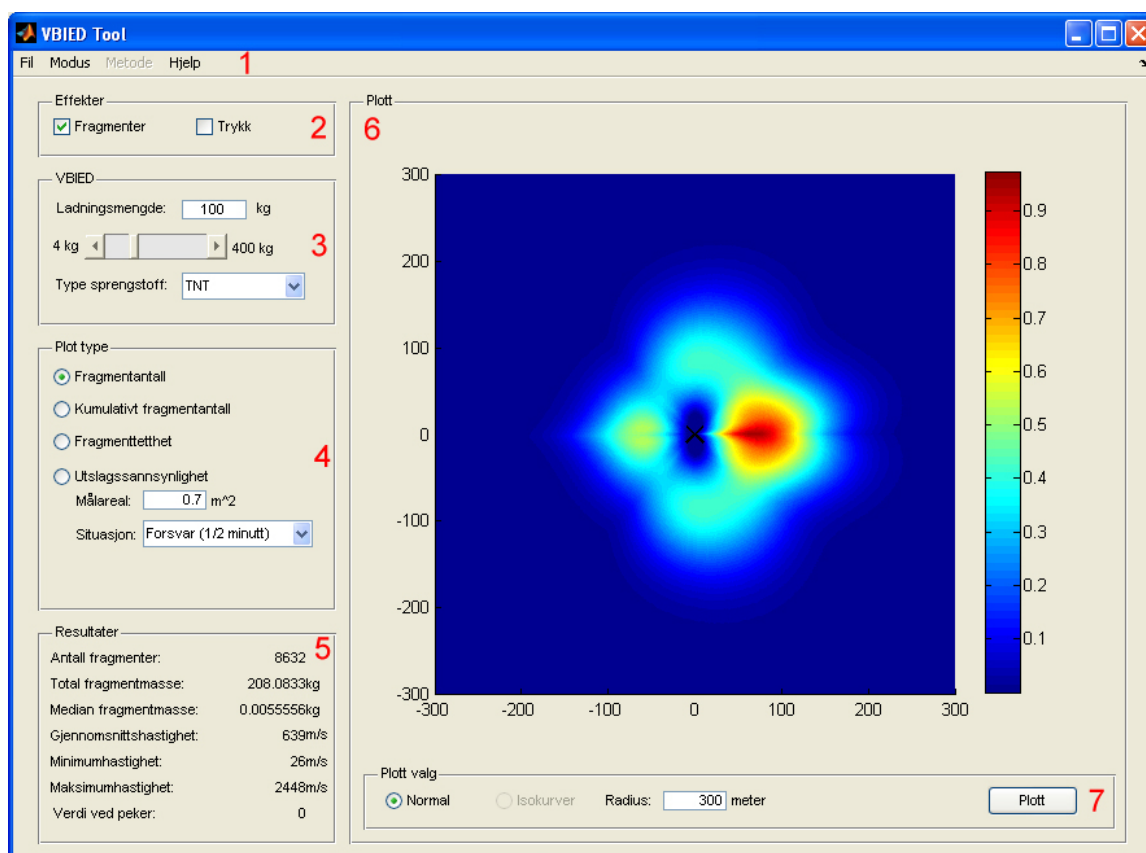
For å kunne treffe relevante mottiltak, er det ønskelig å kunne forutsi skadevirkningene fra en IED. Antagelser om type bombe, ladningsmengde og anvendelse kan baseres på etterretning eller annen informasjon, og vil ikke omtales videre her. Avhengig av type improvisert bombe, vil trykk og fragmenter være de primære skadeårsakene. Andre årsaker som brann, bygningskollaps og sekundære fragmenter vil ikke bli behandlet her, da de i stor grad avhenger av den spesifikke hendelse, og er meget vanskelige å forutsi.

En teoretisk og analytisk utledning av kildene til skade er meget vanskelig. Spesielt fragmentgenerering fra et objekt som omslutter en sprengladning, slik tilfellet er for en bilbombe, er for alle praktiske formål umulig å beregne, med unntak av de aller enkleste geometriske konstruksjoner. Det er derfor nødvendig å basere beskrivelsen av skadekildene på et empirisk grunnlag.

FFI har tidligere bidratt ved en større felles forsøksserie i Sverige. Testene, som var et samarbeid mellom Norge, Sverige og Nederland, hadde som hensikt å samle data om trykk og fragmentgenerering fra bilbomber. Forsøkene er beskrevet i detalj i [1] og [2]. Resultater av analysen er gjengitt i [3].

Basert på denne analysen er VBIED Tool laget, et verktøy for beregning av skadevirkningene fra en bilbombe.

2 Programfunksjoner



Figur 2.1 VBIED Tool programvindu

VBIED Tool ble laget for å sammenfatte resultatene fra analysen av forsøksdataene beskrevet i [3]. I dette kapittelet vil vi beskrive hvordan programmet brukes, og hvilke valgmuligheter man tilbys. I kapittel 3 gis det en detaljert forklaring av hvilke beregningsmetoder som benyttes.

Figur 2.1 viser programvinduet. Venstre side av vinduet er dedikert til brukervalg, mens høyre side viser resultatet av beregningen. Brukeren må først velge hvilke effekter som skal inkluderes (markert med 2 i figur 2.1). Man kan beregne effekten av fragmenter alene, trykk alene eller kombinasjonen av både trykkbølgen vil kun påvirke beregningen av utslagssannsynligheten.

Programmet tar utgangspunkt i at alle ønskede verdier kan beregnes ut fra bilbombens ladningsmengde (3). Det antas at ladningen er plassert symmetrisk i baksetet av bilen. Andre plasseringer vil eventuelt implementeres senere. Brukeren trenger kun å angi sprengstoffmengde og type sprengstoff.

Ladningsmengden angis enten direkte i tekstfeltet eller ved å benytte rullefeltet under. Merk at ladningsmengden er begrenset til intervallet fra 4 kg til 400 kg, da dette utgjør ytterpunktene i det

empiriske datasettet. I en fremtidig versjon av VBIED Tool vil intervallet kunne økes, se kapittel 4.

Felt nr. 4 i figur 2.1 gir brukeren anledning til å velge hva slags resultater som ønskes fremvist i felt 6. Man har følgende muligheter:

- Fragmentantall – Fordelingen av fragmentenes nedslagspunkt.
- Kumulativt fragmentantall – Antall fragmenter som fremdeles ikke har landet ved en gitt posisjon og retning.
- Fragmenttetthet – Tettheten av fragmenter som fremdeles er i lufta.
- Utslagssannsynlighet – Utslagssannsynligheten for gitt måltype og areal.

Når ønsket resultat er valgt, må man oppdatere plottet ved å klikke på ”Plott”-knappen(7). Etter at oppdateringen er utført, vil knappen vise meldingen ”Ferdig”. Så lenge ladningsmengden ikke endres, kan brukeren endre valgene i felt nr. 4 og klikke ”Oppdater” for å oppdatere visningen av resultatene. Ved endring av ladningsmengden foretas selvsagt beregningene på nytt.

I felt nr. 7 har man også muligheten til å endre radiusen på plottet. Dette er et rent grafikkmessig valg, og påvirker ikke beregningene så lenge radiusen reduseres fra den opprinnelige verdien. Ved en økning av radiusen, må imidlertid beregningene foretas på nytt, noe som skjer automatisk. Man kan også velge å plote isokurver, dvs. kurver av konstant verdi. Dette valget er kun tilgjengelig for plott av treff- og utslagssannsynlighet.

Felt nr. 5 viser et sammendrag av de viktigste fragmentstørrelsene. Ved å klikke med muspekeren på et hvilket som helst punkt i plottet (6), får man også opp antall fragmenttreff ved det valgte punkt.

VBIED Tool har muligheten til å lagre og åpne tidligere beregninger. Dette gjøres fra ”Fil”-menyen (1). Her kan man også eksportere data til Excel, se Appendix A. På den samme menylinjen har man muligheten til å aktivere ”Avansert”-modus. Denne modusen åpner for mer avansert valg for fragmentberegningene. Disse valgene finnes under ”Metode”-menyen. Disse metodene vil omtales i detalj i kapittel 3.

3 Beregningsmetoder

Trusselforståelse og skadeestimering er to meget sentrale begreper innenfor de militærfaglige forskningsgrenene. For å kunne beskytte personell og utstyr effektivt, må vi ha detaljert kjennskap til trusselen, eller kilden, og kunne estimere skaden fra denne trusselen tilfredsstillende. Improviserte bomber er på grunn av sin natur meget vanskelige å beskrive på en kvantitativ måte. De er ikke standardiserte og virkningene fra en slik bombe kan derfor være relativt uforutsigbare. Vi kan allikevel gjennom forsøk og analyse av data bygge opp en modell som er i stand til å forutsi de generelle trekkene ved en slik bombe.

For å kunne forutsi skadeomfanget fra en improvisert bombe må vi kunne beskrive kilden til skaden detaljert. For en bilbombe er det fragmentene som er den primære skadekilden, med unntak av ved korte avstander der trykket er gjeldende, se kapittel 3.4. Den perfekte modellen av en bilbombe vil kunne gi oss alle karakteristika, så som masse, hastighet, retning og utgangsvinkel, for hvert enkelt fragment, samt gi oss fragmentenes nøyaktige bane og dermed rekkevidde og hastighet. Dessverre er det bortimot umulig å konstruere en slik modell, da dannelsen av fragmenter fra en bilbombe er en høyst stokastisk prosess. Vi er derfor nødt til å basere modellen på statistiske fordelinger for fragmentegenskapene, og anta at disse stemmer godt med virkeligheten om fragmentantallet er høyt.

De viktigste fragmentegenskapene er:

- Masse
- Hastighet
- Vinkel i horisontalplanet
- Vinkel i vertikalplanet

Kjenner vi disse størrelsene skal vi prinsippet være i stand til å forutsi fragmentets bane, og dermed skadepotensiale. Vi må derfor, basert på det datagrunnlaget vi har, finne fordelingene av disse fragmentegenskapene, slik at vi kan estimere skaden på et vilkårlig mål uavhengig av posisjon i forhold til bilbomben. I dette kapittelet vil vi beskrive i detalj hvordan disse beregningene utføres.

På grunn av det manglende datagrunnlaget er det nødvendig å gjøre en rekke antagelser. Dette kan være antagelser som at fragmentenes masse og hastighet er uavhengige variable, eller hvordan vinkelfordelingen av fragmenter skal utformes. Siden dette introduserer en rekke usikkerheter i beregningene, har vi valgt å skille ut en rekke ”sett” antagelser til separate beregningsmetoder. Alle disse metodene er implementert i VBIED Tool, og brukeren kan selv velge beregningsmetode, og deretter sammenligne disse.

Beregningen foretas i tre steg:

- Fragmentgenerering – Basert på ladningsmengde beregnes antall fragmenter, fragmentenes masse, hastighet og vinkelfordeling. Beregningsmetoden avhenger av valget gjort under ”Metode > Fragment”, se under.
- Fragmentutkast – Fragmentfordelingen beregnet i det foregående steget brukes som input for beregning av fragmentenes kastavstand. Metodevalg finnes under ”Metode > Bane”.
- Utslagssannsynlighet – Avhengig av valg under ”Metode > Sannsynlighet”, beregnes utslagssannsynligheten fra resultatet i det foregående steget.

3.1 Fragmentgenerering

For å forstå hvordan algoritmene for fragmentgenerering fungerer, må vi først se hvordan grunnlagsdataene er bygget opp [3].

Det ble gjennomført forsøk med fem forskjellige ladningsmengder, 4 kg, 10 kg, 40 kg, 100 kg og 400 kg, med ladningen plassert sentralt i baksetet i nær identiske biler. I tillegg ble en test gjennomført med en kombinasjon av rent sprengstoff og artillerigranater, samt en test med rent sprengstoff i bagasjerommet. De to siste testene ble utført med en samlet ladningsmengde på 100 kg, men inngår ikke i datasettet benyttet i utviklingen av VBIED Tool.

Fragmenter ble plukket i fem sektorer, hver på 10° sentrert om 0°, 45°, 90°, 135° og 180°, som igjen var delt inn i 10 m felt. Alle fragmenter i et felt ble samlet, talt og veid individuelt. Datasettet består derfor av fragmentantall og massefordeling som funksjon av både avstand og vinkel. I tillegg ble forsøkene filmet med høyhastighetskamera, hvis opptak senere ble brukt til å estimere fragmentenes hastighetsfordeling [4]. Disse opptakene gav også en indikasjon på fragmentenes vertikale utgangsvinkel.

Algoritmene beskrevet nedenfor vil generere alle nødvendige fragmentkarakteristika; masse, hastighet og de to utgangsvinklene, gitt ladningsmengde. Dette gjøres gjennom forskjellige metoder for interpolasjon mellom kjente ladningsmengder, og kurvetilpasninger av fragmentenes vinkelfordeling. Fragmentenes genereres så etter de gitte fordelingene.

3.1.1 FFI 1

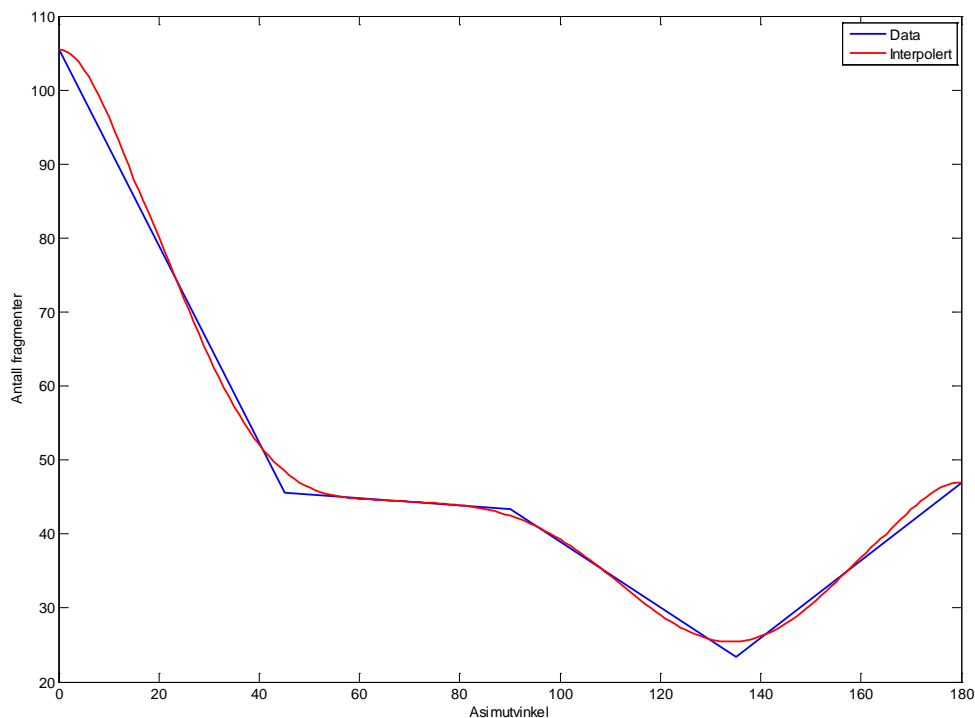
Denne metoden er satt som standardvalg i ”Basic” modus, samt innstillingen ”FFI” i ”Avansert” modus.

Fra datasettet har vi antall fragmenter innenfor 10° sentrert om 0° , 45° , 90° , 135° og 180° . Ved å anta at fragmentene er jevnt fordelt innenfor disse sektorene, kan vi enkelt finne antall fragmenter innenfor 1° intervaller ved å dividere fragmentantallet i datasettet med 10.

Det er naturlig å anta at vinkelfordelingen er kontinuerlig uten altfor store variasjoner fra ett 1° intervall til det neste. Verdiene fra datasettet må være punkter på en veldefinert kurve som en funksjon av vinkel. FFI 1 metoden interpolerer derfor mellom disse verdiene. Dermed får vi vinkelfordelingen for alle vinkler mellom 0° og 180° i 1° intervaller.

Figur 3.1 sammenligner den originale og den interpolerte vinkelfordelingen for en 100 kg ladning. Vi kan se av figuren at antagelsen om at fordelingen skal være jevn og kontinuerlig fører til at fragmentantallet ved enkelte punkter over- eller underestimeres. Om vi summerer antallet fragmenter innenfor et 10° intervall som tilsvarer de opprinnelige sektorene, f.eks. mellom 40° og 50° , ser vi at resultatet ikke stemmer med datasettet, 408 fragmenter for den interpolerte fordelingen mot 456 for datasettet. Den totale summen av fragmenter vil også være noe feilestimert.

Til slutt antas det symmetri langs bilens lengderetning, og fordelingen speiles, slik at vi får fordelingen for hele intervallet 0° til 360° .



Figur 3.1 Eksempel på original og interpolert asimutfordeling, $Q = 100$ kg.

Analysen av fragmentmassene [3] viser at massefordelingen grovt kan tilnærmes med en Mott-fordeling for hver enkelt vinkel:

$$(1) \quad N^{FFI}(> m) = N_0 e^{-\left(\frac{m}{m_0}\right)^{1/2}},$$

der $N^{FFI}(> m)$ angir antall fragmenter med masse større enn m , N_0 er det totale antall fragmenter med den aktuelle vinkelen og m_0 er den karakteristiske massen. Denne karakteristiske massen avtar med økende ladningsmengde, og verdien (i gram) kan med god nøyaktighet tilpasses med:

$$(2) \quad m_0 = 98,55 * Q^{-0,2964} - 13,11.$$

Det totale antall fragmenter, N^{FFI}_{TOTAL} , finnes enkelt ved å summere asimutfordelingen, og man har dermed entydig bestemt massefordelingen.

Algoritmen genererer deretter tilfeldige fragmentmasser i henhold til Mott-fordelingen.

Forsøkene beskrevet i [1] og [2] gjorde det klart at fragmentene fra en bilbombe faller i to kategorier, tynn-plate og preformede fragmenter. Tynn-plate fragmentene stammer fra bilens karosseri og er tynne stålplater som er kraftig deformert av eksplosjonens trykkbølge. De preformede fragmentene er objekter slik som skruer, muttere og deler av motorblokken som er massive og ikke deformeres i særlig grad av eksplosjonen. Fragmenter i de to kategoriene vil oppføre seg meget ulikt i sin ballistiske bane. De preformede er massive og vil i stor grad ha en bane tilnærmet lik fragmenter fra tradisjonelle bomber. Tynn-plate fragmentene er derimot mindre kompakte og vil oppleve en kraftigere nedbremsning som følge av luftmotstanden. For å ta høyde for dette i de senere beregningene, blir det for hvert fragment også generert en formfaktor, kalt "krøllfaktor" [5, 6]. En gjennomsnittsverdi på 0,3 ble funnet i [5, 6]. For å ta høyde for de preformede fragmentene, lar programmet ca 30 % av de genererte fragmentene ha en krøllfaktor på 0,7, hvilket tilsvarer kompakte fragmenter.

I [3] og [4] ble det funnet at fragmenthastighetene fulgte en Gamma-fordeling:

$$(3) \quad n(v | a, b) = \frac{1}{b^a \Gamma(a)} v^{a-1} e^{-\frac{v}{b}},$$

n gir oss andelen fragmenter med hastighet v . For hver ladning ble gjennomsnittshastigheten og parametrene a og b i Gamma-fordelingen funnet. Disse er relatert ved at $v_{avg} = a*b$.

TNO har i lengre tid jobbet med verktøy lignende VBIED Tool. FFI har fått tilgang til denne modellen samt dokumentasjon [7]. TNO har gjennom kurvetilpasning funnet uttrykk for gjennomsnittshastigheten og parameteren b som funksjon av ladningsmengde, foran og til siden for bilen:

$$(4) \quad \begin{aligned} V_{\text{side}}^{\text{avg}} &= 192,26 * Q^{1/4} \\ V_{\text{front}}^{\text{avg}} &= 178,36 * Q^{1/4} \end{aligned}$$

$$(5) \quad \begin{aligned} b_{\text{side}} &= 18,13 * Q^{1/2} \\ b_{\text{front}} &= 13,36 * Q^{1/2} \end{aligned}$$

Parameteren a finner man så ved å dividere (4) på (5). For vinkler mellom bilens front og side, interpoleres hastigheten.

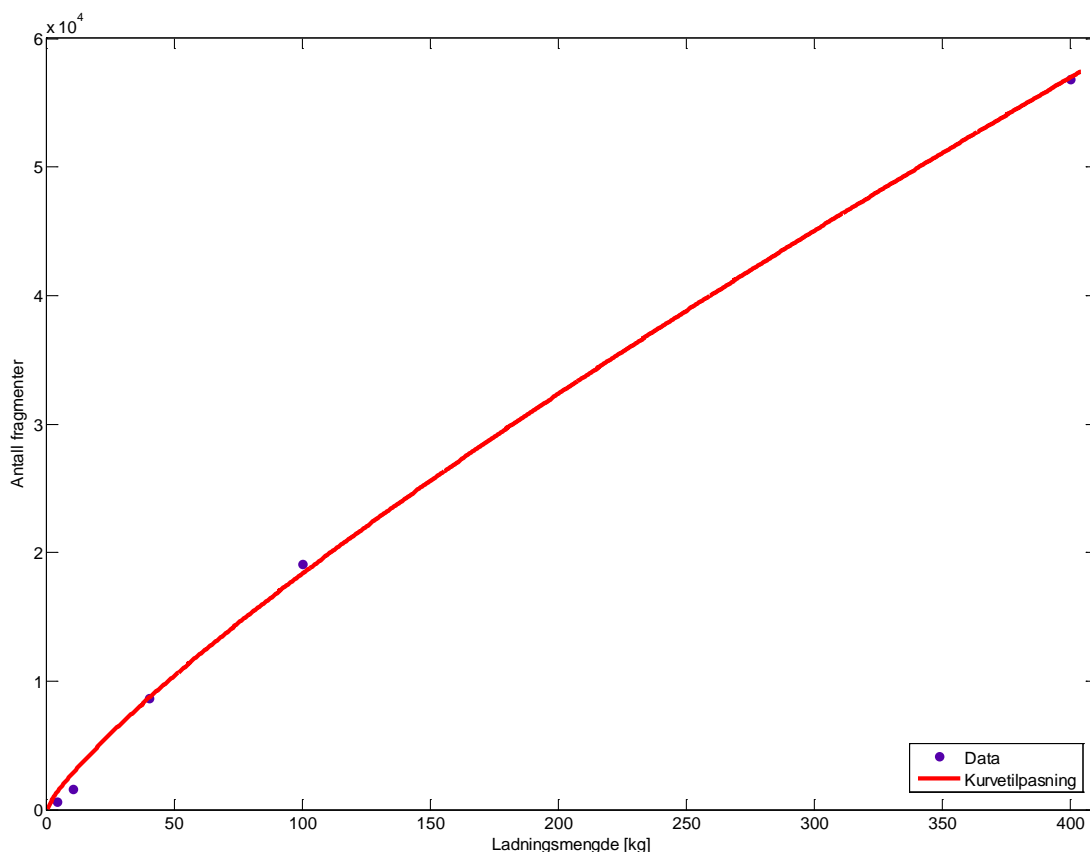
Fragmentenes vertikale vinkelfordeling er utledet på en noe annerledes måte enn de andre sentrale størrelsene. Vi tar utgangspunkt i masse- og hastighetsfordelingene beskrevet ovenfor. For de ladningsmengder som ble benyttet i testene har vi fordelingen av fragmenter over avstand. Ved å generere det antall fragmenter som ble registrert i testene, ved hjelp av fordelingene over, kan vi beregne fragmentenes kastavstand ved forskjellige vertikale vinkelfordelinger. Kastavstandene sammenlignes så med datasettet, og vinkelfordelingen kan tilpasses slik at forskjellene minimeres. Ved denne metoden ble det funnet at den vertikale vinkelfordelingen best kunne tilpasses med en Weibull-fordeling:

$$(6) \quad f(x|\lambda, k) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k}$$

med parametrene:

$$(7) \quad \begin{aligned} \lambda &= -26,07 * Q^{0,1272} + 117,5 \\ k &= -0,3396 * Q^{0,4595} + 9,923 \end{aligned}$$

3.1.2 FFI 2



Figur 3.2 Totalt antall fragmenter som funksjon av ladningsmengde.

Denne beregningsmetoden er identisk med FFI 1, med unntak av det totale fragmentantallet. Som vi nevnte i kapittel 3.1.1 fører interpoleringen av vinkelfordelingen til en feilestimering av fragmentantallet. Denne metoden forsøker å justere antall fragmenter til å stemme overens med datasettet.

Figur 3.2 viser det totale antall fragmenter som funksjon av ladningsmengde. Siden innsamlingssektorene kun utgjør 50° av de totale 360°, er antall fragmenter samlet inn skalert med en faktor 360/50. Figur 3.2 viser også den beste kurvetilpasningen:

$$(8) \quad N_{\text{TOTAL}}^{\text{FFI2}} = 429,5 * Q^{0,8158} .$$

Vinkelfordelingen av fragmenter beregnes på samme måte som beskrevet for FFI 1. Når fordelingen er beregnet, dividerer vi fordelingen med det summerte antall fragmenter og multipliserer med resultatet av ligning (8).

De øvrige fragmentfordelingene beregnes som i FFI 1.

3.1.3 TNO

Denne metoden er satt som standardvalg under ”TNO” i ”Avansert” modus.

Som nevnt i kapittel 3.1.1 har FFI fått tilgang til modell og dokumentasjon fra TNO [7]. Siden modellen bygger på de samme data som FFIs modell, er det forventet at resultatet skal være noenlunde likt. Dokumentasjonen beskriver ikke kildekoden i stor detalj, men tilstrekkelig til å implementere deres modell i vår kode. Siden vi ikke har tilgang til den opprinnelige kildekoden, kan det være enkelte forskjeller mellom kodene.

TNO definerer en kildefunksjon bestående av to ledd:

$$(9) \quad n(\beta, Q) = \frac{36}{2\pi} N_{TOTAL}^{TNO}(Q) * f(\beta),$$

der $N_{TOTAL}^{TNO}(Q)$ angir det totale antall fragmenter, og $f(\beta)$ beskriver fordelingen av fragmenter i vinkel.

Det totale antall fragmenter estimeres fra datasettet ved:

$$(10) \quad N_{TOTAL}^{TNO} = 4,5 * (N_1 + N_5) + 9 * (N_2 + N_3 + N_4),$$

der N_i er antall fragmenter i sektoren foran bilen, og de påfølgende sektorene nummereres deretter. Denne estimeringen er analog med vår summasjon av fragmentantall og multiplikasjon med 360/50, som nevnt tidligere. TNOs metode fører til 20 % færre fragmenter i snitt.

Fragmentantallet som funksjon av ladningsmengde er tilpasset kurven:

$$(11) \quad N_{TOTAL}^{TNO}(Q) = -0,1447 * Q^2 + 182,51 * Q.$$

Vinkelfordelingen $f(\beta)$ tilnærmes med et annengrads polynom:

$$(12) \quad f(\beta) = a * \beta^2 + b * \beta + c,$$

der parametrene a , b og c er tabulert som funksjon av ladningsmengden. For alle andre ladningsmengder interpoleres parametrene mellom de to nærmest liggende ladningsmengder. Funksjonen $f(\beta)$ er kun definert i intervallet 0° til 180° .

Integrasjon av ligning (9) mellom vinkel β_1 og β_2 , gir:

$$(13) \quad N(\beta_1, \beta_2, Q) = \frac{1}{10} N_{TOT}(Q) \left(\frac{1}{3} a * (\beta_2^3 - \beta_1^3) + \frac{1}{2} b * (\beta_2^2 - \beta_1^2) + c * (\beta_2 - \beta_1) \right)$$

Massefordelingen i TNOs modell er noe annerledes en vår Mott-fordeling. Fordelingen tar utgangspunkt i en eksponentielt avtagende fordeling:

$$(14) \quad N^{\text{TNO}}(> m) = e^{-a \cdot C(m)},$$

der $N^{\text{TNO}}(> m)$ er det normaliserte antall fragmenter med masse større enn m . Parameteren a varierer med ladningsmengde og retning:

$$(15) \quad \begin{aligned} a_{\text{side/bak}} &= 1,8312 * Q^{1/4} \\ a_{\text{front}} &= 1,5392 * Q^{1/4} \end{aligned} .$$

$C(m)$ er definert som:

$$(16) \quad C(m) = 1 - e^{-b \cdot L(m)},$$

der $b=5,6$ og $L(m)$ er en karakteristisk fragment lengde:

$$(17) \quad L(m) = \left(\frac{m}{\rho * t} \right)^{1/2} .$$

ρ og t i ligning (17) er henholdsvis tettheten og tykkelsen av platene i bilen. I implementasjonen er tettheten satt til 7850 kg/m^3 og tykkelsen til 1 mm .

Denne type massefordeling vil, sammenlignet med Mott-fordelingen, gi færre små fragmenter og flere store fragmenter.

Hastighets- og vertikal vinkelfordelingen er identisk for TNO som FFI 1 og 2.

3.1.4 Kommentar

Alle algoritmene beskrevet over produserer et gitt antall fragmentmasser, -hastigheter og vinkler. Den observante leser har kanskje merket seg at disse størrelser genereres uavhengig av hverandre. Årsaken til dette er at vi ikke har kjennskap til noen korrelasjon mellom for eksempel fragmentmasse og hastighet. Det skulle kanskje være nærliggende å anta at fragmenter med lav masse vil akselereres kraftigere enn tyngre fragmenter, men dessverre har det ikke vært mulig å finne bevis for dette i datasettet. Vi har i disse algoritmene valgt å behandle fragmentegenskapene som uavhengige størrelser. Det må da også sies at vår utledning av den vertikale vinkelfordelingen, beskrevet i kapittel 3.1.1, fungerer som en slags kvalitetskontroll eller kalibrering. Denne fordelingen er beregnet til å gi best mulig samsvar med de faktiske kastavstandene i datasettet, selv om fragmentstørrelsene beregnet er ukorreleerte.

Tabellen under viser en kort oppsummering av metodene for de forskjellige fragmentegenskapene.

	FFI 1	FFI 2	TNO
Massefordeling	Mott	Mott	Ekspontentiell
Hastighetsfordeling	Gamma	Gamma	Gamma
Vertikal vinkelfordeling	Weibull	Weibull	Ingen. Weibull implementert
Horisontal vinkelfordeling	Interpolert	Interpolert og skalert	Polynomisk
Totalt fragmentantall	Summert vinkelfordeling	Kurvetilpasset	Kurvetilpasset

3.2 Fragmentutkast

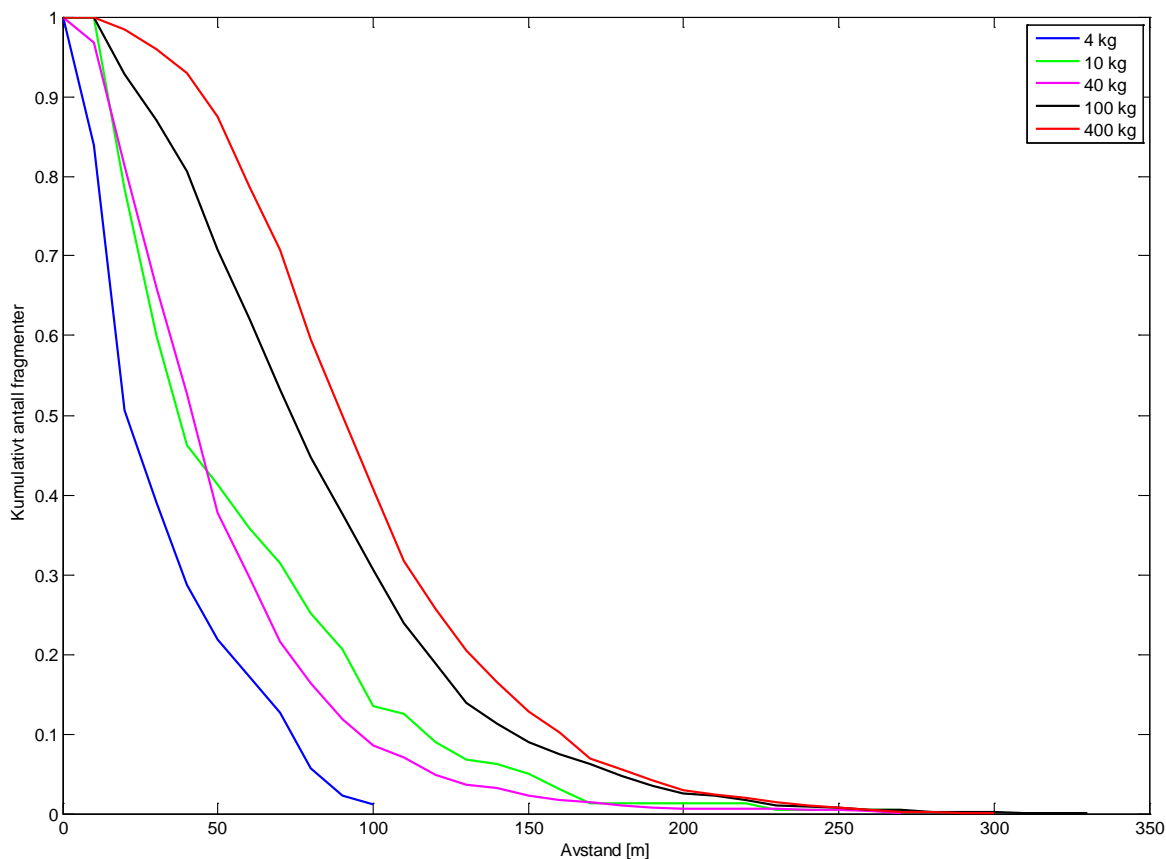
Etter å ha bestemt fragmentfordelingen, er neste skritt en algoritme for å beregne fragmentenes rekkevidde. Som nevnt i det foregående kapittelet er det ingen åpenbar korrelasjon mellom fragmentenes masse, hastighet og utgangsvinkel. Dette gjør at en baneberegning basert på disse verdier vil være noe usikker, til tross for ”kalibreringen” nevnt ovenfor. Vi har derfor utviklet en alternativ metode, FFI 1, for å beregne fragmentantallet over avstand. FFI 2 vil gjøre en ”forenklet” baneberegning, mens TNO metoden baserer seg på en meget grov tilnærming.

Det bør merkes at det kun er FFI 2 metoden som kan påvirke utslagssannsynligheten, se kapittel 3.3, og da kun om den vinkelavhengige metoden er valgt. FFI 1 og TNO benyttes kun til å generere plottene av fragmentantallet over avstand.

3.2.1 FFI 1

Denne metoden er satt som standardvalg i ”Basic” modus, samt innstillingen ”FFI” i ”Avansert” modus.

Analyser av det kumulative fragmentantallet, det antall fragmenter som fremdeles er i flukt ved en gitt avstand, for forskjellige ladninger, viser at denne kurven kan sammenlignes med en ”halv” normalfordeling, se figur 3.3. Figuren viser antall fragmenter som fremdeles er i flukt, og er normalisert med det totale antall fragmenter. Spesielt for store ladningsmengder er det tydelig at en normalfordeling tilpasser kurven godt. Også innenfor enkeltsektorer passer normalfordelingen godt.



Figur 3.3 Kumulativt antall fragmenter (totalt for alle sektorer) for forskjellige ladninger.

$$(18) \quad N_{\text{kum}}^{\text{norm}}(\mathbf{r}) = e^{-\left(\frac{r-b}{r_0}\right)^2}.$$

Parametrene b og r_0 ble funnet for hver sektor for alle ladninger. Disse parametrene kan så interpoleres mellom, for å beregne (18) for vilkårlige vinkler og ladingmengder. Den endelige fordelingen av fragmenter over avstand får vi ved å multiplisere (18) med asinutfordelingen beregnet ved hjelp av metodene beskrevet i forrige kapittel.

Denne metoden har sine fordeler og ulemper. For det første er den meget rask. Algoritmen trenger kun å beregne to parametre, og deretter er utregning av ligning (18) en enkel sak. Algoritmen stemmer også godt overens med data. Ulempen er at vi med denne metoden kun får fordelingen av antall fragmenter over avstand, men ikke de karakteristiske størrelser for disse fragmentene. Vi kan beregne antallet fragmenter som vil lande i en gitt avstand og en gitt retning, men vi kan ikke si noe om massen eller hastigheten til disse fragmentene. Den neste metoden forsøker å løse dette problemet.

3.2.2 FFI 2

Vi har tidligere kommentert at masse og hastighet anses som uavhengige størrelser i beregningene, og at den vertikale vinkelfordelingen er valgt til å gi best samsvar mellom beregninger og data. I denne metoden for beregning av fragmentutkast antar vi derfor at disse kan benyttes til beregning av fragmentbaner.

Hvis masse, hastighet og vertikal utgangsvinkel er kjent, kan et fragments bane beregnes. Om man inkluderer tyngdekraft og dragkoeffisient som varierer med hastigheten, må denne beregningen gjøres ved å løse Newtons 2. lov numerisk. Dette er relativt enkelt og raskt å gjøre for ett enkelt fragment, men for tusenvis av fragmenter begynner CPU-tid raskt å bli et problem. Dette vil typisk ta rundt fem minutter, hvilket blir for lang tid for en rask analyse som vi ønsker her.

Vi har derfor utarbeidet en empirisk-analytisk løsning av bevegelsesligningene. Gjennom beregninger av baner har vi funnet en kurvetilpasning for et fragments rekkevidde som funksjon av masse, hastighet og vertikal utgangsvinkel, som også tar hensyn til drag og tyngdekraft. På denne måten kan vi kutte beregningstiden fra fem minutter til under ett sekund for tusen fragmenter.

Ved å beregne rekkevidden fra massen, hastigheten og utgangsvinkelen kan vi også finne et estimat for anslagshastigheten mot et mål, som igjen kan benyttes til å beregne utslagssannsynligheten.

3.2.3 TNO

TNO beregner ikke fragmentutkast i sin modell [7]. De baserer sine beregninger for antall treff mot et mål på en såkalt "close-in" tilnærming. Denne metoden tilnærmer fragmentbanene som rette linjer. Dette er en meget grov tilnærming og vil kun være gyldig ved korte avstander (derav navnet). Metoden medfører at det totale antall fragmenter ikke avtar over avstand, hvilket fører til altfor høye treffsannsynligheter ved store avstander. Siden fragmentene i denne beregningen aldri faller til bakken, vil treffsannsynligheten aldri være null, selv uendelig lang unna detonasjonspunktet. Beregningen av treffsannsynlighet, omtalt i neste kapittel, vil derfor kun avta som følge av den geometriske spredningen av fragmentene, det vil si at de fordeles over suksessivt større og større volum.

3.2.4 Kommentar

I alle beregningene for fragmentutkast tas det utgangspunkt i kildefunksjonen beregnet i det foregående steget. Her tilnærmes bilen som en punktkilde, hvilket betyr at alle fragmentene dannes i det samme punktet. Uten å ta hensyn til bilens geometri, hvilket ville ha vært en meget omfattende prosess, vil fragmentspredningen ved korte avstander (størrelsesorden et par billengder) bli noe feil. I disse tilfellene vil allikevel fragmenttettheten være så høy at de fleste mål blir slått ut uansett.

3.3 Utslagssannsynlighet

Når de to foregående stegene er foretatt har programmet beregnet fordelingen av fragmenter for alle vinkler ut til en forhåndsdefinert avstand. Dermed kan vi enkelt beregnet utslagssannsynligheten for et mål med et gitt areal i ethvert punkt.

Utslagssannsynligheten for målet er et produkt av sannsynligheten for å bli truffet av et fragment og sannsynligheten for å bli slått ut av fragmentet. Treffsannsynligheten, P_{hit} , kan beregnes ved hjelp av to metoder, Uniform (kap. 3.3.1) og Vinkelavhengig (kap. 3.3.2). Fragmentenes skadepotensiale, P_{kill} , beregnes ved hjelp av metoden beskrevet i kapittel 3.3.3.

Om trykk inkluderes i beregningene vil den totale utslagssannsynligheten være produktet av utslagssannsynligheten for fragmenter og utslagssannsynligheten for trykket. Trykk omtales i kapittel 3.4.

3.3.1 Uniform

Denne metoden er satt som standardvalg i "Basic" modus, samt i "Avansert" modus.

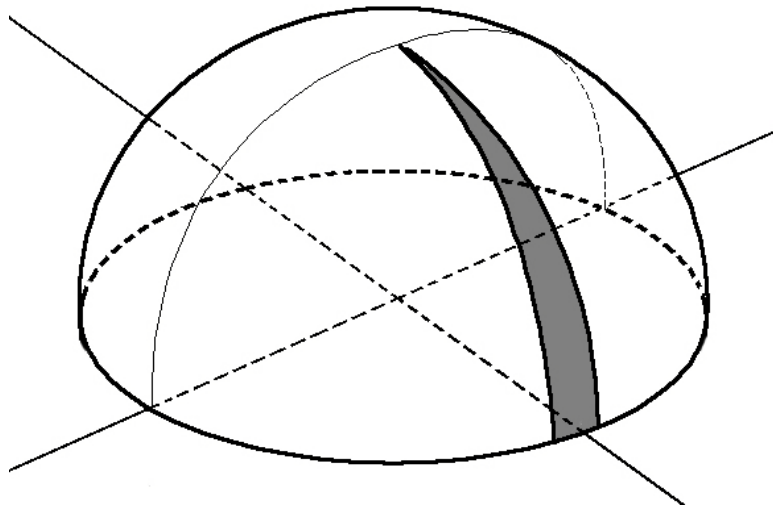
Treffsannsynligheten for et enkelt fragment beregnes for hver 1° sektor ut til den predefinerte avstanden. Sannsynligheten for at målet treffes av ett fragment er gitt ved:

$$(19) \quad P_{hit}(\mathbf{r}) = \frac{A_t}{A(\mathbf{r})},$$

der A_t er målets areal og $A(r)$, ligning (20), er det arealet fragmentet kan befinne seg i, se figur 3.4.

$$(20) \quad A(r) = \frac{\pi}{180} r^2.$$

Fragmentenes baner tas ikke hensyn til i denne beregningsmetoden. Et fragment med en høy ballistisk bane vil i følge beregningen ha like stor sannsynlighet for å treffe målet ved enhver avstand, som et fragment med bane nær bakken. Dette forenkler beregningen betraktelig, men er åpenbart en sterk forenkling. Resultatet er at treffsannsynligheten er noe høyere enn den faktiske situasjonen, og utslagssannsynligheten vil følgelig være et noe konservativt estimat.



Figur 3.4 Fragmentene i et vinkelsegment fordeles på det grå halvkulesegmentet $A(r)$.

3.3.2 Vinkelavhengig

Denne metoden er kun tilgjengelig for fragmentutkast-metoden FFI 2 (kapittel 3.2.2). Fragmenter i høye baner, stor vertikal utgangsvinkel, vil kun utgjøre en trussel i starten og slutten av sin bane. Basert på utgangsvinkel og kastavstand forsøker metoden å beregne området hvor fragmentet befinner seg under målets høyde. Denne høyden anslås som kvadratroten av målets areal. For fragmenter med høye ballistiske baner vil dette området typisk være noen fåtalls meter rett etter utgang og rett før fragmentet treffer bakken.

Treffsannsynligheten blir beregnet på samme måte som ligning (19), men siden fragmentene nå befinner seg i potensielt skadelig høyde, vil sannsynligheten kun avhenge av målets bredde og buelengden av sektoren:

$$\frac{A_t}{A(r)} \rightarrow \frac{L_t}{L(r)},$$

(21)

$$L(r) = \frac{\pi r}{180}.$$

Der fragmentet ikke befinner seg under målets høyde, vil treffsannsynligheten være lik null.

Det bør merkes at denne metoden er ikke validert og må derfor anvendes med ekstrem aktsomhet.

3.3.3 Skade fra fragmenter

Det finnes en rekke fragmentskademodeller, fra helt enkle energibetraktningsmodeller til empiriske formler. Det er her valgt å benytte Sperazzas formel [8], da den er enkel å implementere, og er godt kjent:

$$(22) \quad P_{\text{kill}}(\mathbf{r}) = 1 - e^{-a \left(m(v(\mathbf{r}))^{3/2} - b \right)^n},$$

der a , b og n er parametrene gitt i tabellen under. P_{kill} settes til 0 om $mv^{3/2} < b$.

Parametre for Sperazzas formel for forskjellige stridssituasjoner

Situasjon	a	b	n
Forsvar (1/2 minutt)	0,15378	0,34240	0,45106
Angrep (1/2 minutt)	0,22039	0,33800	0,49570
Angrep (5 minutter)	0,27545	0,33800	0,48780
Forsyning (12 timer)	0,34890	0,31620	0,44350

Skaden fra et fragment ved en gitt avstand er enkel å beregne om man kjenner fragmentets masse og hastighet. I kapittel 3.1.5 ble det kommentert at de genererte fragmentenes størrelser i utgangspunktet er uavhengige størrelser. Det argumenteres også for at den vertikale vinkelfordelingen er valgt slik at den resulterende fordeling av utkastlengder er i overensstemmelse med faktiske data. Fragmentenes masse, hastighet og utgangsvinkel plukkes tilfeldig fra de gitte fordelingene. Vi antar derfor at fragmentmasse nr. i har hastighet nr. i og utgangsvinkel nr. i , der i er nummer i listen over fragmentstørrelser. Dermed har vi entydig definert masse, hastighet og vinkel for alle fragmenter.

Det neste skrittet i beregningen er å estimere hastigheten ved en gitt avstand. Den beste metoden hadde vært å løse bevegelsesligningene med varierende drag-koeffisient og tyngdekraft numerisk. Numerisk løsning av differensialligningene er fullt mulig, men å beregne banene og hastighetene til mange tusen fragmenter vil føre til at beregningen tar for mye tid. Det enkleste ville vært å anta en enkel eksponentiell avtagende funksjon med en gitt koeffisient for alle fragmentene, men dette ville ført til unøyaktige resultater da spennet av hastigheter er så stort at det vil være signifikante variasjoner i drag-koeffisienten.

Vi har derfor valgt en kombinasjon av de to metodene beskrevet over. Bevegelsesligningene kan løses numerisk for å gi oss hastigheten som funksjon av avstand. Dette resultatet tilpasses så ligningen:

$$(23) \quad v(\mathbf{r}) = v_0 e^{-\frac{1}{2} \rho_L \frac{A}{m} CD \cdot r},$$

der v_0 er utgangshastigheten, $\rho_L = 1.225 \text{ kg/m}^3$ er luftens tetthet, A er fragmentets areal, m er fragmentets masse og CD er en gjennomsnittlige drag-koeffisient over hele banen og fungerer som tilpasningsparameter. Fragmentenes areal beregnes ved hjelp av formelen [5, 6]:

$$(24) \quad A = \frac{1}{2} \left(k \left(\left(\frac{9 \pi \rho}{2 m} \right)^{\frac{1}{3}} t - 1 \right) + 1 \right) \frac{m}{\rho t},$$

der k er krøllefaktoren beskrevet i kapittel 3.1.1, $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ er tettheten, og $t = 1 \text{ mm}$ er fragmentets opprinnelige tykkelse. Dette er det gjennomsnittlige presenterte frontarealet, og tar høyde for rotasjon av fragmentene.

Vi gjentar så prosessen for et stort sett av hastigheter og utgangsvinkler, og bygger opp en tabell av CD -verdier fra kurvetilpasningen. Ved interpolasjon kan vi dermed finne CD for vilkårlige hastigheter og vinkler, og dermed hastigheten som funksjon av avstand for alle fragmenter ved innsetting i ligning (23).

Innsetting i ligning (22) gir oss skadesannsynligheten for ett fragment. Den totale utslagssannsynligheten for fragmenter innenfor en sektor blir da:

$$(25) \quad P_{\text{frag}}(\mathbf{r}) = 1 - \prod_n (1 - P_{\text{hit},n}(\mathbf{r}) P_{\text{kill},n}(\mathbf{r})).$$

3.4 Trykk

I [1] beskrives trykkmålingene som ble gjort under VBIED forsøkene i 2007. Maksimalt overtrykk og maksimal impuls ble sammenlignet med verdier beregnet i ConWep, som baserer seg på data fra TM 5-885-1 [9]. Forsøkene ble foretatt med PETN, et plastisk eksplosiv med TNT ekvivalent på 1,1. Innledende analyser av trykket viste en reduksjon på 60 % av maksimalt overtrykk sammenlignet med verdier fra ConWep for en ladning på bakken. De målte trykkverdiene viste liten spredning avhengig av retningen i forhold til bilen. Vi har derfor valgt å anse trykkbølgen som sfærisk symmetrisk, altså ingen vinkelavhengighet.

En mer detaljert analyse av trykkdataene viser at trykket ligger nærmere en ren ladning på 50 % av den opprinnelige ladingmengden. Her har vi midlet trykkverdiene for forskjellige retninger for en gitt avstand, i tråd med antagelsen om sfærisk symmetri. Speilingseffekter som følge av detonasjon på bakken er inkludert i sammenligningen.

Når vi nå kjenner trykk og impuls i forskjellige avstander, kan vi også finne sannsynligheten for skade. Den implementerte algoritmen følger beskrivelsen i Appendix A i [10]. Denne metoden gjelder kun for direkte skader på stående personer i friluft.

Kombinasjonen av skade fra trykk og fragmenter beregnes ved hjelp av:

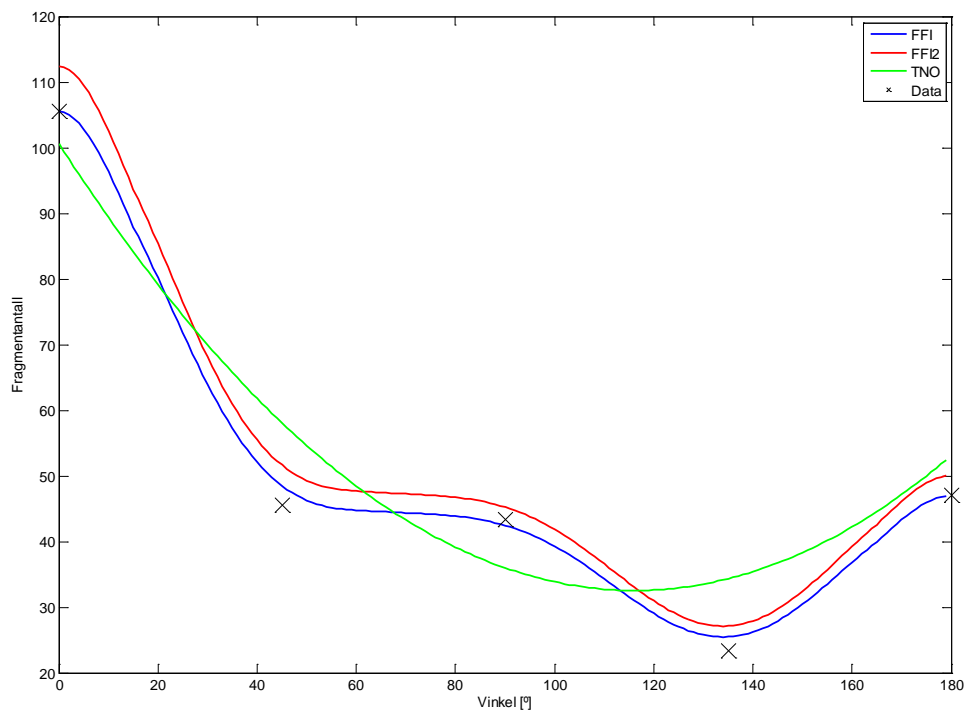
$$(26) \quad P_{\text{tot}}(r) = 1 - (1 - P_{\text{frag}}(r))(1 - P_{\text{trykk}}(r)).$$

4 Sammenligning av metodene

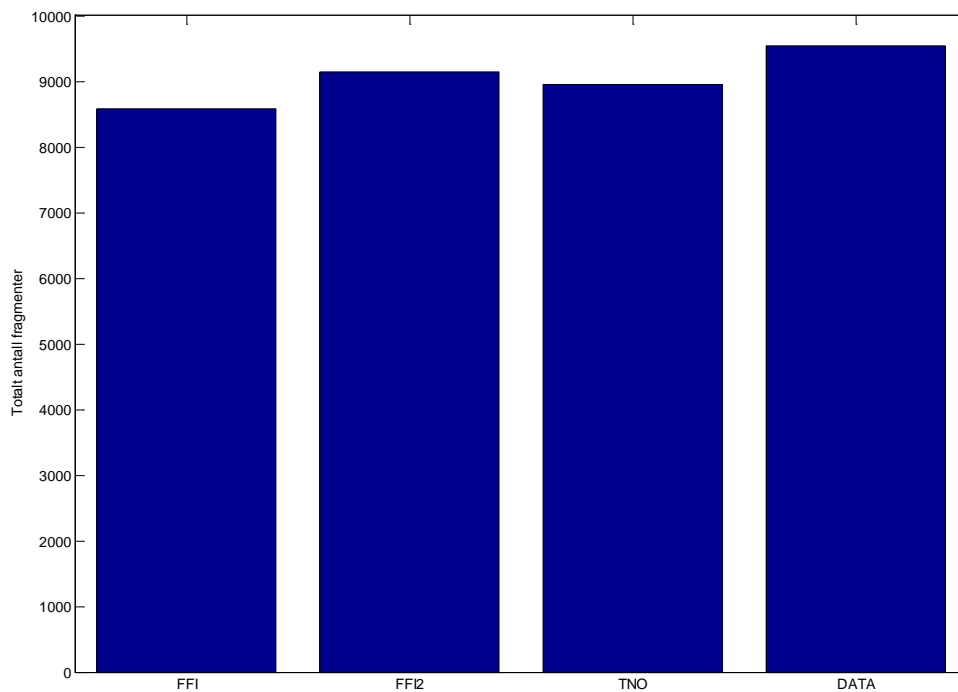
Kapittel 3 beskriver de forskjellige metodene som er tilgjengelig for beregning av effekten fra en bilbombe. Vi vil i dette kapitlet demonstrere hvordan de forskjellige metodene påvirker sluttresultatet.

4.1 Fragmentgenerering

I kapittel 3.1 beskrev vi de tre tilgjengelige metodene for fragmentgenerering; FFI, FFI2 og TNO. Forskjellen mellom FFI og FFI2 er minimale, der kun totalt antall fragmenter skiller de to metodene. FFI/FFI2 og TNO er derimot meget forskjellige. Mens vinkelfordelingen baserer seg på interpolasjon mellom datapunkter i metodene FFI og FFI2, har TNO funnet en polynomisk kurvetilpasning til de samme datapunktene. Forskjellene er åpenbare når vi ser på figur 4.1, der vi har plottet antall fragmenter som funksjon av vinkel for en 100 kg ladning. Datapunktene, antall fragmenter i 10° sektor dividert med 10, er markert med kryss i plottet.



Figur 4.1 Fragmentantall som funksjon av vinkel for 100 kg ladning PETN.



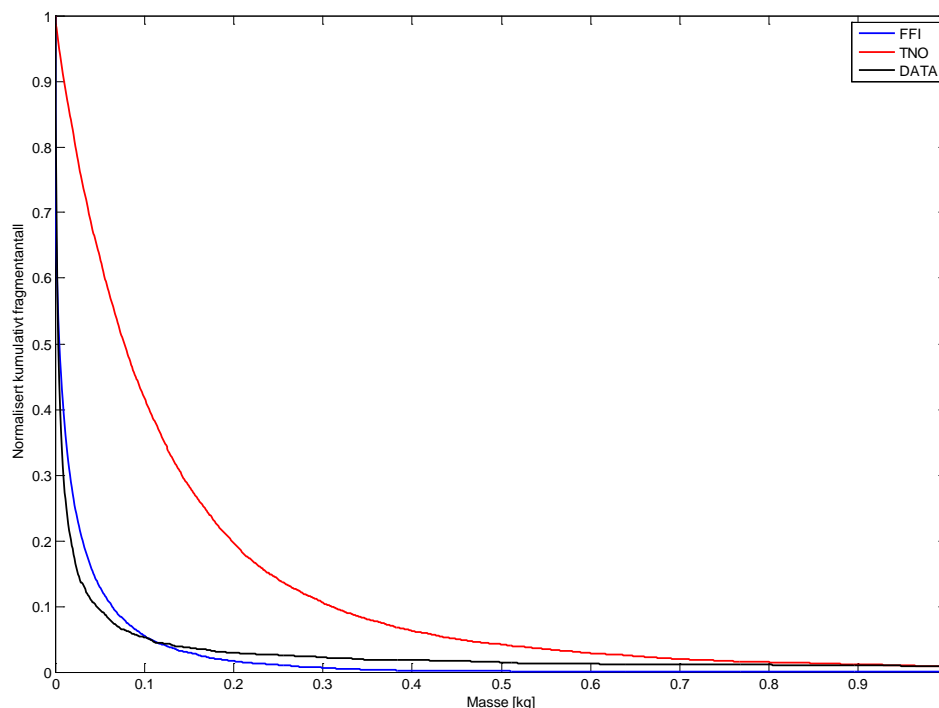
Figur 4.2 Totalt antall fragmenter for 100 kg PETN. Verdien for data er fremkommet ved summasjon og multiplikasjon med $180^{\circ}/50^{\circ}$.

Vi ser at alle metodene følger datapunktene relativt godt, forskjellen ligger i at FFI og FFI2 gjengir variasjonen i vinkelfordelingen mer nøyaktig. Også det totale fragmentantallet varierer lite, noe figur 4.2 viser. I snitt estimerer de forskjellige metodene det totale fragmentantallet til å være ca. 7 % lavere enn dataene skulle tilsi.

Det mest markante skillet mellom metodene er ved generering av fragmentmassene. FFI benytter seg av en ren Mott fordeling, der den karakteristiske massen m_0 avhenger av ladningsmengden. TNO baserer seg også på en eksponentialfunksjon, men der parametrene beregnes på en noe annerledes måte, se kapittel 3.1.3.

Forskjellene kan tydelig sees om vi plotter det normaliserte kumulative fragmentantallet mot masse, se figur 4.3. FFIs metode ser ut til å ligge meget nær datasettet, med unntak av ved store fragmentmasser, der FFI underestimerer antall fragmenter og ved små masser der antallet overestimeres. TNOs metode derimot stemmer godt med datasettet for store masser, men overestimerer grovt ved lavere masser.

Hastighet og vertikal vinkelfordeling er lik for alle metodene og sammenlignes derfor ikke her.



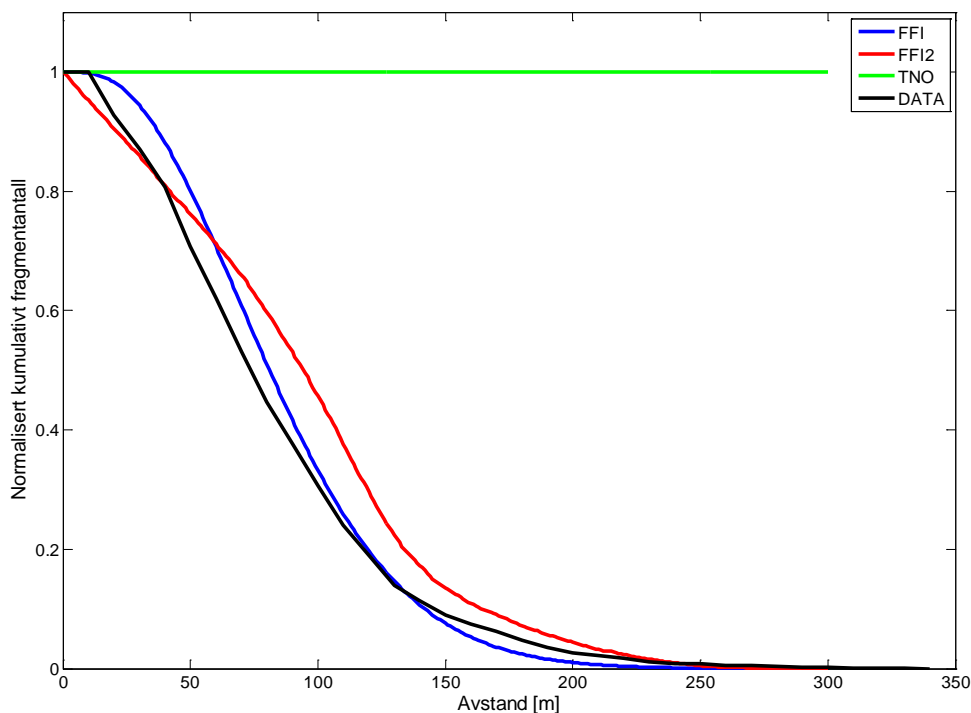
Figur 4.3 Normalisert kumulativt fragmentantall vs. masse. Grafen er kuttet ved 1 kg.

4.2 Fragmentutkast

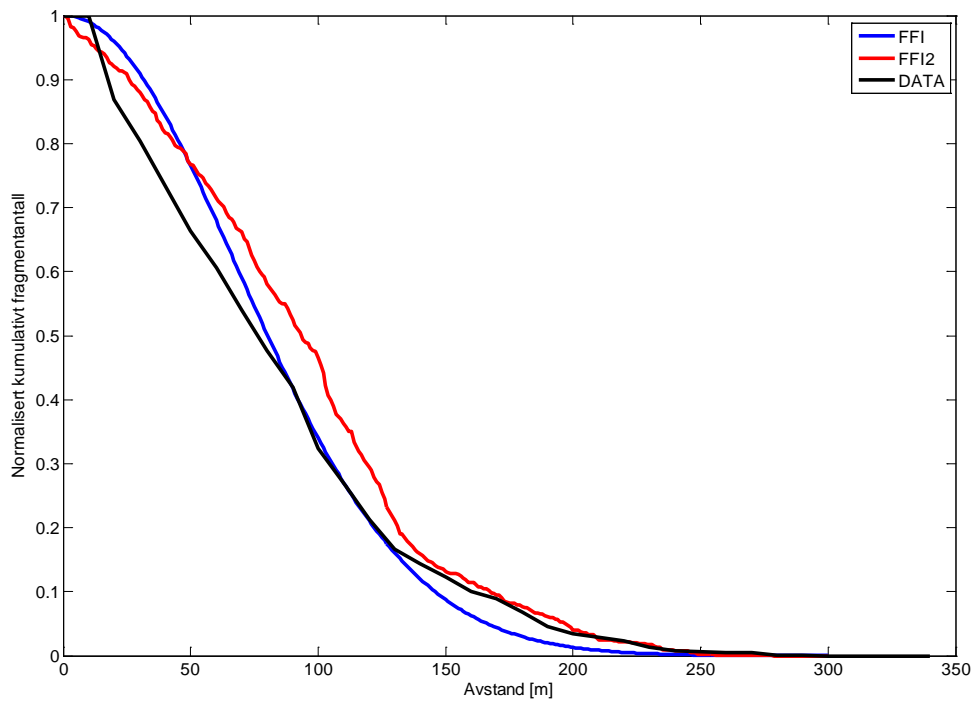
Metodene for beregning av fragmentutkast er fundamentalt forskjellige. FFI metoden bygger på kurvetilpasning av datasettets kumulative fragmentantall, med en form som følger en "halv" normalfordeling (Gauss-fordeling). FFI2 forsøker ved hjelp av en empirisk-analytisk metode å estimere fragmentenes faktiske bane, og finner kastavstanden som funksjon av fragmentets masse, hastighet og utgangsvinkel. TNO har valgt å bruke en såkalt "close-in" approksimasjon, der fragmentbanene tilnærmes rette linjer. Som vi har kommentert tidligere er dette en meget grov approksimasjon som kun er gyldig ved meget korte avstander.

Det normaliserte kumulative fragmentantallet som funksjon av avstand er den enkleste måten å sammenligne metodene visuelt, se figur 4.4. Beregningene er gjort for en 100 kg ladning, og fragmentantallet er først summert over alle vinkler, og deretter normalisert. Det første som er åpenbart ved inspeksjon av figuren, er manglene ved TNOs metode. Siden fragmentbanene tilnærmes som rette linjer, vil de i prinsippet aldri falle til bakken. Videre ser vi at denne approksimasjonen kun er gyldig innenfor ca. 10 meter fra detonasjonen.

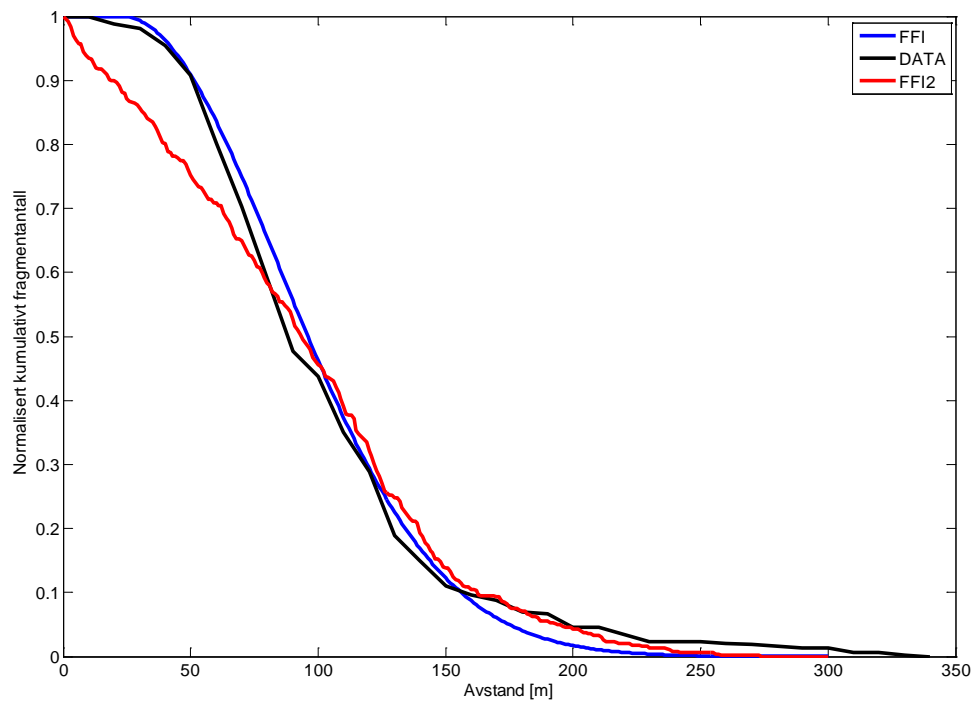
Vi ser videre at FFI følger datasettet relativt godt ved større avstander, men underestimerer antall fragmenter med kort kastavstand. FFI2 overestimerer derimot fragmenter med kort kastavstand, og overestimerer kurven ved lange avstander.



Figur 4.4 Normalisert kumulativt fragmentantall summert for alle vinkler.



Figur 4.5 Normalisert kumulativt fragmentantall foran bilen.



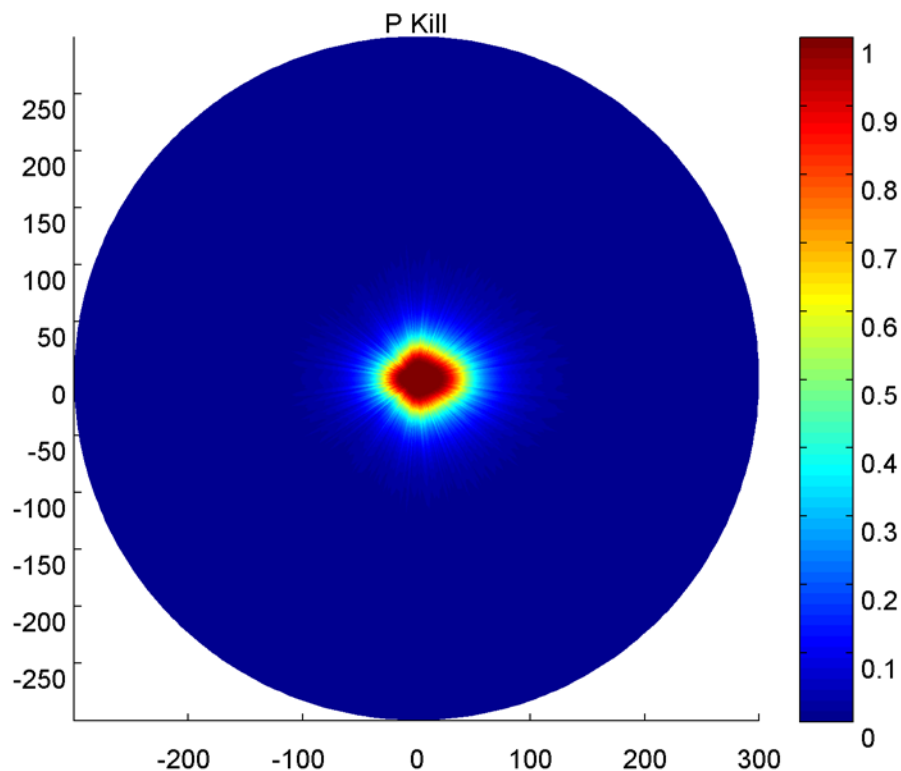
Figur 4.6 Normalisert kumulativt fragmentantall til siden av bilen.

Figur 4.5 og 4.6 viser det normaliserte kumulative fragmentantallet for henholdsvis rett foran bilen og til bilens side. TNOs metode er ikke inkludert her. Vi ser at FFI reproducerer datasettet meget bra, spesielt til siden av bilen.

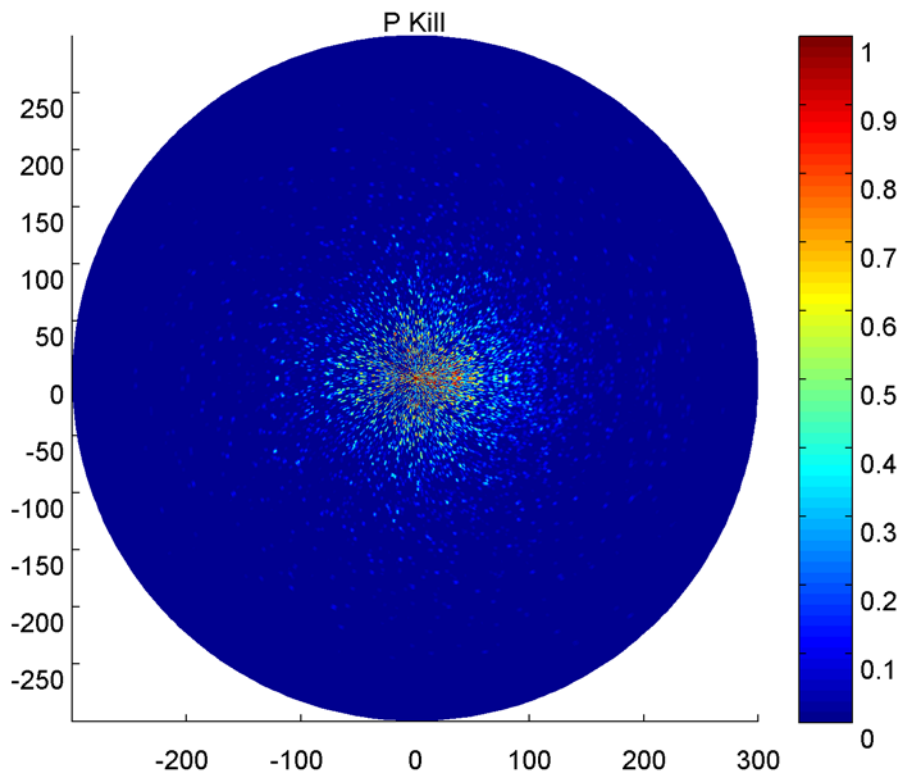
4.3 Utslagssannsynlighet

Forskjellen mellom de to metodene, "Uniform" og "Vinkelavhengig", ligger i beregningen av sannsynligheten for at målet treffes, P_{kill} er den samme for begge metodene. Kun den vinkelavhengige metoden avhenger av hvilket valg som gjøres for beregning av fragmentutkast, og er derfor kun tilgjengelig med FFI2 metoden.

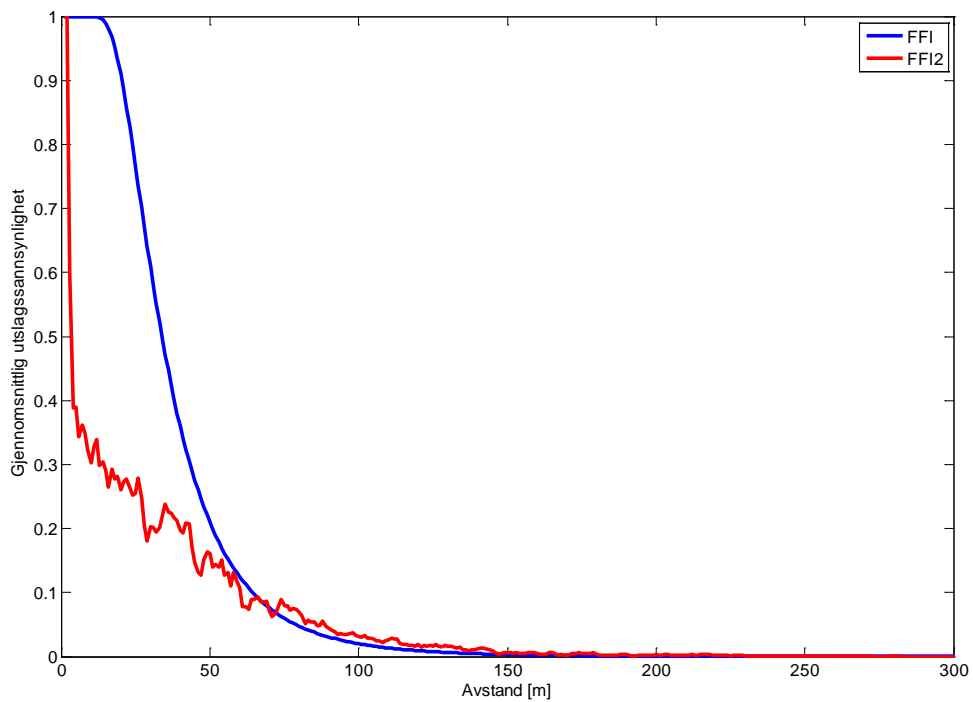
Figur 4.7 og 4.8 viser utslagssannsynligheten for henholdsvis den uniforme og den vinkelavhengige metoden. I begge tilfellene er ladningen satt til 100 kg og vi har brukt FFI2 metodene for fragmentgenerering og utkast. Målet er definert som en stående person, eksponert areal på $0,7 \text{ m}^2$, og vi har brukt Sperazzas kriterium for "Forsvar (1/2 minutt)".



Figur 4.7 Utslagssannsynlighet, uniform metode.



Figur 4.8 Utslagssannsynlighet, vinkelavhengig metode.



Figur 4.9 Gjennomsnittlig utslagssannsynlighet.

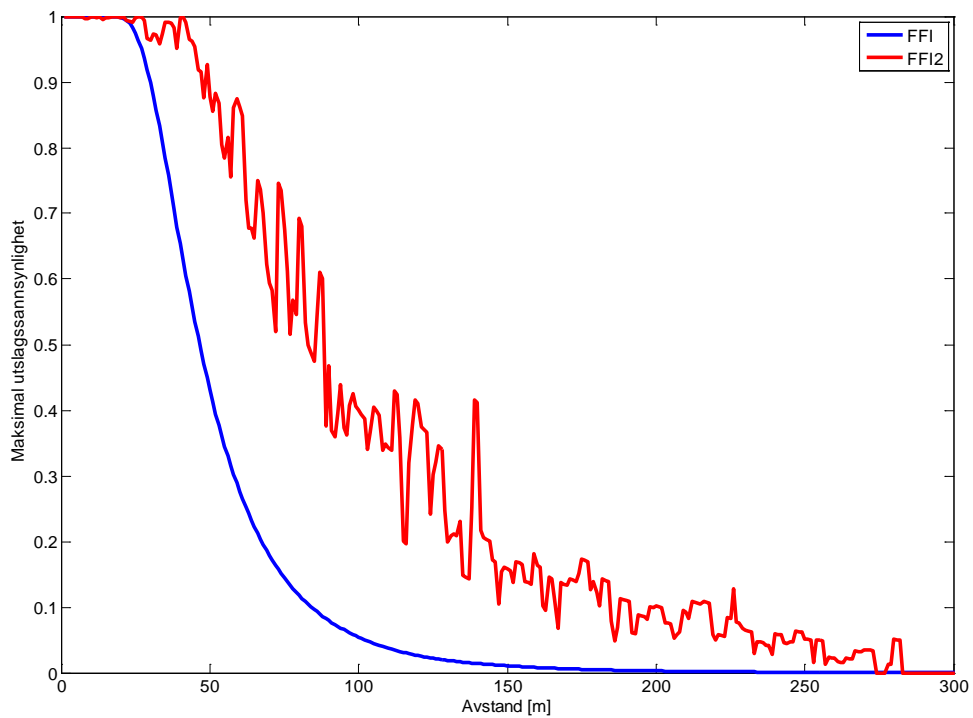
Plottene er unektelig meget forskjellige, og det er vanskelig å sammenligne resultatene direkte. Figur 4.7 viser en kontinuerlig avtagende utslagssannsynlighet, mens figur 4.8 viser spredte områder med høy utslagssannsynlighet. Den uniforme metoden antyder at innenfor en viss avstand er utslagssannsynligheten 1 med mindre variasjoner avhengig av retning i forhold til bilen. Den vinkelavhengige metoden derimot viser at det finnes områder meget tett inntil bilen der det faktisk er en god sannsynlighet for å overleve. Det må riktignok sies at den vinkelavhengige metoden kan gi variasjoner til tross for at ladningsmengden er lik. Dette skyldes den stokastiske fragmentgenereringen og at metoden benytter fragmentenes egenskaper for å beregne rekkevidde og dermed treffsannsynlighet.

Metodene kan sammenlignes kvantitativt ved å se på det totale sårbarhetsarealet. Denne størrelsen fremkommer ved å integrere utslagssannsynligheten over hele feltet. For den uniforme metoden er sårbarhetsarealet 3027 m^2 , mens for den vinkelavhengige er sårbarhetsarealet 2137 m^2 , en reduksjon på ca. 30 %. Dette er som forventet.

En dypere analyse av resultatene viser et par interessante ting. Figur 4.9 viser gjennomsnittet av utslagssannsynligheten ved forskjellige avstander. Her ser vi tydelig hvorfor den vinkelavhengige metoden resulterer i et lavere sårbarhetsareal. Ved korte avstander, mindre enn 50 meter, vil de aller fleste fragmentene fortsatt være i en høy ballistisk bane, og blir dermed regnet som ufarlige. Den uniforme metoden vil her anse fragmentene som potensielle trusler. Ved avstander over ca. 75 meter gir de to metodene relativt like resultater.

Om vi derimot ser på den maksimale verdien av utslagssannsynligheten som funksjon av avstand, forandrer situasjonen seg, se figur 4.10. Grafen viser at selv om den gjennomsnittlige utslagssannsynligheten avtar raskere for den vinkelavhengige metoden, vil det være enkelte områder der utslagssannsynligheten ligger meget høyt, selv for store avstander. Dette har sin sammenheng med at treffsannsynligheten i den uniforme metoden varierer med $1/r^2$, mens den vinkelavhengige varierer med $1/r$, forutsatt at fragmentet er i korrekt høyde.

I bruk vil metoden den uniforme metoden gi et enklere visuelt resultat å forholde seg til, mens den vinkelavhengige representerer en mer virkelighetstro situasjon. Det bør merkes at den vinkelavhengige metoden baserer seg på kurvetilpasninger av fragmentenes bane som introduserer en del usikkerheter i beregningen.



Figur 4.10 Maksimal utslagssannsynlighet.

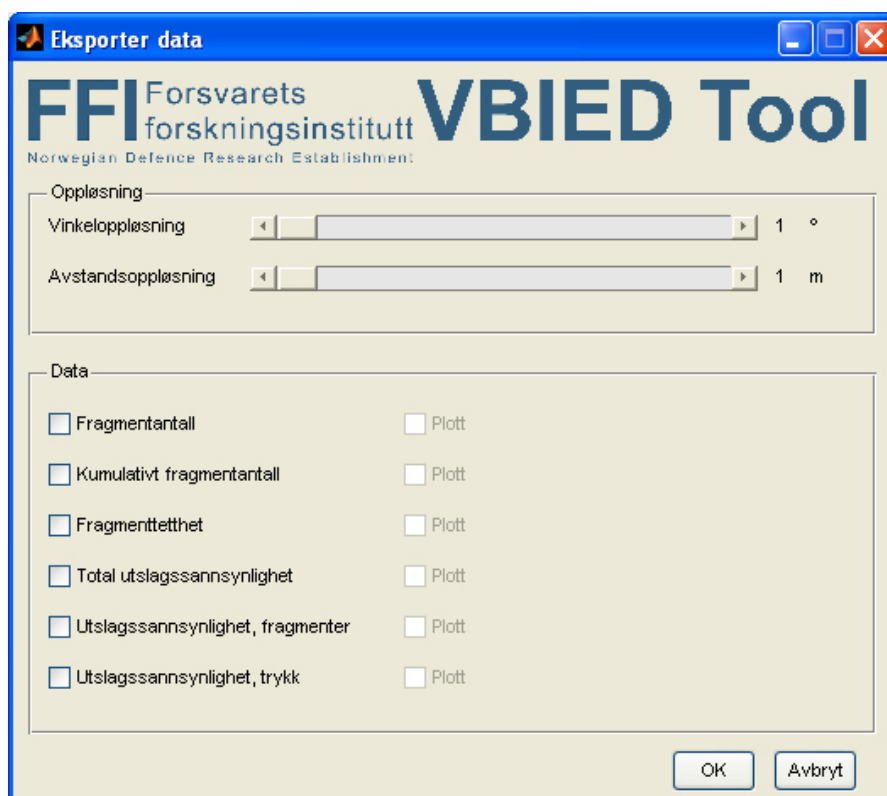
5 Fremtidig arbeid

VBIED Tool er nå i versjon 1.0. Denne versjonen har implementert de funksjonene som ansees som mest sentrale for den aktuelle trusselen. Videre utvikling av verktøyet vil kun bestå av mindre arbeid, så som feilretting og mindre kritisk funksjonalitet.

Referanser

- [1] Forsén, R., Christensen S.O., Kiran, J. H., Dalenius, R.: *Vehicle Borne Improvised Explosive Devices Experiments during August 2007*, FFI-notat 2008/00884(B)
- [2] Forsén, R.: *40 kg and 400 kg VBIED – Experiments during October 2006*, FOI Memo H369, Restricted
- [3] Kiran, J. H.: *VBIED forsøk 2007*, datarapport, FFI-notat (Ikke publisert)
- [4] Kiran, J. H.: *Automatic tracking and analysis of objects in high speed video*, FFI-notat (Ikke publisert)
- [5] Kiran, J. H., Teland, J. A.: *Estimating the fragment characteristics and penetration effects of an IED*, FFI-rapport 2009/00845 (B)
- [6] Kiran, J. H.: *A method for estimating the fragment characteristics from an IED*, Proceedings of the 13th International Symposium on the Interaction of the Effects of Munitions with Structures
- [7] van der Voort, M. M.: *Background of the second order VBIED fragment throw model*, TNO report TNO-DV 2009 A045
- [8] *Håndbok i våpenvirksomheter*
- [9] The Departments of the Armed, Air Force, and Navy and the Defense Special Weapons Agency: *Technical Manual: Design and Analysis of Hardened Structures to Conventional Weapons Effects*
- [10] Holm, K. B.: *Beregning av dødelighet fra luftsjokk*, FFI-rapport 2007/01896

Appendix A Dataeksport



Figur A.1 Eksportvinduet

Etter at en beregning er foretatt har man tilgang til "Eksporter data" valget under Fil-menyen. Det åpnes et nytt vindu, figur A.1, der man har mulighet til å endre innstillinger for eksporteringen.

I det første panelet, "Oppløsning", settes ønsket oppløsning for henholdsvis horisontal vinkel og avstand fra detonasjonspunktet. Standardinnstillingene på 1° og 1 meter vil eksportere det fulle datasettet, 0° - 180° og 0 m til verdien satt for radius i programvinduet. Ved lavere oppløsning vil soner slås sammen til større soner enten ved å summere verdiene eller ta gjennomsnittet, avhengig av hvilke data som eksporteres.

I "Data" panelet velges hvilke data som skal eksporteres. For de data som er valgt for eksport, har man også muligheten til å eksportere plott av de samme data. Disse plottene tar hensyn til valget av oppløsning gjort i det første panelet.

De individuelle utslagssannsynlighetene for trykk og fragmenter vil kun være tilgjengelige om effekten faktisk er inkludert i beregningen.

Vær oppmerksom på at om eksportering foretas etter at ladningsmengde er endret, men før "Plott" knappen er trykket, vil det gamle datasettet eksporteres.