



FFI-RAPPORT

20/02981

Risikovurderinger og kriterier ved øvingsskyting som berører sivil grunn

Ove Dullum
Øyvind Grandum

Risikovurderinger og kriterier ved øvingsskyting som berører sivil grunn

Ove Dullum
Øyvind Grandum

Emneord

Ammunisjon

Våpen

Risiko

Sikkerhet

FFI-rapport

20/02981

Prosjektnummer

529701

Elektronisk ISBN

978-82-464-3335-6

Engelsk tittel

Risk evaluations and criteria for firing affecting civil ground

Godkjenner

Morten Huseby, *forskningsleder*

Halvor Ajer, *forskningssjef*

Dokumentet er elektronisk godkjent og har derfor ikke håndskreven signatur..

Opphavsrett

© Forsvarets forskningsinstitutt (FFI). Publikasjonen kan siteres fritt med kildehenvisning.

Sammendrag

Formålet med rapporten er å belyse hvilke kriterier som bør legges til grunn når man må drive øvingsskyting hvor deler av sikkerhetsmalen for skytingen blir liggende utenfor skytefeltets grenser, det vil si på sivil grunn. Internasjonale publikasjoner trekkes fram for å vise hvilke verdier som er anbefalt brukt når man skal vurdere risikoen for personer som ikke har noen tilknytning til den risikofylte aktiviteten. Slike vurderinger sammenlignes med den alminnelige risikoen mennesker blir utsatt for i dagliglivet. Det synes å være godt samsvar mellom de enkelte land med hensyn til hva som er akseptabel risiko. Imidlertid er akseptabel risiko avhengig av i hvilken grad en aktivitet er nødvendig, i hvilken grad den belønnes og om en person sin risikovillighet.

Rapporten gjør rede for hvordan man kan kvantifisere risikoen forbundet med en forestående øvelse som berører sivil grunn. I visse tilfelle kan dette være en ganske komplisert beregning, men det er mulig å implementere slike beregninger i den programvaren som beregner selve sikkerhetsmalen. Visse aspekter av risikobildet, for eksempel risikoen forbundet med at farlige blindgjengere blir liggende igjen på sivil grunn, er vanskelig å kvantifisere og bør reduseres i størst mulig grad.

Summary

The purpose of this report is to investigate which criteria should apply in the case where the weapon danger area during a firing exercise is partially situated outside the borders of the firing range. International publications have been consulted in order to give an indication of the level of acceptable risk for people without any connection to the firing campaign. These data are quite consistent and independent of the type of danger. The acceptable level is also significantly lower than the ambient threat that most people are exposed to in their daily life. It is also accepted that people connected to the actual process of firing have to tolerate a higher level of threat.

The report establishes a process that quantifies the risk level of a planned exercise that may impact areas outside the firing range. In many cases this process is quite complicated, but it is possible to implement that method in the existing software for calculating the weapon danger area. Certain aspects of risk, e.g. the risk of generating dangerous remaining duds outside the firing range, are hard to quantify. Such dangers have to be avoided to the extent possible.

Innhold

Sammendrag	3
Summary	4
1 Innledning	7
2 Risikoanalyse og akseptabel risiko	8
2.1 Akseptabel risiko	9
2.2 Allmenn døds- og ulykkesrisiko	10
2.3 VROM-studien	11
2.4 Norsk oljeindustri	12
2.5 Andøya-studien	13
2.6 Ammunisjonslagring	13
2.7 Aversjonsfaktoren og store ulykker	14
2.8 Oppsummering	15
3 Sikkerhetsmaler	16
3.1 Sannsynlighetsfordeling innenfor malen	16
3.2 Beregning av risiko	19
3.3 Sårbarhetsarealer	20
4 Våpen som kan bli brukt over sivil grunn	21
4.1 Håndvåpen	21
4.2 Artilleri	21
4.3 Stridsvognskanon	22
4.4 Flybomber	22
4.5 Hellfire	23
4.6 Missiler	23
5 Blindgjengerfaren	24
6 Beregning av risiko ved hjelp av WDATools	25

7	Diskusjon og anbefalinger	26
	Vedlegg	28
A	Metode for å anslå risikoen ved å oppholde seg innenfor sikkerhetsmalen	28
	Referanser	33

1 Innledning

Forsvarets sine øvelser vil normalt finne sted i eller over militær grunn, dvs. innenfor skyte- og øvingsfelt. I visse tilfeller kan det imidlertid være nødvendig og skyte over sivil grunn, eksempelvis for å teste våpenets rekkevidde og dets treffnøyaktighet på lange avstander. Det vil da være nødvendig å etablere standplasser utenfor skytefeltet, eventuelt å skyte fra ett skytefelt til et annet.

Skytefeltets geografiske begrensninger kan også i visse tilfeller gjøre det påkrevet at våpenets sikkerhetsmal i noen grad havner utenfor skytefeltets grenser. Det er da en viss risiko for at ammunisjon havner innenfor sivil grunn eller at dets effekter påvirker sivilt område.

Styrte våpen utgjør en spesiell utfordring. Her kan man imidlertid skille mellom to typer:

- Autonome våpen som etter avfyring ikke er under kontroll av en operatør. Målet detekteres av operatøren, men under flukten styrer våpenet seg inn mot målet ved hjelp av sin søker.
- Semi-autonome våpen som etter avfyring styres av en operatør ved hjelp av en tråd eller en laserstråle. Herunder kommer også våpen som heimer inn mot en laserrefleks fra målet som framkommer ved at en operatør belyser målet.

I begge disse tilfellene vil operatøren ha ingen eller bare delvis kontroll med våpenet dersom en teknisk svikt skulle inntreffe i missilet. Dette gir svært store sikkerhetsmaler og det er ofte ikke til å unngå at deler av malen blir liggende over sivil grunn. Det vil da kunne være en liten, men ikke neglisjerbar, fare for at missilet kan havne i sivilt område.

De vurderingene som er gjort her forutsetter at våpenet brukes i henhold til reglement; at ordrer blir fulgt, at våpenet er riktig rettet inn innenfor snevre feilmarginer, og at riktig ammunisjon blir brukt. Avvik fra dette må regnes som vådeskudd eller en ulykke på linje med andre utilsiktede hendelser i samfunnet.

2 Risikoanalyse og akseptabel risiko

Man ser ofte at risikoanalyser kommer med konklusjoner som sier at en aktivitet er «farlig», «risikabel», «lite farlig», osv. Slike betegnelser er ganske verdiløse med mindre de knyttes opp til tallverdier. Man må ty til kvantitativ risikoanalyse (QRA – Quantitative Risk Analysis) for å kvantifisere en risiko. Slike teknikker er i utstrakt bruk i industrien, spesielt oljenæringen, i transportsektoren, og i finansnæringen. I sistnevnte gren er det imidlertid ikke snakk om liv og helse, men finansielle konsekvenser. Slike analyser, f.eks. i en oljeinstallasjon, kan være enormt kompliserte, med mange komplekse faktorer å ta hensyn til. I sammenligning er en risiko knyttet til et skytefelt svært enkelt, med få faktorer og ofte god oversikt over potensielle hendelsesforløp.

Risiko må imidlertid betraktes både fra enkeltmenneskets synspunkt (individuell risiko) og fra samfunnets side (kollektiv risiko). Selv om en risiko er akseptabel for individet kan den være uakseptabel for kollektivet dersom mange individer utsettes for risikoen. Motsatt kan den kollektive risikoen være akseptabel dersom den eksponeres kun mot ett individ, men vedkommende vil finne sin risiko som uakseptabel høy.

Enkelte kilder opererer også med en samfunnsmessig risiko («societal risk») som defineres noe ulikt fra den kollektive risiko. Dette handler om risikoen for store ulykker med flere døde eller skadede. Store ulykker kan gi langt større negativ oppmerksomhet enn et antall enkeltulykker som til sammen gir samme antall skader. Dette beskrives ved en såkalt aversjonsfaktor som vi vil komme tilbake til senere.

I tillegg til den individuelle og kollektive risiko, som er relatert til liv og helse, opererer man ofte også med begrepet økonomisk risiko, i form av erstatningskrav. Ettersom Forsvaret er en organisasjon som ikke styres for å oppnå størst mulig økonomisk profitt, kan slik risiko ses bort fra dersom de økonomiske kostnadene ved et eventuelt uhell ikke er større enn aktivitetens egen kostnad. Skader på infrastruktur, kulturminner eller andre materielle objekter, vil i noen grad være reparerbare, men dersom eventuelle skader medfører store ulemper for befolkningen, eller endog gir en indirekte fare for liv og helse, må det tas hensyn til.

Videre er oppmerksomheten omkring den miljømessige risikoen blitt svært aktuell i de siste tiårene. Denne risikoen vil ikke bli nærmere vurdert her, fordi en eventuell hendelse på sivil grunn i svært liten grad vil gi andre miljømessige implikasjoner enn det som skjer innenfor skytefeltets grenser.

I flere typer risikoanalyse setter man ulike krav til sikkerhet avhengig av personenes rolle i den aktiviteten som gir opphav til risiko.

- 1. person – de som er direkte involvert i aktiviteten. Ved øvelsesskyting vil det i tillegg til de som opererer våpenet også omfatte instruktører, vaktmannskaper og eventuelle tilskuere.

-
-
- 2. person – de som er knyttet til den avdelingen eller bedriften som utfører aktiviteten, men som ikke har noen rolle i gjennomføringen.
 - 3. person – alle andre

2.1 Akseptabel risiko

Et stadig tilbakevendende spørsmål i forbindelse med risikoanalyser er å tallfeste en akseptabel risiko. Begrepet akseptabel risiko kan være noe villedende. Grovt sett kan man si at en risiko som ikke er nevneverdig livsforkortende, eller betydelig mindre enn den risikoen de aller fleste i en befolkning utsetter seg for i dagliglivet, vil oppfattes som akseptabel. Imidlertid betyr det ikke at en ulykke som skjer kan aksepteres, selv om det var en akseptabel lav sannsynlighet for at den skulle skje.

I mange sammenhenger skiller man mellom en *akseptabel* og en *tolererbar* risiko.

- En *akseptabel* risiko kan sies å være allmenngyldig og ubetinget akseptabel for de aller fleste
- En *tolererbar* risiko innebærer en høyere risiko og er ikke allmenngyldig, men er gradert i forhold den individuelle eller samfunnsmessige nytten handlingen gir. Det innebærer i tillegg at det er gjort tiltak, innenfor rimelighetens grenser, for å redusere risikoen. Et godt eksempel på dette er tiltak for å øke trafiksikkerheten.
- En uakseptabel risiko er til stede når nytten av en handling er mindre enn den risikoen den fører med seg, eller det ikke er truffet rimelige tiltak for å redusere risikoen.

Det har vært gjort ulike forsøk på å kvantifisere akseptabel risiko, men man vil neppe noensinne komme fram til et allmenngyldig svar. Faktorer som påvirker dette er bl.a.

- Grad av frivillighet. Villigheten til å la seg utsette for risiko er svært avhengig av hva man får igjen ved å utsette seg for en risiko. En utøver av risikofylte aktiviteter og idretter, som fjellklatring eller alpin skisport, får belønning i form av økt selvtillit, mestringfølelse, berømmelse, gode hormonelle reaksjoner, og i ytterste fall penger. Vedkommende vil kunne akseptere en høy risiko, langt høyere enn den risikoen en gjennomsnittsperson blir utsatt for i dagliglivet. På den andre siden vil en person som utsettes for en statisk risiko eller blir påført en risiko av andre, som vedkommende selv i begrenset grad er i stand til å kontrollere, ha lav toleranse. En slik utrygghet kan oppstå selv om risikoen nøkternt sett er mindre enn andre typer av risiko man eksponeres for i dagliglivet. Beboere i rasfarlige områder eller i områder nær et skytefelt vil kunne være i denne kategorien.
- Kunnskap om trussel. En trussel man ikke kjenner til vil heller ikke kunne skape bekymring hos et individ. Å bli utsatt for en trussel man ikke kjenner til eller ikke er i

stand til å kontrollere, vil for de fleste være uakseptabelt. For å redusere den kollektive risikoen må samfunnet informere og bevisstgjøre befolkningen om at en viss risiko er til stede. Dersom den kollektive risikoen er uakseptabel høy må myndighetene iverksette tiltak som reduserer risikoen, f.eks. ved å nedlegge forbud mot visse aktiviteter. Den forventede reduksjonen i kollektiv risiko må imidlertid avveies mot de eventuelle negative samfunns-økonomiske konsekvenser man vil kunne få på grunn av tiltakene.

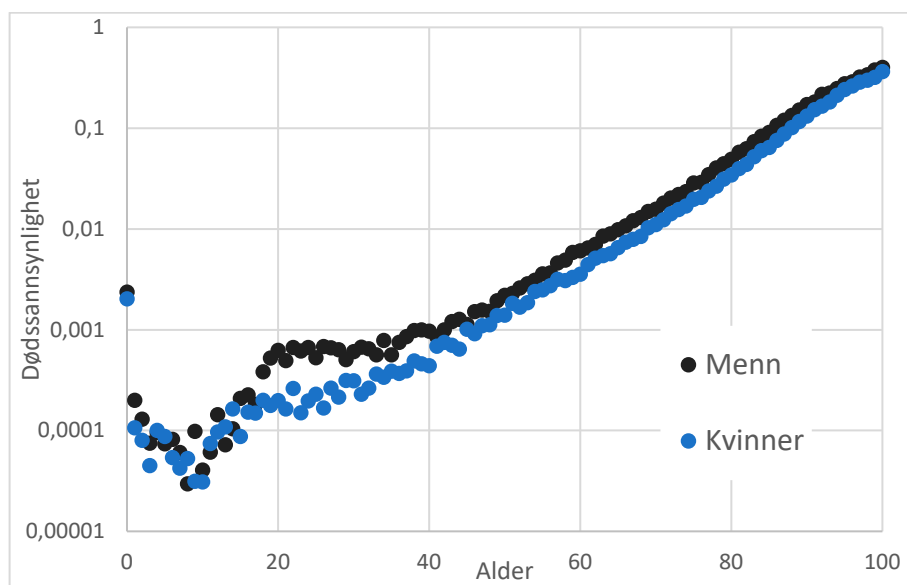
En av de største utfordringene i risikoanalyse ligger i skjæringspunktet mellom teori og etikk. Sistnevnte er i stor grad knyttet til moral, livserfaring, psyke og religiøs holdning – faktorer som ikke lar seg kvantifisere. Dette vil også påvirke folks begrep om hva som er en akseptabel risiko. Enkelte vil tolerere en høy risiko, andre vil kreve at en viss aktivitet skal ha en risiko lik null.

I det følgende skal vi se på noen metoder å angripe problemet på.

2.2 Allmenn døds- og ulykkesrisiko

Å betrakte risiko utfra den risikoen man utsetter seg for i dagliglivet i form av ulykker og sykdom kan være en nyttig inngang til problemet, men det kan diskuteres om det er en korrekt vinkling.

Figur 2.1 nedenfor viser risikoen nordmenn har for å dø i løpet av det kommende året avhengig av alder og kjønn.



Figur 2.1 Sannsynlighet for å dø i løpet av kommende år som funksjon av alder (gjennomsnitt for årene 2017, 2018 og 2019). Kilde [1].

Som man ser øker dødsrisikoen med alderen, unntatt i førskolealder. For den produktive andelen av befolkningen (20 – 65 år) ser man at den typiske årlige dødsrisikoen er 10^{-3} . Dette kan indikere at en årlig risiko på rundt 10^{-5} , dvs. betydelig mindre enn den tilstedeværende risiko, kan være akseptabel. Man kan også bli ledet til å tro at gamle mennesker bør kunne akseptere en høyere risiko enn unge. Selv om dette nøkternt sett er rimelig, er det nok etisk betenkelig og det er vel heller ikke tilfelle i praksis.

Man kan stille spørsmål om det er riktig å relatere akseptabel risiko til dødsstatistikk. Å fokusere på ulykker (arbeidsulykker, trafikkulykker, fritidsulykker, drap) kunne vært relevant. Imidlertid er andelen av befolkning som omkommer av disse årsakene rundt $5 \cdot 10^{-4}$ per år, hvilket antyder at ulykker utgjør en betydelig andel av dødsfallene blant den produktive befolkningen. Ulykker er imidlertid sterk relatert til den individuelle person sitt arbeid, interesser og andre forhold, som gjør det vanskelig å bruke i statistikk. Derfor kan det lett bli feil å bruke arbeidsulykker som referanse. I Norge er sannsynligheten for å bli drept i en arbeidsulykke $2.5 \cdot 10^{-5}$, men risikoeksponeringen varierer stort. En anleggsarbeider har mye høyere risiko enn en kontorist. Da er det mer relevant å referere til risikoen for å dø på grunn av en ulykke i hjemmet. Denne er i Norge $3.6 \cdot 10^{-4}$ per år og eksponeringen kan antas å være noenlunde jevnt fordelt fordi de aller fleste har et hjem.

2.3 VROM-studien

Et av de mest gjennomarbeidete prosjektene er gjort i regi av det såkalte VROM-ministeriet¹ i Nederland. Formålet var egentlig å studere risikoen knyttet til brudd i dikene og medfølgende oversvømmelse som landet har vært plaget av en del ganger, slik som den i 1953 som kostet mer enn 2500 mennesker livet. Nederland er også et tett befolket land. Derfor har hensynet til lagring og transport av farlige stoffer blitt viet en del oppmerksomhet. Selv om disse er former for risiko som er noe ulik det problemet vi betrakter, kan det tjene som en nyttig sammenligning.

Et hovedprinsipp i arbeid med risikobefengte prosesser er at man skal treffe tiltak så langt det er praktisk mulig for å redusere risikoen. Internasjonalt blir dette kalt ALARA² («As Low As Reasonably Achievable»).

I denne studien [2] anser man at en individuell risiko på 10^{-6} per år eller mindre er å betrakte som sikkert. En individuell risiko på mer enn 10^{-3} er ikke akseptabelt, med mindre det er høy grad av frivillighet. Området mellom disse ytterpunktene kalles da ALARA-området hvor man skal gjøre det som er praktisk (og økonomisk) mulig for å redusere risikoen ned mot det sikre eller akseptable området. Den anbefales at all boligbygging gjøres i en avstand fra potensielt farlige objekter som sikrer at denne betingelsen er oppfylt. Imidlertid aksepteres det at mer robuste bygg, f.eks. kontorbygg, legges til områder hvor risikoen kan være 10^{-5} per år. Bygg og

¹ Ministerie van Volkhuysvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer – Ministeriet for boligbygging, arealplanlegging og miljøvern.

² Omtrent det samme som ALARP (As Low As Reasonably Practicable) som også er et hyppig brukt uttrykk i risikoanalyser.

installasjoner som er knyttet til den risikofylte aktiviteten er naturligvis unntatt fra disse anbefalingene.

I en annen publikasjon [3] knyttet til denne studien ser man på forholdet mellom risiko og graden av frivillighet. Her defineres den individuelle risikoen (R_I) som

$$R_I = P_f P_{d|f}$$

Her er P_f sannsynligheten for at en viss feil oppstår og $P_{d|f}$ er sannsynligheten for å bli drept på grunn av denne feilen. Man forlanger at R_I skal oppfylle betingelsen

$$R_I < \beta \cdot 10^{-4} \quad (\text{per år})$$

Faktoren β skal her reflektere graden av frivillighet som igjen er knyttet til graden av belønning man oppnår ved å utføre en risikabel handling. Ved fjellklatring mener man at β -verdien ligger over 10, dvs. en risiko mer enn 10^{-3} , mens fabrikkarbeid har en β -verdi på rundt 0,01, dvs. en risiko på 10^{-6} .

Den nederlandske studie har en slags parallell til et akseptabelt risikonivå som er vedtatt av det britiske *Health and Safety Executive* (HSE) angående kvaliteten av drikkevann. Her anser man det som akseptabelt at man har ett dødsfall per 1 million innbyggere per år som følge av forurenset vann.

2.4 Norsk oljeindustri

Et annet område som har vært gjenstand for mange publikasjoner er den norske oljeproduksjonen; en aktivitet som ble beheftet med mange alvorlige ulykker i de første par tiårene. Imidlertid er dette en aktivitet som er strengt drevet av økonomisk gevinst. Sammenlignet med den nederlandske studien kan det synes som de akseptable grensene i oljeindustrien er mindre strenge.

Det grunnleggende dokumentet for sikkerhet i denne aktiviteten er Norsk Standard NORSOK Z-013 [4]. Dokumentet er utarbeidet med tanke på olje- og gassnæringen. Her opereres det ofte med begrepet «Fatal Accidents Rate» (FAR) som angir antall omkomne i ulykker per 100 millioner timer som ansatte er eksponert for risiko i arbeidsforholdet. FAR uttrykker derfor en kollektiv risiko for en installasjon. Standarden angir imidlertid prinsipper for å redusere risiko, men angir ikke hva som er akseptabelt. I et norsk-nederlandsk arbeid [5] angis, med bakgrunn i standarden følgende:

- FAR-verdien skal være mindre enn 10 for en installasjon.
- Den individuelle risiko for at en person skal bli drept i en ulykke i løpet av ett år skal være mindre enn 0,1%.

Her kan man merke seg at den individuelle risikoen er på samme nivå som den allmenne dødsrisikoen for en 40-årig mann, hvilket etter den nederlandske metoden tilsvarer en β -verdi på 10, dvs. høy grad av frivillighet.

Det tillatte FAR-verdien tilsvarer altså én ulykke per 10 millioner eksponerte timer. En arbeider som er eksponert til denne faren i hele arbeidstiden (ca. 1700 timer per år) vil da ha en risiko på $1,7 \cdot 10^{-4}$ per år, dvs. noe lavere enn den individuelle risikoen.

Vi kan legge merke til at oljeindustrien har en risiko som er i det øvre sjiktet av ALARA-området, dvs. nærmest det området som man kan kalle uakseptabelt.

Når man sammenligner de norske og nederlandske studiene må man ta i betraktning at den norske omfatter 1. eller 2. personer, dvs. personell som direkte eller indirekte er knyttet til selve aktiviteten. Den nederlandske omfatter i større grad også 3. personer, dvs. personer som ikke har noe med aktiviteten å gjøre.

2.5 Andøya-studien

Andøya Space Center (ASC) gjennomførte i 2007 en risikostudie [6] av sin aktivitet som har en viss relevans til vår studie, idet det handler om raketter med stor rekkevidde, og med potensial for overflyging av sivilt og bebygd område. ATC- *Andøya Test Center* – som befatter seg med militære missiler, er et datterselskap av ASC.

For individuell risiko tar ASC utgangspunkt i hjemmeulykker som har en årlig risiko på $3,6 \cdot 10^{-4}$ per år. Man tenker seg at en akseptgrense som ligger to størrelsesordener under dette nivået, dvs. $3,6 \cdot 10^{-6}$ per år, vil bidra til ikke å gi noen signifikant økning i ulykkesstatistikken. Til sammenligning har amerikanske øvingsfelt en akseptgrense på 10^{-6} per gang, hvilket i praksis kan være et mer liberalt kriterium enn ASC sitt, dersom aktiviteten foregår hyppig.

2.6 Ammunisjonslagring

Å bo så nært et ammunisjonslager at man kan bli rammet av utkast i tilfelle av en detonasjon av lageret, har vært studert. FFI gjorde på 1990-tallet en slik studie³ som konkluderte med følgende verdier for individuell risiko per år:

- 1. person: $4 \cdot 10^{-5}$
- 2. person: $3 \cdot 10^{-6}$
- 3. person: $2 \cdot 10^{-7}$

Disse tallene er framkommet ved at man grovt sett betraktet lagerets bidrag til nasjonalproduktet i forhold til kostnadene forbundet med dødsfall ved en ulykke. Dette er kriterier som ligger rundt en størrelsesorden lavere enn de nederlandske og rundt to størrelsesordener lavere enn i

³ Studien er ikke publisert

den norske oljeindustrien. Kravene til ammunisjonslagring virker derfor strenge og man kan merke seg at en tilsvarende sveitsisk studie [7] endte opp med en verdi på 10^{-5} for 3. person. På den annen side er de ikke helt urimelige tatt i betraktning at dette er en trussel som en beboer ved lageret ikke har noen som helst kontroll med, og heller neppe kan forvente å få et varsel om at en hendelse vil finne sted. Dessuten kan en bolig som blir skadet ved en hendelse i et ammunisjonslager lett medføre mer enn én omkommen person.

2.7 Aversjonsfaktoren og store ulykker

Som nevnt ovenfor vil allmennheten reagere langt sterkere på en ulykke med 10 drepte, enn på 10 ulykker med ett dødsfall i hver. I noen grad skyldes dette at de 10 ulykkene gjerne er spredt utover både i tid og rom, mens den ene er konsentrert og får en disproporsjonal nyhetsdekning. *Aversjonsfaktoren* (A) kan enkelt uttrykkes ved

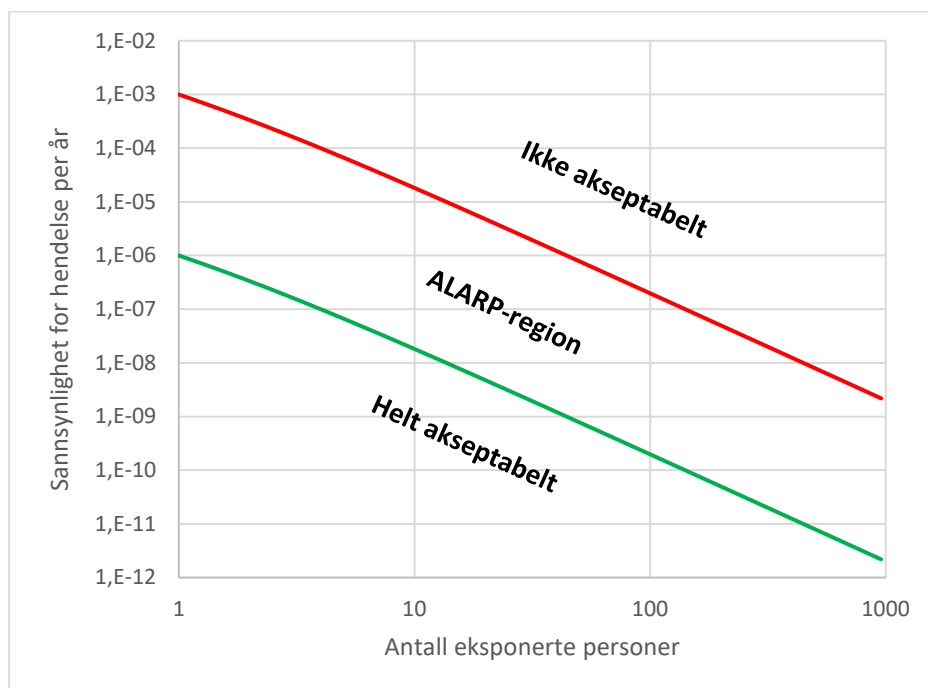
$$A = N^C \quad (2.1)$$

hvor N er antall ofre og C er et tall hvis verdi anses å være mellom 1,5 og 2,0. Et alternativ til denne formelen, som tar hensyn til dette forholdet, er det såkalte Carters [8] skalerte risikointegral (SRI) som uttrykkes som

$$SRI = \frac{(n + n^2)}{2} \frac{R_I \cdot t}{S} \quad (2.2)$$

Her er R_I den individuelle risikoen, t er andelen av tiden personene er eksponert for risikoen, S er det arealet som tas i betraktning og n er antall personer i arealet S . Faktoren $(n + n^2)/2$ tar hånd om aversjonen. Eksempelvis teller en ulykke med 3 ofre like mye som 6 ulykker med ett offer i hver. Risikointegralet kommer ut med dimensjonen sannsynlighet per arealenhet per år.

I risikoanalyser blir dette aspekt ofte illustrert ved såkalte *F-N-diagrammer* (Frekvens-Antall) som viser forholdet mellom frekvensen av uønskede hendelser og antall tilskadekomne, eller omkomne. Hvis man bruker det med SRI kan et slik diagram bli som på Figur 2.2 nedenfor. I det såkalte ALARP-området ("As Low As Reasonable Practicable") kan risikoen aksepteres dersom man har gjort det som er praktisk mulig for å redusere risikoen, men hvor man også må ta hensyn til samfunnsnyttene av arbeidet. Området er derfor aktuelt for 1. eller 2. person.



Figur 2.2 *F-N-diagram ved bruk av Carters skalerte risikointegral hvor den individuelle risiko per år kan være så høy som 10^{-3} og hvor en risiko på 10^{-6} ikke krever tiltak.*

Det akseptable nivået for større ulykker blant befolkningen er tilsynelatende avhengig av hva eller hvem som ligger bak ulykken. Det hevdes [ATC] at i USA er toleransen overfor trafikkulykker og ulykker med skytevåpen ganske høy. I Norge er noe av det samme tilfelle med trafikkulykker. 100 drepte i trafikken per år og noen hundre ulykker i arbeidslivet aksepteres fordi det er knyttet til aktiviteter som holder samfunnet i gang. Tap av liv som skyldes naturkatastrofer aksepteres i den grad katastrofen skjedde uten forutgående indikasjoner og ingen infrastruktur kunne ha redusert konsekvensene. Ulykker som er knyttet til kriminalitet og ulykker med tog og fly aksepteres i noe mindre grad, mens ulykker som kan knyttes til forsvar og politi har trolig lavest akseptgrense fordi disse er etater som er ment å verne om folk.

2.8 Oppsummering

Basert på denne gjennomgangen kan det se ut som en individuell risiko på 10^{-6} per år eller mindre er noenlunde allment akseptert. I Forsvaret har vil inntil nå satt en grense på $2 \cdot 10^{-7}$ per år som en grense for 3. person. Denne verdien er forbundet med individuell risiko i sammenheng med ammunisjonslagring. Slik aktivitet kan føre til store ulykker med et høyt antall døde og dermed en høy aversjonsfaktor. Vi har ikke klare indikasjoner på at dette aspektet ble vurdert da kriteriet ble utviklet, men dersom Carters skalerte risikointegral benyttes vil en risiko på $2 \cdot 10^{-7}$ tilsvare akseptabel risiko for at en ulykke skal ramme 3 personer.

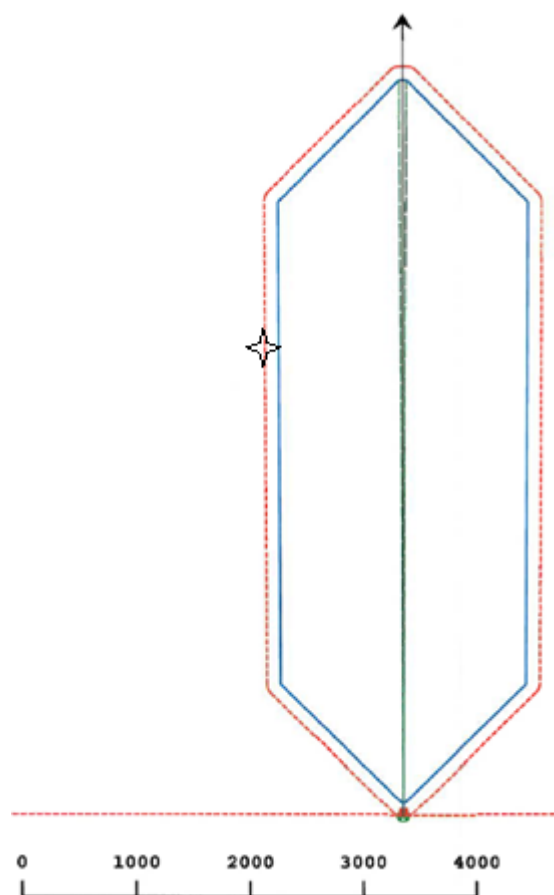
Det anbefales at en risiko mindre enn 10^{-6} per år heretter benyttes som et kriterium på en akseptabel individuell risiko for en 3. person.

3 Sikkerhetsmaler

3.1 Sannsynlighetsfordeling innenfor malen

De fleste av de sikkerhetsmaler som Forsvaret bruker er basert på en norm som sier at mindre enn ett av 1 million skudd skal havne utenfor malen. Ofte vil nok denne sannsynligheten være langt mindre fordi malen er sammensatt av flere komponenter som hver for seg har en ganske lav sannsynlighet.

Dette kan illustreres ved et eksempel. Figur 3.1 nedenfor viser sikkerhetsmalen for 30 mm NM222 sprengammunisjon (MP) for stormpanservogn CV90MkII. Malen er ca. 6,7 km lang og gjelder for skyting på kort hold.



Figur 3.1 Sikkerhetsmal for NM222 30 mm MP-T

Anta nå at en person befinner seg ett eller annet sted på grensen til malen. Eksempelvis på det punktet som er markert med en stjerne. Hva er sannsynligheten for at vedkommende skal bli truffet direkte av selve granaten, av en rikosjett av granaten, eller av fragmenter fra en detonasjon av granaten innenfor fragmentenes rekkevidde?

- Å bli truffet direkte av et skudd kan totalt utelukkes. Toleransen for skuddlinjen er markert med de to grønne stiplede linjene i midten. Unntaket er dersom målet er plassert helt i enden av malen og personen har plassert nær dette punktet. En slik plassering av målet vil aldri være aktuelt.
- Rikosjetter kan havne utenfor malen. Hvis vi antar at punktet der hvor rikosjetten går ut av malen er helt tilfeldig, og prosjektillets høyde over bakken da er mindre 1,8 m, kan personen bli truffet. Personen har en bredde på 0,5 m og omkretsen til malen er 15500 m. Sannsynligheten blir da $10^{-6} \times 0.5 / 15500 = 3,2 \cdot 10^{-11}$. I realiteten vil de fleste rikosjetter passere i en høyde på mer enn 1,8 m og dermed unngå å treffe ham. Man kan med høy grad av sikkerhet hevde at risikoen for å bli truffet av en rikosjett er mindre enn 10^{-11} .
- Han kan bli truffet av et fragment. Et 30 mm MP-prosjektil har en liten sprengladning. Personens sårbarhetsareal overfor en slik detonasjon er neppe mer enn 100 m², hvilken tilsvarer en dødelig radius på 5,5 m. Siden en slik hendelse også er avhengig av en rikosjett, er det lite sannsynlig at den vil detonere ved annen gangs treff mot bakken. Vi kan konservativt anta at sannsynligheten er 10%. Sannsynligheten for å bli skadet ved en slik hendelse må bli betydelig mindre enn i forrige tilfelle fordi prosjektilet faktisk må ta bakken i nærheten av personen.

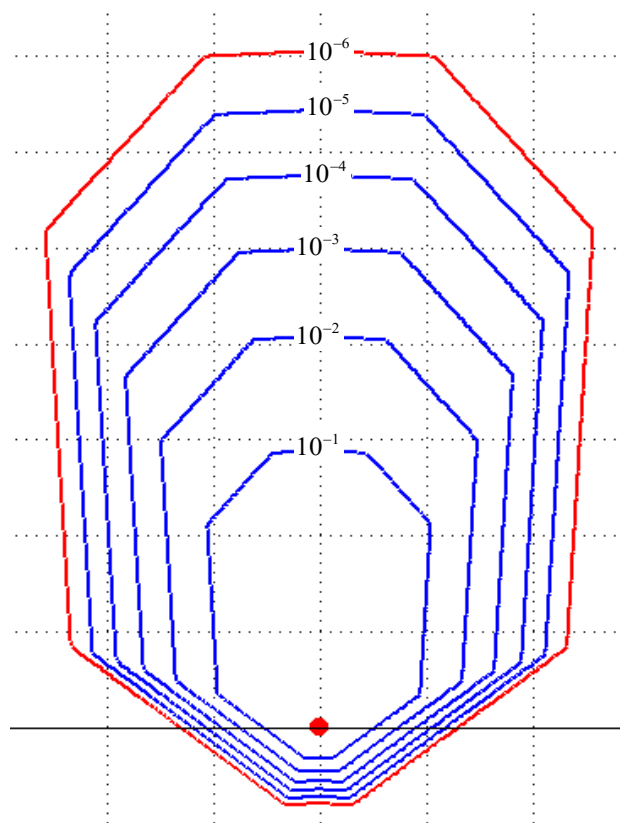
Det må understrekes at disse betraktningene er basert på ett skudd. I en øvelse med 30 mm kanon vil man kanskje skyte noen hundre skudd slik at risikoen kommer opp mot 10^{-9} . Dette er fremdeles et svært lavt risikonivå.

Av dette kan man konkludere at å oppholde seg utenfor sikkerhetsmalen, endog på grensen til malen, skal ikke, dersom malen er riktig konstruert, medføre noen uakseptabel risiko overhodet.

Risikonivået innenfor sikkerhetsmalen er selvsagt ikke homogent. Risikoen ved å oppholde seg i nærheten av selve målet er svært høy, men vil avta jevnt fra dette punktet og utover mot grensene for malen. Denne nedgangen vil fortsette også utenfor malens grenser inntil en avstand hvor det er fysisk umulig for prosjektilet, eller rester av det, å nå. Hvordan denne risikoen er fordelt innenfor og utenfor malen er generelt ikke kjent, men ettersom malen er sammensatt av ulike feilkilder som vanligvis følger en gaussisk fordeling, er det ikke urimelig å anta at risikoen også følger en slik fordeling.

Ved å benytte et slik prinsipp får man en fordeling av risikoen over malen som er illustrert i figur 3.2.

Denne betraktningen gir oss en metode for å bestemme sannsynligheten for å treffe et objekt i en viss posisjon innenfor malen. Vi tenker oss at en person befinner seg på en kontur i malen som tilsvarer en sannsynlighet P for at prosjektilet skal havne utenfor denne konturen. Enhver posisjon innenfor malen vil ha en sannsynlighetstetthet p for at prosjektilet skal havne der. Dersom man trekker en linje fra siktepunktet og ut mot periferien, vil sannsynlighetstettheten langs denne linjen følge en gaussisk fordeling (normalfordeling). Dette vil gjelde langs alle linjer som trekkes fra siktepunktet og ut til periferien. Lengden av denne linjen vil bestemme standardavviket i normalfordelingen langs linjen. Vi kan da fylle sikkerhetsmalen med konturer som viser sannsynligheten for at et skudd skal havne utenfor konturen slik det vises i figur 3,2.



Figur 3.2 Sannsynlighetskonturer over en generell sikkerhetsmal (markert med rød kontur). Tallene angir sannsynligheten for at et gitt skudd skal havne utenfor den respektive konturen. Siktepunktet er markert som et rødt punkt.

Objektet har et sårbarhetsareal, A_L . Dimensjonen av dette arealet vil nesten alltid være mye mindre enn avstanden mellom siktepunkt og periferien. Dermed kan sannsynligheten for at prosjektilet vil falle ned innenfor sårbarhetsarealet tilnærmes med

$$P(A_L) = \frac{A_L}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), \text{ der } \sigma = 0,19R \quad (3.1)$$

hvor r er avstanden fra siktepunktet og ut til den aktuelle posisjonen, R er avstanden ut til periferien og σ er standardavviket langs den linjen som går fra siktepunktet gjennom posisjonen og ut til periferien. Utledningen av denne formelen er vist i Vedlegg A.

Det er imidlertid kun rikosjettområdet som metoden bør anvendes på. I «alfa-sektoren», dvs. den smale sektoren fra skytter til målet samt feilbudsjettområdet, er risikoen forbundet med et direkte treff fra våpenet. Sannsynlighetstettheten kan da enkelt beregnes ved hjelp av vinkelavstanden mellom siktepunkt og objekt sett fra skytteren.

3.2 Beregning av risiko

Med et begrep om hvordan risikoen varierer innenfor sikkerhetsmalen kan man beregne risikoen for et objekt som befinner seg i en gitt posisjon. Dette ble vist mot slutten av forrige avsnitt.

Dette muliggjør en kvantifisering av risikoen for et hvert objekt som befinner seg innenfor malen. Det kan imidlertid være vanskelig å anslå hvor mange objekter som befinner seg, eller kan befinne seg, innenfor det aktuelle området. Man må ta hensyn til følgende faktorer.

- Permanente objekter, som regel bygninger, er enkelt å ta hensyn til. Man vet som regel også hvor mange som har tilhold i bygningene.
- Går det veier, stier og skiløyper gjennom området, så må man vurdere trafikk tettheten langs disse.
- Dersom det ikke er noen gjennomfartsårer må man vurdere om det likevel kan være ferdsel i området av turgåere, bærplukkere eller jegere. Det kan være et område hvor det ikke er naturlig å bevege seg i på grunn av topografien og vegetasjonen.
- Man bør også ta hensyn varigheten av personers opphold i området sammenlignet med varigheten og omfanget av skyteøvelsen.
- Man kan også se for seg at det befinner seg beitende husdyr i området. Her bør hensynet til både dyrevelferd og verdien av dyrene tas i betraktning.

En slik beregning er imidlertid ikke enkel for en gitt sikkerhetsmal. Imidlertid kan en slik funksjon implementeres i WDATools. Gitt en mal, posisjoner av eventuelle sårbare objekter innenfor malen, omfanget av skytingen, og sårbarhetsarealet av objektene, kan risikoen kvantifiseres.

En slik metode kan også inkludere risikoen for store ulykker ved å benytte Carters risikointegral. I WDATools bør denne metoden brukes dersom de sårbare objektene har overlappende sårbarhetsareal, f.eks. når et objekt er et bolighus med et visst antall beboere, eller tette ansamlinger av personer.

3.3 Sårbarhetsarealer

For å beregne risiko må man kjenne til objektets sårbarhetsareal. Her må man skille mellom to ulike måter å definere dette begrepet på.

- Dersom det skytes med kalde eller inerte prosjektiler er det objektets fysiske areal som kan brukes som sårbarhets areal. Dersom det er personell som er objektene er sårbarhetsarealet satt til 0,5 m². Man har da tatt hensyn til at kroppen kan ha en tilfeldig orientering i forhold til retningen på prosjektilet.
- Dersom det skytes med spreng-ammunisjon, som eventuelt kan gi splintvirkning i tillegg til trykkvirkning, vil sårbarhetsareal kunne bli mye større enn det fysiske arealet av selve objektet. Sårbarhetsarealet er da å oppfatte som et integral over et stort areal av sannsynligheten for å bli skadet. Beregningen av dette arealet kan være ganske komplisert og vil avhenge av mange faktorer, som f. eks prosjektilet nedslagsvinkel, dets hastighet, vegetasjon, topografi, m.m.

Tabell 3.1 nedenfor gir eksempler på maksimale verdier sårbarhetsarealer for ubeskyttet personell som blir utsatt for splintdannende ammunisjon. Tallene er basert på et sårbarhetskriterium som sier at skaden skal være av et omfang som gjør en person ute av stand til å fungere som soldat. I forhold til en alvorlig skade eller død er det derfor en konservativ betraktning.

Tabell 3.1 Omtrentlige maksimalverdier for sårbarhetsarealer for personell

Ammunisjon	Sårbarhetsareal for personell (m ²)
30 mm MP	100
40 mm HE	200
81 mm HE BK-granat	600
120 mm HE stridsvognsgranat	700
155 mm HE artillerigranat	1100
500 lbs GP-bombe	4500

Dersom personellet befinner seg inni bygninger eller har en annen form for dekning blir vurderingen av sårbarhetsarealet ytterligere komplisert. Imidlertid, for ikke å undervurdere sårbarheten, kan man i mange tilfelle bruke sårbarhetsarealet ved ubeskyttet stilling.

4 Våpen som kan bli brukt over sivil grunn

4.1 Håndvåpen

Håndvåpenammunisjon har begrenset rekkevidde og sikkerhetsmalen vil ofte la seg romme innenfor skytefeltets grenser. Imidlertid foregår skyting med slike våpen også innenfor skytefelt som har begrenset utstrekning og hvor betydelige deler av sikkerhetsmalen kan bli liggende over sivil grunn.

Det er også eksempler på at det selv i store skytefelt kan malen for håndvåpen delvis havne utenfor feltets grenser i spesielle tilfeller.

4.2 Artilleri

Hærens nye 155 mm artilleriskyts, K9, med 52 kaliber rør, har en evne til å skyte drøyt 40 km. Ingen av våre skytefelt er så lange. Regionfelt Østlandet er 23 km, Halkavarri er 22 km. I praksis er lengste tillatte avstand innenfor feltene enda noe mindre. Ved eventuell skyting på maksimal avstand må derfor de første 20 km av banen bli liggende over sivil område.

Mauken-Blåtind gjør det teoretisk mulig å skyte 28 km, men det vil innebære overskyting av E6.

Risikoen vil her avhenge av hva slags brannrør som brukes. Det er tre aktuelle typer brannrør:

Spissdetonerende brannrør som tenner ved anslag mot bakken, eller mot et annet mål. De brukes på sprengammunisjon og røykammunisjon. Slike brannrør trigges mekanisk og anses som å være svært sikre. Det kreves ikke noen sikkerhetsmal på grunn av eventuell risiko for at brannrøret skal settes av før anslag.

Tidsbrannrør, hvor tiden for utløsning, målt fra utskyting, settes av skytende enhet. Denne typen brukes på lysammunisjon og for BONUS panserbekjempende ammunisjon. Disse brannrørene vurderes også som svært pålitelige og presise med hensyn til tiden for omsetning. Heller ikke her kreves det noen sikkerhetsmal knyttet til eventuell prematur omsetning.

Nærhetsbrannrør er utstyrt med en enhet som måler avstanden til bakken og er ment å bli utløst 5 – 10 m over bakken. De brukes vanligvis kun på sprenggranater, men kan teknisk sett også brukes på røykgranater. Siden triggesignalet er elektronisk er det vurdert som mindre sikkert enn anslagsbrannrør. Det skal være observert prematur omsetning ved at granater har gått inn i områder med kraftig nedbør. Det kreves derfor at sikkerhetsmalen for slike brannrør dekker hele banens lengde.

Det er neppe noe stort behov for å skyte med nærhetsbrannrør på lange avstander. Granatens rekkevidde og presisjon testes både bedre og billigere med spissdetonerende brannrør. Test av

brannrørets evne til å tåle de kraftige mekaniske og termiske påkjenningene ved skyting med høy munningshastighet kan utføres med lav elevasjon og dermed innenfor en rekkevidde som skytefeltene kan romme.

Sikkerhetsmalen under banen til en sprenggranat med nærhetsbrannrør bør gå 600 m til siden for banens projeksjon mot bakken.

Artilleriet vurderes i utgangspunktet som ikke å utgjøre noen risiko mot sivil grunn, men i likhet med håndvåpen kan man se for seg at mindre deler av sikkerhetsmalen kommer utenfor skytefeltets grenser.

4.3 Stridsvognskanon

En stridsvognskanon er ment å bli brukt på avstander inntil 5 km i en direkte modus. Det kan imidlertid være aktuelt å bruke stridsvognen i en «artilleri»-modus ved at det skytes sprengammunisjon (NM253) mot mål på inntil 10 – 12 km forutsatt at man har fri sikt til målet. Effektiviteten kan imidlertid bli svært lav.

Forutsatt at de skytetekniske reglene blir fulgt utgjør skyting med stridsvogn ingen trussel mot sivile områder. Visse typer ammunisjon har imidlertid svært store sikkerhetsmaler. Da blir til gjengjeld sannsynlighetstettheten innenfor malen svært lav. Det kan vise seg at skyting med slike maler lar seg forsvare selv om betydelige deler av malen havner utenfor feltets grenser.

4.4 Flybomber

Flybomber, som ofte er utstyrt med en form for styring, utgjør en spesiell utfordring. Man vil ofte ha behov for å gjøre øvinger med slipp fra stor høyde, for å unngå i strid å komme innenfor rekkevidden av luftvern. For slike bomber, og for andre styrte missiler, vil man ofte ha en viss risiko for at styresystemet låser seg i en vilkårlig posisjon hvilket induserer en viss svingradius som kan føre bomben på avveie. Dette avviket vil selvsagt øke med hvor lenge en slik fastlåsing varer, men dess lenger fallet varer dess større kan avviket bli.

Det er lite som tyder på at den normalfordelte risikotettheten som ble skissert i kapittel 3 ikke skulle gjelde også for flybomber. Sannsynligheten for at en bombe skal havne ut mot grensen av sikkerhetsmalen er svært lav. For skarpe bomber vil imidlertid sårbarhetsarealet kunne bli stort.

De bomber som Luftforsvaret har og kan øve med er

- GBU-12 Paveway II, basert på Mk82 500 lbs GP-bombe
- GBU-31 JDAM, basert på Mk84 2000 lbs GP-bombe
- GBU-54 LJDAM, basert på Mk82, laserstyrt

Disse typene finnes visstnok også i en inert utgave.

4.5 Hellfire

Hellfire er et missil som disponeres av Kystjegerkommandoen i Sjøforsvaret. Det er rakettdrevet og heimer mot et mål som belyses av en laser. Belyseren kan være adskilt fra skytteren og er gjerne plassert nærmere målet. Den operative rekkevidden er 8 km, men missilet kan nå helt ut til 13 km dersom det mister målfatningen i stor høyde – inntil 600 m over standplass. Sikkerhetsmalen er veldefinert og basert på sannsynlighetsbetraktninger av leverandøren.

4.6 Missiler

Dette er en heterogen klasse som omfatter f. eks panserbekjempende missiler, luft-til-luft-våpen, lutvernåpen, sjø-til-sjø-våpen og luft-til-sjø-våpen. Dette er dyre enheter og øving med skarpe missiler gjøres i begrenset grad og under svært kontrollerte forhold. Det meste av treningen av operatører foregår derfor med simulatorer.

En del slike våpen har visstnok aldri blitt skutt på norsk jord, men i store skytefelt i utlandet, som f. eks. Vidsel skjutfelt i Sverige og White Sands Test Range i USA.

Ved eventuell skyting må de samme prinsipper legges til grunn som diskutert ovenfor.

5 Blindgjengerfaren

Ammunisjon med eksplosivt eller pyroteknisk innhold har potensial til å danne blindgjengere. Slik ammunisjon har et brannrør som armerer etter avfyring og som utløses etter en viss tid eller ved at det får føling med målet eller bakken.

Man bør utvise spesiell aktsomhet dersom det er risiko for at det kan bli liggende igjen en blindgjenger på sivil grunn. Dette kan framtvinge en ressurskrevende leteaksjon for å finne og deretter fjerne eller på annen måte nøytralisere objektet. En slik hendelse vil som regel skje når brannrøret ikke armeres eller det ikke utløses når det skal, og dertil rikesjetterer ved kontakt med bakken.

Som regel vil det være behov for å fjerne en blindgjenger på sivil grunn som fort som mulig. En blindgjenger som ikke blir fjernet kan bli liggende som en aktiv trussel i lang tid, gjerne i mange tiår.

I tillegg til de metoder som det er nevnt ovenfor, bør man da også vurdere følgende faktorer

- Hvor farlig vil en eventuell blindgjenger være? (fareklasse)
- Basert på erfaring, hva er sannsynligheten for at brannrøret ikke fungerer?
- Hvor krevende vil det være å finne og uskadeliggjøre blindgjengeren? Her må man ta hensyn til topografi, vegetasjon og grunnforhold.
- Hva er omfanget av den sivile ferdselen i området?

Noen av disse faktorene er av en slik art at det er vanskelig å gjøre kvantitative risikovurderinger.

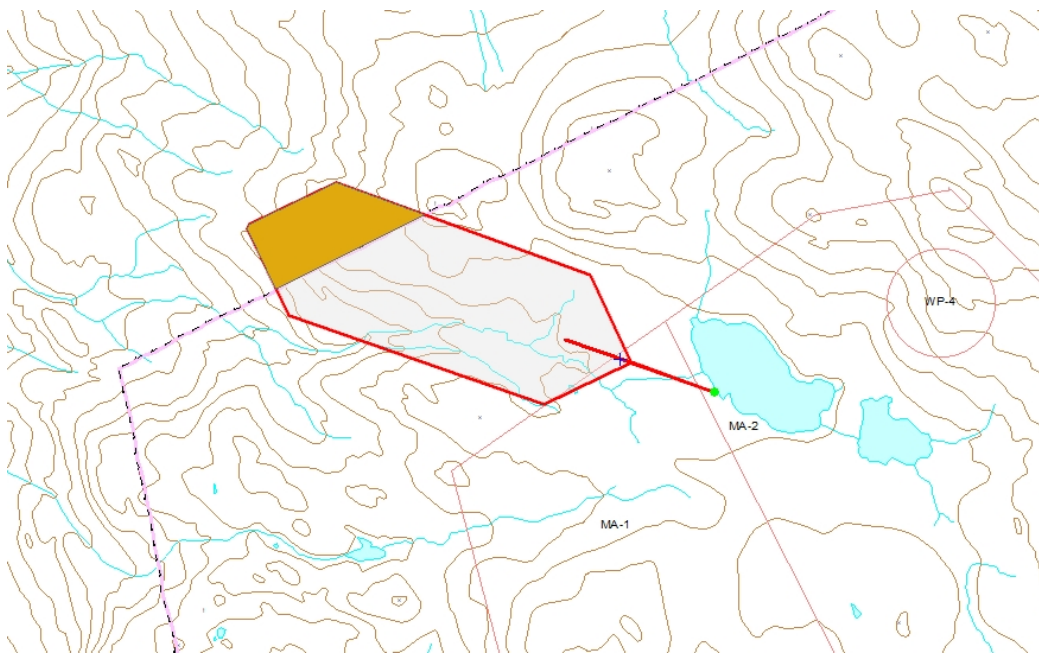
Ved en regulær overskyting av sivil grunn med eksplosivholdig eller pyroteknisk ammunisjon vil det ikke være noen blindgjengerfare. Ved en eventuell prematur omsetning av ammunisjonen vil kun inerte fragmenter bli liggende på bakken.

6 Beregning av risiko ved hjelp av WDATools

WDATools er en tilleggsmodul til kartverktøyet ArcGIS fra Esri, utviklet av FFI. Programmet beregner og tegner sikkerhetsmaler i ArcGIS. Det er en mulighet for å gjør beregninger i tråd med det som er diskutert ovenfor ved hjelp av dette kartverktøyet. Det må da gjøres en mindre utviklingsjobb. Noen muligheter er:

Punktvis risiko: Ved å klikke på et sted innenfor malen, kan man få opp individuell risiko på stedet, når man kjenner det sårbare arealet og antall skudd pr. år. Det sårbare arealet kan variere med avstanden fra målet når det gjelder direkte treff av rikosjetter, og kan legges inn i modellen. Det sårbare arealet fra fragmenter i tilfelle granater kan også forhåndsprogrammeres. Ved å spesifisere befolkningstetthet kan også kollektiv risiko beregnes.

Områdevis risiko: I de tilfeller hvor sikkerhetsmalen stikker utenfor skytefeltet, kan maksimal eller gjennomsnittlig individuell risiko beregnes i dette området. En mulighet er å fargelegge delene av området etter risikonivå, eksempel i Figur 6.1



Figur 6.1 Tenkt eksempel på hvordan WDATools kan fargelegge et fareområde utenfor skytefeltet i henhold til risikonivå.

7 Diskusjon og anbefalinger

Spørsmålet som indirekte reises av tittelen på denne rapporten er hvorvidt overskyting av sivil grunn er forsvarlig. Vi har valgt å tolke dette noe videre som om spørsmålet var hvorvidt det er forsvarlig at deler av sikkerhetsmalen blir liggende over sivil grunn. I realiteten er disse spørsmålene ganske ekvivalente.

Når det gjelder en ekte overskyting, dvs. at prosjektilet beveger seg over sivil grunn på sin vei mot målet, må dette anses som trygt der hvor marken under banen ikke inngår i sikkerhetsmalen. I motsatt fall, og det vil gjelde de fleste våpentyper, vil en risiko være til stede. Imidlertid vil det som regel være ganske likefram å kvantifisere risikoen i slike tilfeller.

Det er mer komplisert å vurdere risikoen når de fjernere delene av malen blir liggende på sivil grunn. En slik problemstilling vil kunne komme opp når man har fått et våpen med forbedret ytelse og at skytefeltet utstrekning er for snau i forhold til dette. I slike tilfeller vil det alltid være områder nær sikkerhetsmalens ytterkant som blir liggende utenfor feltets grenser.

I de fleste tilfeller vil de ytre delene av malen skyldes faren for rikosjetter. For prosjektiler som normalt ikke genererer rikosjetter, f.eks. bombekastergranater, vil ytterkanten også kunne omfatte direkte treff, eventuelt treff av fragmenter.

I denne rapporten har vi etablert en metode for å estimere en kvantitativ risiko ved at deler av malen ligger utenfor feltet. Metoden baserer seg på at sannsynligheten for at et prosjektil, eller deler av det, skal havne i en gitt posisjon innenfor malen ikke er homogent fordelt, men blir stadig mindre når man beveger seg fra siktepunktet og utover mot periferien av malen. Utgangspunktet er at det er en viss, om enn svært liten, sannsynlighet for at et gitt prosjektil skal havne utenfor malen. I tråd med amerikanske og andre lands normer, anser man at kun ett av en million prosjektiler havner utenfor malen og at dette er en konservativt anslag. Dette innebærer at risikoen for at noe kan havne utenfor malen er overvurdert. Dermed vil vår metode overvurdere risikoen i de ytre delene av malen. Dette har imidlertid den konsekvens at risikoen i de sentralene delene av malen blir tilsvarende undervurdert. Imidlertid anses det som ganske uaktuelt at sentrale deler av malen blir liggende over sivil grunn.

Metoden muliggjør en beregning av den totale risikoen forbundet med å ha én eller flere sårbare sivile objekter innenfor malen. Objektene må karakteriseres ved en posisjon og et sårbarhetsareal. Sistnevnte er ikke nødvendigvis det samme som målets fysiske areal, men kan beregnes med vedtatte algoritmer. Metoden tar også hensyn til antall skudd som blir avfyrt i løpet av en øvelse. Dersom sårbare objekter beveger seg eller kun oppholder seg innenfor malen i deler av øvelsens varighet, kan dette også tas hensyn til.

Rapporten gjør rede for hvordan den nevnte metoden for risikoberegning kan implementeres i WDA-tools. Dersom man anser at slike risikovurderinger å bli hyppig etterspurt anbefales det at et slik implementasjon blir gjennomført.

Den metoden vi har redegjort for i denne rapporten er imidlertid et steg i retning av probabilistiske maler, men uten å rokke ved prinsippene for de gjeldende malene.

Vi har i denne rapporten ikke tatt til orde for å revidere det nåværende settet av sikkerhetsmaler med et sett basert på såkalte probabilistiske metoder. Slike metoder er gjort rede for i dokumentet ARSP-02 Vol III (Allied Range Safety Paper) tilknyttet STANAG 2240. Her blir hver komponent i malen forbundet med en viss sannsynlighetsfordeling som til slutt samles i en total fordeling. Slike metoder har potensial til å krympe sikkerhetsmalene i betydelig grad. Imidlertid kan det å skaffe tilveie de nødvendige data for å gjennomføre dette kreve ganske store ressurser, ikke minst i form av nøye registrerte testskytinger.

Skyting med ammunisjon som bringer med seg eksplosivt eller pyroteknisk innhold innebærer en risiko for at ammunisjon kan bli liggende igjen som en blindgjenger. Man bør så langt det er mulig unngå at dette skjer på sivil grunn.

I tillegg til disse vurderingene har vi også foretatt en evaluering av hva som anses som akseptabel risiko ut fra ulike kriterier, basert på internasjonale publikasjoner. Det synes å herske utbredt enighet om at en årlig risiko på 10^{-6} eller mindre er akseptabelt for 3. personer. I Forsvaret har vi inntil nå brukt en årlig risiko på $2 \cdot 10^{-7}$ som kriterium. Dette kriteriet har sin bakgrunn i risikoen forbundet med å bo nærheten av et ammunisjonslager, dvs. det gjelder skader på et bolighus og dermed risikoen for en eller flere av beboerne kan bli skadet. Med en slik tolkning er det godt samsvar mellom de to nevnte kriteriene fordi risikoen at flere enn én person blir rammet må være en del lavere enn for en enkeltperson.

Hovedanbefalingen blir at risikovurderinger i samband med at sikkerhetsmalen blir liggende over sivil grunn baserer seg på de metoder og kriterier framhevet i denne rapporten.

Vedlegg

A **Metode for å anslå risikoen ved å oppholde seg innenfor sikkerhetsmalen**

De sikkerhetsmaler som brukes ved ulike former for skyting inneholder forskjellige komponenter. Noen av disse bygger på et solid teoretisk og empirisk grunnlag, men noen er også mer skjønnsbaserte hvor det empiriske grunnlag er usikkert. For disse har man valgt å bruke konservative prinsipper slik at man ikke risikerer å undervurdere risikonivået. Som vist i hovedteksten, kan man med enkle overslag vise at det å oppholde seg innenfor visse deler av sikkerhetsmalen er forbundet med en risiko som i aller fleste sammenhenger vil betraktes som akseptabel.

Den foreliggende rapporten har vist at det er et behov for kunne gjøre en grov beregning av hvordan risikoen er fordelt inne i malen. Med et til dels usikkert grunnlag for sikkerhetsmalen, kan man heller ikke forvente av en slik beregning kan bli annet en usikker, men de konservative prinsippene som malen bygger på vil også, stort sett, gi beregningen et ganske trygt preg.

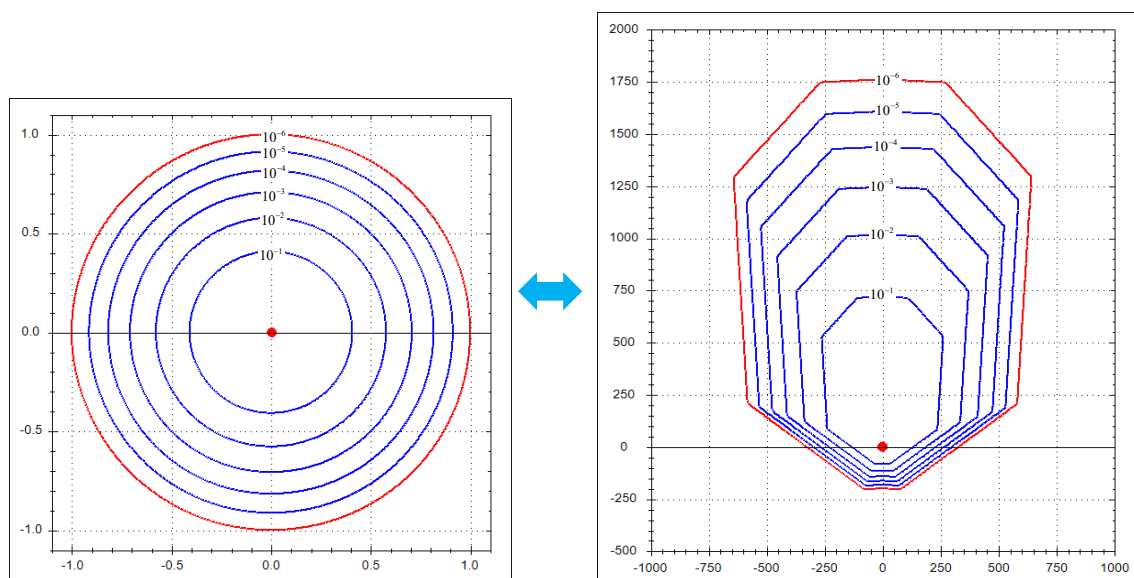
Vi tar som utgangspunkt at sikkerhetsmalen har en norm på 10^{-6} , dvs. at ett av 1 million skudd havner utenfor malen. Det området i malen hvor det er forbundet med størst fare å oppholde seg i må antas å være målområdet, eller nært siktepunktet for våpenet. Beveger man seg fra dette punktet og i en rett linje utover mot periferien av malen, vil risikoen hele tiden avta. Siktepunktet vil generelt ikke ligge midt i malen. Avstanden fra siktepunktet og til periferien er derfor svært avhengig av hvilken retning man går i. Går man i en retning bort fra standplass blir som regel strekningen lang og reduksjonen av risikoen går sakte. Går man i en retning som delvis er mot standplass kan denne strekningen bli kort og risikoen øker raskt.

Flere av de komponentene, som sikkerhetsmalen er sammensatt av, bygger på normalfordelinger. Noen komponenter kjenner vi ikke fordelingen av, men det er ikke urimelig å anta at også de er noenlunde normalfordelte. Dette medfører at risikoen langs en rett linje fra siktepunkt til randa, eller periferien, følger en normalfordeling.

Oppgaven blir å bestemme hvordan sannsynlighetstettheten (risiko per areal og per skudd) varierer langs en slik linje, dvs. sannsynlighetstettheten i et hvert punkt inni malen.

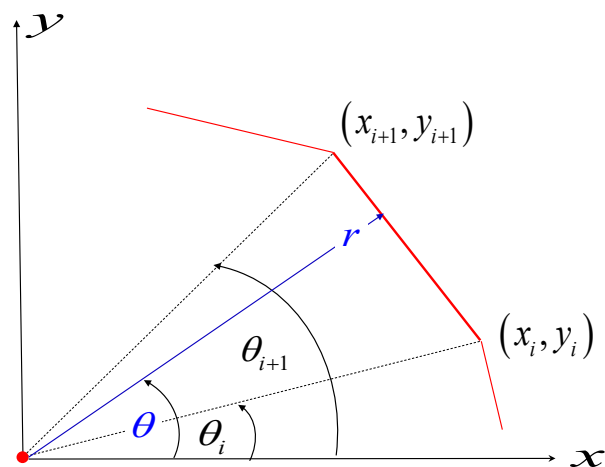
En sikkerhetsmal er en relativt komplisert geometrisk figur. For å lette på forståelsen kan vi tenke oss en mal som er sirkulær og hvor siktepunktet er sentrum i sirkelen. Denne malen kan også ha en risikonorm slik som en reell mal. Hvis vi sidestiller den sirkulære malen med en reell mal (se Figur A.1 nedenfor), må det finnes en matematisk transformasjonsfunksjon

(avbildningsfunksjon) $(\tilde{r}, \tilde{\theta}) \xrightarrow{f} (r, \theta)$ som transformerer den sirkulære malen over til den reelle, og omvendt ved hjelp av den inverse funksjonen.



Figur A.1 Similariteten mellom en sirkulær mal og en reell mal.

Denne avbildningsfunksjonen kan lages på følgende måte: Det forutsettes at malen er «stjernekonveks» ut fra siktepunktet, dvs. alle linjestykker fra siktepunktet til randa ligger innenfor malen.



Figur A.2 Skisse av hvordan malens rand kan beskrives ved retning θ og radius r gitt koordinatene til hjørnepunktene.

I transformasjonen beholdes retningen θ som den er, mens radius 1 på sirkelen avbildes til radius r på malens periferi. Transformasjonen må nødvendigvis defineres stykkevis.

For en retning $\theta \in [\theta_i, \theta_{i+1}]$ er radius $R(\theta)$ til malens rand gitt ved

$$R(\theta) = \frac{y_i(x_{i+1} - x_i) - x_i(y_{i+1} - y_i)}{(x_{i+1} - x_i)\sin\theta - (y_{i+1} - y_i)\cos\theta} \quad (\text{A.1})$$

der (x_i, y_i) er punktene som definerer malens rand, og θ_i retningen til punktet i forhold til x -aksen.

Andre sirkler med (dimensjonsløs) radius $\tilde{r}$ mindre enn 1 avbildes proporsjonalt, slik at transformasjonen fra sirkelmal til reell mal blir

$\begin{cases} r(\tilde{r}, \tilde{\theta}) = \tilde{r} \cdot R(\tilde{\theta}) \\ \theta = \tilde{\theta} \end{cases} \quad \text{med invers}$	$\begin{cases} \tilde{r} = \frac{r}{R} \\ \tilde{\theta} = \theta \end{cases}$	(A.2)
---	--	-------

der $\theta \in [\theta_i, \theta_{i+1}]$, og $R(\theta)$ er radius fra målet til randa og er gitt ved (A.1).

Den sirkulære mal er enkel å beskrive matematisk. Vi antar at normalfordelingen gjelder både i x - og y -retning med samme standardavvik $\tilde{\sigma}$ (dimensjonsløs). Dersom vi bruker polarkoordinater med (dimensjonsløs) avstand $\tilde{r}$ fra sentrum som parameter vil sannsynlighetstettheten for at et skudd havner i en avstand $\tilde{r}$ være gitt av en Rayleigh-fordeling:

$$p(\tilde{r}) = \frac{\tilde{r}}{\tilde{\sigma}^2} \exp\left(-\frac{\tilde{r}^2}{2\tilde{\sigma}^2}\right) \quad (\text{A.3})$$

Standardavviket i fordelingen, $\tilde{\sigma}$, kan bestemmes ut fra normen. Den kumulative sannsynligheten på enhets-sirkelen kan da uttrykkes som:

$$F(1; \tilde{\sigma}) = 1 - \exp\left(-\frac{1^2}{2\tilde{\sigma}^2}\right) = 1 - 10^{-6} \quad (\text{A.4})$$

Dette gir

$$\tilde{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2 \ln(10^6)}} \approx 0,19 \quad (\text{A.5})$$

Likning (A.3) ga oss en sannsynlighet per lengde langs sirkelens radius. For å finne punktsannsynligheten (sannsynlighetstettheten) må vi dividere med omkretsen av den sirkelen som går gjennom punktet, hvilket gir:

$$p(\tilde{r}, \theta) = \frac{1}{2\pi\tilde{\sigma}^2} \exp\left(-\frac{\tilde{r}^2}{2\tilde{\sigma}^2}\right) \quad (\text{A.6})$$

θ er her en vinkel sett fra sentrum (siktepunktet), men siden fordelingen er sirkulær er sannsynligheten uavhengig av θ .

Sannsynligheten for at skuddet skal havne innen et lite areal $d\tilde{A}$, rundt punktet $(\tilde{r}, \theta)$ i sirkelmalen blir da

$$p(\tilde{r}, \theta; d\tilde{A}) = \frac{d\tilde{A}}{2\pi\tilde{\sigma}^2} \exp\left(-\frac{\tilde{r}^2}{2\tilde{\sigma}^2}\right) \quad (\text{A.7})$$

Vi kan nå transformere tilbake til den reelle malen og stille på en rett linje som går fra siktepunktet til periferien i en avstand r fra siktepunktet. Avstanden mellom siktepunktet og periferien kaller vi nå R , og R vil nå være avhengig av i hvilken retning man går i.

Arealet $d\tilde{A} = \tilde{r}d\theta d\tilde{r}$ transformerer til arealet dA ved

$$d\tilde{A} = \tilde{r}d\theta d\tilde{r} = \frac{r}{R}d\theta \frac{1}{R}dr = \frac{rd\theta dr}{R^2} = \frac{1}{R^2}dA \quad (\text{A.8})$$

Sannsynligheten for å treffe i tilsvarende areal dA i reell mal blir da:

$$p(r, \theta; dA) = \frac{dA}{2\pi\tilde{\sigma}^2 R^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\tilde{\sigma}^2 R^2}\right) \quad (\text{A.9})$$

Punktsannsynligheten (sannsynlighet pr. areal) blir dermed

$$p(r, \theta; R) = \frac{1}{2\pi\tilde{\sigma}^2} \frac{1}{R^2} \exp\left(-\frac{1}{2\tilde{\sigma}^2} \left(\frac{r}{R}\right)^2\right), \text{ der } R = R(\theta) \quad (\text{A.10})$$

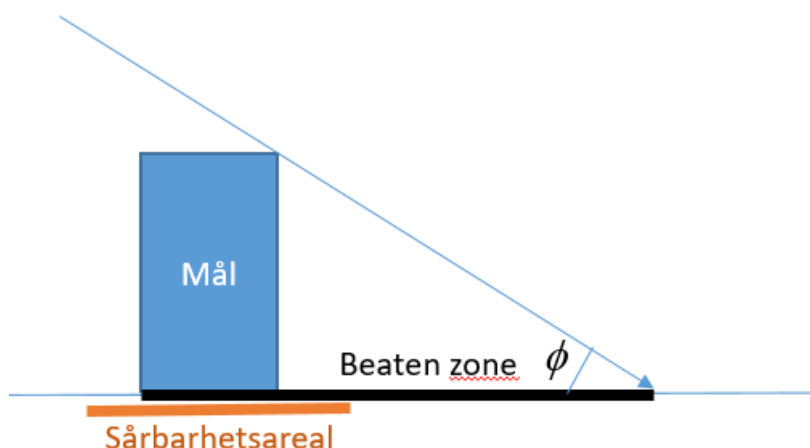
eller

$$p(r; R; \theta) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), \text{ der } R = R(\theta) \text{ og } \sigma = \tilde{\sigma}R \approx 0,19R \quad (\text{A.11})$$

En mulig svakhet med denne metoden er at vi trolig overvurderer risikoen i de ytre delene av malen. Dette antas i særlig grad å gjelde den bortre halvdel av malen. Fordi det er en viss sannsynlighet for at et skudd havner innenfor malen vil en overvurdering av risikoen i en del føre til en undervurdering i en annen del. Undervurderingen vil derfor trolig være nært siktepunktet og i særdeleshet mellom standplass og siktepunkt ved bruk av direkteskytende våpen. Med den problemstillingen som gjelder for denne rapporten, anses disse områdene som irrelevante fordi det anses som utelukket at disse områdene blir liggende på sivil grunn

Sårbarheten av et objekt beskrives med et sårbarhetsareal som avhenger av flere forhold (se kapittel 3). I praksis vil det alltid være slik at dette arealet er mye mindre enn arealet av malen. Den lineære dimensjonen er som regel også mye mindre enn lengden R. Ett unntak er her området mellom standplass og siktepunkt, i de tilfeller hvor malen starter i standplass, men som nevnt ovenfor er dette området mindre relevant. Disse antakelsene gjør at vi kan betrakte sannsynlighetstettheten som konstant innenfor det aktuelle arealet.

Det kan imidlertid være behov for å benytte et areal som er større enn det nominelle sårbarhetsarealet i formelen. Siden målet også har en utstrekning i horisontal retning, kan skade oppnås selv om prosjektilet vil falle ned utenfor sårbarhetsarealet. Det er tilstrekkelig å treffe innenfor den «skyggen» som målet danner, sett i prosjektilets bevegelsesretning. Dette kalles «beaten zone» blant skarpskyttere. Dette er vist i figur A.2 og gjelder i særdeleshet for flatbanevåpen. Imidlertid er de områdene som gir mulighet for direkte treff mindre relevante. I denne sammenhengen er det treff av rikosjetter som gjelder. Rikosjetter kan ha et vidt spekter av nedslagsvinkler, og generelt vil fallvinkelen være større dess lenger ut mot periferien man kommer. Arealet av «beaten zone» kan uttrykkes som det sårbare arealet dividert med sinus til fallvinkelen. Ved en fallvinkel på 30° får man dermed en fordobling av arealet.



Figur A.2 Illustrasjon av «beaten zone»

Dette begrepet, hvor man tar hensyn til fallvinkelen, gjelder kun for inerte prosjektiler. Dersom risikoen skyldes splintdannende granater gjelder sårbarhetsarealet på vanlig måte.

Referanser

1. "Statistikkbanken tabell 7902," utg: Statistisk Sentralbyrå, 2020.
2. P. H. Bottelberghs, "Risk analysis and safety development in the Netherlands," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 71, ss. 59-84, 2000.
3. S. N. Jonkman, A. J. M. van Gelder, og J. K. Vrijling, "An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage," *Journal of Hazardous Materials*, ss. 1-30, 2003.
4. "Risk and emergency preparedness analysis," utg: NORSOK Standard Z-013, Rev 3, 2010.
5. R. B. Jongejan, S. H. Jonkman, T. Aven, og B. J. M. Ale, "Propositions for using risk acceptance criteria," *International Journal for Business Continuity and Risk Management*, vol. 2, ss. 79-90, 2011.
6. R. Dines, "Definition of acceptable risk criteria – Applicable to hazardous operations at Andøya Space Center," Andøya Space Center Document no. 17/29-156/17-601/MHL, Issue 1.1, 2017.
7. "Approved methods and algorithms for DoD risk-based explosives siting," Department of Defense Explosives Safety Board, Alexandria, VA, Technical Paper no. 14, rev 4, 2009.
8. D A Carter; The Scaled Risk Integral, Proceedings of the 8th International Symposium on Loss Prevention & Safety Promotion in the Process Industries, Antwerp, Elsevier Science, 1995

About FFI

The Norwegian Defence Research Establishment (FFI) was founded 11th of April 1946. It is organised as an administrative agency subordinate to the Ministry of Defence.

FFI's MISSION

FFI is the prime institution responsible for defence related research in Norway. Its principal mission is to carry out research and development to meet the requirements of the Armed Forces. FFI has the role of chief adviser to the political and military leadership. In particular, the institute shall focus on aspects of the development in science and technology that can influence our security policy or defence planning.

FFI's VISION

FFI turns knowledge and ideas into an efficient defence.

FFI's CHARACTERISTICS

Creative, daring, broad-minded and responsible.

Om FFI

Forsvarets forskningsinstitutt ble etablert 11. april 1946. Instituttet er organisert som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter underlagt Forsvarsdepartementet.

FFIs FORMÅL

Forsvarets forskningsinstitutt er Forsvarets sentrale forskningsinstitusjon og har som formål å drive forskning og utvikling for Forsvarets behov. Videre er FFI rådgiver overfor Forsvarets strategiske ledelse. Spesielt skal instituttet følge opp trekk ved vitenskapelig og militærteknisk utvikling som kan påvirke forutsetningene for sikkerhetspolitikken eller forsvarsplanleggingen.

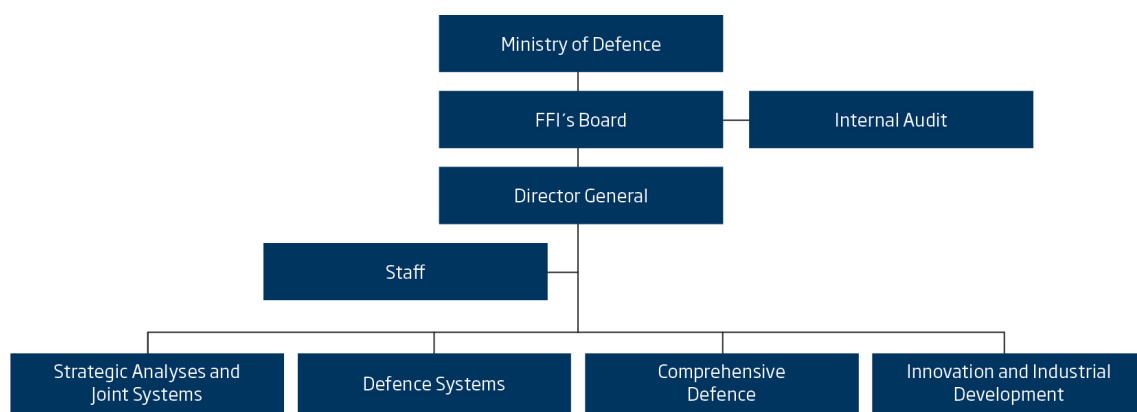
FFIs VISJON

FFI gjør kunnskap og ideer til et effektivt forsvar.

FFIs VERDIER

Skapende, drivende, vidsynt og ansvarlig.

FFI's organisation



Forsvarets forskningsinstitutt
Postboks 25
2027 Kjeller

Besøksadresse:
Instituttveien 20
2007 Kjeller

Telefon: 63 80 70 00
Telefaks: 63 80 71 15
Epost: ffi@ffi.no

Norwegian Defence Research Establishment (FFI)
P.O. Box 25
NO-2027 Kjeller

Office address:
Instituttveien 20
N-2007 Kjeller

Telephone: +47 63 80 70 00
Telefax: +47 63 80 71 15
Email: ffi@ffi.no