



FFI Forsvarets
forskningsinstitutt

22/00747

FFI-RAPPORT

Våpenvirksomheter og beskyttelse

– fortifikatoriske tiltak som del av helheten

Jo Hagness Kiran

Våpenvirksomheter og beskyttelse – fortifikatoriske tiltak som del av helheten

Jo Hagness Kiran

Emneord

Våpenvirkning

Beskyttelse

Fortifikasjon

FFI-rapport

22/00747

Prosjektnummer

1581

Elektronisk ISBN

978-82-464-3399-8

Engelsk tittel

Weapons effects and physical protection – Fortification as part of the bigger picture

Godkjennerne

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

I denne rapporten ser vi på rollen til fortifikatoriske tiltak som ledd i beskyttelsen av stasjonære objekter.

Beskyttelse av kritiske funksjoner er tiltak som har til hensikt å sørge for at funksjonen er tilgjengelig i tilfelle skade eller ødeleggelse. Dette kan være vidt forskjellige typer tiltak, og beskyttelse må da forstås som et system av tiltak som til sammen sikrer funksjonen. Tiltakenes hensikt og effekt avhenger av den antatte trusselen mot funksjonen. I denne rapporten fokuserer vi på fysiske tiltak, og især fortifikasjon.

Rapporten har til hensikt å gi leseren en grunnleggende oversikt over og forståelse av de ulike fysiske truslene et objekt kan bli utsatt for. Hovedfokuset er på stasjonære objekter, men en rekke av de trusler og beskyttelsesprinsipper som beskrives her, er også anvendbare på mobile objekter.

De ulike truslene kan produsere ulike våpenvirkninger. Rapporten tar for seg de viktigste våpenvirkningene og hvordan fortifikatoriske tiltak kan bidra til å redusere effekten av våpenvirkningene og dermed øke beskyttelsen av objektet.

Summary

Protection of critical objects are the sum of all measures taken to ensure the availability of a function in case of damage and/or destruction. There is a vast array of possible measure, and the total protection must be understood as a system of measures all contributing to the overall protection. Effective measures are determined by the assumed threat.

This report focuses on physical threats and countermeasures. It gives a brief overview of potential threats to stationary objects and associated weapons effects. Finally, the report describes how fortification as a countermeasure may reduce the effects of said threats, and how fortification plays a role in the overall protection of an object.

Innhold

Sammendrag	3
Summary	4
1 Innledning	7
2 Beskyttelse	8
2.1 Hva er beskyttelse?	8
2.2 Hva skal beskyttes?	8
2.3 Mulige beskyttelsestiltak	9
2.4 Helhetlig beskyttelse	16
3 Trusler	19
3.1 Våpentyper	20
3.2 Leveringsmetoder	26
4 Våpenvirkninger	32
4.1 Kinetisk energi	32
4.2 Trykk	33
4.3 Fragmenter	37
4.4 Varme	38
4.5 Radioaktiv stråling	38
4.6 Elektromagnetisk stråling	39
4.7 Biologiske trusselstoffer (sykdom)	40
4.8 Kjemiske trusselstoffer (forgiftning)	41
4.9 Hvilke våpen har hvilken virkning (oppsummering)	42
5 Effekten av fortifikatoriske tiltak	44
5.1 Kinetisk energi	44
5.2 Trykk	45
5.3 Grunnsjokk	45
5.4 Varme	46
5.5 Radioaktiv stråling	46
5.6 Elektromagnetisk stråling	48

5.7	Kjemiske og biologiske trusselstoffer	49
6	Konklusjon	50
	Referanser	51

1 Innledning

Fokuset på beskyttelse av Forsvaret verdier og funksjoner har fått et kraftig oppsving de siste årene. Økt spenning i det internasjonale sikkerhetspolitiske klimaet samt den teknologiske utviklingen har aktualisert behovet for beskyttelse av nasjonale verdier. Utviklingen av et nytt beskyttelseskonsept for Hæren og revisjonen av Forsvarssjefens fortifikasjonsdirektiv er eksempler på dette.

Beskyttelse kan være så mangt, og som vi skal vise i dette notatet må beskyttelsen av en funksjon veies opp mot funksjonens verdi, trussel og økonomi. Ulike trusler fordrer ulike beskyttelsesløsninger. I de aller fleste tilfeller må det en kombinasjon av ulike tiltak til for å oppnå et tilfredsstillende beskyttelsesnivå. Et av disse tiltakene kan være fortifikasjon.

Forsvarsbygg er det ledende kompetansemiljøet innenfor fortifikasjon i Norge. Etter avslutningen av den kalde krigen sank interessen for fortifikasjon i Forsvaret, og fagfeltet har i mange år blitt nedprioritert. De senere årene har fortifikasjon derimot kommet på dagsordenen igjen. Revisjonen av Forsvarssjefens fortifikasjonsdirektiv var starten på en revitalisering av fagfeltet. Forsvarsbygg jobber tett med Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI) for å videreutvikle fortifikasjon som fagfelt, og i den forbindelse har FFI blitt bedt om bistand til å danne grunnlaget for revitaliseringen.

I FFI-notat 20/03007 «Beskyttelse vs. fortifikasjon – sammenheng og forskjeller» [1] definerte vi begrepene beskyttelse og fortifikasjon og så på hvordan fortifikasjon som et beskyttelsestiltak passer inn i helheten. I dette notatet går vi mer i detalj på de trusler og våpenvirkninger som må tas høyde for når man vurderer beskyttelsestiltak, og hvordan fortifikasjon kan bidra i den totale beskyttelsen av en funksjon.

2 Beskyttelse

Å søke beskyttelse er en iboende egenskap i oss mennesker. Vi søker ly fra vær og vind, og vi søker trygghet i grupper. Beskyttelse mot de farer som truer, være seg naturkreftene eller andre eksterne krefter, har alltid vært en drivkraft i menneskets natur.

Beskyttelse kan ta mange former, og som vi skal se i dette kapittelet er det mange måter man kan beskytte personell, et objekt eller en funksjon på. Forskjellige beskyttelsestiltak har til hensikt å redusere effekten av ulike trusler, og summen av tiltakene vil utgjøre det oppnådde beskyttelsesnivået.

Dette kapittelet vil omhandle de grunnleggende prinsipper for beskyttelse og forskjellige militære beskyttelsestiltak samt gi en kort innføring i våpenvirkninger og hvordan beskyttelsestiltak kan redusere effekten av disse. Fokuset i slutten av kapittelet vil være på fortifikasjon.

2.1 Hva er beskyttelse?

De aller fleste har en personlig oppfatning av hva beskyttelse er. Beskyttelse kan ta mange former, for eksempel; et sted å bo som gir beskyttelse mot vær og vind, en fungerende samfunnsstruktur som beskytter mot kriminalitet og utenforstående krefter, og forsikring som gir en økonomisk beskyttelse i tilfelle ulykker eller tyveri. Vi søker alle beskyttelse i varierende grad, noen ønsker mer beskyttelse, mens andre er villige til å ta større risiko. Graden av akseptabel risiko varierer, både når vi vurderer personlig risiko og når vi ser på kollektiv risiko.

Selv om vi har en forståelse av hva beskyttelse er, er det nødvendig å definere begrepet i mer detalj for vår applikasjon. Å beskytte er ifølge bokmålsordboka *«å forhindre at noe eller noen blir skadet, mistet eller lignende.»* Beskyttelse er med andre ord tiltak eller handlinger vi foretar oss for å forhindre at noe eller noen blir skadet.

2.2 Hva skal beskyttes?

Definisjonen er relativt rundhåndet når det gjelder hva som skal beskyttes. Vi kan alle være enige om at «noen» refererer til personer, og visse tilfeller dyr, men hva legger vi i «noe»? Vi må her huske på at vi snakker om beskyttelse i militær sammenheng. «Noen» i dette tilfelle er dermed personell som utfører en oppgave for Forsvaret. I denne sammenheng må altså «noe» være noe som også utfører en oppgave for Forsvaret. Spørsmålet blir da: Er det dette «noe» som skal beskyttes eller er det utførelsen av oppgaven som skal beskyttes?

I visse tilfeller er det klart at det er dette «noe», eller objektet, som skal beskyttes. Enkelte objekter finnes det bare én av eller er så verdifulle at de må beskyttes. I andre tilfeller er det ikke så rett fram. Veldig ofte er det funksjonen objektet representerer som er viktig for Forsvaret. Det er kampflyenes evne til luftherredømme og maktprojisering som er viktig, ikke flyene selv. Det

er fregattenes overvåking og patruljering av kystområdene som er funksjonen Forsvaret etterspør. Og det er FOHs evne til å lede og koordinere Forsvaret i strid som er viktig, ikke nødvendigvis lokalene på Reitan. Dette er et meget viktig poeng å ha i bakhodet når behovet for beskyttelse og ulike tiltak skal vurderes.

Tenk på de ulike beskyttelsestiltak vi omgås med i det daglige. Svært ofte innfører vi tiltak som har til hensikt å beskytte en funksjon knyttet til et objekt. En PC kan være beskyttet med anti-virus programvare og brannmur for å forhindre skade. Men det er ikke maskinvaren og det fysiske objektet kalt PC vi ønsker å beskytte, det er funksjonen PCen har, som for eksempel kan være å føre personlig regnskap eller skrive viktige dokumenter. Et annet beskyttelsestiltak er blant annet fjernlagring av innholdet på PCen og redundans. Feiler de øvrige beskyttelsestiltakene, og PCen slutter å virke, kan en annen PC benyttes med tilgang til det samme fjernlageret og arbeidet kan fortsette. Denne måten å frikoble funksjon fra det fysiske objektet er helt avgjørende for å sørge for en helhetlig beskyttelse, (se senere avsnitt).

I militær sammenheng er beskyttelse summen av tiltak som skal øke overlevelsessevnen til et objekt og sikre at objektets funksjon er operativ selv ved ytre påvirkning. Denne ytre påvirkningen kan komme i mange former; cyber-angrep, kriminalitet, sabotasje, etterretning og våpenvirkninger. I resten av dette kapittelet og spesielt i neste avsnitt skal vi se på hvilke våpenvirkninger moderne militære trusler har og hvordan de kan påføre skade. Vi begrenser oss her til å se på tradisjonelle våpen, og ekskluderer derfor cyber-trusselen.

2.3 Mulige beskyttelsestiltak

I starten av dette notatet definerte vi beskyttelse som tiltak eller handlinger vi foretar oss for å forhindre at noe eller noen blir skadet. Som vi har sett i de foregående kapitlene er det en rekke våpen som kan forårsake skade på en rekke forskjellige måter. Det er da åpenbart at de tiltak vi implementerer for å beskytte oss mot disse våpnene også må favne bredt. Enkelte tiltak kan naturligvis dekke en rekke ulike våpen, mens andre virker spesifikt på utvalgte våpenvirkninger eller våpentyper. Som vi skal senere er det sentralt at de beskyttelsestiltak som settes i verk dekker et bredt spekter og at de balanseres med tanke på de ulike trusslene.

I resten av dette kapittelet vil vi presentere ulike kategorier av beskyttelsestiltak. Det er valgt å holde fokus på beskyttelse i det fysiske og kognitive domenet. Beskyttelse i informasjonsdomenet betraktes som så spesielt at det må behandles separat. Oversikten over tiltak er ikke uttømmende, det vil si at det finnes tiltak innenfor andre kategorier som kan være relevante å implementere. Vi har også inkludert tiltak som i fortifikasjonsøyemed kan virke unaturlige. Dette er gjort for å illustrere at beskyttelsesprinsippene er allmenne, og ikke kun appliserbare til fortifikasjonsfeltet. Tiltakene beskrives overordnet. For en mer utfyllende behandling henvises det til Håndbok i våpenvirkninger – Temahefte 9 [2].

2.3.1 Hemmelighold

Hemmelighold betyr at operasjonsmønstre og dokumenter sikres mot fiendtlige forsøk på innsyn. Sikringen inkluderer prosedyremessig og teknisk beskyttelse av informasjon og informasjonenheter. Informasjonen som ønskes beskyttet, kan for eksempel bestå av operative instruksjoner, systembeskrivelser og kapasitetsangivelser. Avhengig av hvordan informasjonen som ønskes sikret er lagret, vil aktuelle tiltak inkludere:

- Fysisk sikring av områder hvor informasjon er lagret
- Autorisasjon av personell
- Emisjonskontroll ved overføring av informasjon (samband, kurér, etc.), dvs. tiltak som kryptering, rettede antenner og reduksjon av sendetid.

Tiltaket er nødvendig for å kunne ha nytte av de fleste andre typer beskyttelsestiltak.

2.3.2 Gruppering

Gruppering eller arrangement betyr at elementer i systemet eller avdelinger plasseres, grupperes eller deployeres innbyrdes slik at virkningene av et angrep reduseres i størst mulig grad. Tiltaket vil kunne redusere virkningen av et angrep, men kan i noen tilfeller øke sannsynligheten for lokalisering dersom utstrekningen til systemet eller avdelingen økes. Tiltaket vil ikke nødvendigvis kreve ekstra ressurser, og kan ved god planlegging ofte utføres enkelt.

Tiltaket kan også bidra til å lede virkningen av et våpentreff i ønsket retning, ved for eksempel å designe enkelte deler av anlegget eller systemet på en mindre robust måte. Eksempelvis kan dette være i form av såkalte «break away panels» i fartøyer. Dette har selvsagt nær tilknytning til og må vurderes sammen med fysisk beskyttelse.

2.3.3 Spredning

Spredning betyr at avdelingen, funksjonen eller systemet gjennom spredt gruppering gjør nedkjemping av hele funksjonen vanskelig om deler av avdelingen, funksjonen eller systemet lokaliseres, detekteres, identifiseres og utsettes for våpeninnsats. Tiltaket kan øke sannsynligheten for lokalisering, mens sannsynligheten for levering og treff kan avta. Ulempen er at utstrakt bruk av spredning kan gjøre kommando- og kontrollfunksjonen vanskeligere å utføre, samt at effekten av støttesystemer kan reduseres.

2.3.4 Skjerming

Skjerming betyr at avdelingen, funksjonen eller systemet skjules bak hindringer som reduserer fri sikt. Dette kan for eksempel være fysiske hindre, terrengoppbygging, røyk eller vanddamp. Skjerming reduserer muligheten for nøyaktig treff av målet og kan være effektivt mot presisjonsstyrte våpen. Det kan føre til at sannsynligheten for lokalisering og deteksjon øker.

Skjerming kan også benyttes for å initiere omsetting av våpen. En fysisk skjerm kan plasseres foran målet, med den hensikt å utløse et våpen som treffer skjermen slik at det går av før det treffer målet. Dette vil selvsagt føre til at våpen modifiseres til ikke å utløse ved første anslag, hvoretter en kan montere doble skjermer, osv.

2.3.5 Villedning

Villedning betyr at tiltak utføres for at motpartens beslutningstakere skal få feil inntrykk av våre militære kapasiteter, intensjoner og operasjoner, og derved ved sine beslutninger og tiltak bidra til å oppfylle våre mål. Villedningstiltak vil kunne lede fienden til å sette inn sin innsats mot fiktive kritiske punkter. Samtidig vil fienden kunne blottlegges for innsats fra reelle tyngdepunkter. Ulempen med villedningstiltak er at de kan kreve store ressurser.

2.3.6 Kamouflasje

Kamouflasje betyr at kontrasten mellom systemets og omgivelsenes signatur reduseres. Bruk av skjul og kunstige eller naturlige midler benyttes slik at de gir beskyttelse mot å bli oppdaget. Kamouflasjen skal i første rekke motvirke deteksjon av objekter, anlegg, personell eller virksomhet. Dessuten skal kamouflasje vanskeliggjøre lokalisering og identifisering av mål eller målområder for bekjemping. Kamouflasje vil videre kunne bidra til å oppnå overraskelse og styrke egen stridsmoral. Kamouflasjen må gi beskyttelse mot oppdagelse fra alle relevante fiendtlige plattformer.

Objekter, anlegg, personell eller virksomheter kan detekteres ved direkte eller indirekte observasjon. Med direkte observasjon menes umiddelbare sanseinntrykk, med eller uten bruk av tekniske hjelpemidler.

Det er i hovedsak optiske og akustiske signaturer som gir bidrag til deteksjon ved direkte observasjon. Optiske og elektrooptiske tekniske hjelpemidler inkluderer kikkert, lysforsterkningsutstyr, infrarøde sikte- og deteksjonsmidler, og TV-kamera.

Ved indirekte observasjon innhentes opplysninger hovedsakelig ved hjelp av ulike former for lagret informasjon. Fotografi (vanlig, infrarød, ultrafiolett eller multispektral) er et vanlig deteksjonsmiddel, i tillegg infrarødt kamera og radar. Radarplattform kan være bakke, fly eller satellitt. Øvrige tekniske hjelpemidler inkluderer laser, mikrobølge-radiometri og akustiske, magnetiske eller seismiske sensorer. Store områder kan dekket ved indirekte observasjon, og med fremtidig utvikling for satellittbåren radar vil både dekningstid og dekningsomfang være store.



Figur 2.1 Kamouflasje av kjøretøy. Foto: Eivind Strømman, FFI.

2.3.7 Narretiltak

Narretiltak betyr at systemets signatur etterlignes kunstig i sikker avstand for eventuelle våpenvirkninger. Dette gjør det vanskelig å skille det virkelige systemet fra narremålene. Det øker derimot sannsynligheten for lokalisering av området systemet ligger i. Elementene i narretiltak kan bestå av fysiske narreobjekter, røyk, spor, varme, lys, lyd, og radarreflekterende objekter. Narremål må gis samme signaturegenskaper som det virkelige målet, i form av egenemittert eller reflektert lys, varme og elektromagnetisk energi. Narremål må også gi inntrykk av å være i kontinuerlig drift, og også følge stridsutviklingen til det virkelige målet. Narremålene må ses i sammenheng med de virkelige målene, med samme kamouflasjenivå. Utførelsen av kamouflasjen må være slik at narremålet er mer eller like attraktivt for angriperen som det virkelige målet.

Hensikten med narretiltak er å villedde fienden slik at han bruker sine egne våpen og retter sine styrker mot ubesatte områder, slik at vår handlefrihet bevares. Videre er hensikten å vinne tid og sikkerhet til våre operasjoner ved at fiendtlig etterretning vanskeliggjøres, samt å villedde fienden når det gjelder våre avdelingers størrelse, sammensetning og operasjoner slik at vår mulighet for overraskelse bevares. Et narretiltak skal bidra til en representasjon av det virkelige systemet på en slik måte at det er umulig for fienden å se forskjell på virkelig mål og narremål. Narremål er bare effektive når de ikke er kjent av fienden, og mobile narremål er av den grunn generelt av mer nytte enn faste. En må forvente at faste narremål blir oppdaget og identifisert, og derfor bør de først bygges ut ved beredskap eller krig. Med den våpentekniske utviklingen, og utviklingen på deteksjonssiden, blir det stadig vanskeligere å generere troverdige narremål, og for mange av de eksisterende typene narremål finnes det allerede teknologi for å skille disse fra de virkelige målene.



Figur 2.2 Narrekanon. Foto: Eivind Strømman, FFI.

2.3.8 Overvåking

Overvåking og varsling betyr at områder i luft, på og under havoverflaten, på bakken og eventuelt under bakken observeres systematisk ved hjelp av visuelle, elektroniske, fotografiske eller andre hjelpemidler i den hensikt å kunne detektere og eventuelt klassifisere fiendtlig aktivitet og varsle egne styrker om mulige trusler som kan oppstå. Tiltaket bidrar positivt i leddene levering og treff i hendelsesforløpet, mens det kan bidra negativt i leddene lokalisering og identifisering.



Figur 2.3 Soldat fra GSV. Kilde: Forsvarets digitale billedarkiv.

2.3.9 Mobilitet

Mobilitet kan være både et beskyttelsestiltak og et tiltak som for eksempel gir innsatsmulighet for ildkraft. Når mobiliteten benyttes som beskyttelsestiltak, betyr det at avdelingen, funksjonen eller systemet kan unngå bekjemping gjennom egen evne til forflytning/omgruppering ved lokalisering, deteksjon og identifisering. Dette forutsetter at man er i stand til å håndtere terreng, føre, og fiendens antimobilitetstiltak, og at flyttefrekvensen er høyere enn oppdateringsfrekvensen i fiendens beslutningssyklus for målvalg.

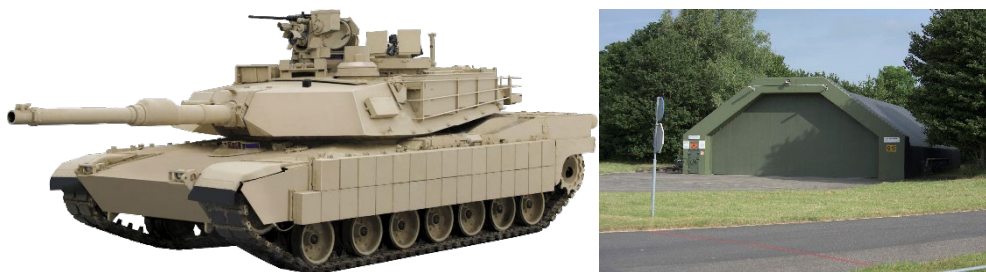
Med tanke på fortifikatoriske anlegg kan mobilitet synes å være et irrelevant tiltak. Det kan allikevel være et relevant element for en funksjon om det sees i sammenheng med redundans. Mobilitet av personell mellom forskjellige anlegg kan øke funksjonens overlevelsessevne ved å skape usikkerhet for fienden hvorvidt et anlegg er operativt eller ikke. Mobilitet er allikevel viktigere for mobile enheter som kjøretøy, fartøy og luftenheter.

2.3.10 Fysisk beskyttelse

Fysisk beskyttelse betyr at ulike grader av hardgjøring av installasjonen eller systemet etableres for å øke motstandsevnen mot bekjemping på den plass hvor installasjonen eller systemet befinner seg. Hardgjøring vil i denne sammenhengen ikke bare si fysiske tiltak som for eksempel pansring eller betong og fjell, men også tiltak som har effekt på andre våpenvirkninger enn penetrasjon og sprengvirkning. Beskyttelse mot ulike former for elektromagnetisk stråling er eksempel på dette.

For mobile systemer kan hardgjøringen bestå av pansring og/eller midlertidig nedgraving. For stasjonære funksjoner kan den bestå av fortifikatoriske anlegg/byggeteknisk beskyttelse. For semimobile systemer er det spesielt viktig at det er balanse i den totale beskyttelsen av stasjonære og mobile delsystemer. Dette gjelder også for beskyttelsen av mobile delsystemer som periodevis er stasjonære, eller stasjonære systemer som periodevis er mobile.

Den fysiske beskyttelsen må være balansert mot alle de ulike typer våpen som er sannsynlig satt inn mot et system. Beskyttelse mot tradisjonelle våpen som inneholder høyeksplosiver kan bestå av pansring eller annen type beskyttelse som har effekt mot trykk, penetrasjons-, og splintvirkninger. Det er også aktuelt å beskytte mot for eksempel brannstiftende våpen.



Figur 2.4 Eksempler på moderne fysisk beskyttelse. Venstre: mobil hardgjøring, høyre: stasjonær hardgjøring (fortifikasjon).

Beskyttelse mot FAE-våpen (Fuel Air Explosives) vil kreve ekstra tiltak for å hindre drivstoffskyen å trenge inn i og gjennom ventilasjonskanaler i både mobile systemer og stasjonære anlegg.

Så lenge den kjemiske og biologiske trusselen eksisterer, må beredskapen mot disse våpnene opprettholdes i takt med den militære utviklingen. Beskyttelse mot disse truslene krever opprettelse av kjemiske og biologisk beskyttede autonome soner, hvor personell i størst mulig grad utfører sine oppgaver, samt at luften alltid filtreres, og drikkevann renses. For personell krever disse truslene tiltak i form av personlig og kollektivt verneutstyr, samt en eventuell vaksinasjon.

Beskyttelse mot atomvåpen krever, i tillegg til tiltak mot trykkvirkning, radioaktiv stråling og varme, også tiltak for å begrense skade på materiell forårsaket av elektromagnetisk puls (EMP). Også andre typer såkalte radiofrekvente våpen, for eksempel av typen HPM (High Power Microwave), kan gi stor skade spesielt på elektronisk utstyr. Beskyttelsestiltak mot disse effektene kan være globale eller spesielt tilpasset for hver komponent. Komponenttilpasset beskyttelse kan for eksempel være skjerming av kabler eller bruk av metalliske kabinetter.

Global beskyttelse kan være fjelloverdekning, innblanding av metallpulver i betongkonstruksjoner eller bruk av metallfolier til bygningskonstruksjoner. Generelt vil det være mest kosteffektivt å inkludere slike beskyttelsestiltak allerede i planleggingsfasen av et anlegg eller system. Personell er i mindre grad utsatt for varig skade ved eksponering for EMP/HPM, men dette kan endre seg ved utviklingen av nye våpen.

2.3.11 Redundans

Redundans betyr at systemene har alternativer dersom delsystemer eller komponenter blir slått ut. Tiltaket har nær sammenheng med arrangement av delsystemer. Plasseringen av redundante systemer må ses i sammenheng med hvilke deler av systemet som kan være attraktiv eller mulig for en fiende å konsentrere innsats mot. Avhengig av scenario (operativt og teknisk) vil ulike deler av en funksjon være utsatt, og det er viktig å balansere plasseringen av de redundante delsystemene slik at det for de fleste scenarier vil eksistere et redundant system i et område som er mindre utsatt for treff av fiendtlige våpen. Sikker avstand er gitt som den avstanden de redundante systemene må separeres for å unngå at to eller flere slås ut av ett enkelttreff av et gitt våpen.

2.3.12 Reparasjonskapasitet

Reparasjonskapasitet betyr at avdelingen, funksjonen eller systemet gjennom egne ressurser (materiell og personell) gjenoppbygger hele eller deler av funksjonskapasiteten, dersom denne reduseres av en angriperes våpeninnsats.

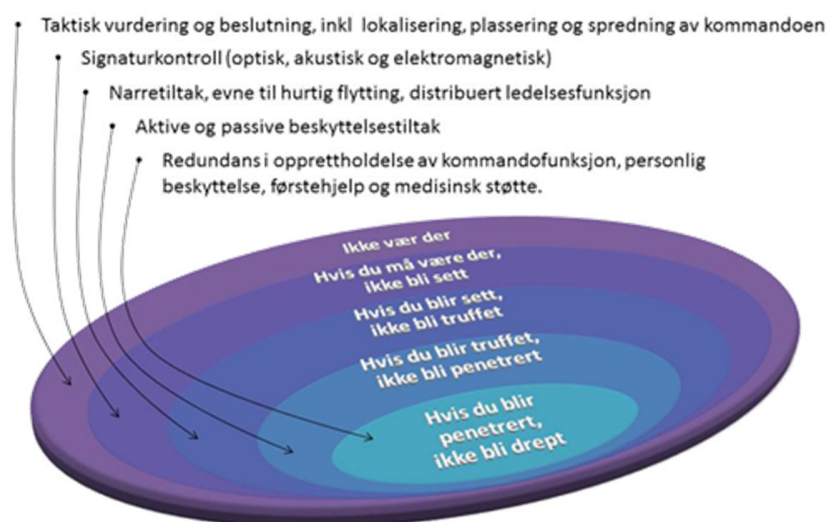
God reparasjonskapasitet forutsetter at tilstrekkelig logistikkstøtte er tilgjengelig, og logistikkstøtten må derfor koordineres med operasjonene, både i planlegging og utførelse. Enkelhet er også essensielt for å bidra til effektiv planlegging og utførelse av

logistikkoperasjoner. Samtidig må logistikkstøtten være fleksibel for å kunne bidra under endrede scenarier og situasjoner. Andre viktige egenskaper ved logistikkstøtten som fortløpende må tas hensyn til for at reparasjonskapasiteten kan fungere optimalt, er økonomi, oppnåelighet, utholdenhet og overlevelse.

2.4 Helhetlig beskyttelse

Tidligere definerte vi beskyttelse som «å forhindre at noe eller noen blir skadet, mistet eller lignende.» Det er klart at fortifikasjon, eller fysisk beskyttelse, ved hjelp av betong eller fjell kan forhindre skade fra visse våpenvirkninger, men som vi så i kapitlet om trusler og våpenvirkninger, er det en rekke effekter vi må ta høyde for. Fortifikasjon alene kan bare beskytte en funksjon til en viss grad. Det er gjennom kombinasjonen av ulike tiltak, som gjerne komplementerer hverandre, at man oppnår en fullgod eller tilfredsstillende beskyttelse. Dette er grunnen til å vi presenterte oversikten over tiltak i forrige kapittel.

En måte å visualisere kombinasjonen av tiltak til et system av systemer er ved hjelp av beskyttelsesløken, se figur 2.4. Beskyttelsesløken viser hvordan man kan bryte ned en funksjons totale beskyttelse i forskjellige lag. Denne illustrasjonen er gyldig for alle typer funksjoner som har behov for beskyttelse, og enkelte «lag» vil derfor ikke være anvendbare på stasjonære anlegg, slik som for eksempel evne til hurtig forflytning. Vi ser at beskyttelsen starter allerede lenge før et angrep forekommer, gjennom strategiske og taktiske vurdering rundt plassering av funksjonen. Deretter følger tiltak som reduserer sannsynligheten til å bli oppdaget, etterfulgt av narretiltak som skal forhindre treff. Først i figurens nest siste lag finner vi passive beskyttelsestiltak, slik som fysisk beskyttelse hvorav fortifikasjon er et tiltak. Merk at illustrasjonen ikke er uttømmende, det kan være lag og/eller tiltak som ikke er nevnt her. Som vi ser er en rekke av tiltakene beskrevet i forrige kapittel representert i figuren.



Figur 2.5 Beskyttelsesløken illustrerer prinsippet om lagvis beskyttelse.

Beskyttelsesløken viser at for at en trussel skal kunne bekjempe funksjonen, må den trenge gjennom flere og flere lag etter hvert som vi legger på flere beskyttelsestiltak. Ved å la tiltakene «virke» på ulike deler av trusselens virkemåte, slik som navigasjon, søker eller trykkvirkning, øker vi sannsynligheten for at trusselen ikke vil skade funksjonen vår. Hvordan disse lagene av beskyttelsestiltak bør bygges opp kan derimot være en komplisert prosess.

La oss tenke oss en kritisk funksjon for Forsvaret som skal beskyttes. For enkelhets skyld kan vi se for oss en enkel boks med gitte dimensjoner, som trenger tilførsel av strøm og kommunikasjon. Boksen utfører en oppgave som er nødvendig for at Forsvaret skal kunne operere optimalt. Det er da naturlig at en fiende ønsker å sette denne boksen ut av spill slik at den kritiske oppgaven ikke kan gjennomføres. Hvordan bør så denne funksjonen beskyttes? Det er i prinsippet et utall forskjellige kombinasjoner av tiltak som kan implementeres, men for dette eksempelet kan vi tenke oss tre alternativer:

1. Kun fortifikasjon
Boksen bygges inn i et sterkt fortifisert betongbunker i stand til å motstå våpenvirkningen fra tunge våpen.
2. Fortifikasjon, kamuflasje, narretiltak og hemmelighold
Boksen plasseres i et lett fortifisert anlegg som kamufleres i terrenget. Informasjon om anleggets lokalisering holdes skjult for fienden.
3. Spredning, kamuflasje og redundans
Det anskaffes flere likeverdige bokser som spres rundt i terrenget. Boksene gis enkel fysisk beskyttelse mot vær og vind, samt kamuflasje.

Hvilke av disse alternativene er best? For det første må man definere hva som menes med «best». I denne sammenhengen må man definere et sett med målbare parametere alternativene kan testes opp mot. Dette kan være sannsynlighet for opprettholdelse av funksjon etter et angrep, tilgjengelighet på tjenesten, kostnad og/eller fleksibilitet. Hvert alternativ må analyseres separat opp mot de tenkelige trusler som må legges til grunn. Kostnader for tiltakene må beregnes, og oppnådd effekt må veies opp mot den tilhørende kostnad.

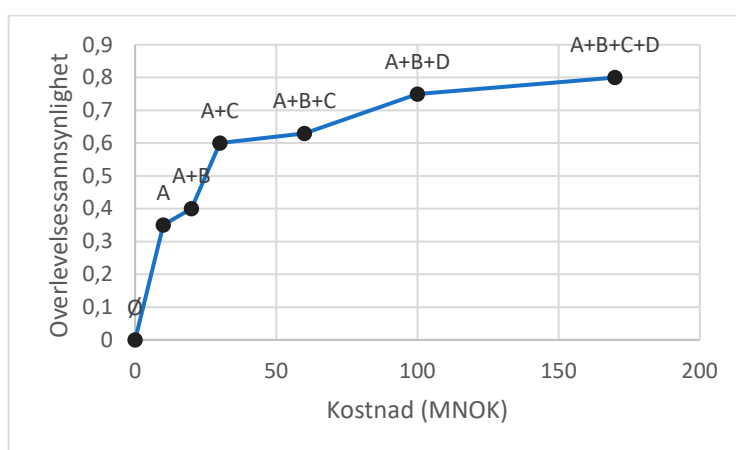
I vårt eksempel vil alternativ 1 sannsynligvis være ganske kostbart. For at betongbunkersens skal kunne motstå virkningen av tunge våpen må det benyttes betong av betydelig tykkelse. Vi kan se for oss en situasjon der bunkersens gir beskyttelse mot de aller fleste våpenvirkninger, skjønt til en høy kostnad. Der denne løsningen kan komme til kort er fleksibilitet med tanke på fremtidige trusler, eller et bredere spekter av trusler. Strømtilførsel og kommunikasjon kan være sårbare punkter som kan utnyttes av en fiende. I stedet for et tungt angrep med avstandsleverte våpen, kan et mindre angrep med spesialstyrker sannsynligvis hindre tilgang til funksjonen. Det nevnes også at med utviklingen av mer presise og høyt ytende våpen, vil mangelen på kamuflasje etc. kunne medføre direkte treff, noe som sannsynligvis vil bekjempe funksjonen.

Alternativ 2 søker å kombinere noe av den fysiske beskyttelsen alternativ 1 gir, med ytterligere tiltak. Hemmelighold skal gjøre anleggets posisjon ukjent for fienden. Totalt hemmelighold er i

dagens informasjonsalder praktisk talt umulig, så ved å kombinere dette med kamuflasje og narretiltak skaper vi en usikkerhet hos fienden med tanke på anleggets nøyaktige posisjon. Formålet med tiltakene er å skape tilstrekkelig stor avstand mellom et våpens treffpunkt og anlegget, slik at anleggets fysiske beskyttelse motstår virkningene. Hemmeligholdet og kamuflasjen kan også hjelpe mot andre typer trusler slik som spesialstyrker. Dette alternativet vil sannsynligvis være rimeligere enn alternativ 1, men kan også lide under manglende fleksibilitet.

En funksjon som er av høy viktighet for Forsvaret må antas å være komplisert og ha en dertil høy økonomisk kostnad. Å anskaffe flere redundante bokser som kan ved bortfall av én kan gjenoppta funksjonen umiddelbart vil derfor være svært kostbart. Dette alternative kan allikevel gi en meget god beskyttelse av funksjonen, så lenge boksene spres over et større område så fiendens innsats blir stor for å bekjempe alle. De må også gis en viss form for kamuflasje for å forhindre deteksjon med enkle midler.

Som eksempelet vårt viser er det mange måter å forhindre bortfall av funksjonen. Det er viktig å huske på at ingen alternativer vil kunne gi 100 % beskyttelse. Hensikten med en analyse av denne typen er å avdekke svakheter med ulike kombinasjoner og finne den kombinasjonen som gir høyest effekt i forhold til kostnad (økonomisk, operasjonell eller en annen form for ulempe). FFI har tidligere utviklet en metodikk som beskriver denne type analyser. En detaljert gjennomgang av metoden kan finnes i FFI-rapport 17/16536 «Metode for fastleggelse av beskyttelsestiltak for militære objekter» [3]. Metoden søker å kvantifisere effekten av de ulike beskyttelsestiltakene, enten i form av sannsynlighet for overlevelse eller operativ effekt, og kostnader. For alle mulige kombinasjoner av tiltak beregnes så den totale positive effekten, samt den totale negative konsekvensen (økonomisk kostnad). Når dette datagrunnlaget er tilgjengelig kan beskyttelsen optimeres ved å maksimere effekt og minimere konsekvens. Resultatet kan fremstilles grafisk som vist i figur 2.6. På denne måten kan beslutningstagere ta informerte beslutninger basert på gjenværende risiko og kostnad.



Figur 2.6 Kunstig eksempel på resultat av balansering av beskyttelsestiltak. Fire ulike beskyttelsestiltak, A-D, med ulik kostnad er vurdert. Ulike kombinasjoner gir ulik overlevelsessannsynlighet og ulik kostnad.

3 Trusler

Et våpen er et redskap som kan brukes til å utrette skade, enten på levende vesener eller fysiske objekter. Militære våpen er designet med skadepåføring som primærformål, og er gjerne optimalisert for maksimal virkning mot bestemte objekter.

Våpen kan klassifiseres på mange forskjellige måter, for eksempel etter bruker (håndvåpen, avdelingsvåpen, autonomt våpen), typiske målobjekter (stridsvogner, fly, skip, personell) eller virkemåte (sprengvirkning, biologisk, kjemisk).

Våpenvirkning er en betegnelse på skaden som et våpen kan utrette, dvs. effekten av våpenet. Den fysiske komponenten eller effekten som gir virkning i målet kalles her for våpenets effektor. Denne kan for eksempel være kinetisk energi, fragmenter, trykk, giftgass, elektromagnetisk eller radioaktiv stråling, avhengig av våpentype. Den angripende part vil ønske å optimalisere våpenvirkningen for mest mulig skade, mens den forsvarende part ønsker å begrense skaden mest mulig.

Felles for alle tradisjonelle våpentyper er at effektoren må anbringes nær målet som ønskes rammet. Hvor nært avhenger av det spesifikke våpenets virkningsradius. For et kinetisk prosjektil, som en geværkule, må effektoren treffe målet direkte. For et sprengvirkende våpen kan det være nok å at effektoren virker i nærheten av målet. Hvordan effektoren anbringes til det ønskede stedet for virkning kan vi kalle leveringsmetoden.

På kort hold, der angriperen er nært målet, kan effektoren kastes eller skytes direkte mot målet. Disse beveger seg i en ballistisk bane fra angriper til mål. På lengre avstand involverer leveringsmetoden en eller annen form for drivkraft. Raketter og missiler har en raket- eller jetmotor som transporterer effektoren over lang avstand til målet. Disse kan være styrte eller ustyrte. Bomber har som regel ingen egen drivkraft, og anbringes nær målet ved fritt fall fra luftbårne plattformer. Flyet er leveringsmetoden, og i fritt-fallsfasen beveger bomben seg i en ballistisk bane. Enkelte bomber kan imidlertid ha en begrenset styreevne i denne fasen. Slike bomber har små vinger som gir løft, og en elektronisk søker som heimer seg inn på målet.

Våpen kan grovt sett deles inn i fem kategorier hvor hver enkelt kan ha én eller flere våpenvirkninger:

- **Konvensjonelle våpen**
kinetisk energi (penetrasjon), trykk, varme, grunnsjokk, fragmenter
- **Kjernevåpen**
trykk, varme, grunnsjokk, radioaktiv stråling, elektromagnetisk stråling
- **CBR-våpen**
biologiske trusselstoffer, kjemiske trusselstoffer, radioaktiv stråling

-
- **Fuel-air explosive(FAE)-våpen**
trykk, varme
 - **EMP/HPM-våpen**
elektromagnetisk stråling

Som vi ser har de forskjellige våpentypene forskjellig virkemåte, med noe overlapp i enkelte kategorier. Det store fokuset her vil være på de virkninger som kan knyttes til konvensjonelle våpen og kjernevåpen da disse har størst innvirkning på valg av fortifikasjonsmetoder, men vi vil også i noe mindre grad komme inn på de øvrige våpenvirkningene.

3.1 Våpentyper

3.1.1 Konvensjonelle våpen

Konvensjonelle våpen defineres som våpen som er i utstrakt bruk og som ikke er masseødeleggelsesvåpen (kjerne-, kjemiske og biologiske våpen). De kan grovt sett deles inn i kald ammunisjon (prosjektiler uten sprengladning) og sprengammunisjon.

Kald ammunisjon er prosjektiler som ikke inneholder sprengstoff, og som ved treff i målet omsetter sin kinetiske energi til virkning i målet. Kald ammunisjon brukes som regel i småkalibrede våpen slik som håndvåpen, men finnes også i større kaliber, slik som i panserbrytende pilammunisjon. Prosjektilet består som regel av en kjerne, typisk av stål eller bly, omsluttet av et mykere materiale. De aller fleste prosjektiler av denne typen har ingen drivkraft, og beveger seg derfor i en ballistisk bane fra angriper til mål. For å maksimere anslagshastigheten og den kinetiske energien benyttes som oftest direktskytende våpen (fri sikt til målet).

Sprengammunisjon er prosjektiler som inneholder en sprengladning. Dette kan være prosjektiler fra småkaliber opp til store missiler eller bomber som veier mange tusen kilo. I tillegg til prosjektilets kinetiske energi som kan virke i målet, vil sprengladningen ved omsetning frigjøre store mengder energi. Denne energien gir så ytterligere våpenvirkninger i form av trykk, fragmenter, grunnsjokk og eventuelt en brannstiftende virkning. Avhengig av prosjektilets tiltenkte måltype kan forholdet mellom sprengladning og det omsluttende materialet (bøssing) varieres. En stor ladning sammenlignet med bøssing vil gi et prosjektil med høy sprengvirkning (trykk etc.) men liten penetrasjonsevne (omsetning av kinetisk energi). En liten ladning sammenlignet med bøssing gir høy penetrasjonsevne, men mindre potensiale til å forårsake skade som følge av trykk og fragmenter.

3.1.2 Kjernevåpen

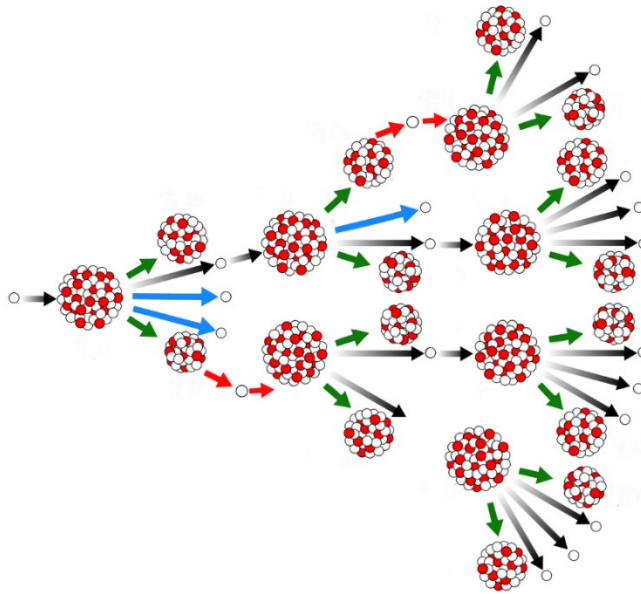


Figur 3.1 Verdens første fusjonseksplosjon (kjent som «Ivy Mike») som fant sted på øya Elugelap i Enewetak-atollen (Marshall-øyene) i Stillehavet 1. november 1952 (lokal tid). Sprengkraften er anslått til 10,4 Mt.

I motsetning til konvensjonelle våpen, der den frigjorte energien kommer fra kjemiske reaksjoner, kommer energien i et kjernevåpen fra kjernefysiske reaksjoner, enten fra fisjon eller en kombinasjon av fisjon og fusjon.

En fisjon er en spaltning av en atomkjerne i (vanligvis to) mindre atomkjerner (fisjonsprodukter). Samtidig frigjøres gjerne noen få nøytroner. Fisjonsprosesser er grunnleggende for alle kjernevåpen. For enkelte av de tyngste atomkjernene er det energiøkonomisk fordelaktig å fisjonere, det vil si det frigjøres energi i fisjonsprosessen. Mange av disse kan fisjonere spontant (av seg selv), men sannsynligheten for fisjon øker kraftig dersom de først tilføres energi, for eksempel ved at de treffes av et nøytron.

De mest aktuelle atomkjernene er uran- 235 og plutonium-239, og begrepet kjernefysisk kjedereaksjon innebærer at minst ett av nøytronene som frigjøres i en fisjon utløser en ny fisjon. I et kjernevåpen ønsker en flest mulig fisjoner for å få ut mest mulig energi. Denne situasjonen er illustrert i figur 3.2. For at en kjedereaksjon skal kunne opprettholdes, må det være tilstrekkelig mange atomkjerner tilgjengelig for de frigjorte nøytronene til at mange nok av disse nøytronene i sin tur kan utløse en ny fisjon. Denne minimumsmengden (typisk av uran eller plutonium) kalles den kritiske massen til stoffet.



Figur 3.2 Eksempel på kjernefysisk fisjon.

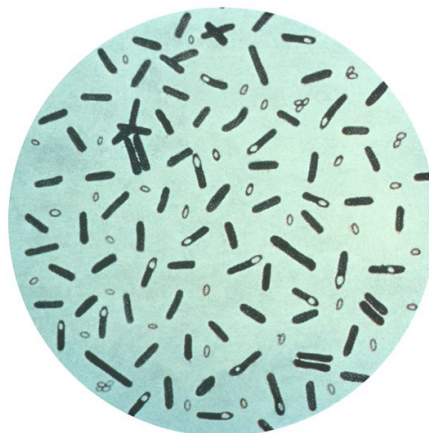
En fusjon er en sammensmeltning av to atomkjerne til en større atomkjerne. Ved fusjon av lette grunnstoffer som hydrogen og helium er det en stor energigevinst å hente ut. Energien fra sola (og andre stjerner) kommer fra fusjonsprosesser, og fusjon utnyttes i de kraftigste kjernevåpnene (ofte kalt hydrogenbomber eller termonukleære våpen). Fusjon har den fordel at nuklidene som blir produsert, er stabile (ikke radioaktive) i motsetning til de fleste fisjonsprodukter. Det store problemet er å få i gang fusjonen. Dette krever mye energi, noe som kan oppnås gjennom oppvarming til flere titalls millioner grader. Et fusjonsvåpen må derfor ha en fisjonseksplisjon først for å oppnå høy nok temperatur til å sette i gang fusjonsprosessen.

Virkningene av en kjernevåpeneksplosjon er i form av trykk, varme, radioaktiv stråling og såkalt elektromagnetisk puls (EMP). Avhengig av våpentype og design, kan enkelte av disse virkningene framheves i forhold til de andre. Et kjent eksempel er nøytronbomben som er optimalisert med hensyn på utstråling av nøytroner, mens andre effekter er forsøkt minimalisert.

3.1.3 Biologiske våpen

Biologiske våpen er våpen som spesielt retter seg mot levende organismer som planter, dyr og mennesker. De vil således ikke skade eller ødelegge EBA, infrastruktur eller fremkomstmidler, selv om det i fremtiden ikke kan utelukkes mikroorganismer som kan ødelegge drivstoff, elektronikk og lignende.

Et biologisk våpen består av et trusselstoff og en leveringsmetode. Leveringsmetoden kan være noe så enkelt som en plastkanna med trusselstoff som helles i vannforsyningen, eller et postlagt brev med hvitt pulver. I den andre enden av skalaen finnes det flyleverte bomber som i en viss høyde over bakken slipper ut trusselstoffer i atmosfæren og som kan dekke store områder.



Figur 3.3 Botulinbakterien.

Biologiske våpen er omfattet av en rekke internasjonale lover og traktater, der Biologivåpenkonvensjonen fra 1972 er den viktigste. Konvensjonen innebærer forbud mot utvikling, lageroppbygging og bruk av bakteriologiske (biologiske) våpen og toksinvåpen¹. Konvensjonen er signert og ratifisert av 183 stater, deriblant USA og Russland. En svakhet med avtalen er at den ikke forbyr forskning på biologiske våpen, og den har heller ingen bestemmelser om internasjonal verifikasjon av at avtalen overholdes. Det foregår imidlertid kontinuerlige forhandlinger i regi av FN for å forbedre avtalen.

3.1.4 Kjemiske våpen

Kjemiske stridsmidler av militær betydning er først og fremst nervegasser og hudgasser. Ingen av disse er riktignok gasser i fysisk forstand, men heller væsker med kokepunkt over et stort temperaturområde. Uansett er alle så giftige at selv meget små konsentrasjoner i luften vil kunne føre til skade eller død ved inhalering. Selv om alle kjemiske stridsmidler er giftigst ved inhalasjon, vil noen også kunne gjøre stor skade på og gjennom huden. Kjemiske stridsmidler kan i likhet med biologiske trusselstoffer leveres med bomber eller granater av større kaliber.

Historien har vist at kjemiske våpen har sett utstrakt bruk i konflikter. Mest kjent er bruken av ulike kjemiske agens, deriblant sennepsgass, under første verdenskrig. Opp mot 90 000 døde som følge av denne bruken. Også i nyere tid har kjemiske midler blitt brukt, slik som under Vietnamkrigen (1961-1970), krigen i Irak (1988), og senest i Syra (2013-2017) da Sarin ble brukt av syriske styrker og over 1000 personer døde.

Kjemivåpenkonvensjonen ble signert i 1993 og er i dag signert og ratifisert av om lag 190 stater. Den innebærer forbud mot utvikling, produksjon og bruk av kjemiske våpen samt destruksjon

¹ Etter ratifiseringen av konvensjonen har biologiske stridsmidler kun blitt benyttet av ikke-statlige aktører, slik som bruken av Salmonella av Bhadwan Shree Rajneesh kulten i 1984 der 750 ble smittet, og spredningen av miltbrannbakterier i brev i USA i 2001.

av eksisterende våpen. Avtalen inneholder også et regime for internasjonal inspeksjon og kontroll av alle medlemsstatene.

Til tross for de mange internasjonale avtalene som forbyr biologiske og kjemiske våpen kan ikke slike trusler avfeies. En rekke stater har tidligere vist at de ikke følger avtaler, og om man vurderer muligheten for bruk av biologiske og kjemiske stridsmidler i terroraksjoner, er det åpenbart at dette er trusler man må ta høyde for.

3.1.5 Radiologiske våpen

Denne betegnelsen omfatter våpen som har til funksjon å spre radioaktive materialer. Kjernevåpen sprer en mengde radioaktive stoffer, men dette er en «sideeffekt» av et våpen som i utgangspunktet har en militær funksjon. Radiologiske våpen består av en konvensjonell sprengladning som eksploderer nær ved radioaktive materialer og derved sprer disse i omgivelsene. Dette er et våpen for terrorisme eller sabotasje, og det kan bestå av alle slags kombinasjoner av konvensjonelle sprengstoffer og det eller de radioaktive materialene bombemakeren måtte ha tilgang på. Et slikt våpen vil neppe inneholde tilstrekkelig radioaktivitet til å forårsake akutte stråleskader, men det kan føre til alvorlige forurensninger innen et begrenset område.

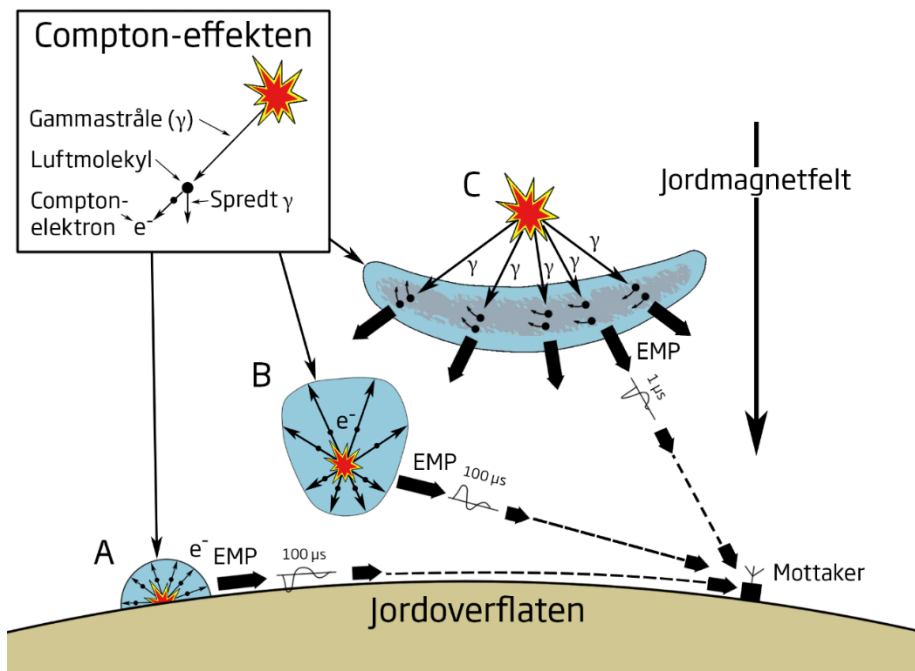
3.1.6 Elektromagnetiske våpen

Elektromagnetiske våpen virker ved å sende ut elektromagnetisk stråling mot målobjektet. De er spesielt effektive mot systemer som er avhengige av elektroniske komponenter for å fungere, men kan i prinsippet benyttes mot alt fra personell, kjøretøy, innkommende missiler og annen infrastruktur.

Elektromagnetiske våpen kan deles inn i to forskjellige klasser: RFV (Radiofrekvente energistrålevåpen) som samler energien i en smal, rettet stråle og NEMP (Nukleær Elektromagnetisk Puls), radiostråling fra detonasjon av atomvåpen, som fra stor høyde kan påvirke et helt kontinent.

RFV er spesifikt konstruert for å skade elektroniske komponenter i målobjektet og dermed enten sette hele systemet ut av spill, eller i det minste introdusere små og tilsynelatende tilfeldige og sporadiske feil som kan svekke motstanderens tiltro til materiellet. Idéen stammer opprinnelig fra 1970-tallet, men først i de senere år har elektronikk blitt så integrert i infrastruktur at våpenkonseptene har manifestert seg i form av kommersielle produkter.

Alle elektromagnetiske strålevåpen virker ved å generere elektrisk strøm og konvertere denne til pulser av radiobølger som stråles ut gjennom en antenne. Den prinsipielle oppbygningen er derfor nokså lik, men ulike tekniske løsninger kan benyttes til å optimalisere våpenet for bestemte anvendelser og målobjekter. En utfordring i utvikling av RFV er å integrere våpenet i en passende våpenplattform, eller i det minste gi det en form og størrelse som gjør det enkelt å transportere.



Figur 3.4 Generering av NEMP ved eksplosjoner i forskjellig høyde (A, B og C).

I motsetning til RFV, som er konstruert for å fungere som våpen, så er NEMP et følgefenomen som oppstår i kjølvannet av en atomsprenghing. NEMP rammer blindt alle sårbare systemer over et stort område. Effekten ble først oppdaget da transistor-elektronikk ble vanlig tidlig på 1960-tallet, og mer kompliserte elektroniske komponenter har senere vist seg enda mer sårbare for kraftige elektromagnetiske pulser.

Generering av NEMP skyldes den såkalte Compton-effekten, se figur 9. Den intense og kortvarige gammastrålingen fra en atomeksplosjonen stoppes i atmosfæren når gammastrålene støter sammen med luftmolekyler. Ved slike kollisjoner støtes det ut elektroner som gir en elektrisk strøm i radiell retning fra eksplosjonen. På grunn av separasjon av ladning bygges det også opp et radielt rettet elektrisk felt. Rekkevidden til gammastrålene som genererer strømmer og elektriske felt, er et par kilometer nær jordoverflaten og flere titalls kilometer i stor høyde. Sprengninger i stor høyde kan dermed skade elektronikk i satellitter i stor avstand.

3.1.7 Fuel-air explosive (FAE)-våpen

Forkortelsen FAE står for Fuel Air Explosives eller på norsk brensel-lufteksplosiver. FAE-våpen utnytter atmosfærisk oksygen i forbrenningen, i motsetning til vanlig sprengstoff som benytter oksygen som er kjemisk bundet i sprengstoffet. Dette medfører at FAE-våpen har høyere energiinnhold per kilo brensel og følgelig større trykkvirkning for samme mengde eksplosiv. Dermed dekker de et større areal hvor de kan uskadeliggjøre personell i bunkre, fortifikatoriske stillinger og skyttergraver. FAE-våpen virker hovedsakelig ved hjelp av trykk, men avgir i tillegg mye varme og mantlingen til våpenet avgir fragmenter.

3.2 Leveringsmetoder

De ulike våpentypene kan levere effektoren til målet på forskjellige måter. En leveringsmetode er ikke nødvendigvis synonymt med en spesifikk våpentype, de kan ofte benyttes til å levere forskjellige typer effektorer. For eksempel kan bomber levere konvensjonelle stridshoder, kjernefysiske stridshoder og stridshoder som sprer biologiske eller kjemiske stridsmidler.

I de følgende avsnittene beskriver vi ulike militære leveringsmetoder. Det finnes et utall av andre metoder å anbringe en effektor til målet på, men de som ikke er nevnt her vil i stor grad være av begrenset utbredelse eller være improviserte leveringsmetoder, slik som bilbomber, mindre droner eller lignende. Disse ansees ikke som militære trusler, men vil være relevante trusler i terrorøyemed.

3.2.1 Ballistiske prosjektiler

Ballistiske prosjektiler benyttes i en rekke våpentyper. De skytes som regel ut av et kanon- eller geværløp og har ingen drivkraft på sin vei mot målet. De beveger seg således i en ballistisk bane som er bestemt av prosjektillets utgangshastighet, masse og form. Hvis disse parameterne er kjent er treffpunktet i prinsippet bestemt. Eksempler på ballistiske prosjektiler er geværkuler, bombekastergranater og de fleste artillerigranater. Enkelte moderne artillerigranater har en grunnleggende evne til å styre seg inn mot målet. Ved hjelp av små styreflater og enkle målsøkende metoder kan de heime seg inn mot målet for økt treffsikkerhet.

Det kan også argumenteres for at ballistiske missiler kommer inn under denne betegnelsen, men vi beskriver disse nærmere i avsnittet om missiler.

Ballistiske prosjektiler kan være både kalde og sprengprosjektiler. Artillerigranater kan også benyttes til å levere biologiske og kjemiske stridsmidler.

3.2.2 Rakettdrevne granater

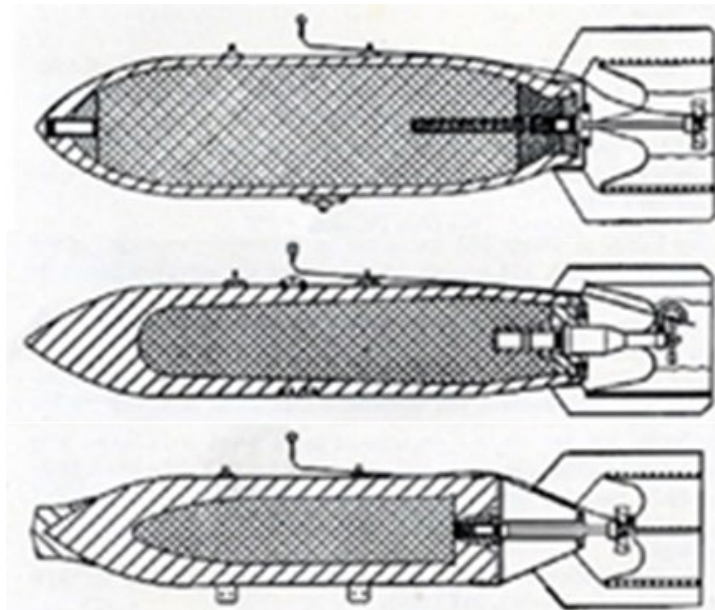


Figur 3.5 RPG-7 er et eksempel på rakettdrevne granater.

Rakettdrevne granater består av en launcher og en granat. Launcheren lar skytteren sikte seg inn mot målet, og består av et rør med håndtak og siktemidler. Ved avfiring kastes som regel granaten ut av røret og rakettmotoren tenner. Etter avfiring vil granaten bevege seg mot målet i en hastighet på 150 – 300 m/s. Det er ingen form for styring under flukten. Avhengig av granattypen vil den detonere ved anslag eller i nærheten av målet.

Rakettdrevne granater kan ha forskjellige stridshoder. De mest vanlige har en penetrerende effekt ved hjelp av en rettet ladning, men kan også ha fragmenterende effekt og høy trykkvirkning (termobar).

3.2.3 Bomber



Figur 3.6 Eksempler på ulike typer bomber. Øverst: General Purpose (GP) bombe, midten: Semi-Armourpiercing (SAP) bombe, nederst: Armour Piercing (AP) bombe.

Bomber kommer i mange forskjellige størrelser og typer. Noen fellestrekk er at de slippes fra fly, som regel i stor høyde, og har en sprengladning omsluttet av et metallskall (bøssing). Grovt sett kan bomber deles inn i fem typer:

- Sprengbomber (GP) er den vanligste typen. I den utgjør sprengstoffet omtrent halvparten av totalvekten. Disse gjør skade både ved trykk og splintvirkning.
- Semi-penetrerende bomber (SAP) forsøker å kombinere effekten av sprengbomber og penetrerende bomber. De har en viss penetrerende effekt, men ivaretar også sprengeffekten etter penetrasjon.
- Penetrerende bomber (AP) har tykkvegget mantel og forsterket nese slik at de kan trenge inn i harde mål før de detonerer. Sprengstoffet utgjør en mindre andel av totalmassen enn i sprengbomber.
- Termobariske bomber brukes mot personell både utendørs og innendørs. Forbrenning av partikler fra metaller og eventuelt annet brennstoff forsterker trykkbølgen fra detonasjonen og gir høyere temperatur. Trykkbølgen kan bevege seg langs korridorer, forplante seg rundt hjørner og gjennom hindringer. En type termobar bombe er en FAE-bombe.
- Klasebomber er beholdere med småbomber eller andre substridsdeler. Beholderen slippes fra flyet, og ved en viss høyde sprer den substridsdelene over et område.

Substridsdelene er små stridshoder som gjerne er konstruert for spesielle måltyper. De kan virke med trykk, splinter eller prosjektiler fra hulladning eller EFP, og gjerne kombinasjoner av disse.

Bombene kan være styrte eller ustyrte. Ustyrte bomber følger en ballistisk bane etter at de er sluppet. Den er gitt av utgangshastighet og retning, bombens masse og geometri samt meteorologiske forhold. Bombene er gjerne strømlinjeformet og har halefinner for å stabilisere flukten. Det finnes en rekke systemer for å styre bomber, typisk treghetsnavigasjon sammen med satellittstyring, og styring ved hjelp av lasersøker eller elektrooptisk sensor (TV-søker).

Bombe som leveringstype kan benyttes i de alle fleste våpentyper omtalt tidligere, fra konvensjonelle sprengvåpen til kjemiske og biologiske og kjernefysiske våpen.

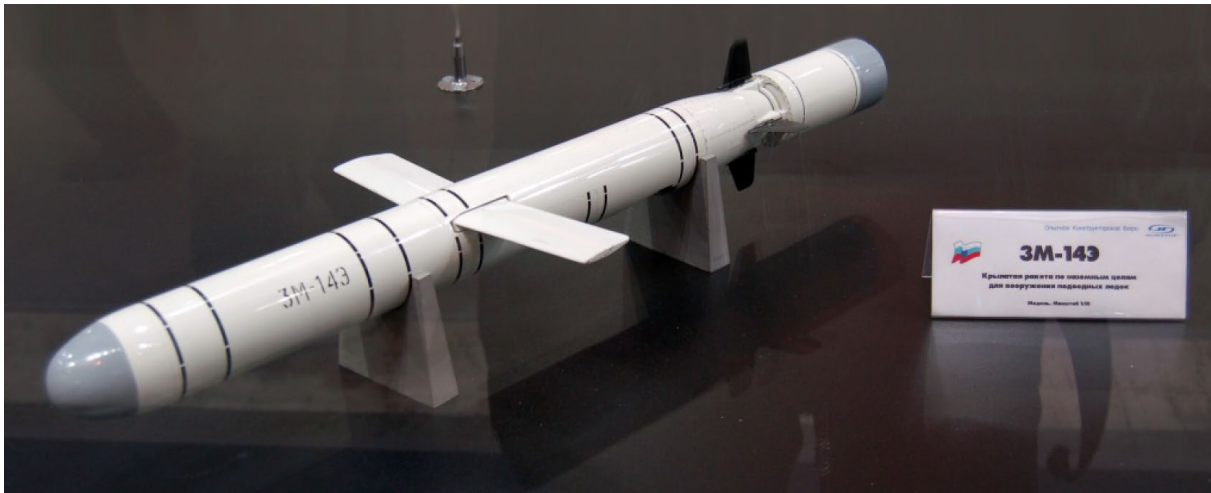
3.2.4 Rakter

Rakter er prosjektiler som har en drivladning. Motoren genererer drivkraft ved å brenne det medbrakte drivstoffet, og sende ut en strøm av varme gasser. Skillet mellom raketter og missiler er noe flytende. En rakett har som regel ingen styring i sin flukt mot målet, mens missiler har en eller annen form for banekorrigerende eller styring. Det finnes riktignok raketter med styring. Rakett-drevne granater kunne også vært definert som raketter, men de er som regel mindre og fyres fra bærbare systemer.

Rakter er en taktisk ressurs, som regel med kortere rekkevidde enn missiler. De kantskytes fra luftplattformer (fly, helikopter) eller fra bakkebaserte systemer (rakettartilleri).

Rakter er i all hovedsak konvensjonelle våpen. For enkelte større rakett-systemer, slik som 300 mm rakettartilleri, er det teknisk mulig å bære kjemiske eller biologiske stridshoder.

3.2.5 Missiler



Figur 3.7 Eksempel på kryssermissil. Kilde: Wikimedia Commons.

Missiler og raketter er grunnleggende sett svært like. Begge er et prosjektil med drivladning, men missiler skiller seg fra raketter ved at de kan styres under sin flukt mot målet. Et missil består av fire hoveddeler; (1) navigasjonssystem, (2) kontrollsystem, (3) stridshode og (4) fremdriftsenhet.

Navigasjonssystemet sørger for at missilet holder sin kurs, og gir korreksjoner til kontrollsystemet. Det finnes en rekke navigasjonssystemer, blant annet treghetsnavigasjon og satellittstyring (GPS/GLONASS). I slutfasen av missilets bane, vil det også være en slutfasesøker som sikter missilet inn mot målet. Bruk av radar, med eller uten terrenggjenkjenning, optiske søkere eller lasersøkere er vanlig. Disse øker treffsikkerheten, og moderne missiler kan ha en treffsikkerhet på et fåtalls meter.

Grovt sett kan missiler deles i to kategorier, ballistiske missiler og kryssermissiler.

Ballistiske missiler følger, som navnet antyder, en ballistisk bane. Dette innebærer at missilet i store deler av banen er utstyrt og uten egen fremdrift. Banen påvirkes da i all hovedsak av tyngdekraften. Utskytningsfasen varer fra noen sekunder til noen få minutter, og bringer missilet opp i høy hastighet og stor høyde, over tusen kilometer for interkontinentale ballistiske missiler (ICBM). Deretter går missilet over i den ballistiske fasen hvor kun tyngdekraften virker. Til slutt entrer missilet igjen jordens atmosfære og treffer målet med høy stupvinkel.

Ballistiske missiler har to store fordeler som gjør dem meget godt egnet. Den første er rekkevidden. Den andre fordelen er missilets hastighet. Et interkontinentalt ballistisk missil er i stand til å ramme et mål 10 000 km unna i løpet av 30-35 minutter. Hastigheten gjør det også meget vanskelig å avskjære missilet for å skyte det ned.

På grunn av missilenes størrelse og kostnad er de aller fleste ballistiske missiler utstyrt med ett eller flere kjernefysiske stridshoder. Enkelte ballistiske missiler med konvensjonelle stridshoder finnes, men disse er begrenset til kortere rekkevidde.

I motsetning til ballistiske missiler har kryssermissiler egen fremdrift gjennom hele banen. De er styrte, ved hjelp av treghetsnavigasjon og/eller satellittstyring, og har som regel en egen slutfasesøker. Det finnes forskjellige typer fremdriftsenheter, for eksempel rakettmotorer med fast brennstoff og jetmotorer av forskjellige slag. For økt rekkevidde er jetmotorer mest benyttet. Missilene kan være subsoniske, supersoniske eller hypersoniske.

Kryssermissiler kan leveres fra fly, overflatefartøy eller undervannsbåter og landbaserte utskytningsplattformer. Internasjonale avtaler begrenser bruken og utviklingen av landbaserte missiler med en rekkevidde større enn 500 km, mens fra de øvrige leveringsplattformene kan rekkevidden overstige 2000 km.

De aller fleste kryssermissiler har konvensjonelle stridshoder, med en stor sprengladning eller flere mindre sprengladninger. Selv om det offisielt sett ikke finnes missiler som kan levere biologiske eller kjemiske stridsmidler, vil det for en statlig aktør som ønsker det være relativt enkelt å utvikle slike stridshoder. Enkelte kryssermissiler kan også bære kjernefysiske stridshoder.

4 Våpenvirksomheter

Som vi har sett kan forskjellige våpentyper ha forskjellige leveringsmetoder og forskjellige stridshoder. Stridshodet kan igjen ha forskjellige våpenvirksomheter eller effektorer. I visse tilfeller, som ved kalde prosjektiler, er det kun prosjektilens kinetiske energi som påvirker målet. For sprengammunisjon (granater, bomber etc.) vil effektoren være en kombinasjon av trykk, varme, grunnsjokk og fragmenter i tillegg til den kinetiske energien.

4.1 Kinetisk energi

Kinetisk energi, eller bevegelsesenergi, er den iboende energien et objekt har på grunn av dets bevegelse. Energien avhenger av massen og hastigheten. Når prosjektilet treffer et annet objekt vil denne energien kunne medføre at prosjektilet trenger inn i objektet. Dette kaller vi penetrasjon.

Hvis prosjektilet er laget av et hardt materiale, for eksempel stål, og målmaterialet er tilstrekkelig mykt og prosjektilens hastighet er forholdsvis lav, vil prosjektilet forbli udeformert når det penetrerer. I en slik prosess vil det aller meste av energien, med unntak av litt som går med til oppvarming, gå med til penetrasjonsprosessen. Det finnes formler som kan estimere et prosjektils penetrasjonsdybde i ulike materialer i dette regime, se Håndbok i våpenvirksomhet – Temahefte 2 Anslags- og splintvirksomhet [4].

Etter hvert som hastigheten øker, eller målmaterialets styrke øker, vil prosjektilet bli mer og mer deformert i prosessen. Dette opptar en del av den kinetiske energien, og den totale penetrasjonen vil bli lavere. Denne prosessen er betydelig mer komplisert enn om prosjektilet er udeformert. Det er derfor vanskelig å utvikle enkle formler for å estimere penetrasjon. I dette regime må man som regel ty til numeriske simuleringer. Øker hastigheten ytterligere, over 2500 m/s, vil penetrasjonsprosessen til slutt bli en hydrodynamisk prosess der prosjektilens og målets materialstyrke blir irrelevant. Denne prosessen er langt enklere å beskrive analytisk ved hjelp av formler.

Kinetisk energi er en relevant våpenvirksomhet for en lang rekke våpentyper. Kald ammunisjon er åpenbart avhengig av høy kinetisk energi for å skape en virkning i målet gjennom penetrasjon. Men også for sprengammunisjon som bomber og granat er dette en relevant våpenvirksomhet. For det første vil det i mange tilfeller være ønskelig at granaten, bomben eller missilet penetrerer målet før det detonerer. Stridshodet må derfor ha nok kinetisk energi til å penetrere, samt ha nok egenstyrke til å ikke bli deformert til det punkt at det ikke detonerer. For det andre vil detonasjonen av sprengladningen kunne danne fragmenter med høy hastighet, og dermed høy kinetisk energi, som brer seg ut fra detonasjonen. Disse vil vi omtale i mer detalj senere.

4.2 Trykk

En trykkbølge er en region med høyere tetthet og trykk som brer seg gjennom et medium. En lydbølge er en trykkbølge som kjennetegnes ved små amplituder slik at bølgen bare er en liten “forstyrrelse” som ikke permanent forandrer mediet den forplanter seg i.

En sjokkbølge er mer enn en lydbølge med høy amplitude (i praksis er det for såvidt en glidende overgang – en lydbølge er en “uendelig svak” sjokkbølge). Sjokkbølger karakteriseres av følgende:

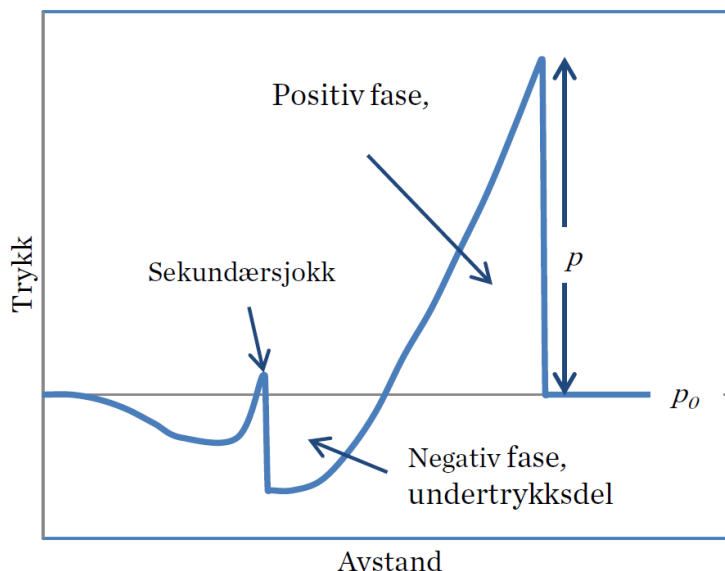
- Diskontinuiteter (sprang i trykk, tetthet etc.)
- Forplantningshastighet større enn lydhastigheten
- Selve mediet (luften etc.) er også i bevegelse
- Etter at bølgen har passert returnerer ikke mediet til den opprinnelige tilstanden
- Sjokkbølgen øker entropien i mediet den passerer gjennom og tappes dermed for energi

En sjokkbølge kan oppstå i både gasser, væsker og faste stoffer. Sjokkbølgens oppførsel og utbredelse kan variere sterkt med hvilket materialet den beveger seg. Egenskapene til noen utvalgte materialer er gitt i tabell 4.1.

Tabell 4.1 Konstitutive egenskaper til forskjellige forplantningsmedier.

	Luft	Vann	Granitt	Sand
Tetthet	1,2 kg/m ³	1025 kg/m ³	2700 kg/m ³	1400-2600 kg/m ³
Lydhastighet	340 m/s	1500 m/s	4000 m/s	300-4000 m/s
Kompressibelt	Ja, veldig	Nei	Ja, noe	Ja
Negativt trykk	Nei	Nei	Ja	Nei
Bruddgrense	Nei	Ja	Ja	Ja
Gravitasjonseffekter	Nei	Ja	Ja	Ja
Skjærbølger	Nei	Nei	Ja	Ja
Porøsitet	Nei	Nei	Litt	Ja, mye

4.2.1 Sjokkpropagering i luft (luftsjokk)

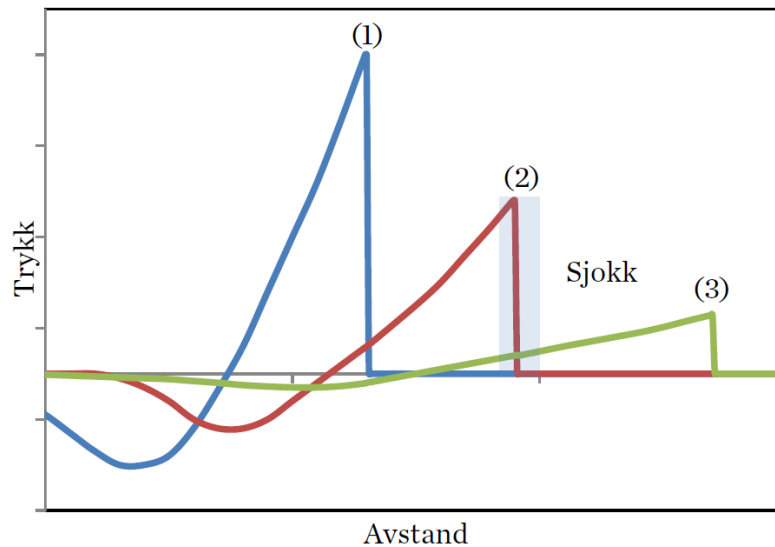


Figur 4.1 Karakteristisk trykkbølgeprofil. p er det positive overtrykket, p_0 er bakgrunnstrykket. Sjokkbølgen beveger seg mot høyre.

Når et høyeksplosiv detonerer, foregår det en meget hurtig kjemisk reaksjon der sprengstoffet omdannes til gasser. Reaksjonssonen brer seg gjennom sprengstoffet med detonasjonshastigheten, som kan være opp mot 10 000 m/s, og alt sprengstoffet blir omdannet til gass i løpet noen milliondels sekunder. Denne gassen fyller det samme volumet som sprengstoffet og har således veldig høy tetthet til å være gass. Dette resulterer i veldig høyt trykk (20 til 40 GPa) og temperatur (3-5000 °C), noe som gir en ustabil situasjon og fører til forplantning av en sjokkbølge til det omliggende mediet. Figur 4.1 viser hvordan en typisk trykkbølge ser ut, med den positive fasen og den negative fasen.

Et kjernevåpen produserer også en enorm sjokkbølge, men mekanismen bak dannelse er annerledes. Ved en kjernefysisk detonasjon frigjøres enorme mengder energi gjennom kjernereaksjoner. Temperaturen i våpenmaterialet stiger til flere titalls millioner grader celsius og trykket, som følge av den superopphetede luften, kan være flere millioner atmosfærer. På kort avstand er ildkulen dominerende, men etter hvert som den utvider seg henter sjokkbølgen inn fronten av ildkulen og fortsetter å bre seg utover. Trykket fra en kjernefysisk eksplosjon er mye kraftigere enn fra en konvensjonell eksplosjon. Dette gjenspeiles i at kjernevåpens styrke ofte betegnes med ekvivalent mengde TNT, som regel i størrelsesorden kilo- eller megatonn TNT.

Uavhengig av kilden til sjokkbølgen vil den bre seg sfærisk ut fra detonasjonspunktet. Så lengde den ikke møter på noen hindringer vil den fortsette utover mens den sakte avtar i amplitude. På et tidspunkt har trykket i sjokkfronten falt tilstrekkelig til at det ikke lenger er en sjokkbølge, men en lydølge, se figur 4.2.



Figur 4.2 Trykkbølgens endring over tid.

Vekselvirkningen mellom en trykkbølge og et objekt er komplisert å beregne. Når en trykkbølge treffer et objekt, vil noe av energien i trykkbølgen absorberes av objektet, mens noe vil reflekteres. Trykkbølgen påvirkes av objektet, og objektet påvirkes av trykkbølgen.

For en sjokkbølge som treffer en uendelig tung vegg, vil i praksis all energien reflekteres. Avhengig av sjokkbølgens egenskaper, kan det reflekterte trykket være opp til 20 ganger så høyt som det innkommende trykket². Tar man høyde for at veggen responderer på trykkbølgen, vil noe av energien absorberes og det reflekterte trykket blir lavere.

Hvordan et objekt påvirkes av en sjokkbølge avhenger av sjokkbølgens egenskaper og objektets egenskaper. Trykk er som vi vet en kraft som virker på et areal. Det vil si at når en trykkbølge treffer et objekt, vil det virke en kraft på objektets overflate. Veldig enkelt sagt vil denne kraften i utgangspunktet presse objektet sammen, eller knuse det. Dette er et meget forenklet bilde.

Skade på konstruksjoner utsatt for luftsjokkbelastning, er generelt avhengig av hele tidsforløpet til trykkbølgen. Dersom belastningen varer mye lenger enn responstiden til den utsatte konstruksjonen, vil imidlertid maksimaltrykket alene bestemme responsen og skadenivået. Da kalles belastningen kvasistatisk. Hvis belastningens varighet derimot er så kort at den er avsluttet før konstruksjonen begynner å reagere, er det impulsen som bestemmer skadenivået, og belastningen kalles impulsiv. For store ladninger som detonerer på stor avstand, blir belastningen typisk kvasistatisk, mens små ladninger på kort avstand gir en impulsiv belastning.

For en mer detaljert behandling av sjokkbølgens vekselvirkning med objekter og påfølgende skade henvises det til Håndbok i våpenvirkninger, Temahefte 3 – Trykkbølger i luft [5].

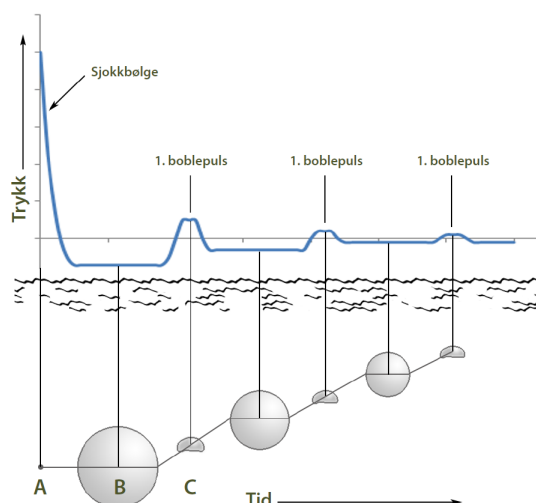
² Teoretiske beregninger som anser lufta som en ideell gass begrenser det reflekterte trykket til 8 ganger det innkommende trykket. Empiriske data har derimot vist at det reflekterte trykket kan være betydelig høyere.

4.2.2 Sjokkpropagering i vann

Forplantningen av en sjokkbølge artet seg noe annerledes i vann enn i luft. Den første fasen, selve detonasjonen av sprengstoffet, er lik. Det dannes gasses under høyt trykk som ekspanderer radielt utover. På grunn av vannets materialegenskaper, se tabell 4.1, vil sjokkbølgens fronttrykk og impuls være høyere enn i luft ved samme avstand. I tillegg vil det oppstå andre effekter som ikke observeres i luft.

Ved detonasjoner i vann vil det i etterkant av den første momentane trykkøkningen og undertrykksfasen oppstå en serie med trykkpulser og undertrykksfaser. Forutsatt at eksplosivet detoneres på tilstrekkelig dybde til at verken bunn eller vannoverflate påvirker trykket, er følgende en kvalitativ beskrivelse av trykkforløpet (illustrert i figur 4.3):

- Sjokkbølgen brer seg tilnærmet sfærisk utover og vil ankomme et gitt målepunkt. Trykket avtar raskt etter sjokkfronten, ikke veldig ulikt forløpet i luft. Punkt A i figur 4.3.
- Detonasjonen produserer store mengder gass som utvider seg i en gassboble. Denne ekspanderer til trykket er likt vannet omkring gassboblen. På grunn av vannets treghet vil boblens ekspansjon fortsette litt etter dette. Punkt B i figur 4.3.
- Gassboblens ekspansjon reverseres og boblen kollapser. Trykket øker inntil kompresjonen stopper. Igjen, på grunn av vannets treghet, komprimeres boblen forbi likevektspunktet og boblen vil starte en ny ekspansjon. Dette resulterer i en ny trykkbølge som forplanter seg radielt utover. Punkt C i figur 4.3.
- Denne prosessen gjentar seg flere ganger, men dempes fordi viskositeten i vannet absorberer den kinetiske energien.



Figur 4.3 Sammenheng mellom gassboblens oscillasjon og trykkbølgen.

4.2.3 Sjokkpropagering i granulære og faste materialer (grunnsjokk)

Ved en detonasjon blir sprengstoff omdannet til gasser med meget høyt trykk og temperatur. Dette skaper en sjokkbølge i mediet som omgir sprengstoffet. Spesielt når mediet er et fast materiale, blir trykket nær ladningen meget stort. Trykkbølgen vil både være kraftigere og ha lengre varighet enn den som oppstår ved en tilsvarende detonasjon over bakken.

Bakkematerialet blir omdannet og knust, og det dannes et hulrom eller et krater. Etter hvert som sjokkbølgen brer seg utover, blir den svakere. Dette skyldes dels at energien i sjokkbølgen spres over en stadig større flate, såkalt geometrisk demping, og dels at energien tapes ved plastisk deformasjon av bakkematerialet, betegnet som materialdemping. Materialdempingen avtar når sjokket blir mindre.

Bygningskonstruksjoner som befinner seg i knusningssonen, vil bli fullstendig ødelagt. Men også utenfor denne sonen kan belastningen fra detonasjonen føre til store skader på konstruksjoner, fjellanlegg og utstyr som befinner seg inne i disse. Skadene omfatter sprekker, utstøtning og gjennomslag i konstruksjonene.

I Håndbok i våpenvirkninger, Temahefte 4 – Grunnsjokk og kraterdannelse [6] behandles forskjellige metoder for å estimere kraterstørrelser, skade på betongkonstruksjoner og virkningen på utstyr i anlegg.

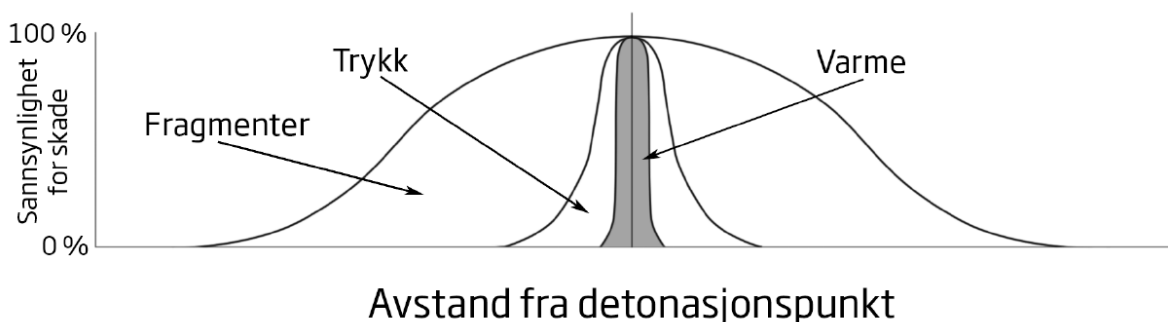
4.3 Fragmenter

Fragmenter dannes når en sprengladning er omsluttet av et hardt materiale, som regel stål eller annet metall. Når sprengstoffet detonerer, er detonasjonsgassen under enormt trykk, og vil ekspandere. Disse gassene presser bøssingen omkring sprengstoffet radielt utover. Materialet utvider seg, blir tynnere, og på et tidspunkt vil kreftene overgå materialstyrken og sprekker vil oppstå. Sprekkene oppstår på vilkårlige steder i materialet, og dannelsen av fragmentene er således en tilfeldig eller stokastisk prosess. Detonasjonsgassene vil begynne å unnsnippe gjennom sprekken. Fragmentene har allerede fått en hastighet utover på grunn av ekspansjonen men vil fortsette å akselerere en stund på grunn av de ekspanderende gassene. Til slutt vil fragmentene nå sin endelige hastighet og beveger seg i ballistiske baner ut fra detonasjonsstedet.

Fragmentene er nå i prinsippet ballistiske prosjektiler med en høy kinetisk energi på lik linje med prosjektilene som ble omtalt i avsnittet om kinetisk energi. Avhengig av masse og hastighet kan de utgjøre en fare for personell, materiell, infrastruktur og bygninger over store avstander. Figur 4.4 viser den relative skadeavstanden for trykk, fragmenter og varme. Vi ser at fragmenter kan utgjøre en fare over lengre avstander enn både trykk og varme.

Et våpen som har til hensikt å generere farlige fragmenter vil søke å kontrollere fragmentenes størrelse avhengig av den tilsiktede måltypen. Våpen som har til hensikt å sette personell ut av spill vil generelt lage flere men mindre, typisk 5-10 gram, fragmenter. Er målet lett pansrede kjøretøy vil fragmenter med en masse mellom 10 gram og 20 gram være mer effektive.

4.4 Varme



Figur 4.4 Relativ rekkevidde for ulike våpenvirkninger.

Varmevirkning fra et detonerende våpen er som regel en underordnet våpenvirkning. Som figur 4.4 viser er varmemestrålingens rekkevidde svært mye kortere enn både trykkvirkningen og fragmentvirkningen. For de fleste konvensjonelle våpen vil varmemestrålingen kun være gjeldende i umiddelbar nærhet fra detonasjonspunktet³, men for kjernevåpen kan varmemestrålingen sette objekter i brann på stor avstand.

En underklasse av konvensjonelle våpen, som i dag er relativt lite utbredt, er brannvåpen. Dette er våpen med liten eller ingen sprengkraft, men har en ladning som er ment å brenne kraftig med høy temperatur. Brannen skal vare lenge nok til at brennbare materialer på angrepsstedet blir antent. Eksempler på benyttede substanser i brannvåpen er napalm, magnesium, hvitt fosfor og termitt.

4.5 Radioaktiv stråling

En del atomkjerner er ustabile, hvilket betyr at de spontant kan omdannes til andre atomkjerner. Denne omdannelsen foregår ved at overflødig partikler og overflødig energi utskilles. Dette er kjent som radioaktiv stråling, og de ustabile atomkjernene omtales ofte som radioisotoper. Et stoff som består av radioisotoper (for eksempel uran) kalles et radioaktivt stoff.

Radioaktiv stråling inndeles etter strålingstypen som det radioaktive stoffet sender ut.

- *Alfastråling* (α -stråling) består av relativt store partikler (heliumkjerner, også kalt alfapartikler) med elektrisk ladning og svært kort rekkevidde.
- *Betastråling* (β -stråling) består av elektroner som har en masse på under en sjetusendel av en heliumkjerne.

³ Varmestrålingen fra en konvensjonell detonasjon kan være sterk nok til å antenne eksplosive miljøer, slik som brennbar gass eller oljedamper.

-
-
- *Gammastråling* (γ -stråling) består av høyenergetiske fotoner (masse- og ladningsløse elektromagnetiske strålekvanter).

I forbindelse med operative kjernefysiske reaktorer («atomreaktorer») og kjernevåpenekspløsjoner vil det også sendes ut mengder av nøytroner. Disse er noe mindre enn heliumkjerner og har, som navnet antyder, ingen elektrisk ladning.

Radioaktiv stråling er som regel mest farlig for levende organismer. Strålingen kan ionisere atomer i kroppens celler og ødelegge disse eller forsinke/ stoppe celledelingen (reproduksjonen) forsinket eller stoppet. Siden alfastråling har kort rekkevidde, må alfastrålekilder i praksis komme inn i kroppen for å være skadelige. Betastråling har lengre rekkevidde enn alfastråling og trenger gjennom for eksempel klær og hud. Gammastråler har langt høyere evne til å trenge gjennom ulike materialer enn alfa- og betastråler.

Materiell er generelt vesentlig mindre følsomt for radioaktiv stråling enn mennesker. Stråleeffekter på elektronikk er i det alt vesentlige forårsaket av gammastråling. Nøytronstråling kan imidlertid føre til permanente skader på halvlederkomponenter ved at stoffets atomære oppbygning forandres.

4.6 Elektromagnetisk stråling

Som nevnt tidligere har vi to klasser elektromagnetiske våpen; 1) Radiofrekvente energistrålevåpen (RFV) og 2) Nukleær elektromagnetisk puls (NEMP). Radiofrekvente energistrålevåpen er rettede elektromagnetiske pulser som påvirker elektronikk. Rekkevidden er som regel relativt kort, men i enkelte spesialiserte tilfeller kan rekkevidden være flere titalls kilometer. En nukleær elektromagnetisk puls er i utgangspunktet en sideeffekt av en kjernefysisk eksplosjon. På grunn av ionisering av luftmolekyler i atmosfæren settes det opp kraftige elektriske felt som kan skade elektrisk utstyr og elektronikk over store avstander, til og med hele kontinenter.

I prinsippet er virkemåten i målet lik for de to klassene. Den elektromagnetiske strålingen genererer unormale støystrømmer i ledningsbaner i målet. For at dette skal skje må det være en innkoblingsvei som er eksponert for feltene. Dette kan være antenner, ledninger eller andre strukturer. Hvor effektiv denne innkoblingen er avhenger blant annet av ledningenes orientering i forhold til de elektromagnetiske feltene, dimensjoner og hvordan systemet er satt sammen.

Støystømmene som induseres i målets kretser kan medføre forskjellige typer feil i elektronikken, avhengig av styrken. Feilene varierer fra dårlige signaler helt opp til fysisk ødeleggelse av komponenter. Jo kraftigere elektromagnetisk puls, jo høyere indusert strøm, og det oppstår mer støy i kretsen. For permanent ødeleggelse, som oftest skyldes oppvarming, er også pulsens energiinnhold viktig.

De elektromagnetiske feltstyrkene fra en NEMP vil i tillegg til å skape støy i elektronikk også kunne indusere kortvarige strømmer i større anlegg. Styrken av disse strømmer øker med

lengden og tykkelsen av kablene, og er avhengig av den avstand og retning kablene har i forhold til eksplosjonsstedet. Skade vil opptre dersom strømmene når fram til utstyr som er for svakt dimensjonert til å kunne motstå den energi som blir tilført. Også luftlinjer kan få induisert strømmer.

Elektromagnetiske effekter benyttes også i enkelte mindre-dødelige våpen. Disse er designet for å ødelegge materiell (kjøretøy etc.), blinde personell eller forårsake svie og smerte i huden for å avskrekke.

4.7 Biologiske trusselstoffer (sykdom)

Biologiske trusselstoffer er biologiske patogener som har til hensikt å sette personell ut av spill på kort eller lengre sikt. Dette kan være bakterier og virus som fremkaller sykdom i individer, eller toksiner som medfører akutt sykdom. Tabell 4.2 viser noen eksempler på ulike biologiske trusselstoffer.

Virkingen av biologiske stridsmidler inntreffer derimot først etter flere dager, og siden inkubasjonstiden er forskjellig hos ulike mennesker, vil man få nye sykdomstilfeller i mange dager. Symptomene er diffuse i starten og ofte de samme som for vanlige naturlige sykdommer. Personene kan også ha forflyttet seg langt fra stedet de opprinnelig ble smittet, noe som gjør det vanskelig å bestemme angrepsområdet. I tillegg kan også mange potensielle B-stridsmidler smitte fra menneske til menneske. Det betyr at mengdene som skal til for å gjennomføre et angrep er mindre. Det betyr også at størrelsen på områdene som blir berørt av biologiske stridsmidler, potensielt er mye større.



Figur 4.5 Koppesmittet pasient.

Tabell 4.2 Eksempler på biologiske trusselstoffer.

Gruppe	Eksempler
Bakterier og bakteriesporer	Miltbrann (bacillus anthracis, anthrax), pest (yersinia pestis), harepest (francisella tularensis), brucellose (brucella, flere typer), kolera (vibrio cholerae), tyfus (typhoid feber), glanders (burkholderia mallei).
Rickettsier	Q-feber (coxiella burnetii).
Virus	Kopper (variola major), hjernebetennelser (enkefalitt-viruser), diverse blodfeber: Ebola, marburg og hantaan.
Sopp	Fusarium-slekten. Histoplasmose.
Toksiner	Botulintoksin (clostridium botulinum), ricin (ricinus communis), shiga toksin, SEB (stafylokokk enterotoksin B), tetanus toksin.

4.8 Kjemiske trusselstoffer (forgiftning)

Det finnes en rekk ulike kjemiske trusselstoffer. Tabell 4.3 viser noen eksempler på ulike kjemiske trusselstoffer.

Det er fundamentale forskjeller mellom virkningen av kjemiske og biologiske stridsmidler. Den viktigste er hvor fort man får tydelige symptomer, noe som bestemmer hvor fort det avsløres at et angrep har funnet sted. De giftigste av de kjemiske stridsmidlene er nervegassene og de er derved de potensielt farligste. Virkningen merkes etter få minutter, noe som avslører angrepet ved at mange mennesker blir syke på et avgrenset område på kort tid.

Stoffenes virkemåte varierer. Nervegasser hemmer enzymer som er nødvendige for nervesignaler å komme fram til musklene, med den konsekvens av musklene slutter å fungere. Hudgasser påvirker øyne, luftveier og huden. Eksponering medfører skader som kan minne om brannskader. Kvelegasser skader lungenes evne til å ta opp oksygen, noe som kan medføre lungeødem og væske i lungene. Tåregasser er irriterende kjemiske forbindelser som gjør personell midlertidig stridsudyktig, men de skal ikke gjøre permanent skade eller drepe. Hovedeffektene er irritasjon og smerte i øyne, slimhinner og hud, videre kvalme og oppkast, hodepine, trykk for brystet og depresjoner.



Figur 4.6 Hudskader på iranske soldater fem dager etter sennepsgasseksponering.

Tabell 4.3 Eksempler på kjemiske trusselstoffer.

Type	Lukt	Doseall Ct-produkt (10 min eksponering)	
		LC_{50} (mg min/m ³)	IC_{50} (mg min/m ³)
Tabun (GA) Nervegass	Ingen	150	85
Sarin (GB) Nervegass	Ingen	35	15
Soman (GD) Nervegass	Ingen	20	8
VX Nervegass	Ingen	10	5
Sennepsgass (H, HD) Hudgass	Hvitløk	750	100
Fosgen (CG) Kvelegass	Nyslått høy	3200	1600
Blåsyre (AC) Blodgass	Bitre mandler	6000	Individavhengig
CS Tåregass	Pepper	25000-75000	10-20

4.9 Hvilke våpen har hvilken virkning (oppsummering)

I dette kapitlet har vi på et overordnet nivå forklart hvordan de ulike våpenvirkningene kan påføre et mål skade. I beskrivelsen av ulike våpentyper og leveringsmetoder i kapittel 3 forklarte vi hvordan forskjellige leveringsmetoder kan ha ulike våpenvirkninger og gjerne kombinasjoner av våpenvirkninger. En artillerigranat kan kombinere kinetisk energi, trykk og fragmenter, eller kun ha biologiske eller kjemiske trusselstoffer. Det samme gjelder for bomber og missiler. Den store overvekten av militære våpen vil allikevel benytte kinetisk energi, trykk og fragmenter som primære våpenvirkninger. Disse våpenvirkningene er som oftest best tilpasset det tiltenkte målet.

Ved valg av våpentype og virkning mot et mål vil en motstander alltid analysere målet for å finne sårbarheter å utnytte. Er målet tungt pansret eller fortifisert vil man benytte en våpentype som fokuserer på penetrasjon fremfor sprengkraft. Om motstanderen vurderer at selv et penetrerende våpen vil være utilstrekkelig kan andre våpentyper, slik som kjemiske eller biologiske våpen gjøre større skade. Dimensjonering av beskyttelsestiltak må søke å begrense mulige sårbarheter for å begrense motstanderens handlingsrom.

5 Effekten av fortifikatoriske tiltak

Det er tydelig at begrepet beskyttelse definerer et system av tiltak. Disse tiltakene skal utfylle hverandre og har som mål å øke den totale overlevelsessannsynligheten og opprettholde den operative evnen til en funksjon. Å begrense systemet av tiltak til kun ett eller et fåtall tiltak åpner for utnyttelse av andre sårbarheter. I kapittel 2 presenterte vi ulike tiltakskategorier og hvordan man metodisk kan gå fram for å balansere tiltakene på en kost-effektiv måte. På denne måten får man et system av tiltak som sikrer funksjonen best mulig uten at enkelte tiltak blir overdimensjonert og unødvendige kostnader påløper. Men for å kunne gjennomføre en slik analyse er det nødvendig å ha inngående kjennskap til tiltakenes effekt og virkning på funksjonens beskyttelse. I dette kapittelet vil vi se på ulike metoder for å oppnå fysisk beskyttelse for ulike våpenvirkninger gjennom fortifikatoriske tiltak.

5.1 Kinetisk energi

Kinetisk energi representerer et prosjektils evne til å penetrere et mål. Høy kinetisk energi kan gi høy penetrasjonsevne. Penetrasjonsprosessen avhenger naturlig nok også av målmaterialet. Et materiale som ikke kan motstå sterke eksterne krefter vil ha liten motstandskraft mot penetrerende prosjektiler, og dermed gi liten fysisk beskyttelse. Et sterkt materiale, slik som stål eller betong, har stor motstandskraft og vil gi bedre fysisk beskyttelse. Alt dette avhenger også av målmaterialets tykkelse. Et svakt materiale med stor tykkelse kan gi tilsvarende fysisk beskyttelse som et sterkere materiale med mindre tykkelse.

Vi ser da at fortifikatoriske tiltak for å begrense en trussels penetrerende evne i stor grad innebærer bruken av sterke materialer med en tykkelse som er tilpasset trusselen. For semi-stasjonære anlegg kan feltfortifikatoriske tiltak som tømmerstokker eller sandfyllinger være tilstrekkelige⁴ til å gi tilfredsstillende beskyttelse for en periode. For stasjonære anlegg benyttes mer permanente tiltak, som betong eller fjellanlegg om trusselen tilsier et slikt behov.

Fortifikatoriske tiltak kan også kombineres for økt fysisk beskyttelse. Typiske eksempler på dette er jord- og/eller steinoverdekning på betonganlegg. Dette kan skyldes at det ikke er praktisk mulig å lage betongen tykk nok til å motstå en definert trussel. Ved å legge på ekstra lag med jord og/eller stein, vil trusselens evne til å penetrere anlegget reduseres.

I kapittelet som omhandler våpenvirkninger skilte vi fragmenter som våpenvirkning fra kinetisk energi. Dette var hovedsakelig for å illustrere at våpenvirkningene har sitt utspring fra forskjellige kilder. Med tanke på mulige beskyttelsestiltak, skiller ikke fragmenter seg fra de prosjektiler vi tenker på når vi snakker om kinetisk energi. Fragmenter er små prosjektiler med høy kinetisk energi, og tiltak for å beskytte mot disse er de samme som for øvrige prosjektiler, nemlig sterke målmaterialer som stål, betong og fjell.

⁴ Dette er materialer med lavere egenstyrke enn betong, og må således benyttes i større kvanta. De kan imidlertid være lett tilgjengelig i større mengder, og kan implementeres på kort tid.

5.2 Trykk

Kanskje det viktigste tiltaket for å beskytte en funksjon mot trykkvirkningen fra en detonerende trussel er avstand. Sjøkkbølgens amplitude avtar veldig raskt med økende avstand. Hvis avstanden til detonasjonen doubles reduseres det maksimale trykket med det firedobbelte⁵. Dette er ikke direkte et fortifikatorisk tiltak, men illustrerer at andre tiltak slik som spredning og narretiltak (for å redusere sannsynligheten for nærtreff) er meget viktige tiltak å vurdere.

Som vi har sett i de tidligere kapitlene vil en sjokkbølge som treffer en hindring, f.eks. en bygning, vekselvirke med objektet. Det overføres energi og impuls til objektet, noe som kan medføre skade på objektet. Det finnes metoder for å beregne skadenivå på for eksempel betongkonstruksjoner som følge av belastningen fra en sjokkbølge, og disse kan benyttes til å dimensjonere betongen slik at den motstår sjokkvirkningen. Tykkere betong, særlig med økt armering, eller sterkere betong har større motstandskraft og beskytter bedre mot større ladninger. Fjell er også et sterkt materiale, som ved store tykkelser gir god beskyttelse mot den direkte sjokkvirkningen.

Selv om en bygning eller anlegg er dimensjonert for å ikke ta skade eller i hvert fall ikke kollapse som følge av den innkommende sjokkbølgen, vil det i praktisk talt alle tilfeller være åpninger i objektet hvor trykket kan komme inn. Innganger og vinduer er sårbare åpninger som kan beskyttes spesielt. Beskyttelsesvinduer består av flere lag glass med beskyttende film som holder vinduet sammen om det skulle rammes av en sjokkbølge. Dette forhindrer både innkast av farlige glassfragmenter og inntrengning av sjokkbølgen. Inngangspartier kan designes på en slik måte at en innkommende sjokkbølge avbøyes eller dempes ved hjelp av sluser eller spesielle dører. I fjellanlegg vil inntrengning av sjokkbølgen gjennom tunnelåpningen være et spesielt sårbart punkt som må beskyttes. Det finnes en rekke metoder for å redusere sjokkbølgens virkning innover i anlegget, slik som utformingen av tunnelen, tunneltversnitt og spesielle trykkklommer.

5.3 Grunnsjokk

Grunnsjokk er sjokkbølger som beveger seg i bakkematerialer eller fjell. Når disse sjokkbølgene treffer et nedgravd anlegg eller betongkonstruksjon vil sjokkbølgen forplante seg inn i det nye materialet. Dette kan medføre store krefter inne i materialet som kan medføre oppsprekking eller ødeleggelse.

Sjokkbølgene vil også forplante seg inn i utstyr som er i kontakt med anlegget gulver og vegger. Dette medfører at utstyret settes i bevegelse eller svingninger. Mekanisk og elektronisk utstyr kan være svært sårbare for slike rystelser, og kan medføre ødeleggelse eller funksjonstap.

⁵ Dette er et meget grovt estimat. En rekke forhold påvirker sjokkbølgens demping. Men det gir en god pekepinn på hvor raskt trykket avtar med avstand.

Det finnes bygningstekniske og fortifikatoriske tiltak som reduserer virkningen av grunnsjokk. I overgangen mellom to forskjellige materialer vil noe av sjokkbølgen reflekteres og noe bli overført til det nye materialet. Hvor stor grad av sjokkbølgen som overføres avhenger av forholdet mellom materialenes akustiske impedans. Jo lavere impedansen i det nye materialet er, jo lavere blir det overførte sjokket. Bruk av pukk og/eller løsmasser rundt betongkonstruksjonen kan derfor redusere grunnsjokket som overføres til konstruksjonen. Andre metoder for å redusere virkningen på utstyr kan være mekaniske dempere, slik som fjærer, som absorberer noe av rystelsene.

5.4 Varme

Beskyttelse mot øvrige våpenvirkninger gir som regel god beskyttelse mot varmestråling. Det er imidlertid enkelte hensyn som må tas:

- forhindre varmegjennomtrengning gjennom vegger og tak
- inntrengning av overopphetet luft
- inntrengning av giftige gasser og røyk.

For frittstående konstruksjoner vil en jordoverdekning av en viss tykkelse kunne gi god beskyttelse mot skadevirkningene fra brann.

5.5 Radioaktiv stråling

Radioaktiv stråling er en samlebetegnelse for alfa-, beta-, gamma- og nøytronstråling. Alfa- og beta-stråler er henholdsvis heliumkjerner og elektroner og stoppes raskt når de treffer et materiale. Klær gir som regel tilstrekkelig beskyttelse. Innånding av partikler som avgir alfa- eller beta-stråling kan imidlertid være farlig. Ventilasjon med overtrykk kan beskytte mot dette.

Gamma- og nøytronstråling har betydelig større gjennomtrengningsevne enn alfa- og beta-stråling. Denne strålingen er hovedsakelig farlig for organismer, og kun i mindre grad for materiell. Radioaktiv stråling kan generelt svekkes ved at man setter et materiale mellom objektet og strålingskilden. Svekkingen avhenger av strålingens og materialets art. For gammastråling vil et tungt og tykt materiale generelt gi god absorpsjon. For nøytronstråling er situasjonen litt mer komplisert, da absorpsjonsevnen avhenger av absorpsjonsnivåene i kjernen i materialet. Tabell 5.1 og tabell 5.2 viser skjermingseffekten av noen materialer for henholdsvis gamma- og nøytronstråling.

Tabell 5.1 Tidelstykkelser (materialtykkelsen som svekker strålingen til 1/10) for en del materialer. Tallene i den siste kolonnen bør vanligvis brukes.

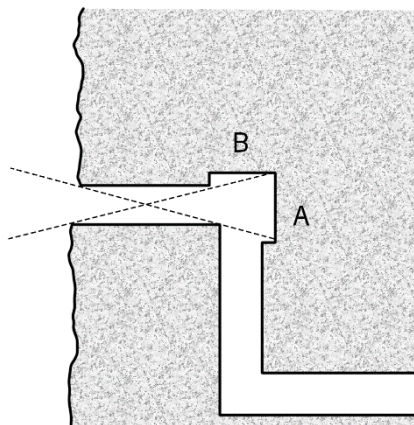
Material	Spesifikk vekt kg/dm ³	Tidelstykkelse for gammastråler (m)	
		Fra fisjonsprodukter (gjennomsnitt første minutt)	Fra nøytron- nitrogenkollisjoner
Stål	7,85	0,084	0,11
Betong	2,31	0,28	0,41
Jord	1,6	0,41	0,61
Vann	1	0,61	0,99
Tre	0,64	0,97	1,60

Tabell 5.2 Skjermingsfaktor for nøytronstråling for noen aktuelle materialer

Materiale	Skjermingsfaktor
0,3 m betong	0,1
0,6 m betong	0,01
0,45 m fuktig jord	0,1
0,9 m fuktig jord	0,01
0,18 m betong med limonitt, magnetitt eller jern, evt. barium eller bor	0,1

Åpningene i et fortifikatorisk anlegg må utformes slik at de slipper minst mulig stråling gjennom. Da gammastråling må gå et par hundre meter i luft før intensiteten halveres, må en først og fremst sikre seg at det ikke finnes åpninger som kan bringe gammastrålene uhindret gjennom. For å sikre tilstrekkelig absorpsjon, bør videre alle rette linjer fra punkter utenfor til punkter innenfor gå gjennom tilstrekkelig masse.

Siden mengden av spredte stråler øker enormt når strålene går fra luft inn i fast materiale, bør en vinkel i en åpning utformes slik at ingen stråler som kommer inn langs åpningens akse før vinkelen, vil kunne gå videre gjennom åpningen langs den nye aksene etter en gangs spredning. For å sikre seg mot dette, kan det iblant være av interesse å lage en gammastrålefelle ved å utvide åpningen omkring vinklingen, slik som vist i figur 5.1. En slik strålingsfelle fungerer også mot nøytronstråling.



Figur 5.1 Strålefelle. Skissen viser hvordan inngangen til et fortifikatorisk anlegg bør utformes for å best mulig unngå radioaktiv stråling inne i anlegget.

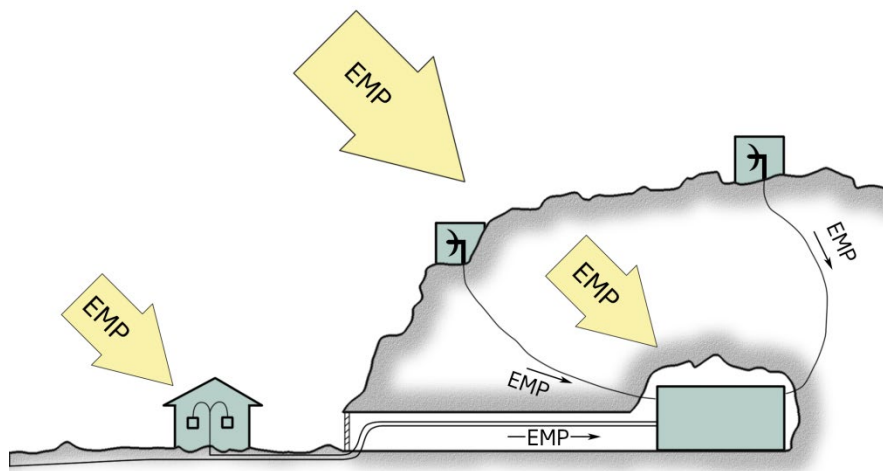
5.6 Elektromagnetisk stråling

I motsetning til radioaktiv stråling, som hovedsakelig er skadelig for mennesker, er elektromagnetisk stråling først og fremst skadelig for materiell, især elektroniske komponenter. Skaden, eller forstyrrelsen, oppstår ved at elektromagnetiske felter inducerer kortvarige, men potensielt sterke, strømmer i kretser. For at dette skal skje må det være en innkoblingsvei (ledninger, antenner etc.) som er eksponert for feltene.

Radiofrekvente energistrålevåpen har som regel kort rekkevidde, med unntak av system som retter seg inn mot antenner og lignende. Tilstrekkelig stand-off til kritiske systemer og innkoblingsveier kan dermed gi tilstrekkelig beskyttelse.

En nukleær elektromagnetisk puls (NEMP) inducerer kortvarige strømmer i kabler og ledninger. Styrken av disse strømmer øker med lengden og tykkelsen av kablene, og er avhengig av den avstand og retning kablene har i forhold til kilden. Konstruksjonen av kabler og andre ledende strukturer er av stor betydning for energien av den strøm som fanges inn. Som vist i figur 8 kan NEMP ta en direkte vei gjennom overdekning og bygningskonstruksjoner. Problematisk er også den indirekte vei der induserte strømmer i ytre ledningsopplegg vandrer inn i anlegget via innførte kabelforbindelser.

Beskyttelse mot NEMP og annen elektromagnetisk stråling kan blant annet oppnås gjennom tilstrekkelig jording av kabelanlegg, skjerming ved hjelp av Faraday-bur og strømfiltere.



Figur 5.2 Induksjon av strømmer i ledninger og kabler. Disse vandrer inn i anlegget.

5.7 Kjemiske og biologiske trusselstoffer

De viktigste elementer i en god beredskap mot kjemiske og biologiske våpen er tidlig deteksjon og varsling og at man har et tilstrekkelig antall vernemasker, vernedrakter samt fasiliteter for kollektiv-beskyttelse.

Det viktigste beskyttelsesutstyr i dag for enkeltmennesker er vernemaskene, som beskytter mot skade ved innånding. Effektivt verneutstyr for den enkelte soldat er i dag utviklet og kommersielt tilgjengelig. Vernemasken beskytter åndedrettet mot både kjemiske og biologiske stridsmidler i damp og aerosolform med en beskyttelsesfaktor på mer enn 10 000, noe som anses som tilstrekkelig for angrep med kjemiske stridsmidler og de fleste biologiske stridsmidler.

For kollektiv beskyttelse har man faste eller mobile anlegg med filtrert lufttilførsel, og ved å holde et svakt overtrykk inne, forhindrer man at kjemiske og biologiske stridsmidler trenger inn i anlegget på annen måte. Dagens faste og mobile anlegg kan med en rimelig innsats beskyttes så godt mot B- og C-våpen at effekten av slike angrep blir liten.

Luftinntak kan legges på steder der det vanskelig kan holdes høy gasskonsentrasjon, for eksempel toppen av bare hauger, knauser, eller i bratte fjellsider. Kan man legge inntaket bak en foss eller iallfall der vann siger nedetter fjellsiden, vil man i tillegg utnytte en naturlig kontinuerlig renseprosess omkring luftinntaket.

6 Konklusjon

I dette notatet har vi vist hvordan fortifikasjon har en naturlig plass i beskyttelsen av stasjonære objekter og funksjoner. Ved å se på de trusler som det er sannsynlig at norske verdier kan bli utsatt for, og de våpenvirksomheter truslene produserer, har vi vist at fortifikatoriske tiltak bør inngå som et av flere elementer i et beskyttelsessystem.

Fortifikasjon som beskyttelsestiltak er særdeles effektivt mot de konvensjonelle våpenvirksomhetene, som kinetisk energi (penetrasjon) og trykk. Hardgjøring av et objekt ved hjelp av fortifikasjon har tradisjonelt vært løsningen for å beskytte kritiske verdier. Fortifikasjon vil, ved bruk av de rette materialer, også ha en effekt mot andre våpenvirksomheter, slik som elektromagnetiske våpen.

Fortifikasjon er et kostbart beskyttelsestiltak, og det tar lang tid å etablere. Det er derfor viktig at fortifikasjonens effekt på det totale beskyttelsesnivået vurderes nøye opp mot effekten av de øvrige tiltakene. Som vi viste i kapittelet om helhetlig beskyttelse, kapittel 2.4, er det kun gjennom en kombinasjon av tiltak man oppnår en balanse mellom beskyttelsesnivå og kostnader. Fortifikasjon vil alltid spille en rolle for beskyttelsen av stasjonære objekter, i større eller mindre grad, men gjennom kombinasjonen med andre tiltak, som redundans eller narretiltak, vil nivået av de fortifikatoriske tiltakene kunne optimaliseres og en kost-effektiv beskyttelsesløsning vil kunne finnes.

Referanser

- [1] Kiran J H, «Beskyttelse vs. fortifikasjon – sammenheng og forskjeller», FFI-notat 20/03007, 2020
- [2] Håndbok i våpenvirkninger – Temahefte 9, Forsvarsbygg og Forsvarets forskningsinstitutt, 2019
- [3] Flathagen J, Rollvik S, «Metode for fastleggelse av beskyttelsestiltak for militære objekter», FFI-rapport 17/16536, 2017
- [4] Håndbok i våpenvirkning – Temahefte 2, Forsvarsbygg og Forsvarets forskningsinstitutt, 2019
- [5] Håndbok i våpenvirkning – Temahefte 3, Forsvarsbygg og Forsvarets forskningsinstitutt, 2019
- [6] Håndbok i våpenvirkninger – Temahefte 4, Forsvarsbygg og Forsvarets forskningsinstitutt, 2019

Om FFI

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

FFIs formål

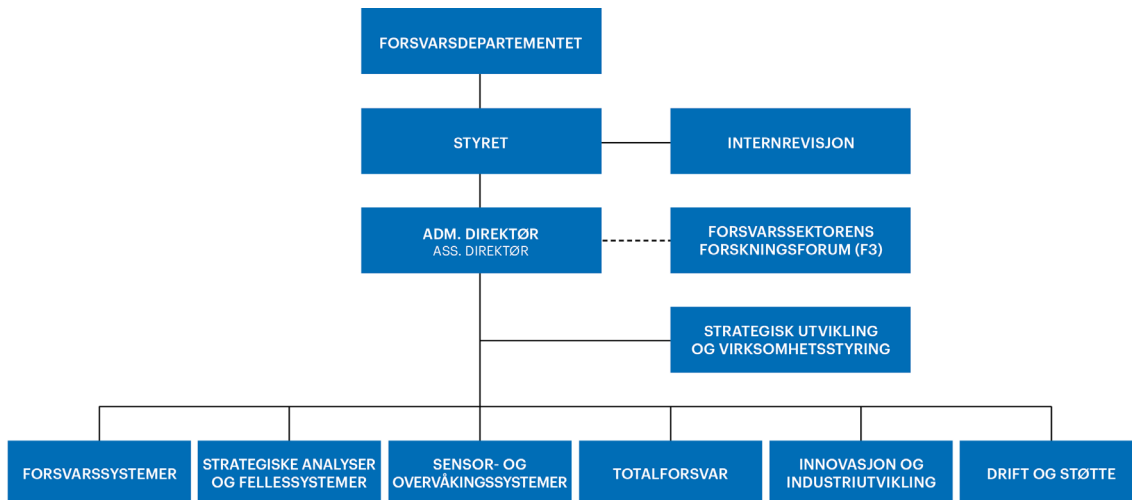
Forsvarets forskningsinstitutt er Forsvarets sentrale forskningsinstitusjon og har som formål å drive forskning og utvikling for Forsvarets behov. Videre er FFI rådgiver overfor Forsvarets strategiske ledelse. Spesielt skal instituttet følge opp trekk ved vitenskapelig og militærteknisk utvikling som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



Forsvarets forskningsinstitutt
Postboks 25
2027 Kjeller

Besøksadresse:
Instituttveien 20
2007 Kjeller

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