



FFI-RAPPORT

18/02521

Vurdering av følsomhet til dumpet ammunisjon som inneholder TNT

Tove Engen Karsrud

Vurdering av følsomhet til dumpet ammunisjon som inneholder TNT

Tove Engen Karsrud

Emneord

Dumpet ammunisjon
Følsomhetstesting
Aldring
TNT
Pentaerytritoltetranitrat (PETN)

FFI-rapport

18/02521

Prosjektnummer

1300

ISBN

P: 978-82-464-3150-5

E: 978-82-464-3151-2

Godkjenner

Øyvind Voie, *forskningsleder*

Janet Martha Blatny, *forskningsdirektør*

Dokumentet er elektronisk godkjent og har derfor ikke håndskreven signatur.

Opphavsrett

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

Sammen drag

I Norge er det dumpet store mengder ammunisjon og krigsetterlatenskaper. Mesteparten av dette stammer fra andre verdenskrig. Den dumpede ammunisjonen utgjør en samfunnsrisiko fordi mye av ammunisjonen blir funnet av sivile som ikke har kunnskap om disse objektene eller om hvordan de skal håndteres.

Trinitrotoluen (TNT) er et av de mest brukte sprengstoffene opp gjennom tidene, enten brukt alene eller i blanding med andre sprengstoffer. En må anta at TNT kan være bestanddel i mye av den dumpede ammunisjonen. Derfor har vi vurdert hvordan følsomheten til dumpet ammunisjon som inneholder TNT kan endre seg med tiden, og om den bli mer følsom. I utgangspunktet er TNT et meget stabilt sprengstoff som er lite følsomt overfor slag og friksjon.

For å vurdere beskaffenheten til den dumpede ammunisjonen har vi brukt samme prosedyre som i en levetidsanalyse. Det vil si at livsløpet til ammunisjonen er gjennomgått fra produksjon til dumpet tilstand. En antar at ammunisjonen som er dumpet under andre verdenskrig, har vært utsatt for store temperaturvariasjoner i kombinasjon med mekaniske påvirkninger. Ladninger med TNT vil da kunne sprekke opp, og det kan ha dannet seg TNT-krystaller via sublimasjon og kondensering i hulrommene. Dersom TNT-krystallene antennes under mekanisk påvirkning, kan det oppstå lokale punkter med forhøyet temperatur, såkalte «hot spots».

Vi har gjennomført enkle forsøk hvor det er dannet TNT-krystaller fra en mettet atmosfære med fordampet TNT over en smelte av TNT. De dannede TNT-krystallenes følsomhet for friksjon og slag er målt. Målingene gir ikke grunnlag for å si at TNT-krystallene er mer følsomme enn TNT-ladningen de er fordampet fra. Dersom det allikevel skulle oppstå antenning av krystallene, må denne reaksjonen være kraftig for å kunne varme opp den omkringliggende ladningen og initiere en detonasjon. I store hulrom kan varmetapet til omgivelsene bli for stort og hot spoten vil slukke.

Vi har gått gjennom hendelser og ulykker med ammunisjon, og eksplosivryddeoppdrag der dumpet ammunisjon er håndtert. Gjennomgangen viser at kyndig behandling reduserer risikoen for at det skal inntreffe en ulykke i tilfeller der ammunisjonsobjekter blir funnet og tatt hånd om.

Summary

In Norway there are huge amounts of dumped munitions and war remnants. The main part stems from the Second World War. The dumped munitions pose a risk to society because much of the ammunition is found by civilians who lack knowledge about these objects and how they must be handled.

Trinitrotoluene (TNT) is one of the most used explosives throughout the times, used alone or in combination with other explosives. Hence it must be assumed that TNT is part of much of the dumped ammunition. This is the reason carrying out for an assessment of how the sensitivity of dumped ammunition containing TNT can change with time, and whether these items will be more sensitive. TNT is a very stable explosive and is not very sensitive to friction or impact.

By using the same procedure as in a life cycle assessment, the condition of the dumped ammunition has been assessed from production to dumped state. It has been focused on the parameters that will have the largest impact and how these parameters will affect the sensitivity properties of the ammunition. Ammunition that was dumped during the Second World War is assumed to have experienced large temperature cycles in combination with mechanical impacts. This may induce cracks in the TNT charges, and TNT crystals can be formed via sublimation and condensation in the cavities. If the crystals are ignited by mechanical impacts, these cavities can act as locations for hot spots in the charges.

A simple experimental set-up was used to form TNT crystals from a saturated atmosphere of sublimated TNT above a melt of TNT. The sensitivity of the TNT crystals has been measured by friction and impact. The results cannot support that TNT crystals are more sensitive than the TNT charge from which they have sublimed. If an ignition of the crystals should occur, this reaction has to be powerful in order to heat the surrounding material and initiate a detonation. In large cavities, the heat loss to the surroundings may be large and the hot spot may extinguish.

A survey of incidents and accidents involving ammunition and EOD missions with dumped ammunition shows that skilled handling reduces the risk for unwanted accidents when ammunition items are being found and handled.

Innhold

Sammendrag	3
Summary	4
1 Innledning	7
1.1 Tyske sprengladninger	7
1.2 Dumpet ammunisjon og krigsetterlatenskaper	8
2 Hendelser med dumpet ammunisjon	9
3 Levetidsanalyse av dumpet ammunisjon	11
3.1 Generelt	11
3.2 Miljøpåvirkninger og respons i ammunisjon	12
3.3 Påvirkninger som dumpet ammunisjon har gjennomgått	14
3.4 Vurdering av påvirkninger	16
4 Detonasjon	17
5 TNT	18
6 PETN	21
7 TNT-krystaller	24
7.1 Damptrykk og kondensering	24
7.2 Produksjon av krystaller	24
7.3 Lagringsforsøk	28
8 Karakterisering av TNT-krystaller	30
8.1 DSC	30
8.2 Fallhammer og friksjon	32
9 Konklusjon	33
A Oversikt over hendelser med dumpet ammunisjon meldt inn til MSIAC i årene 2010 – 2016.	35

1 Innledning

Under og etter andre verdenskrig ble det kassert, dumpet og gravd ned betydelige mengder med ammunisjon i Norge. Den dumpede ammunisjonen utgjør en betydelig samfunnsrisiko. De fleste funn av dumpet ammunisjon blir i dag gjort av sivile som mangler tilstrekkelig kunnskap om hvordan slike funn skal håndteres. Tilstanden til dumpet ammunisjon er ukjent.

Trinitrotoluen (TNT) er et av de mest brukte sprengstoffene benyttet av militære, industri og innen gruvedrift. TNT er et lite følsomt sprengstoff, det er lite påvirkelig for slag, og det er vanskelig å initiere med friksjon. Fra starten av 1900-tallet har TNT vært en viktig bestanddel i sprengstoffladninger i ammunisjon. En må derfor påregne at mye av den dumpede ammunisjonen inneholder TNT. Tilstanden til dumpet ammunisjon med TNT og spørsmål knyttet til om følsomheten kan ha endret seg med tiden er blitt undersøkt og blir beskrevet i denne rapporten.

Ved bruk av samme tilnæringsmetode som man benytter i en levetidsanalyse, har ammunisjonens livsløp blitt gjennomgått fra produksjon til dumpet tilstand. Det er sett på hvilke påvirkninger objektet vil utsettes for og hvilke effekter disse påvirkningene har på ammunisjonens aldring og følsomhet, og hvordan tilstanden til den dumpede ammunisjonen endrer seg.

Gjennomgang av hendelser med dumpet ammunisjon og av ulike oppdrag der funn av ammunisjon er håndtert kan gi verdifull informasjon om stabiliteten til dumpet ammunisjon. Om noen ammunisjonstyper er overrepresentert i ulykkesstatistikken, kan dette indikere at følsomheten til disse er stor.

Dette arbeidet er gjennomført i prosjekt 1300 – AMMRISK – Helhetlig risikovurdering og uskadeliggjøring av dumpet ammunisjon og blindgjengere.

1.1 Tyske sprengladninger

TNT ble første gang fremstilt i 1863, men ble ikke anvendt til ammunisjon før på begynnelsen av 1900-tallet (1). Tyskerne fylte artillerigranater med TNT første gang i 1902, mens britene byttet ut noen sprengstoffer med TNT først i 1907 (2). I løpet av både første og andre verdenskrig ble det stor mangel på TNT, nitroglyserin (NG) og andre sprengstoffer som gjorde at tyskerne måtte ty til andre sprengstoffer (kalt erstatningssprengstoffer).

I midten av 1930-årene forutså tyskerne krig og startet utviklingen av blant annet sprengstoffene pentaerytritoltetranitrat (PETN eller også kalt pentritt) og heksahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazin (RDX). Dette for å komme i forkjøpet av en eventuell mangel på aromatiske hydrokarboner, som var utgangsstoffer til de eksisterende sprengstoffene. De nye sprengstoffene ble fremstilt fra alifatiske forbindelser som en antok ikke ville bli begrensede ressurser. PETN og RDX er mer kraftfulle enn TNT, pikrinsyre og tetryl, men de er for følsomme til at de ble benyttet alene i bristeladninger i granater. Tilsetning av ca. 10 % voks for å belegge partiklene, gjorde det

mulig å kunne presse sprengstoffblandinger i prosjektiler og granater på en sikker måte. På grunn av de høye smeltepunktene til RDX og PETN kunne ikke disse blandingene smeltestøpes. Tilsetning av omtrent like mengder av enten TNT eller 1,3-dinitrobensen (DNB), som har lave smeltepunkt, gjorde det mulig å smeltestøpe blandingene. Da RDX og PETN ble tilgjengelige i industriell skala, begynte disse forbindelsene å erstatte de aromatiske nitroforbindelsene i bristoladninger i ulike prosjektiler, i boostere og i detonatorer. Da aluminium ble tilsatt blandinger med RDX og PETN, fikk man til da de mest kraftfulle og brisante undervannsprengstoffene. Disse ladningene ble brukt da Tyskland sank flere amerikanske og britiske skip.

1.2 Dumpet ammunisjon og krigsetterlatenskaper

Etter andre verdenskrig ble store mengder med ammunisjon avhendet ved dumping i havet eller i innsjøer eller den ble gravd ned på land. Dumping av ammunisjon i vann som en avhendingsmetode var tillatt og ble benyttet helt opp til 1980-årene. Det kan også forekomme dumpet ammunisjon helt tilbake fra første verdenskrig.

Mesteparten av ammunisjonen ble dumpet langs kysten. I tillegg finnes det skipsvrak med ammunisjon, gamle minefelt, rester etter krigshandlinger som udetonerte flybomber og et stort antall blindgjengere spredt utover på land, i sjø og i vann samt. Med unntak av Finnmark, hvor de største mengdene ble dumpet, er det anslått at rundt 200 000 tonn ammunisjon er dumpet. Antall sjøminer anslås til ca. 130 000, men dette tallet kan være større. Ca. 50 000 av sjøminene ble ryddet etter krigens slutt.

Forsvaret har oppdrag med leting etter og destruksjon av sjøminer. Utover dette foregår det ingen aktiv virksomhet i Norge for å finne dumpet ammunisjon. Funn av dumpet ammunisjon forekommer oftest ved at sivile tilfeldig kommer over objekter på land eller i strandkanten, eller ved at fiskere får objekter i fiskegarnene sine. I Norge er det bare Forsvaret som kan håndtere og avhende ammunisjon. Hvert år har Forsvaret nærmere 350 oppdrag for å håndtere ulike funn av ammunisjon. Funn som håndteres av EOD-personell blir ofte flyttet på før objektene blir demolert for å minimere skader ved sprengningene.

For sivile utgjør ammunisjonsobjektene en sikkerhetsrisiko fordi sivile ikke har kunnskap om objektene eller om hvordan de håndteres. Barn er ekstra nysgjerrige og deres iver etter å undersøke objektene er risikabel. Ved mudring i havneområder og annen anleggsvirksomhet som skal foretas på områder der det kan ligge dumpet ammunisjon, kan ammunisjonsobjekter utgjøre en fare både for anleggsarbeiderne og for folk og virksomheter i nærheten.

Ammunisjon som ligger i vann vil med tiden korrodere, og vann kan trenge inn i ladningene. Hvor fort korrosjonen skjer, avhenger av blant annet type metall og om ammunisjonen ligger i ferskvann eller saltvann. Avhengig av ammunisjonstype og lagringsbetingelser under dumpede forhold, kan kjemikalier lekke ut, og den dumpede ammunisjonen kan utgjøre et miljøproblem. Intakt dumpet ammunisjon kan utgjøre et sikkerhetsproblem hvis sivile får tak i objektene og bruker dem til uærlige formål. Problemstillinger knyttet til miljøspørsmål og sikkerhet rundt dumpet ammunisjon vil ikke bli behandlet videre i denne rapporten.

Dumpet ammunisjon kan være alle typer ammunisjon. Identifisering av objekter er vanskelig på grunn av at de ytre delene ruster og at merkingen kan være tæret bort eller forsvunnet. Mangfoldet av mulige ammunisjonstyper og manglende identifisering av ammunisjonen medfører at det er vanskelig å vurdere objektenes følsomhet. Tilstanden til dumpet ammunisjon er ikke kjent. Avhengig av ammunisjonstype vil mye være degradert og uskadeliggjort etter mange år under vann. Men selv etter mange år i dumpet tilstand kan ammunisjonen allikevel være intakt og i stand til å omsettes. Omsetning kan skje uforvarende mens ammunisjonen ligger i ro. Eller omsetning kan inntreffe ved mekanisk påvirkning når ammunisjonen håndteres eller i forbindelse med flytting. Havstrømmer kan føre til bevegelse og flytting av objekter.

Seismiske observasjoner tyder på at det flere steder går av salver med dumpet ammunisjon. Dette er registrert i Irskesjøen mellom Irland og Storbritannia hvor det befinner seg store mengder dumpet ammunisjon (3). I Norge kjenner man ikke til om seismiske observasjoner er koblet opp mot mulige spontane detonasjoner av dumpet ammunisjon.

2 Hendelser med dumpet ammunisjon

NATOs Munitions Safety Information Analysis Center (MSIAC) har en åpen database på nett over hendelser og ulykker som har forekommet med ammunisjon over hele verden fra og med 2010 (4). Dataene angir når og hvor hendelsene har funnet sted og beskriver hva som har skjedd og hva som er årsaken. Detaljeringsnivået er avhengig av hva slags informasjon som har vært tilgjengelig om de enkelte sakene. Databasen er på ingen måte komplett, og en må gå ut ifra at det er flere hendelser og ulykker enn det som er innrapportert. Foruten denne åpne databasen har MSIAC også en gradert database (MSIAC Accident Database eXchange (MADX)), en versjon hvor kun statsansatte i Storbritannia, USA, Frankrike, Canada og Australia har tilgang.

For perioden mellom 2010 og 2016 inneholder databasen (4) ca. 350 innrapporterte tilfeller. I 2013 var det svært mange hendelser, ofte flere på samme dag verden over. Andre år er det i enkelte perioder ikke meldt inn noen hendelser. Om dette gjenspeiler at det faktisk ikke har skjedd noe i disse tidsperiodene, eller om det er innrapporteringen som er mangelfull, er vanskelig å fastslå. Av de 350 innrapporterte hendelsene er det ca. 33 som er knyttet til funn og demolering av dumpet ammunisjon fra ulike kriger (første og andre verdenskrig, eller borgerkriger), se vedlegg A.

Dataene i den åpne databasen viser at dumpet ammunisjon oftest blir funnet under anleggsarbeider der det graves i jorda eller i sjøen, eller oppdages av personer som tilfeldig kommer over ammunisjonen. Det har også vært et par hendelser der ammunisjon har selvantent og gått av og har etterlatt seg et stort krater som bevis på at noe hadde skjedd. F. eks. ble det i Frankrike i 2015 oppdaget et stort krater ute på et jorde der en bombe fra krigens dager hadde detonert. Det var ingen vitner til hendelsen, og ingen ble skadet.

Det er kun én av de innrapporterte hendelsene med dumpet ammunisjon som har ført til tap av liv. Det skjedde da et eksplosivt pulver tok fyr under håndtering av en granat som skulle demoleres. Til sammen har 27 personer blitt skadd under de innrapporterte oppdragene med dumpet ammunisjon. I et av tilfellene gikk en bombe av under transport på et eksplosivryddeoppdrag (EOD), og i et annet tilfelle tok hvitt fosforgranater fra 2. verdenskrig fyr da arbeidere på et lager kom borti ammunisjonen. Et annet sted oppstod en eksplosjon da en 20 pounds bombe skulle demoleres i en knusemaskin i et resirkuleringsanlegg. Ved mudring ble det et sted funnet flere granater, og en av dem gikk av da den ble forsøkt delt opp.

I flere av oppdragene er ammunisjonsobjekter blitt tatt hånd om av EOD-personell og er blitt demolert eller avhendet på kyndig måte uten at det er skjedd noen uhell. Flere av objektene er store og inneholder opptil flere hundre kilo sprengstoff. Store flybomber som dukker opp er blindgjengere som ikke er gått av under bombing.

I de innrapporterte hendelsene ser det ut til at håndtering av objektene er kritisk for om det kommer til å skje noe uønsket eller ikke. EOD-personell håndterer eksplosivobjektene på en varsom måte og unngår stor mekanisk påvirkning på ammunisjonen. Røff håndtering som f.eks. i en knusemaskin eller at man kommer borti ammunisjonen ved graving og mudring, utgjør en større risiko og gjør ammunisjonen mer utsatt for initiering. At ammunisjonsobjektene utsettes for hard håndtering, kan skyldes uvitenhet ved at man ikke kjenner til objektene og hvilken risiko de utgjør.

Boka «Ammunisjonstjenesten i Hæren etter 1945» Bind 1 (5) har et kapittel der ulykker med ammunisjon i Hæren etter andre verdenskrig og fram til ca. 2000 blir beskrevet. Det har vært flere ulykker i Norge der store mengder ammunisjon har gått av og der ammunisjon fra krigen har vært involvert. I august 1945 var det en stor eksplosjonsulykke på Grønlikaia i Oslo. Det skulle dumpes overskuddsammunisjon etter tyskerne, og ulykken skjedde da en kasse med 20 mm sprengpatroner falt ned fra den overlessete kranskuffen og ned på ammunisjonen i rommet på lekteren Filius. To norske kranførere og 39 tyskere ble drept, og 108 personer måtte bringes til sykehus. I september 1945 eksploderte båten Thekla fullastet med ammunisjon utenfor Florø. Båten var lastet med ammunisjon som skulle dumpes fra tyske lagre i området. 20 mennesker ble drept i eksplosjonen. Årsaken til ulykken er ikke kjent.

I 1948 var det en eksplosjonsulykke på Hofstad ammunisjonslager der fire arbeidere omkom. Det foregikk arbeid med tyske geværgranater med brannrør som var svært ømfintlige for ytre påvirkninger i form av støt og slag. Årsaken til ulykken ble ikke påvist, men det ble antatt at det må ha skjedd et uhell i forbindelse med opplasting av ammunisjonskassene som geværgranatene befant seg i.

I 1951 ble tre personer fra minekommandoens mannskaper drept i Sør-Varanger under dumping av ammunisjon i et vann, blant annet bombekastergranater og håndgranater. Ulykken skjedde antagelig ved at en større mengde ammunisjon som var dumpet i vannet tidligere detonerte. I 1960 ble en person skadd da fem ammunisjonshus og to fristabler med diverse ammunisjon gikk av på Ringebu på grunn av selvantenning av lagret tysk ammunisjon. Dette var antageligvis 7,92 mm prosjektiler av typen observasjonspatron der prosjektilet inneholdt hvitt fosfor og en liten

sprenngladning. Prosjektilene var til dels angrepet av korrosjon, og tilgang på luft antente hvitt fosfor-ladningen.

Som nevnt har Forsvaret årlig ca. 350 oppdrag i forbindelse med funn av ammunisjonsobjekter. Det har ikke vært registrert at ammunisjonen har gått av utilsiktet under noen av disse oppdragene eller at det har inntruffet skader på personell. Dette viser at ammunisjonen har vært håndterbar av profesjonelle.

Både i Norge og i verden ellers skjer de fleste ulykker med ammunisjon på grunn av feil håndtering, uvøren bruk eller ved brudd på sikkerhetsrutiner. Man bør f.eks. ikke varme opp et ammunisjonsobjekt med en propanbrenner! Det inntreffer også flere ulykker hos produsenter av våpen og ammunisjon, hos forhandlere og i forbindelse med ulovlig omsetning av ammunisjon. Dette viser viktigheten av kunnskap om objektene og om hvordan de skal håndteres.

3 Levetidsanalyse av dumpet ammunisjon

3.1 Generelt

Levetidsanalyse benyttes for å estimere en ammunisjons funksjonstid. I en slik analyse gjennomgås alle livsfaser som objektene kan tenkes gjennomgå fra produksjon til avhending (6). Hvilke påvirkninger objektet utsettes for og hvilke effekter disse påvirkningene har på funksjon og ytelse blir kartlagt. Ut ifra kunnskaper om systemets forskjellige egenskaper, vil man da kunne forutsi systemets levetid. Bruk av levetidsanalyse kan også anvendes når man har ammunisjon på lager som har nådd levetiden sin og som man ønsker å vurdere for videre bruk.

Avhengig av hvilket miljø ammunisjonen utsettes for, vil komponentene degraderes over tid. Det er avgjørende å forstå hvilke faktorer som påvirker systemets ytelse og levetid. Viktige parametere i denne sammenheng er systemdesign med materialvalg og strukturell oppbygning. Deretter er det viktig å ha oversikt over miljøet som systemet blir utsatt for, herunder temperatur, fuktighet, sjokk og vibrasjoner.

Denne tilnæringsmetoden er benyttet for å undersøke påvirkninger og effekter på følsomhet og stabilitet gjennom den dumpede ammunisjonens livsfaser. Slik vil man kunne få et grunnlag for si noe om tilstanden til dumpet ammunisjon basert på hva den kan tenkes å ha vært utsatt for gjennom levetiden og i årene etterpå i dumpet tilstand.

3.2 Miljøpåvirkninger og respons i ammunisjon

Det er en rekke påvirkninger som ammunisjonen utsettes for av miljøet og fra håndtering. Aktuelle parametere er gitt i Tabell 3.1 sammen med hvilke effekter påvirkningene kan ha på ammunisjonen.

Det må vurderes hvor alvorlig påvirkningen er, sannsynlighet, frekvens og varighet, og det må pekes på hvilken parameter som vil ha størst effekt. Det kan oppstå synergieffekter fra ulike påvirkninger, og det kan oppstå kumulativ effekt av liknende påvirkninger, Tabell 3.2. For eksempel kan høy temperatur ha ødeleggende effekt på et materiale. Hvis det i tillegg er høy fuktighet, vil dette være mer ødeleggende enn høy temperatur alene. Lav temperatur kan hardne materialer, og hvis det også oppstår mekanisk påvirkning, kan materialer sprekke opp. Salte betingelser kan føre til korrosjon og dannelse av sprekker i materialene.

Siden mesteparten av den dumpede ammunisjonen i Norge stammer fra andre verdenskrig, vil det legges til grunn for at ammunisjonen som vurderes er tysk ammunisjon som er produsert i Tyskland og som er fraktet til Norge under krigen. Under eller etter krigen er ammunisjonen antatt dumpet i vann eller gravd ned i jord.

Tabell 3.1 Oversikt over effekt på egenskaper til ammunisjon og mulig feilfunksjonering som følge av miljøpåvirkninger (6)

Miljøfaktor	Hovedeffekter	Feilfunksjonering
Høy temperatur	Raskere aldring (degradering av materialer) Myking, smelting, sublimering Fysisk ekspansjon	Endret ytelse og følsomhetsegenskaper Mekaniske egenskaper til eksplosiver blir dårligere Forseglinger brytes, utsvetting
Lav temperatur	Materialer blir harde og sprø Fysisk sammentrekning	Endret ytelse. Forseglinger brytes Tap av mekanisk styrke. Ladninger sprekker opp
Høy relativ luftfuktighet	Akselerert forringelse Absorpsjon av fuktighet Korrosjon. Muggvekst	Endret ytelse eller funksjonsfeil Svelling, tap av mekanisk styrke
Lav relativ luftfuktighet	Sprøhet	Endret ytelse Økt følsomhet
Sykliske temperatur- endringer	Like effekter som av høy og lav temperatur pluss fuktinntrengning, vekst, stress	Effekter som ved høy og lav temperatur, endret ytelse og følsomhetsegenskaper Forseglinger og bindinger brytes
Lavt trykk	Ekspansjon, gassing	Varige endringer i ytelse til en del blandinger
Solstråling	Akselererte forringelsesreaksjoner, sprøhet, økt termisk stress	Effekter som ved høy temperatur (rene eksplosiver må aldri eksponeres for direkte solstråling)
Salt sjøsprøyt	Korrosjon	Funksjonsfeil
Sand og støv	Sliping, tilstopping	Økt slitasje, funksjonsfeil
Regn	Sliping, korrosjon, fysisk stress	Funksjonsfeil
Is, hagl, snø	Sliping, tilstopping	Funksjonsfeil
Termisk sjokk	Mekanisk stress	Feil ved pakninger, bindinger Tap av mekanisk styrke
Vibrasjon	Mekanisk stress, slitasje, trøtthet	Feil ved pakninger og bindinger Funksjonsfeil Tap av mekanisk styrke
Akselerasjon	Mekanisk stress	Feil ved pakninger og bindinger Funksjonsfeil Tap av mekanisk styrke
Sjokk	Alvorlig mekanisk stress	Feil ved pakninger og bindinger Funksjonsfeil Tap av mekanisk styrke, økt farerisiko

Tabell 3.2 Synergieffekter fra flere miljøfaktorer (6)

Faktor A	Faktor B	Effekt av begge faktorer
Høy temperatur	Vibrasjon, sjokk, akselerasjon	Forsterker effekten fra hver av dem.
	Fuktighet	Økt hastighet for fuktinntrenging Begge faktorene forsterkes
	Salt sjøsprøyt	Økt korrosjonshastighet
	Soppvekst	Mikroorganismer trenger varme for å vokse. Over ca. 70 °C kan de ikke utvikles
	Solstråling	Forsterker effekten på organiske materialer
Lav temperatur	Vibrasjon, sjokk, akselerasjon	Kan forsterke effekter på polymere (spesielt pakninger) ved temperaturer lave nok til å forårsake herding/sprøhet
	Fuktighet	Kan føre til kondensering
	Salt sjøsprøyt	Reduserer korrosjonshastigheten
	Sopp	Reduserer eller hindrer vekst
	Solstråling	Reduserer effekten av hverandre
Høy luftfuktighet	Salt sjøsprøyt	Kan fortynne saltkonsentrasjon, men har ingen effekt på den korrosive effekten av saltet.
	Sopp	Fremmer vekst av mikroorganismer
	Solstråling	Forsterker effekter av solstråling på organiske materialer

3.3 Påvirkninger som dumpet ammunisjon har gjennomgått

Følgende livsfaser tenkes å være aktuelle for et dumpet ammunisjonsobjekt fra produksjon til dumpet tilstand:

- Produksjonsprosess og lagring hos produsent
- Transport til og lagring hos det tyske forsvaret
- Håndtering i alle ledd, lasting og lossing
- Operasjonell fase: transport, håndtering, lagring, montert på våpenplattform
- Dumpet tilstand, inkludert dumpeprosessen

En må anta at granatene er produsert med råvarer av høy kvalitet og under kontrollerte betingelser. Lagring av ammunisjon har sannsynligvis foregått under kontrollerte temperaturforhold. Det antas at ammunisjonen ikke har vært utsatt for påvirkninger hos produsenten som reduserer kvaliteten. I en viss periode under krigen arbeidet russiske krigsfanger på tyske ammunisjonsfabrikker, men det forekom sabotasje, og ordningen måtte avsluttes. Dette kan være en kilde til ammunisjonsobjekter med forringet kvalitet, men det vil være vanskelig å peke ut hvilke.

Ved lagring hos det tyske forsvaret før ammunisjonen ble fraktet til Norge, kan lagringen ha vært foretatt i tempererte lagre, men neppe med fuktighetskontroll. Selv uten temperaturkontroll vil lagring innendørs antageligvis ha foregått uten for store temperaturvariasjoner. Det antas at håndteringen har vært forsvarlig hos produsenten og mens ammunisjonen fortsatt var i Tyskland.

Tysk ammunisjon produsert i Tyskland ble fraktet til Norge under 2. verdenskrig hovedsakelig med båter. Lagring på dekk vil ha gitt temperaturer som varierer med årstiden. I tillegg kan det ha vært høy luftfuktighet, salt sjøsprøyt, og vibrasjon fra båten. Ved lagring nede i båten vil belastningen fra temperatur, vær og vind ha vært betydelig mindre. Ved transport på vei eller med jernbane, kan ammunisjonen ha vært utsatt for høye eller lave temperaturer avhengig av årstiden. Det vil ha forekommet temperatursvingninger. På dårlige veier kan det ha forekommet risting og vibrasjoner, som kan ha gitt mekanisk belastning på ammunisjonen. Lange transportetapper vil ha gitt påvirkninger over lang tid. Dersom ammunisjonen har blitt fraktet med fly, vil ammunisjonen kunne ha vært utsatt for lave temperaturer, lave trykk, akselerasjon og vibrasjoner.

I Norge antas det at ammunisjonen hovedsakelig er blitt fraktet med biler. Avhengig av vegstandard kan ammunisjonen ha blitt utsatt for varierende grad av risting og vibrasjoner. Asfalten kom til Norge på begynnelsen av 1900-tallet, men det var først etter andre verdenskrig at det ble vanlig med asfalterte veier i de større byene, på 60-tallet i distriktene.

I felt kan lagring ha foregått i midlertidige lagre eller på kjøretøy. Mye tysk ammunisjon ble lagret på kystfort under krigen. En del ammunisjon ble også frilagret, dvs. ute i det fri kanskje med presenning over. Avhengig av hvor ammunisjonen ble lagret, kan den ha vært utsatt for lave temperaturer om vinteren og høye temperaturer på sommeren. Dersom ammunisjonen har vært ubrukt over flere år, vil ammunisjonen kunne ha opplevd gjentatte og mulige store temperaturvariasjoner. Ved frilagring og på kjøretøy kan ammunisjonen ha blitt utsatt for sol, regn, snø og ising. Langs kysten er det fuktig luft og i innlandet tørr luft. Dette kan ha gitt varierende fuktighetsbetingelser dersom ammunisjon ble flyttet omkring.

Ved våpenplattformen kan aktiviteten ha vært stor og travel, og håndteringen av ammunisjon kan ha vært mindre forsvarlig. Dette kan ha ført til større mekanisk belastning på ammunisjonen enn under roligere forhold. Om ammunisjonen ikke var montert på våpenet, har den kanskje ligget klar til bruk og i åpne kasser på bakken. Avhengig av årstid vil ammunisjonen da kunne ha blitt utsatt for høye eller lave temperaturer, temperatursvingninger, solstråling, regn og snø.

Ved transport til dumpeplassen med bil, kan ammunisjonen kan ha blitt utsatt for humping og risting. På dumpeplassen kan objektene ha blitt losset forsiktig ned eller de blitt er vippt ned av en lastebil. Fra båter ble ammunisjonen ofte skjøvet over båtripa på «samlebånd». Dumpeprosessen kan ha påført ammunisjonen ulik grad av mekanisk påvirkning.

Ammunisjon kan være dumpet i sjø, i ferskvann eller gravd ned i jord. Ammunisjon som ligger i sjøen, vil ha vært utsatt for konstant lav temperatur i mange tiår. Temperaturen i vannet vil være avhengig av dybden der ammunisjonen ligger. Vannet vil kunne korrodere bøsningene,

men hvor mye er avhengig av type metall og tykkelse. Saltvann har større påvirkning enn ferskvann fordi korrosjonen går raskere i saltvann. Strømninger i vannet kan føre til bevegelser av ammunisjonsobjekter og mekanisk påvirkning.

Ammunisjon som ligger nedgravd i bakken vil være utsatt for temperaturvariasjoner som følge av årstidene der ammunisjonen ligger. Om vinteren kan temperaturen bli lav. Fuktighet i jorda kan medføre korrosjon på materialer. Dersom det blir hull på deler, kan fuktighet og vann komme inn i ladninger.

3.4 Vurdering av påvirkninger

Ved gjennomgang av de ulike livsfasene en tenker at dumpet tysk ammunisjon kan ha gjennomlevd, antas det at det er transportetapper og tiden i Norge under krigen som vil ha hatt størst påvirkning på tilstanden til ammunisjonen. Deretter er forholdene i dumpet tilstand av betydning. De verste påvirkningene ammunisjonen har blitt utsatt for er svært lave temperaturer og temperatursvingninger utendørs, både under transport og under lagring. I tillegg kan granatene ha blitt utsatt for vibrasjoner og risting under veitransport, både på vei til Norge og under tiden i Norge. Påvirkning ute i teatret kan ha vært avhengig av om ammunisjon tilhører hæren, marinen eller flyvåpenet. Uansett bruksområde har ammunisjonen høyst sannsynlig blitt utsatt for lave temperaturer, og store temperaturvariasjoner. Kombinasjonen av lave temperaturer og mekanisk påvirkning er ugunstig.

Lave temperaturer fører til at materialer blir harde og sprø. Dersom volumet varierer med temperaturen, kan det føre til fysisk sammentrekning av materialet ved lave temperaturer. Dette kan resultere i endret ytelse og at forseglinger brytes. Materialer kan oppleve tap av mekanisk styrke, og eksplosivladninger kan sprekke opp. Vibrasjoner og sjokk kan føre til mekanisk stress, slitasje og tretthet i materialene. Dette kan gi feil på pakninger og bindinger, og tap av mekanisk styrke. Kombinasjonen av lave temperaturer, vibrasjoner og sjokk, kan forsterke effektene av begge. Hvis et materiale er hardnet eller blitt sprøtt ved lav temperatur, og materialet samtidig blir utsatt for vibrasjoner eller sjokk, er det større sjans for at materialet sprekker opp.

Vann vil korrodere metalleder på ammunisjonen, og i sjøvann går korrosjon raskere enn i ferskvann. Korrosjon kan gi hull på bøssinger, og vann kan trenge inn i ladningene. Vann kan også komme inn via pakninger og tetninger som er degradert av å ligge i vann. Vannløselige forbindelser i ammunisjonen kan bli vasket ut og gjøre eksplosivladningene mindre. Utvaskingen kan føre til dannelse av sprekker og hulrom i ladningene. I de fleste tilfellene vil vanninntrenging føre til uskadeliggjøring av eksplosivene og gjøre dem mindre følsomme.

Dumpet ammunisjon er som regel uten tennere eller brannrør. Blindgjengere vil ha og andre krigsetterlatenskaper vil kunne ha brannrør eller tenner montert. Korrosjon kan føre til dannelse av forbindelser som kan være mer følsomme eller uforenelige med andre stoffer i ammunisjonen. Dette kan være kritisk for tennmekanismer og gjøre objektene følsomme for mekanisk

påvirkning. Tennmekanismer kan også korrodere slik at sikringsanordninger forsvinner og blottlegger tennål og initialsprengexplosiver.

Dersom ammunisjon med hull i bøssingen og blottlagt eksplosivladning driver på land og blir tørrlagt, kan dette være uheldig for noen ladninger. Røykladninger med hvitt fosfor (WP) vil antenne i kontakt med luft og kan påføre brannskader på folk eller kan starte brann i vegetasjon eller i materialer i nærheten. I verste fall kan sprengladningen initieres og detonere.

4 Detonasjon

En detonasjon kan initieres i et energirikt materiale når tilstrekkelig energi er blitt tilført. Da settes det i gang en trykkbølge som utvikler seg til en detonasjon. Minimum initieringstrykk kan ofte være mange ganger lavere enn detonasjonstrykket som dannes. Energien kan tilføres i form av en ekstern sjokkbølge, eller fra en deflagrasjon som går over til en detonasjon eller at den utvikler seg fra lokalt varme områder, såkalte hot spots, i materialet (7).

En detonasjon forårsakes av en selvoppholdende sjokkbølge som passerer gjennom et eksplosivt materiale. Hastigheten på sjokkbølgen kalles detonasjonshastigheten. Under en detonasjon får man ut maksimal energi fra materialet. Hovedladningen i en sprengladning er utstyrt med ladninger som har en tilrettelagt tenningsrekkefølge som sørger for detonasjon i hovedladningen. Hvis følsomheten til deler av tenningsrekkefølgen endres, kan betingelsene endres, og sprengladningene kan gå av uventet.

I detonasjonen beveger forbrenningsproduktene seg i samme retning som den reagerende overflaten (reaksjonssjiktet) og bygger på denne måten opp et trykk som opprettholder sjokkbølgen. Reaksjonsbølgen har supersonisk hastighet (høyere hastighet enn lydhastigheten i materialet) i en detonasjon. I en deflagrasjon beveger forbrenningsproduktene seg fra den reagerende overflaten, og reaksjonssjiktet har subsonisk hastighet.

En detonasjon forårsaker skader på materialer som er i kontakt med eksplosivet både fra den direkte effekten fra sjokkbølgen og fra den raske ekspansjonen av forbrenningsproduktene som skaper plastisk deformasjon eller brudd i materialene. På avstand oppstår skader både på grunn av trykkbølgen fra eksplosjonen og fra utkastede fragmenter.

Overføring fra sjokk til detonasjon (SDT) inntreffer når man benytter en mindre ladning som går av først og som initierer hovedladningen (7). En sjokkbølge treffer da materialet ved et støt og setter i gang en detonasjonsbølge i materialet. Tilført energi må være over en kritisk verdi for at detonasjonsbølgen skal kunne forplante seg. Detonasjonen vil utvikles innen noen få mikrosekunder etter påføring av sjokket. Startladningen må være lettere å initiere enn hovedladningen og derfor benyttes mer følsomme eksplosiver i startladninger.

Hvis diameteren på sprengladningen er liten, kan energitapet ut mot sidene av ladningen bli for stort, og detonasjonsbølgen vil ikke kunne opprettholdes gjennom materialet. Ladningen må derfor være over en viss kritisk diameter, og denne varierer med type sprengstoff. Innesluttede ladninger vil ha mindre energitap mot omgivelsene, og kritisk diameter vil da være mindre for innesluttede ladninger.

En detonasjon kan også oppstå fra en hot spot (7). En hot spot er et lokalt område med høyere temperatur enn gjennomsnittet av materialet. En ekstern stimulus setter i gang en termisk dekomponering av sprengstoffet og fører til tenning eller initiering av sprengstoffet. Støt, friksjon, elektrostatisk utladning, hull eller andre faktorer kan danne hot spots i materialet. Energi fra hot spoten kan overføres i form av sjokkbølger eller fortynnede bølger. Sjokkbølgen varmer opp det omkringliggende sprengstoffet og kan initiere en detonasjon i materialet. Ikke alle hot spots vil føre til en detonasjon. Dette avhenger av styrken på sjokkbølgen og hvor raskt den svekkes ved grenseflater.

I noen eksplosiver kan en deflagrasjon bygge seg opp til en detonasjon, dette kalles overføring fra deflagrasjon til detonasjon (DDT) (7). En lokal initiering danner da en konvektiv flamme-front som blir til en initieringsbølge som forplanter seg på grunn av de varme gassene som passerer gjennom porene i ladningen. Gassene presses inn i porene på grunn av trykkoppbygging som følge av fordemning. De varme gassene varmer opp poreveggene, men vil selv bli avkjølt. En kontinuerlig flyt av gasser er derfor nødvendig for å klare å øke temperaturen i poreveggene tilstrekkelig til at det oppstår antenning.

5 TNT

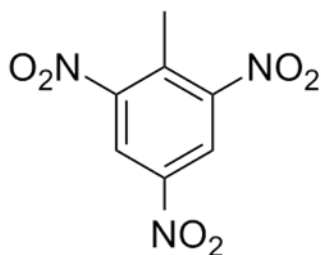
Det er foretatt en litteraturstudie av TNT og dens egenskaper. De benyttede oppslagsverkene (2,7,8,9,10,11) inneholder mye informasjon om de fleste eksplosivene og har mange videre referanser. I denne rapporten refereres informasjon som kan ha betydning for aldring og følsomhet med tanke på hvilke påvirkninger ammunisjonen er blitt utsatt for.

TNT er et nitroaromat med kjemisk formel $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$, se struktur i Figur 5.1. Tettheten er $1,65\text{g/cm}^3$, og løseligheten i vann er $0,13\text{ g/L}$ ved $20\text{ }^\circ\text{C}$ (8,10). TNT har et lavt smeltepunkt ved $80\text{ }^\circ\text{C}$, som er fordelaktig for smelte- og støpeprosesser for tillaging av ladninger (8,10).

Kort fortalt er TNT sikker ved håndtering, har relativ høy eksplosiv kraft, har god kjemisk og termisk stabilitet, har fordelaktige kjemiske egenskaper, og er forenlig med andre eksplosiver. TNT gjennomgår ikke dekomponering i smeltet tilstand. Smeltepunktet påvirkes ikke av gjentatte smelte- og støpeprosesser, men blir påvirket av fuktighet og vanninnhold. Høyere vanninnhold senker smeltepunktet (7).

TNT er et av de minst følsomme militære eksplosivene. Slagtester resulterer i relativt høye verdier sammenliknet med andre militære eksplosiver, men slagfølsomheten øker med temperaturen (7). GAP og prosjektiltester indikerer at støpt TNT er mindre følsom enn presset TNT. Finfofaldelt TNT, dannet fra kondensering av dampfasen, er mer følsom for slag enn krystallinsk materiale. Friksjonstesting antenner ikke TNT. Pellets av TNT som er presset fra TNT-flak får en reduksjon i detonasjonshastigheten og følsomheten for initiering etter lagring i en uke ved 65 °C (7). Disse endringene skyldes utsondring av oljeurenheter, rekrystallisering, og segmentering av TNT.

TNT utviser ingen degradering etter 20 års oppbevaring i lager eller etter to års lagring som væske ved 85 °C (8,10). Kun små mengder dekomponerer etter lagring i 40 timer ved 150 °C. Over denne temperaturen vil det foregå en sakte dekomponering. Selvantenning vil inntreffe etter ca. 38 timer ved 200 °C (8,10). Termisk dekomponering av TNT i væskefase karakteriseres ved en sigmoid formet kurve som er typisk for en autokatalytisk reaksjon. Eksplosjon vil oppstå etter en induksjonsperiode som avhenger av temperaturen. Oppvarming til kokepunktet fører til destillasjon og ikke eksplosjon i små prøver (8,10).



Figur 5.1 Strukturformel TNT

Termisk analyse indikerer at det inntreffer en endoterm reaksjon mellom 75 og 100 °C (smelting) og en eksoterm reaksjon ved 260 – 310 °C. Dekomponering eller termisk degradering av TNT vil bare inntreffe når TNT er lagret i lang tid ved høyere temperaturer (> 85 °C) (7).

TNT er motstandsdyktig mot varme, men smeltet TNT er mer følsom overfor slag enn fast TNT. TNT er vanskelig å initiere, men hvis større mengder med TNT brenner, kan forbrenningen utvikle seg voldsomt og ende i en detonasjon (8).

Et forsøk viste at vanninnhold påvirket evnen til å kunne initieres med elektrisk fenghetten. Ved vanninnhold på 7 % hindres detonasjon, mens tørr TNT detonerer (7).

Under 35 °C er TNT et fast og sprøtt materiale. Ved 35 – 40 °C kan det observeres at det foregår en overgang fra sprøtt materiale til en plastisk tilstand. Ved temperaturer over 50 °C utviser TNT plastiske egenskaper (8).

TNT gjennomgår endringer under påvirkning fra solstråling. Mørke forbindelser dannes, og det rapporteres at strukturen for disse forbindelsene ikke er kjent. Det er også observert at smelte-temperaturen til TNT senkes etter at den er utsatt for solstråling (8).

TNT er utsatt for utskillelse av dinitrotoluener og andre isomere av trinitrotoluen. Selv små mengder urenheter kan forårsake dette. Utsondringen kan føre til dannelse av porer og sprekker i ladningene. Utsondret væske kan migrere til brannrørskanalen og danne branngater og øke risikoen for uønskede detonasjoner eller at brannrøret ikke fungerer som det skal (9).

Under smeltefyllingsoperasjonen kan det dannes sprekker og hulrom i det støpte materialet. Dette skyldes en 11 % krymping i volumet når TNT blir fast stoff. Hulrommene oppstår mellom grenene på de store ortorombiske krystallene som dannes (7,10). For å hindre denne prosessen, kan faste TNT-krystaller tilsettes smelta under omrøring. Det vil da dannes en glatt støp med ønskede, tilfeldig orienterte, monokliniske krystaller. TNT som framstilles på denne måten vil gjennomgå irreversibel krystallvekst ved termisk sykling ved temperaturer over 30 – 35 °C. TNT som er støpt fra krystalliseringsentre der TNT-krystaller tilsettes smelta rett før den størkner, har en mindre kritisk diameter enn TNT som dannes ved konvensjonell krystallisering fra en klar smelte (7).

Støpte og pressede ladninger med samme tetthet har forskjellige kritiske diametere (7). Reaksjonstiden til presset TNT er mindre enn halvparten av den til den støpte ladningen. Finfordelt TNT, dannet fra dampkondensering, er mer følsom for slag enn krystallinsk materiale. TNT som er eksponert for lys er mer følsomt (10).

TNT er ikke klassifisert som farlig med hensyn på elektriske gnister, men fint støv av TNT er følsomt overfor elektriske gnister (7). Når støvet antennes i luft, brenner støvet uten detonasjon, og temperaturen på væskefasen må nå 510 °C før forbrenningen resulterer i en detonasjon.

De ulike dataene viser at TNT er ganske stabil over tid selv ved temperaturer opp mot 100 °C. Dumpet ammunisjonen i Norge antas ikke å ha vært utsatt for særlig høye temperaturer. Ammunisjonen kan ha blitt utsatt for solstråling og oppvarming dersom ammunisjonskasser har blitt stående ute på sommeren. TNT-ladningene er innesluttet inne i ammunisjonen og er på den måten skjermet for direkte solstråling og nedbrytning fra strålingen. Fravær av eksponering for høye temperaturer hindrer at TNT-ladningene har vært utsatt for dekomponering eller degradering.

Ammunisjon som ligger i vann vil oppleve stabilt lave temperaturer. Nedgravd ammunisjon kan bli utsatt for større temperaturvariasjoner på grunn av frost i bakken.

Sprekker og hulrom i TNT-ladninger kan dannes på flere måter. De kan stamme fra smelte- og støpeprosesser og finnes i ladningene fra start. Temperatursvingninger kombinert med mekanisk påvirkning kan påføre ladninger sprekker, og sprekker kan dannes ved utsondring av ulike nitrotoluener. Store temperaturvariasjoner eller mindre temperatursvingninger over lang tid kan muliggjøre sublimering og utkrystallisering av TNT-krystaller i ulike hulrom og sprekker. Mekanisk påvirkning på ammunisjonen fra slag eller bevegelser på objektene, kan føre til støt

og friksjon mellom TNT-krystaller i hulrom eller på TNT- ladningers overflater. Friksjon mellom krystallene kan være opphav til antenning av krystallene og gi lokale hot spots i ladningen. Om dette resulterer i en detonasjon, vil være avhengig av om materialet rundt blir tilstrekkelig oppvarmet og om det opparbeides en etterfølgende stor nok trykkbølge til en detonasjon. Store sprekker gir store varmetap til omgivelsene og kan forhindre forløpet til en detonasjon.

Generelt er TNT lite følsomt for friksjon og slag. TNTs følsomhetsegenskaper bør imidlertid undersøkes og spesielt om TNT-krystaller er mer følsomme enn ladningen de er dannet fra.

Dersom det er korrodert hull på metalldele på ammunisjonen, kan vann trenge inn til sprengladningene. Vann i kontakt med TNT-ladninger gjør TNT mindre følsom for initiering. Sprekker i ladningen vil bli fylt med vann, eller trykket vil over tid føre til plastisk deformasjon av TNT-ladningen slik at sprekker vil lukke seg på grunn av trykket. Vanninntrenging kan føre til en sakte utvasking av TNT-ladningen over tid siden TNT har en liten løselighet i vann. I saltvann kan TNT-ladninger være mer degradert enn i ferskvann siden korrosjonen går raskere der og det blir tidligere vanninntrenging.

6 PETN

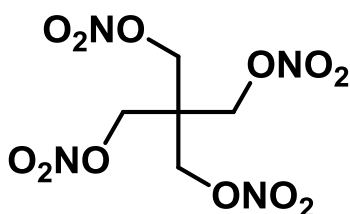
I ammunisjon der sprengladningene består av TNT, vil det ofte være PETN som er hovedbestanddel i boosterladningen (overdragerladningen) (2). PETN er et vesentlig mer følsomt sprengstoff enn TNT og initieres lettere enn TNT. Det bør derfor undersøkes i hvilken grad PETN kan få endret følsomhet og om dumpet ammunisjon med PETN i boosterladninger blir mer følsomme med tiden. Dersom følsomheten til disse ladningene øker med tiden, kan dette føre til en økt risiko for at hele ammunisjonen skal gå av. Det er gjennomført en litteraturstudie på PETN (2,7,8,10,12). Informasjon som er relevant for følsomheten vil bli referert.

I andre verdenskrig ble PETN benyttet i detonatorer som sekundærexplosiv og i blandinger med andre sprengstoffer (2). PETN benyttes i dag som eksplosiv kjerne i industrielle detonerende lunter, i ladninger til kommersielle fenghetter og som sprengladning i eksploderende bruwiretonatorer. PETN benyttes i noen plastiske eksplosiver og i blandinger med TNT som kalles pentolitt (12).

PETN er en nitratester, se struktur i Figur 6.1. PETN har to polymorfe: en tetragonal krystallinsk struktur med tetthet $1,778 \text{ g/cm}^3$ og en ortorombisk krystallinsk struktur med tetthet $1,716 \text{ g/cm}^3$ (7). Faseovergangen mellom disse to strukturene inntreffer ved $130 \text{ }^\circ\text{C}$. PETN smelter ved $141,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Ved atmosfærisk trykk vil PETN raskt dekomponere ved temperaturer over $210 \text{ }^\circ\text{C}$ og i noen tilfeller detonere. PETN har liten løselighet i vann, henholdsvis $0,0043$ og $0,018$ gram per 100 gram vann ved 25 og $96 \text{ }^\circ\text{C}$ (7).

PETN kan degraderes eller destabiliseres i kontakt med andre materialer. PETN er inert overfor ulike metalloksider bortsett fra MoO₃. Ved temperaturer opp til 50 °C, vil PETN ikke reagere med Cu, messing, Al, Mg, Mg/Al-legeringer, rustfritt stål, eller stål belagt med Cu, Cd, Ni eller Zn. Våt PETN reagerer ikke med rustfritt stål, men Al påvirkes noe etter lang tids lagring. Cu, messing, Mg, Mg/Al-legeringer, eller stål og stål belagt med Cd, Cu, Ni eller Zn vil påvirkes (7).

PETN er en av de minst stabile militære eksplosivene (12). PETN er mindre følsom mot slag enn NG og nitrocellulose (NC), men er litt mer følsom enn RDX og betydelig mer enn tetryl. PETN er mindre følsom for friksjon enn RDX og mer følsom enn NG (7). PETN er rangert sammen med RDX og NG som de mest potente av militære eksplosiver (7). Vakuum stabilitets-tester ved 100 og 120 °C viser at PETN er mer stabil enn NC og NG ved høye temperaturer, men betydelig mindre stabil enn RDX, tetryl og TNT (7). PETN er ganske stabil ved 100 °C, det ble ikke observert signifikant nedbrytning etter 100 timer ved denne temperaturen (7).



Figur 6.1 Strukturformel PETN

Det er observert at termisk dekomponering av PETN er sterkt påvirket av nærvær av vanddamp og noe under nærvær av oksygen (12). Tilsetning av vann til PETN kan indusere hydrolytiske reaksjoner, senke aktiveringsenergien for og akselerere dekomponering av PETN. PETN med opptil 35 % vann til stede har blitt satt av og detonert med en elektrisk fenghette No. 6 (7).

Diameteren til en PETN-ladning har liten effekt på detonasjonshastigheten (7). Kritisk diameter er kun 0,9 mm for PETN med tetthet på 1 g/cm³ med partikler på 0,025 og 0,1 mm. Kritisk diameter avtar med økende tetthet på ladningen. Detonasjonshastigheten til PETN blir i liten grad påvirket av fordemningen ved en bestemt ladningsstørrelse.

Det er flere faktorer som kan bidra til ustabilitet av PETN (12). Dette kan være partikkelstørrelse, polymorfe faseoverganger, krystallstruktur, urenheter, fuktighet, okklusjoner, kjemisk uforenlighet og biologisk virksomhet (mikroorganismer). Den faktoren som har størst påvirkning med tanke på langtids aldring av pulvere med høyt overflateareal (som benyttes i detonatorer), ser ut til å være partikkelvekst.

Eksterne faktorer som påvirker stabilitet er temperatur, fuktighet, strålingsfelt og “stress” (12). Interne faktorer er rester av løsningsmidler og urenheter. Temperatur påvirker kinetiske prosesser for krystallvekst slik som adsorpsjon, desorpsjon og diffusjonshastighet til molekyler

på overflaten av PETN-krystallene. PETN kan inneholde en rekke urenheter som kan endre fysiske og kjemiske egenskaper.

Sublimering, rekrystallisering og overflatediffusjon er viktige prosesser som kan forårsake endringer i PETNs krystallmorfologi, partikkelstørrelsesfordeling og overflateareal (12). Sublimering er en prosess som kalles "Ostwald Ripening" som innebærer en spontan vekst fra mindre til større krystaller. Denne prosessen skjer som funksjon av tid uavhengig av lagringsbetingelser, men krystallene kan behandles for å hindre vekst. Mekanismene for partikkelvekst inkluderer "Ostwald ripening", sintring og overflatediffusjon (sistnevnte er ikke observert i forsøk, men er undersøkt teoretisk ved molekylær modellering). Det er vanskelig å gjøre forsøk med partikkelvekst da endringer i størrelse og egenskaper som har med fasongen eller overflaten til partikkelen å gjøre tar veldig lang tid. Dersom partikkelveksten er stor nok til å påvirke partikkelfordelingen, er det ventet at dette kan påvirke ytelsen til detonatorer som inneholder PETN.

Card gap-tester viser at sjokkfølsomheten til PETN avtar med økende pakketetthet (12). Dette betyr at aldringsprosesser som øker tettheten til PETN-pellets kan føre til lavere følsomhet for initiering. Krystallvekst f.eks. ved Ostwald Ripening vil endre volumet av hulrom ved at det dannes større hulrom og materialet blir mindre følsomt for sjokkinitiering

I likhet med TNT, ser det ikke ut til at følsomheten til PETN, vil bli påvirket av de temperaturer og temperautvariasjoner som dumpet ammunisjon vil bli utsatt for. Derimot vil det av ulike årsaker kunne oppstå endringer i partikkelstørrelsen med alderen, og dette vil igjen føre til endringer i tetthet og volum til hulrom som kan påvirke følsomheten.

Det som ser ut til å påvirke følsomheten i negativ retning er kontakt med vann, som kan senke aktiveringsenergien for og akselerere dekomponering av PETN. For å undersøke vanns effekt på dekomponering av PETN, anbefales det å gjennomføre enkle termiske forsøk og måle følsomhet til PETN som er tilsatt vann i ulike konsentrasjoner. Slike fakta kan være viktige for å vurdere om dumpet ammunisjon med PETN, som er mye brukt i boosterladninger, kan få endret følsomhet i kontakt med vann.

Pikrinsyre er benyttet i en del sprengladninger eller i boostere. Pikrinsyre kan under visse betingelser reagere med metaller tilstede i ammunisjonen og danne pikrater. Avhengig av type metallpikrat, kan pikratene være veldig følsomme. En vurdering av pikrater og deres følsomhet er gjennomført ved FFI og er beskrevet i FFI-rapport 17/00818 (13).

7 TNT-krystaller

Med bakgrunn i påvirkninger på dumpet ammunisjon er det sett for seg et hendelsesforløp der det dannes TNT-krystaller i sprekker og hulrom i ladninger som følge av temperatur-svingninger. Ved støt eller mekanisk påvirkning på ammunisjonen, kan det videre oppstå slag eller friksjon mellom krystallene. Dette kan gi opphav til lokale hot spots i ladningen som kan føre til at ammunisjonen omsettes. For å undersøke mulighetene for at dette skal kunne inntreffe, er det gjennomført noen forsøk med TNT for å danne TNT-krystaller og for å måle følsomheten til de dannede krystallene.

7.1 Damptrykk og kondensering

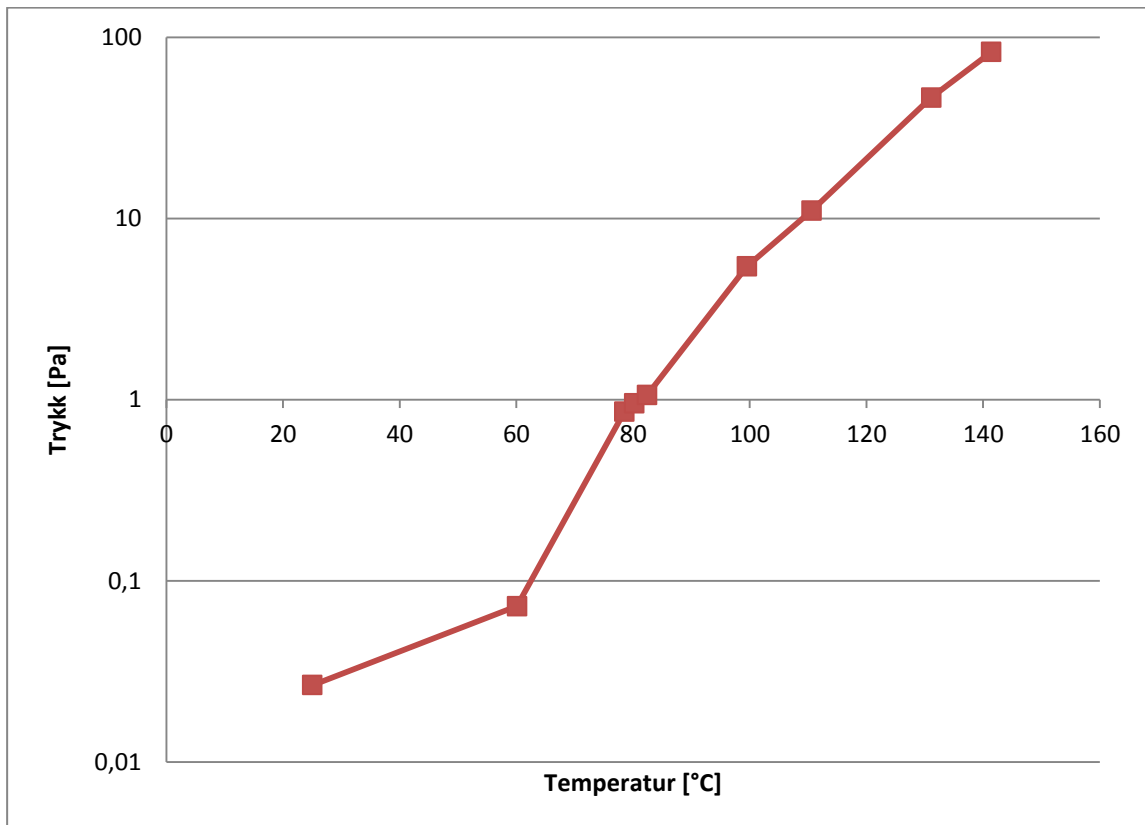
Ved romtemperatur er TNT et fast stoff, Figur 7.1. Smeltetemperaturen til TNT er ca. 80 °C. Eksplosiver har lave damptrykk (14,15), men damptrykket øker med temperaturen, økningen for TNT gitt i Figur 7.2. Oppvarming av TNT til over smeltepunktet gir økte muligheter for å fordampe TNT. Når temperaturen senkes etter en periode med oppvarming, vil det foregå kondensering og utkrystallisering av fordampet materiale. Hvis fordamping og kondensering foregår i en lukket atmosfære, vil man kunne få samlet opp utkrystallisert materiale.

7.2 Produksjon av krystaller

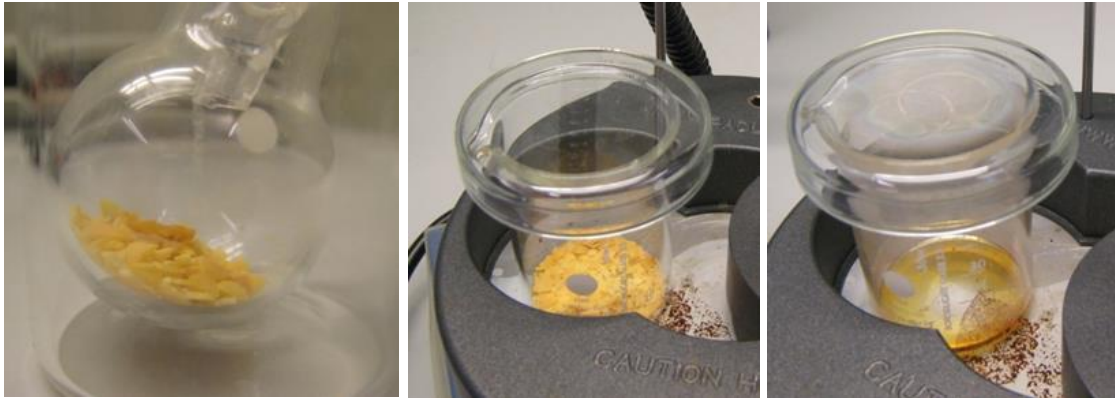
Innledningsvis ble det gjennomført flere forsøk med fordampning og kondensering for å finne en metode for å framstille TNT-krystaller. Det viste seg å være enkelt å få TNT til å kondensere ved nedkjøling av en atmosfære med fordampet TNT. Metoden som resulterte i flest krystaller var oppvarming av TNT i et begerglass til ca. 135 °C og å holde denne temperaturen over flere timer, Figur 7.3. Begerglasset var dekket til med en petriskål som lokk. Varmen ble deretter skrudd av, og systemet ble sakte avkjølt over natta. Dagen etter var det grodd krystaller på de innvendige glassoverflatene, Figur 7.4. Av hensyn til sikkerheten ble det i hver omgang benyttet små mengder TNT. I hvert begerglass ble det smeltet ca. 1,5 g skavet TNT. Typisk fangst av TNT-krystaller var mellom 20 og 40 mg per begerglass. For å få tilstrekkelig med materiale til analyse og karakterisering, ble det felt ut TNT-krystaller over en periode inntil man hadde totalt ca. 1,5 g. Etter framstilling ble krystallene oppbevart på veieglass med lokk. TNT-krystaller på ulike overflater er vist i Figur 7.5. Når man ser på krystallene i mikroskop, ser man at de er taggete med fjærliknende struktur, Figur 7.6.



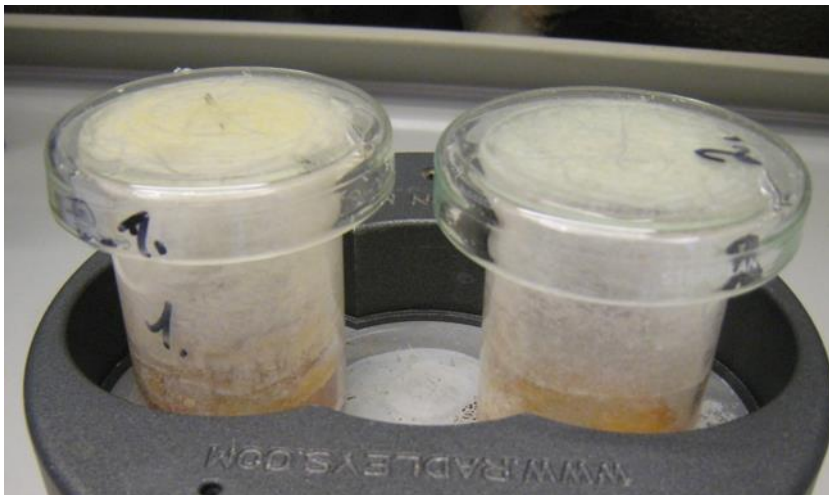
Figur 7.1 Skavet TNT (til venstre) og presset TNT (til høyre)



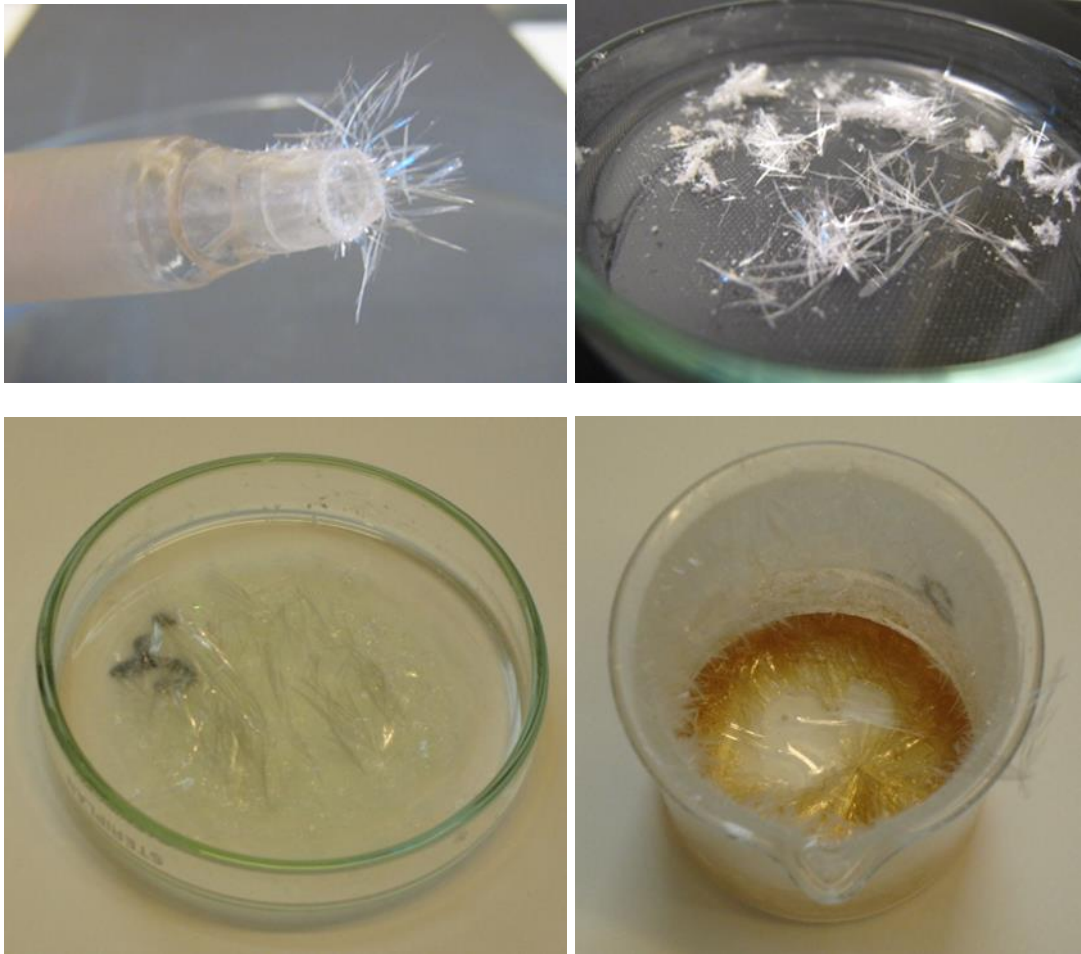
Figur 7.2 Damptrykk til TNT som funksjon av temperatur



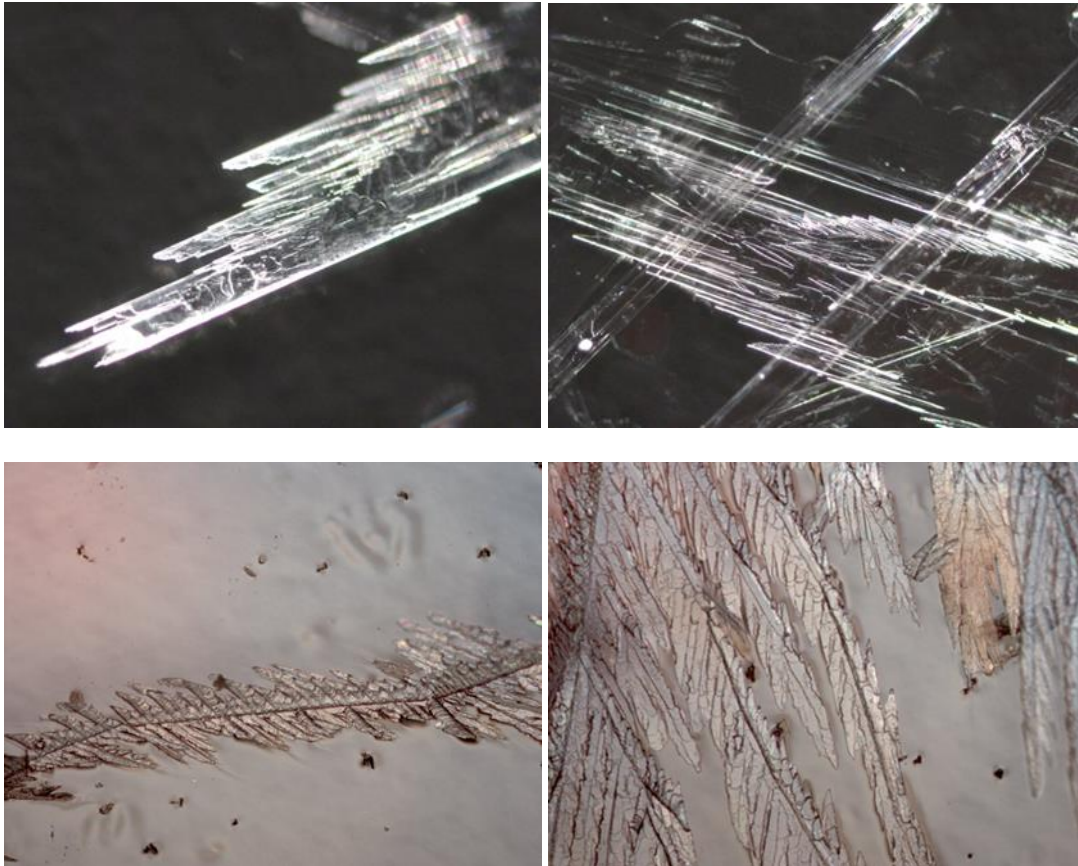
Figur 7.3 TNT til oppvarming



Figur 7.4 Begerglass avkjølt over natten med utkrystallisert TNT



Figur 7.5 TNT-krytaller grodd på ulike glassoverflater



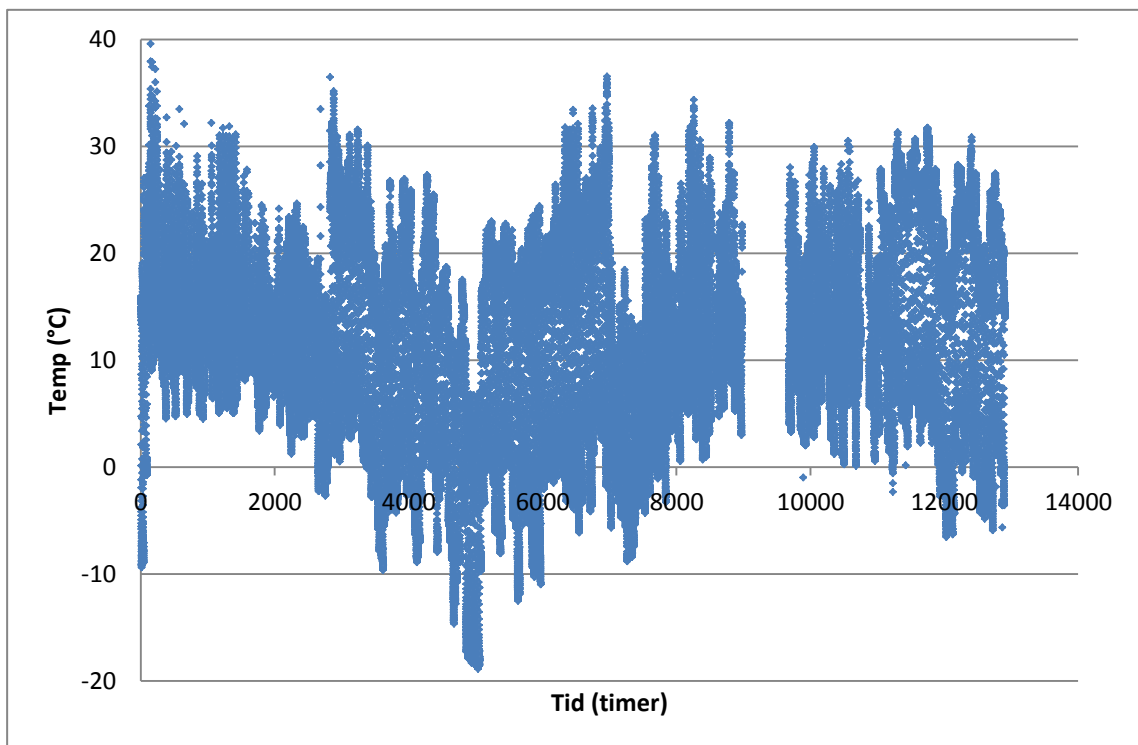
Figur 7.6 TNT-krystaller sett i mikroskop

7.3 Lagringsforsøk

Det er lite sannsynlig at dumpet ammunisjon blir utsatt for så høye temperaturer som det er benyttet under kondenseringsforsøkene. Muligheter for å danne krystaller ved lagring under mer realistiske temperatursvingninger er derfor undersøkt. En presset TNT-sylinder med diameter på ca. 5 cm, ble delt i to slik at det ble én overflate på hver del som er nyskåret og der de andre overflatene er glatte fra presset tilstand. TNT-bitene ble plassert i en liten glassbeholder med lokk som ble satt oppå en Peltierplate, Figur 7.7. Forsøket foregikk i en uoppvarmet container. Peltierelementet ble benyttet til å kjøle prøven om natten i sommerhalvåret, og oppvarming ble benyttet om dagen i vinterhalvåret for å få størst mulig utslag på temperaturen. Den siste tiden foregikk forsøkene uten regulering av temperaturen. Temperaturloggen for forsøket er vist i Figur 7.8. Forsøket ble satt i gang sommeren 2015 og gikk fram til høsten 2018, da denne rapporten ble ferdigstilt. Overflatene ble årlig undersøkt for å se om det var dannet TNT-krystaller på overflatene. Etter endt forsøksstid ble det ikke påvist dannede TNT-krystaller på noen av overflatene, Figur 7.9. Grunnen til dette kan være både for kort tid og for små temperaturvariasjoner til at den antatte prosessen skulle finne sted.



Figur 7.7 TNT-sylinder kuttet i to og gjort klar til lagringsforsøk



Figur 7.8 Logget temperatur under lagringsforsøk av TNT



Figur 7.9 Biter av TNT før (til venstre) og etter (til høyre) lagringsforsøk

8 Karakterisering av TNT-krystaller

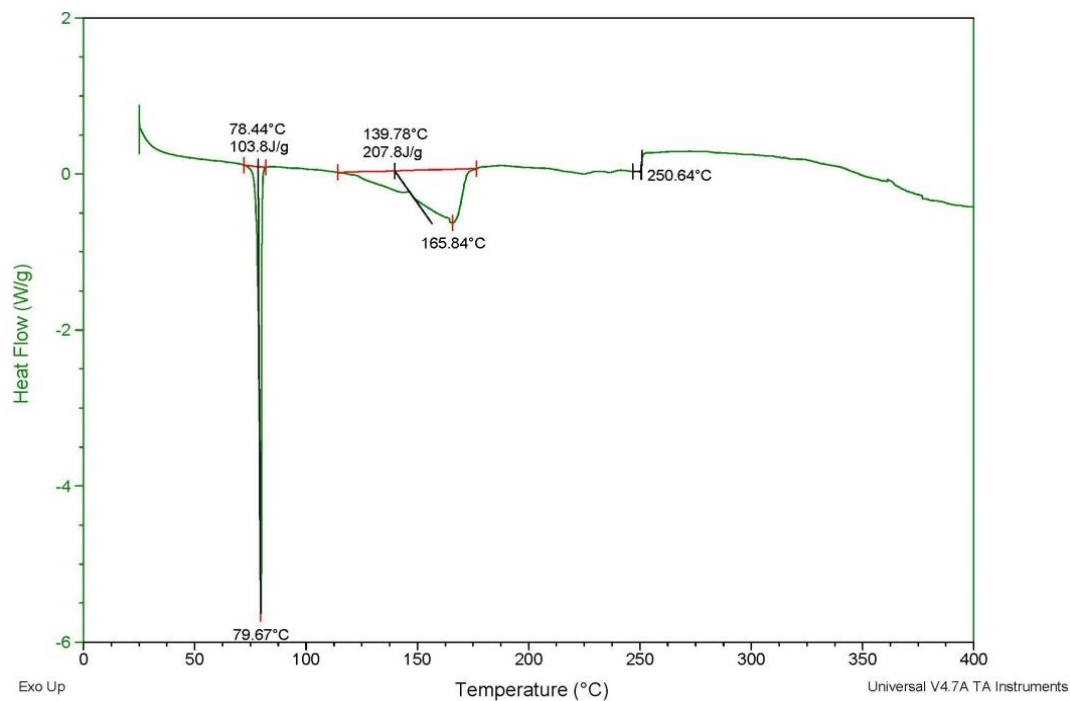
8.1 DSC

Differential scanning calorimetry (DSC) er en termisk test der en liten mengde prøve (typisk 1-2 mg for eksplosiver) varmes opp med ønsket oppvarmingshastighet. Instrumentet registrerer varmeopptak eller varmeavgivelse fra prøven som funksjon av temperatur. Energiendringene gir utslag i form av topper på en kurve. Endoterme reaksjoner som smelting og faseforandringer i et stoff vil kreve energi, og stoffet vil oppta varme. Når et stoff dekomponerer, avgis varme i en eksoterm reaksjon.

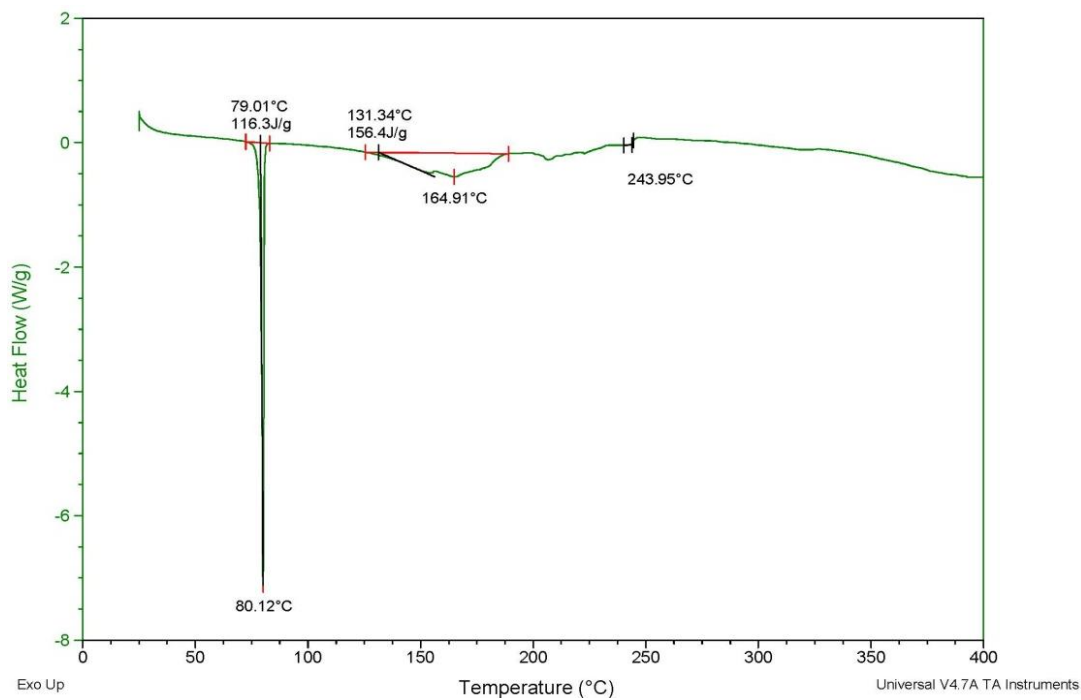
Tre kvaliteter av TNT er analysert med DSC: TNT-flakene som er benyttet som utgangsstoff ved oppvarming, den stivnede massen av TNT som har vært smeltet, og kondenserte TNT-krystaller. Kurver fra DSC-analysene er vist i Figur 8.1 - Figur 8.3. Målingene viser tilnærmet sammenfallende utslag for de ulike TNT-kvalitetene.

TNT smelter ved ca. 80 °C. De tre TNT-kvalitetene har en karakteristisk endoterm topp rundt 80 °C, som bekrefter smeltepunktet. Et bredere endoterm utslag inntreffer i temperaturområdet 120-180 °C, noe som skyldes fordampning av smeltet materiale (11). Dette utslaget observeres kun som små bølger på kurven til TNT-krystallene, noe som kan skyldes at veldig lite materiale ble analysert. Noen klar eksoterm for dekomponeringen som skal inntreffe fra ca. 250 °C og oppover ble ikke observert i analysene. På grunn av fordampningen kan mye av stoffet være fordampet innen man når dekomponeringstemperaturen. Alle kurvene har imidlertid en knekk ved 240-250 °C som kan antyde en eksoterm reaksjon. For å unngå fordampning av TNT fra

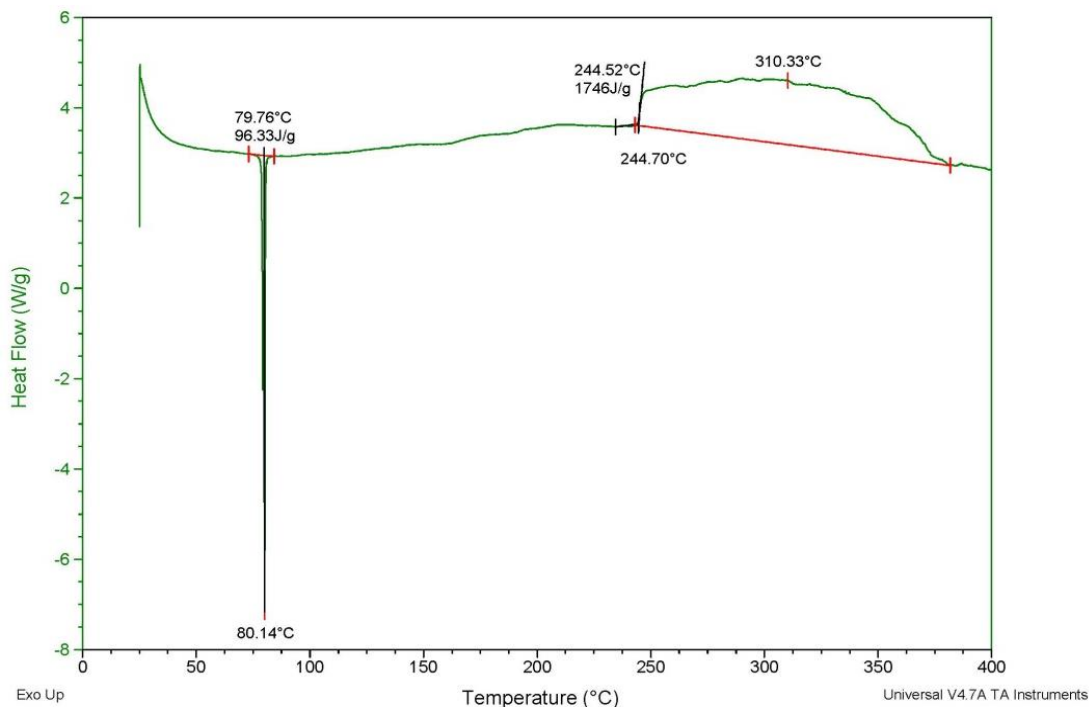
prøvekoppen, burde det vært benyttet hermetisk lukkede prøvekopper under DSC-analysene. I dette forsøket ble det benyttet lokk på prøvebeholderne, men de var ikke forseglet.



Figur 8.1 DSC-kurve av TNT-flak (0,51 mg)



Figur 8.2 DSC-kurve av størknet TNT etter smelting (0,71 mg)



Figur 8.3 DSC-kurve av TNT-krystaller etter kondensering (0,094 mg)

8.2 Fallhammer og friksjon

TNT-krystallenes følsomhet mot slag og friksjon er målt. Målingene er utført på Nammo Raufoss AS sine instrumenter. Slagfølsomhetsmålingene er utført på et BAM Fallhammer instrument med lodd på 5 kg. Slagtesten er utført i henhold til UN test 3 (a) (ii) (sylinder). Friksjonsfølsomheten er målt på et BAM friksjonsapparat. Friksjonstesten er utført i henhold til UN Test (b) (i).

Følsomhet for slag måles ved at et lodd med gitt vekt slippes fra en gitt høyde ned på prøven. Testen er positiv dersom prøven omsettes, og negativ dersom prøven ikke går av. Jo mindre energi som trengs for å initiere stoffet, jo mer følsomt er materialet. I friksjonstesten plasseres prøven på en fastspent porselensplate med kjent ruhet. En porselenstapp trykkes mot prøven med en kjent normalkraft, mens apparatets motor fører underlaget med porselensplate og prøve fram og tilbake én gang. Normalkraften varieres fra test til test ved å plassere forskjellige lodd på apparatets vektstang. Jo mindre kraft som trengs for å initiere stoffet, jo mer følsomt er det.

Tabell 8.1 Resultater fra måling av TNTs følsomhet overfor slag og friksjon

Prøve	Fallhammer (J)	Friksjon (N)
TNT presset (0,036 g)	15	> 353
TNT-krystaller (0,004 g)	50	> 353
TNT-krystaller (0,014 g)	30	-

Resultater fra målingene er gitt i Tabell 8.1. Uttak av TNT-krystaller til analysene var vanskelig. Målekoppene rommer henholdsvis 10 µL og 40 µL til friksjons- og fallhammertesten. TNT-krystallene er lange og lette, og de er for store til naturlig å få plass i målekoppene. Man måtte derfor brette og presse TNT-krystallene ned i målekoppene. Sammenliknet med støpt TNT, ble mengden av TNT-krystaller vesentlig mindre. Det ble ingen reaksjon ved måling av friksjon hverken på støpt TNT eller på TNT-krystaller. Ved måling av slagfølsomhet, viste resultatene at TNT-krystallene er mindre følsomme enn presset TNT. Den massen som ble målt opp med målekoppen, resulterte i en slagfølsomhet på 50 J. Siden prøvemengden av krystallene var betydelig mindre sammenliknet med mengden av presset TNT, ble fallhammertesten gjentatt med en større mengde TNT-krystaller. Det ble da plassert en god volummessig mengde med TNT-krystaller på instrumentet (0,014 g), men massen var allikevel mindre enn presset TNT. Slagfølsomheten gikk nå opp, men var allikevel mindre enn for presset materiale.

Følsomhetstestene gir ikke grunnlag for å si at TNT-krystallene er mer følsomme enn TNT-materialet de er dannet fra.

9 Konklusjon

Dumpet ammunisjon med TNT-ladninger kan inneholde hulrom og sprekker som følge av temperatursvingninger og mekaniske påvirkninger som ammunisjonen har blitt påført i løpet av levetiden. Krystalliseringsforsøk har vist at det er mulig å felle ut TNT-krystaller fra TNT-flak når temperaturen økes til over smeltepunktet og man deretter senker temperaturen til den dannede gassfasen. Forsøk med TNT der temperaturendringene har vært betydelig mindre, har ikke ført til dannelse av TNT-krystaller. Dumpet ammunisjon vil neppe ha blitt utsatt for de temperaturvariasjonene som et blitt benyttet under TNT-forsøkene, men det kan ikke utelukkes at lave temperaturvariasjoner over lang tid kan gi TNT-krystaller i sprekker i TNT-ladninger.

TNT er i utgangspunktet et lite følsomt sprengstoff. Måling av følsomhet overfor slag og friksjon, viser så langt at TNT-krystallene er mindre følsomme enn støpt TNT. Undersøkelsene

viser at det er lite sannsynlig at dumpet ammunisjon med TNT er blitt mer følsom med tiden på grunn av dannelse av TNT-krystaller.

I dumpet ammunisjon der det er korrodert hull i bøssingene, kan vann som trenger inn i TNT-ladningen føre til utvasking av ladningen og ellers gjøre ladningen mindre følsom for omsetning.

PETN er bestanddel i boosterladninger i mange ammunisjonstyper. Fuktighet eller krystallvekst over tid kan gi endrede egenskaper for PETN-ladninger. Det bør undersøkes om sprengstoffer med PETN i startladninger kan få økt følsomhet med tiden og hvordan dette vil påvirke følsomheten til dumpet ammunisjon som inneholder PETN.

Gjennomgang av MSIACs åpne oversikt over ulykker og hendelser med ammunisjon i verden, EOD-rapportering fra 2013 i Norge og oversikt over oppdrag som Forsvaret har gjennomført på oppdrag fra politiet, viser at riktig håndtering av ammunisjonsfunn som gjennomføres av EOD-personell, reduserer risikoen for at det skal skje en ulykke. Feil håndtering fører til de fleste ulykkene. Når ammunisjon blir funnet av sivile, må dette meldes fra til politiet slik at det blir sørget for riktig håndtering av objektene og redusere risikoen for at ammunisjonen skal gå av uforutsett.

A Oversikt over hendelser med dumpet ammunisjon meldt inn til MSIAC i årene 2010 – 2016.

År	Land	Hendelsessted	Hendelse	Døde/Skadde
2010	Tyskland	I skogen	Ammunisjon fra WW II gikk av under en skogsbrann. Detonasjon.	Ingen skadde
2010	Italia	Lossing på bil	Under lossing på bil ble det en begrenset omsetning av en amerikansk bombe fra WW II med 80 kg hvitt fosfor	Ingen skadde
2011	India	Under transport	Under transport på et EOD-opdrag gikk en bombe av og det oppstod en eksplosjon.	4 skadde
2011	Kambodsja	Demoleringsområde	Eksplodivt pulver i håndgranat fra borgerkrigen tok fyr og eksploderte under håndtering	3 drept
2011	Tyskland	Resirkuleringsfabrikk	Amerikansk 20 pounds WW II anti-personell fragmenteringsbombe eksploderer i en knusemaskin	3 skadde
2012	India	Militært skipsverft	Flere granater funnet ved mudring. En av granatene gikk av da det ble forsøkt å dele den opp.	5 skadde
2012	Frankrike	Anleggsområde	Bombe fra WW II med 650 kg sprengstoff tok fyr. Deflagrasjonen utviklet seg til en liten eksplosjon.	To skadde
2012	Storbritannia	Lager med ammunisjon fra 2.verdenskrig	Arbeidere kom borti en stabel med fosforgranater fra WW II. Det oppstod brann, og det utviklet seg en brennbar blanding av fosfor og bensen.	13 skadde
2012	Frankrike	Landsby	Det ble lekkasje av sennepsgass da en bombe fra WW I som inneholdt 4-5 liter sennepsgass ble funnet og skulle flyttes.	Ingen skadde
2012	Storbritannia	Kysten av Kent	En akustisk mine fra WW II med ca. 750 kg sprengstoff satt fast i et mudringsfartøy. EOD personell fikk løs mina og detonerte den kontrollert.	Ingen skadde
2012	Tyskland	Anleggsarbeid	Kontrollert desarmering av bombe fra WW II som inneholdt 500 kg sprengstoff og en ødelagt syretenner.	Fler enn 7 000 evakuert under arbeidene
2012	Libya	Ved en landsby	Kontrollert detonasjon når EOD-personell skulle destruere en Scud rakett som hadde ligget urørt i 17 måneder	Ingen skadde
2013	Thailand	Anleggsarbeider ved bygging av hotell	En MK 2 håndgranat fra WW II ble funnet og tatt hånd om. Sikringen var tatt av.	Ingen skadde
2013	Tyskland	Anleggsarbeider nær Berlins hovedjernbanestasjon	Oppdagelse av intakt bombe fra WW II som inneholdt 100 kg sprengstoff ble tatt hånd om av eksperter.	Ingen skadde
2013	Italia	I skogen	Sprengstoffobjekt fra WW II ble funnet nedenfor en festning, og senere tatt hånd om av EOD-personell.	Ingen skadde
2013	Frankrike	Langs veien	Mer enn ett tonn våpen og ammunisjon fra WW I ble funnet etter at en flokk med villsvin hadde passert over. EOD-personell tok hånd om restene.	Ingen skadde
2013	USA	Privat eiendom	En intakt granat fra borgerkrigen ble funnet. EOD-personell tok hånd om granaten og omsatte den på et nærliggende uteområde.	Ingen skadde

År	Land	Hendelsessted	Hendelse	Døde/Skadde
2013	USA	Sikkert område	Flere BK-er fra WW II ble funnet under en brann ved en eiendom. EOD-personnel tok hånd om granatene, antatt ca. 15 kg NEI.	Ingen skadde
2013	USA	Nasjonalpark	Det ble funnet ca. 100 ammunisjonsobjekter på ei strand. Stedet ble brukt av myndighetene under WW II for uttesting av ammunisjon.	Ingen skadde
2013	Kina	Anleggsområde	Etterlatenskaper fra Japan under WW II. 40 granater intakte med brannrør ble gjernet av politi og senere lagret.	Ingen skadde
2013	Nigeria	Nær gamle militære anlegg	Funn av flere ammunisjonsobjekter fra borgerkrigen i Nigeria, som foregikk 43 år tidligere.	Ingen skadde
2013	Tyskland	På et jorde	En bombe fra WW II gikk av og etterlot et krater på 15 m diameter og 4 m dypt. Antatt 250 kg sprengstoff.	Ingen skadde
2013	Frankrike	Stranda	Funn av et tonn granater. Ble tatt hånd om av EOD-personell og lagret.	Ingen skadde
2013	Frankrike	På et jorde	Funn av 250 kg bombe som inneholdt 65 kg sprengstoff. Ble tatt hånd om av EOD-personell og lagret.	Ingen skadde
2013	Italia	I sjøen	Funn av 125 kg bombe fra WW II. Ble detonert på 90 m dyp av EOD-personell.	Ingen skadde
2013	Kina	Veiarbeider	Funn av 7 granater, 40 kg ca. 150 mm diameter og 45 cm lange.	Ingen skadde
2013	Storbritannia	Anleggsarbeid på myr/hei	Funn av bombekastergranat. Ble tatt hånd om og destruert av EOD-personell.	Ingen skadde
2013	Kina	Anleggsarbeider i havna	Funn av flybombe fra WW II (fra USA?), 113 kg, 78 cm lang, 20 cm diameter. Brann og politi åpnet bomben og brant opp sprengstoffene.	Ingen skadde
2013	Kina	I en park	Funn av bombe fra WW II (britisk?), 60 cm lang, 15 cm diameter, vekt 36 kg. Ble tatt hånd om og destruert av EOD-personell.	Ingen skadde
2013	Serbia	Anleggsområde	Funn av bombe fra WW II som inneholdt 620 kg eksplosiver. Ble tatt hånd om av militær og destruert i en kontrollert detonasjon.	Ingen skadde
2014	USA	I sjøen	Kontrollert detonasjon av to bomber fra WW II.	Ingen skadde
2014	USA	På en strand	Fisker fant et 14 tommers prosjektil på en strand. Granaten (hvit røykgranat ?) ble detonert av EOD-personell.	Ingen skadde
2015	Frankrike	Jorde	Det oppstod en eksplosjon da granater fra WW I som lå i jorda plutselig gikk av.	Ingen skadde

Referanser

- [1] <https://en.wikipedia.org/wiki/TNT>
- [2] Fedoroff, B.T., Aaronsen, H.A., Clift, G.D., Reese, E.F.: Dictionary of Explosives, Ammunition and Weapons (German Section), Technical report no. 2510, Picatinny Arsenal, 1958.
- [3] Beddington, J. and Kinloch, A.J.: Munitions Dumped at Sea: A Literature Review, Imperial College London Consultants, 2005.
- [4] MSIACs database over ulykker. <https://www.msiac.nato.int/news/accident-reporting>.
- [5] Steinbakken, S., Myran, O.K., Kristoffersen, L.A. og Flaten, O.P.: Ammunisjons-tjenesten i Hæren etter 1945, Bind 1, Hærens forsyningskommando, 2000.
- [6] Pisani, J.: Guidance for preparation of a life cycle environment profile and environmental test plan for qualification of explosive ordinance, DoD DSTO-GD-0032, 1995.
- [7] Military Explosives, Department of the Army TM 9-1300-214, 1984.
- [8] Urbanski, T.: Chemistry and Technology of Explosives, Vol. I, Warszawa: PWN-Polish Scientific Publishers, 1964.
- [9] Urbanski, T.: Chemistry and Technology of Explosives, Volume 4, Pergamon Press, 1984.
- [10] E Encyclopedia of Explosives and Related Items, PATR 2700, Volume 9, U.S. Army RDECOM-ARDEC, ADA 097 595, 1980.
- [11] Long, G.T., Brems, B.A. and Wight, C.A.: Autocatalytic thermal decomposition kinetics of TNT, Thermochemica Acta 388 (2002) 175-181
- [12] Foltz, M.F.: Aging of Pentaerythritol Tetranitrate (PETN), LLNL-TR-415057, 2009.
- [13] Bolsønes, M. og Johannessen, T.C.: Pikrinsyre og metallpikrater, dannelse av metallpikrater i dumpet ammunisjon, FFI-rapport 17/00818.
- [14] Ewing, R.G., Waltman, M.J., Atkinson, D.A., Grate, J.W. and Hotchkiss, P.J.: The vapor pressures of explosives, Trends I analytical Chemistry, Vol 42, 35-48, 2013.
- [15] Ostmark, H., Wallin, S. and Ang, H.G.: Vapor pressure of explosives: A Critical Review, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2012, 37, 12-23.

About FFI

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

FFI's MISSION

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

FFI's VISION

FFI turns knowledge and ideas into an efficient defence.

FFI's CHARACTERISTICS

Creative, daring, broad-minded and responsible.

Om FFI

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

FFIs FORMÅL

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

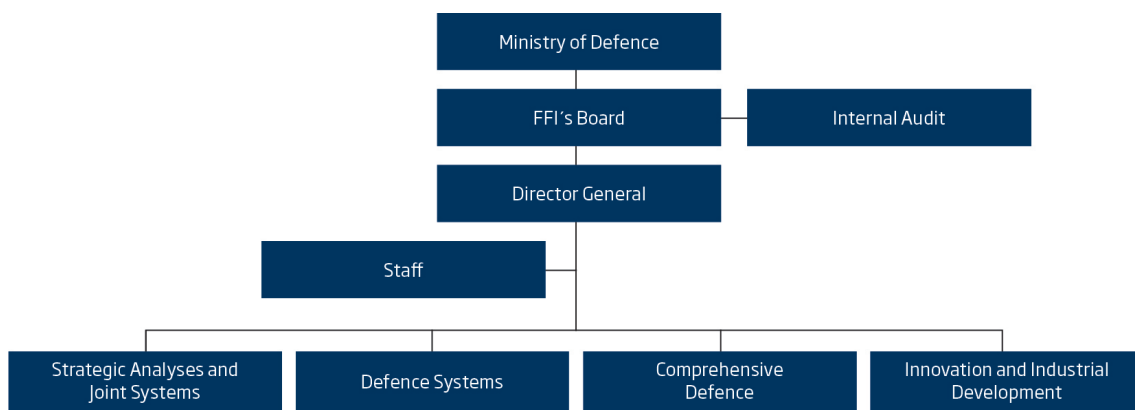
FFIs VISJON

FFI gjør kunnskap og ideer til et effektivt forsvar.

FFIs VERDIER

Skapende, drivende, vidsynt og ansvarlig.

FFI's organisation



Forsvarets forskningsinstitutt
Postboks 25
2027 Kjeller

Besøksadresse:
Instituttveien 20
2007 Kjeller

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

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

Office address:
Instituttveien 20
N-2007 Kjeller

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