

Vedlegg A



FORSVARSMATERIELL

Rapport om hvordan ammunisjonssikkerhet påvirker ulike alternativer for håndtering av kvikksølv i ubåtvraket U-864 og forurensede sedimenter ved vraket

Haakonvern/Raufoss, 2025-08-28

Forord

Det er et samfunnsoppdrag for Forsvarsmateriell å yte støtte til det sivile samfunn.

Forsvarsmateriell har i samsvar med oppdrag fra Forsvarsdepartementet og Kystverket, og etter anbefaling fra Ekspertutvalget, etablert ny risikofaglig kunnskap om ammunisjonssikkerhet i ubåtvraket U-864.¹ Anvendelse av ny kunnskap vil bedre kunne belyse risikoforståelse for håndtering av ammunisjon, og hvilken betydning ammunisjonssikkerhet har for spredning av kvikksølv fra vrakdelene.

Denne rapporten er Forsvarsmateriells bidrag til å styrke Nærings- og fiskeridepartementets og Kystverkets kunnskapsgrunnlag for valg av varig og bærekraftig løsning for videre håndtering av ubåtvraket U-864.

Forsvarsmateriell har under arbeidet blant annet avdekket nye og vesentlige forhold med ammunisjon og ammunisjonssikkerhet som har stor betydning for risikovurderingene:

- krigshodet på de seks torpedoene i torpedorørene er utenfor ubåtens trykkskrog
- kun elektrisk drevne torpedoer, ikke dampdrevne
- helt annet tennapparat, med annen montering i krigshodet enn tidligere antatt på minst fire av torpedoene
- kunnskap om udetonerte eksplosive krigsrester synes oversett.²

Forsvarsmateriell har benyttet de samme tre hovedalternativene som Ekspertutvalget vurderte i sin risikovurdering. Forsvarsmateriell vil påpeke at våre risikovurderinger er gjennomført med varierende grad av usikkerhet og bakgrunnskunnskap, noe som også fremgår tydelig i risikomatrixene for hvert av de tre hovedalternativene.

En sikker og ryddig håndtering av de avdekkede forholdene om ammunisjon og ammunisjonssikkerhet vil, sammen med øvrige tiltak Kystverket måtte iverksette for å minimere spredningen av kvikksølv, bidra til en bærekraftig, god og varig løsning for håndtering av U-864.

Stein Håvard Bergstad
flaggkommandør
sjef Forsvarsmateriell Maritime Kapasiteter

¹ Anbefaling fra Ekspertutvalgets rapport, s. 9,

² ScienceDirect april 2023 om «Bedre beslutningsgrunnlag ved å styrke risikovurderingene av udetonert ammunisjon og eksplosive krigsrester».

Innhold

Sammendrag	3
1 Arbeidsgruppens oppnevning og sammensetning, oppdrag og arbeid	5
1.1 OPPNEVNING OG SAMMENSETNING	5
1.2 OPPDRAG	6
1.3 KORT OM FORSVARSMATERIELLS ARBEID	8
2 Status	9
2.1 KILDEBRUK	9
2.2 TIDLIGERE ARBEID OG DELTAKELSE FRA FORSVARSEKTOREN.....	9
2.3 ARBEID UTFØRT AV FORSVARSMATERIELL	11
3 Udetonert krigsammunisjon og ammunisjon om bord på U-864	12
3.1 OM UDETONERT AMMUNISJON OG EKSPLOSIVE KRIGSRESTER	12
3.1.1 Generelt.....	12
3.1.2 Om selvdetonasjon	13
3.1.3 Om svartsvane-hendelser	13
3.2 AMMUNISJON I KRIEGSMARINE OG OM BORD PÅ U-864.....	14
3.2.1 Ammunisjon i Kriegsmarine	14
3.2.2 Sympatiooverføring – torpedodetonasjoner	15
3.3 MER OM AMMUNISJONSTYPER OM BORD PÅ U-864	16
3.3.1 Torpedoer.....	16
3.3.2 SC50 Flybomber	16
3.3.3 Demoleringsladninger	17
3.3.4 Artilleriammunisjon	17
3.3.5 Samlet ammunisjonsoversikt med lokalisering og NEI.....	17
4 Bakgrunn for risikovurderinger	19
5 Risikovurdering for hvert hovedalternativ	20
5.1 RISIKOVURDERING ALTERNATIV 1, TILDEKKING AV VRAK MED LAST OG FORURENSET SJØBUNN	21
5.2 RISIKOVURDERING ALTERNATIV 2, HEVING AV LAST (KVIKKSØLV) OG DERETTER TILDEKKING AV VRAK OG SJØBUNN.....	23
5.3 RISIKOVURDERING ALTERNATIV 3, HEVING AV VRAK MED LAST OG DERETTER TILDEKKING AV SJØBUNN	24
5.4 VURDERING AV ALTERNATIVENE.....	24
5.4.1 Alternativ 1, tildekking av vrak med last og forurenset sjøbunn	24
5.4.2 Alternativ 2, heving av last (kvikksølv) og deretter tildekking av vrak og sjøbunn	25
5.4.3 Alternativ 3, heving av vrak med last og deretter tildekking av sjøbunn	25
5.4.4 Øvrige kommentarer	25
6 Konklusjon og anbefaling	26
Kilder og forkortelser	27

Sammendrag

Forsvarsmateriell har under sjef Maritime kapasiteter etablert en bredt sammensatt arbeidsgruppe med fagkompetanse på våpen og ammunisjon, ubåtskrog og ammunisjonssikkerhet. Arbeidsgruppens oppnevning, sammensetning, oppdrag (mandat) og arbeid er redegjort for i rapportens kapittel 1.

Forsvarsmateriell redegjør i kapittel 2 for status før vi fikk oppdraget fra Forsvarsdepartementet høsten 2024. Kapittelet beskriver hvordan manglende kildebruk feilaktig har påvirket arbeid og anbefalinger i tidligere rapporter. Videre redegjøres for hvordan Forsvarsmateriell har gått frem

for å løse oppdraget med ny kunnskap vi har innhentet, blant annet basert på tilgjengelig kildemateriale fra krigsarkiver og andre offisielle kilder.

I kapittel 3 beskrives ammunisjon om bord på U-864. Mer detaljert om de ulike torpedomodeller og annen ammunisjon er beskrevet nøye i vedlegg C, som er utarbeidet av kapteinløytnant Håvard Hovdet (Sjøforsvarsstab), med støtte av Rune Birger Nilsen. Av ny kunnskap Forsvarsmateriell har benyttet om krigsammunisjon fra andre verdenskrig er doktoravhandlingen til oberstløytnant dr. ph.d. Geir Petter Novik, samt noen av hans vitenskapelige artikler sammen med andre spesialister. Andre viktige bidrag fra nye studier er både kunnskap om svartsvanehendelser og The British Geological Survey's rapport i 2005 om 47 spontane undervannsekspløsjoner med gammel krigsammunisjon i perioden 1992-2004.³ Også sveitseren dr. Axel Niestlé har bidratt betydelig med sin granskning av tyske, britiske og amerikanske krigsarkiver. Nærmere om svartsvanehendelser, oberstløytnant dr. Noviks rapporter og dr. Niestlés rapporter nedenfor i kapittel 3.

I kapittel 4 gis bakgrunn og metode for utarbeidelse av risikovurderinger. Forsvarsmateriell har valgt å følge anbefalinger fra oberstløytnant dr. Novik og en analysemodell som anbefalt i boken Risikoanalyse – prinsipper og metoder, Aven.et.al.⁴ Metoden innebærer at risikoanalysen viser sluttresultatet i en risikomatrise. Risikomatriksen tar hensyn til usikkerhet og bakgrunnskunnskap for hvert alternativ, og hver uønsket hendelse som er analysert. Kapittelet viser også hvilke kriterier som er lagt til grunn, inndeling av ammunisjon etter små, medium og store eksplosiver, inndeling av skala for risiko, risikoreduserende tiltak og grad av usikkerhet, samt fargekode for bakgrunnskunnskap for de ulike vurderingene.⁵

Resultatet av risikovurderingene fra vedlegg B presenteres i kapittel 5 i en risikomatrise for hvert av de tre hovedalternativene som er vurdert. Risikomatriksene viser resultatet etter at risikoreduserende tiltak er iverksatt. I likhet med Ekspertutvalget har Forsvarsmateriell vurdert tre ulike hovedalternativer som bakgrunn for vår risikovurdering. Hovedalternativene er:

1. tildekking av vrak med last og forurenset sjøbunn
2. heving av last (kvikksølv) og deretter tildekking av vrak og sjøbunn
3. heving av vrak med last og deretter tildekking av sjøbunn.

I kapittel 5 beskrives videre de aktiviteter og hendelser som vurderes å være i rød kategori (høy risiko) og gul kategori (middels risiko) i tekst under risikomatriksene for hvert av de tre hovedalternativene. Deretter gjennomføres en vurdering av risikoen for hvert av de tre alternativene. Alternativ 3, heving av vrak med last, har lavest risiko. I pkt. 5.3 beskrives nærmere forholdsregler og risikoreduserende tiltak som bør iverksettes for alternativ 3.

I kapittel 6 presenterer Forsvarsmateriell vår konklusjon og anbefaling. Alternativet heving av vrak med last medfører minst risiko for spredning av kvikksølv, også i et evighetsperspektiv. Videre anbefaler FMA at det ikke gjennomføres noen form for tildekking av vrak eller vrakdeler før torpedoer er fjernet fra vrakdelene.

Følgeskrivets vedlegg B: Risikovurdering av ammunisjon og ammunisjonssikkerhet, U-864.
Følgeskrivets vedlegg C: Ammunisjonsbeholdning i Kriegsmarine Type IX D2 ubåt, U-864.

³ G. Ford, L. Ottermöller, and B. Baptite, *Analysis of Explosions in the BGS Seismic Database in the Area of Beaufort's Dyke, 1992-2004* (British Geological Survey, 2005).

⁴ Risikoanalyse – prinsipper og metoder, med anvendelse, Aven, Røed og Wiencke, 2017.

⁵ Se inndelingen av små, medium og store eksplosiver i risikovurderingen, vedlegg B og i pkt. 4 nedenfor.

1 Arbeidsgruppens oppnevning og sammensetning, oppdrag og arbeid

1.1 Oppnevning og sammensetning

I oppdragsbrev nr. 15 (2024) fra Forsvarsdepartementet (FD) til Forsvarsmateriell (FMA) ble FMA gitt i oppdrag å støtte Kystverket med nødvendig kompetanse for kartlegging av vrakrestene etter ubåten U-864.⁶ Anmodningene fra Kystverket til FD om bistand er knyttet til tilstand og plassering av ammunisjon i vrakdelene. Dette har betydning for hvilke skader ammunisjonen kan påføre miljøet ved ulike løsningsalternativer.

Forsvarsmateriell fordelte oppdraget til FMA Maritime kapasiteter (FMA MARKAP). Grunnet oppdragets kompleksitet og omfang opprettet sjef FMA MARKAP i november 2024 en prosjektgruppe med spesialister både fra FMA MARKAP som fagmyndighet maritimt materiell, herunder torpedoer, og fra FMA Land- og Felleskapasiteter Ammunisjonssikkerhet (FMA LAND/FELLESKAP AMMSEK) som fagmyndighet ammunisjonssikkerhet og risikovurderinger knyttet til ammunisjonssikkerhet.

Til å lede arbeidet oppnevnte sjef FMA MARKAP kommandørkaptein (p) Knut Moe som kontaktperson overfor Kystverket. Nøkkelpkompetanse med historisk arkiv og dyp teknisk fagkompetanse om maritimt krigsmateriell, spesielt om torpedoer, ble etter avtale med sjef Sjøforsvaret hentet fra Sjøforsvarsstaben (SST). Etter at arbeidet startet ble det også nødvendig å innhente FMAs fremste tekniske ekspert på ubåtskrog for å vurdere hvordan belastninger på formskrog og trykkskrog ved tildekking kan påvirke torpedoer i torpedorørene og annen ammunisjonen i vrakdelene.

Arbeidsgruppen, ofte benevnt AG U-864 i denne rapporten, fikk følgende sammensetning:

- kommandørkaptein (p) Knut Moe, FMA Strategisk styring og utvikling. FMAs kontaktperson til Kystverket. Tidligere stabssjef i FLO/SJØ, FLO Materielldivisjonen og tidvis i FMA MARKAP, samt sjef FLO Investeringsdivisjonen på Haakonsværn.⁷ Fem år medlem av FDs programledelse for sjøsystemer og Forsvarets spesialstyrker. FoU- og fortifikasjonsoffiser i Forsvarsbygg med hovedansvar for mottiltak mot våpenvirkninger. Utdannet bl.a. ved Sjøkrigsskolen operativ linje (realfaglig studieretning), Sjøforsvarets stabsskole del 1, Kungliga Militärhögskolan (siv.ing. nivå og stabsskole del 2) og innen militær operasjonsanalyse ved Cranfield University, Royal Military College of Science
- orlogskaptein (p) Rune Birger Nilsen, FMA MARKAP Teknologi og design, med oppdrag fra sjef Maritime kapasiteter om å støtte Knut Moe i møter med Kystverket. Utdannet bl.a. ved våpenteknisk linje på Sjømilitære korps (1980 kullet). Nasjonalt Langkurs/Teknisk Elektronikk- og Våpen, stabsskole del 1, høgskole navigasjon, utdannet kanonér med varierende sjø og landtjeneste. Har på privat side arbeidet med saker som relateres til vanddirektivet
- senioringeniør Hans Øiom, FMA LAND/FELLESKAP AMMSEK, leder faggruppe for håndteringssikkerhet i AMMUNISJONSSEKSJONEN. Utdanning ved Hærens ingeniørhøgskole 77-80, diverse påbygging i fortifikasjon, våpenvirkninger, dynamisk respons, samfunnssikkerhet og risikoanalyse. Siden 1987 forestått kvantitative risikovurderinger for ammunisjonssikkerhet og implementering av metoder og verktøy. Deltatt i og ledet NATO- og internasjonale fora innenfor fagområdet
- senioringeniør Ann Leni Haugstad Fladvad, FMA LAND/FELLESKAP AMMSEK. Har Master i materialteknologi fra NTNU, Trondheim. Tidligere kvalitetsingeniør hos NAMMO. Akkreditert Sertifisert Risk Manager (Norsk Sertifisering). Pågående master studie på UIS, risikostyring og sikkerhetsledelse

⁶ Forsvarsdepartementet 12. november 2024, 24/01158-33, DocuLive referanse 2024042880-1.

⁷ FLO: Forsvarets logistikkorganisasjon.

- kommandørkaptein (m) Svein Ove Strandos, FMA MARKAP MTI MS-SEK, sjef for seksjon maritime spesialsystem. Har bachelor marinteknisk drift fra Vestfold tekniske skole. Langkurs fra Marinens jegervåpen, Krigskolen i Hæren, tidligere maskinmester på flere fartøy i Sjøforsvaret, også under NATO-kommando. Har flere år som operatør ved Minedykkerkommandoen (MDK), herunder også INTOPS i Afghanistan og deltatt på de tre første skarpe minerydderoperasjonene i Østersjøen. Har arbeidet som nordsjødykker. Hatt flere ledende stillinger ved MDK og ved Dykker og froskemannsskolen, arbeidet som prosjektleder nytt dykkerfartøy til Marinen
- orlogskaptein Tor Egil Hansen, innledningsvis FMA LAND/FELLESKAP AMMSEK, nåværende stilling skjermet. Er utdannet ammunisjonsoffiser, Explosive Ordnance Disposal (EOD), Improvised Explosive Device Disposal (IEDD) Operator Master. Jobbet i ammunisjonsbransjen siden 1989. Vært sjef for eksplosivverkstedet på Vestlandet sjøforsvarsdistrikt og fyrverker samme sted. Har vært ammunisjonsinspektør fra 1998 og sjef for forsvarssektorens ammunisjonsinspektører fra 2013-2025. Har INTOPS-erfaring fra Libanon, Kypros, Cadiz, Afghanistan, Irak, Jordan etc.
- kapteinløytnant Håvard Hovdet, Sjøforsvarsstaben/Avdeling for sikkerhet og Kvalitet. Høgskoleingeniør (elektronikk) og utdanning fra Sjøkrigsskolen, Nasjonalt Langkurs/Teknisk Elektronikk- og Våpen, Nasjonalt Logistikkurs, metodestudie fra stabsskole, samt utdanning innen risikostyring og revisjon. 36 år i Sjøforsvaret, med våpenteknisk tjeneste fra Kystartilleriets Undervannsforsvar (torpedobatterier, kontrollerbare minefelt og minekontrollfartøy, instruktør ved våpenskole), med praksis på bla. eks-tyske torpedoer. Lang erfaring innen sikkerhetsstyring med utvikling og drift av styringssystemer/dataverktøy. Privat nærmere 20 års erfaring med innsamling av historisk materiale fra arkiver og ulike fagmiljøer i inn- og utland, med fokus på bl.a. tekniske studier av tyske undervannsvåpen fra 2. verdenskrig. Parallelt engasjement i venneforening for Museum vest/Herdla museum med drift og vedlikehold av tidligere Herdla torpedobatteri (vedlikehold av eks-tysk torpedomateriell, historiske foredrag og omvisninger)
- kommandørkaptein Jostein Støldal, FMA MARKAP, konstruksjonsmyndighet maritime spesialsystemer og -båter. Marineingeniør, sivilingeniør og MSc i Naval Architecture fra Chalmers tekniska högskola. Post Graduate Course innen Submarine Design fra University College London (UCL). Ubåtspesifikk tjeneste fra 1987-2012, herunder 3 år som inspektør for ubåt skrog- og maskinsystemer og 7 år som konstruksjons- og sertifiseringsansvarlig UVB. 12 år som medlem av NATO Submarine Escape and Rescue Working Group, 4 år som stabsoffiser øvelser og operasjoner i International Submarine Escape and Rescue Liaison Office (ISMERLO) i Norfolk USA. I perioden 2019-2022 valgt som Chairperson International Naval Safety Assosiation (INSA). Tjeneste i 2 år som Driftssjef og Sjef Systemavdeling FMA/MARKAP. Har gjennomgått sjefskurs ved Forsvarets Høgskole, stabsskole del 2 og er sertifisert prosjektleder i Forsvaret
- faglig bistand fra pensjonert børsemaker Geir Kvale som har over 40 år tjeneste ved våpenverkstedene i Sjøforsvarets forsyningskommando (SFK) og FLO.

I tillegg har AG U-864 fortløpende konsultert forsker og oberstløytnant dr. Geir Petter Novik, og benyttet vitenskapelige rapporter om udetonert ammunisjon og eksplosive krigsrester, herunder hans doktoravhandling. Underveis har også AG U-864 konsultert dr. Axel Niestlé i arbeidet, i tillegg til å ha benyttet hans rapport UR-report No 002/2024 datert 24. november 2024.

1.2 Oppdrag

Forsvarsdepartementet konkretiserte oppdragsbrev nr. 15 (2024) til Forsvarsmateriell om støtte til Kystverket slik:

«Kystverket har anmodet om at Forsvarsdepartementet bistår med ammunisjon- og eksplosivkompetanse i vurdering av tilstand på og plassering av ammunisjon i vrakdelene. Formålet er å sikre at undersøkelsen og sluttrapporten er grundig underbygget og med autoritet.»

Sluttrapporten Kystverket skal levere til Nærings- og fiskeridepartementet (NFD) skal gi en vurdering av om man bør gå videre med heving av kvikksølv før tildekking av vraket og forurenset sjøbunn, eller om man bør gå rett til tildekking.⁸

Likelydende oppdrag som fra FD til FMA ble gitt til Forsvaret i oppdragsbrev nr. 104 (2024). Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) var kopiadressat i brevet fra FD, uten oppdragsbrev.

Den 11. februar 2025 ga Kystverket oppdrag direkte til FMA, Forsvaret og FFI om å besvare en rekke spørsmål innen 24. februar. Oppdraget ble formulert slik:

«Spørsmål som ønskes besvart av forsvarssektoren er rettet mot to hovedområder i forbindelse med gjennomføring av undersøkelser av vrakdelene under det planlagte toktet:

- Operasjonelle begrensninger som bør settes for undersøkelser av vrakdelene ut fra risiko for detonasjon av eksplosiver.
- Informasjon om eksplosiver om bord i U-864 – type eksplosiver, mengder og tilstand.»⁹

Spørsmålene Kystverket ville ha besvart ble ytterligere detaljert i oppdragsbrevet. FMA avga svar til Kystverket 21. februar 2025, forankret på toppnivå ved assisterende direktør FMA og sjef FMA MARKAP.¹⁰

I oppdragsbrevet 11. februar 2025 ga Kystverket i tillegg følgende anmodning om leveranse:

«Dersom det gjennomføres særskilte risikovurderinger knyttet til problemstillingene, bes disse vedlagt.»

AG U-864 valgte å se denne siste del av oppdraget fra Kystverket 11. februar i sammenheng med e-post fra Kystverket 8. januar 2025 om presisering av oppdraget vedrørende ammunisjon i vrakdelene på U-864.¹¹

I presiseringen av oppdraget 8. januar heter det i pkt. 3.1:

«Det skal ikke utredes andre alternative tiltak utover å heve kvikksølv og dekke til vrakdelene. Om Forsvaret og/eller FMA mener at heving av kvikksølv før tildekking av vraket og forurenset sjøbunn, eller tildekking alene, ikke er tilrådelig på grunn av forholdet med ammunisjonen, må dette påpekes, begrunnes og så langt som mulig dokumenteres. Eventuelle andre tiltak på og rundt vrakdelene er en politisk beslutning som avhenger av en rekke forhold. Det kreves en særskilt bestilling fra NFD før en slik utredning eventuelt kan starte.»¹²

Videre er følgende presisert 8. januar om oppdraget i pkt. 3.4:

«Forsvaret og FMA bes om å bistå med å skaffe oversikt over ny forskning knyttet til risiko forbundet med ammunisjonen som har ligget vått slik ammunisjonen om bord i U-864. Informasjonen må begrunnes og dokumenteres».

Den 19. mai 2025 kom nok et oppdrag fra Kystverket om bistand fra forsvarssektoren.¹³ I tillegg til tidligere utredninger, informasjon og møter fremmer Kystverket ytterligere elleve spørsmål som ønskes besvart innen 30. juni 2025. Den opprinnelige fristen er senere endret, slik at de tre første spørsmålene, som er rettet mot tokt 2 senere i år, ble besvart 20. juni. De neste åtte spørsmålene

⁸ Jf. bestilling fra NFD til Kystverket i Prop. 104 S (2023-2024).

⁹ Brev fra Kystverket 11. februar 2025, med referanse 2025/526-1. DocuLive referanse 2024042880-2.

¹⁰ Brev til Kystverket 21. februar 2025, DocuLive referanse 2024042880-3.

¹¹ E-post fra Kystverkets prosjektleder, seniorrådgiver Lill Veronika Benjaminsen, 8. januar 2025.

¹² Vår utheving i kursiv.

¹³ Brev fra Kystverket 19. mai 2025 med deres referanse 2025/526-7. DocuLive referanse 2024042880-4.

er rettet mot det endelige miljøtiltaket på U-864, også vurdert i et evighetsperspektiv.¹⁴ Besvarelsen på alle elleve spørsmålene tas inn i rapporten nedenfor og innarbeides i den endelige risikovurderingen i vedlegg B.

Flere av vurderingene om ammunisjon og ammunisjonssikkerhet i oppdragene og presiseringene fra Kystverket er omfattende, komplekse og dels tidkrevende å utrede. Under heldagsmøtet med Kystverket 11. juni kom ytterligere nye opplysninger på bordet, opplysninger som Kystverket ikke hadde delt med oss tidligere. Den 18. juli 2025 fikk vi oversendt en rapport om tildekking fra Det Norske Veritas Germanischer Lloyd (DNV GL), en rapport som også har betydning for våre vurderinger.

AG U-864s arbeid med denne rapporten har derfor tatt noe mer tid enn opprinnelig planlagt. Grunnet oversendt tilleggsinformasjon har Kystverket gitt FMA ny svarfrist 29. august i år.¹⁵

1.3 Kort om Forsvarsmateriells arbeid

Forsvarsmateriell og AG U-864 viser respekt for at hensynet til miljøet forårsaket av lekkasjer fra kvikksølvlasten, og at berging av mest mulig kvikksølv er det overordnede målet. Det er viktig å fastslå at ammunisjonen om bord i vrakdelene, og vurdering av ammunisjonssikkerheten ved ulike handlemåter for fjerning av kvikksølv, vil påvirke varig løsning for fjerning av kvikksølv.

AG U-864 har innhentet mye ny informasjon som ikke har vært benyttet tidligere for vurdering av ammunisjonslasten på U-864 og ammunisjonssikkerhet. I tillegg har spesielt tre viktige eksterne rapporter i betydelig grad bidratt til våre faglige vurderinger:

- dr. Axel Niestlés rapport fra 24. november 2024,¹⁶
- rapport publisert på ScienceDirect i april 2023 om «Bedre beslutningsgrunnlag ved å styrke risikovurderingene av udetonert ammunisjon og eksplosive krigsrester»,¹⁷ og
- oberstløytnant dr. Geir Petter Noviks doktoravhandling om kompleks risikohåndtering av eksplosive krigsrester.¹⁸

I tillegg har AG U-864 gjennomført analyser av det vi har funnet publisert av tidligere rapporter og informasjon delt av Kystverket for oppdraget. Vi har også benyttet Håvard Hovdets og Rune Birger Nilsens grundige rapport om ammunisjonsbeholdningen til U-864 (vedlegg C).

Dr. Axel Niestlé regnes som en av verdens fremste forskere på ubåtkrigføringen under andre verdenskrig.¹⁹ Dr. Niestlés rapport viser at U-864 var utrustet med helt andre torpedomodeller og antall enn tidligere rapporter viser til. Torpedokrigshodenes tennapparater på flere av torpedoene har en annen konstruksjon, montering og følsomhet enn beskrevet i tidligere rapporter. I tillegg ble det like før avgang fra Bergen lastet SC50 flybomber om bord. Informasjonen om flybomber fremkommer ikke av tidligere rapporter.

I sum medfører ny informasjon innhentet av AG U-864 behov for en revurdering av tidligere rapporters beskrivelser av ammunisjonsrisiko. Derfor fremmer FMA i denne rapporten helt nye risikovurderinger, basert på ny kunnskap om våpen- og ammunisjonslasten om bord.

Forsvarsmateriell har også gjort skrogtekniske analyser som ikke er vurdert tidligere, og som gjenspeiles i risikovurderingen (vedlegg B).

¹⁴ Ibid.

¹⁵ E-post fra Kystverket 22. august 2025.

¹⁶ Dr. Axel Niestlé, UR-Report No 002/2024: Ammunition carried aboard U 864 during its final patrol in February 1945. Rapporten ble også vedlagt FMAs brev til Kystverket 21. februar 2025, DocuLive referanse 2024042880-3.

¹⁷ Geir P. Novik, Eirik B. Abrahamsen og Morten Sommer, <https://doi.org/10.1016/j.jssci.2023.106065>.

¹⁸ Geir Petter Novik, Complex risk management in explosive-contaminated areas: Explosive remnants of war, University of Stavanger, 2023.

¹⁹ Se bl.a. om historikeren dr. Axel Niestlé på nettstedet www.uboot-archiv.de med flere.

Arbeidet i AG U-864 har vært gjennomført dels ved en rekke møter på Teams/PEXIP mellom medlemmene på Haakonvern og Raufoss, dels individuelle bidrag, og ved en to-dagers samling på Ulven leir. I tillegg har flere i arbeidsgruppen nedlagt betydelig arbeid på fritiden og i ferier. Alle som har bidratt har gjennom hele utredningsperioden skjøttet sin hovedfunksjon i stilling.

2 Status

2.1 Kildebruk

Ekspertutvalgets rapport bærer preg av ikke å ha benyttet tilgjengelig kildemateriale. Også tidligere utredninger fra Det Norske Veritas (DNV) med flere, viser mangelfull bruk av kilder. Beklageligvis har svak og upresis anvendelse av kilder vært gjennomgående helt fra vraket av U-864 ble funnet av KNM «Tyr» 22. februar 2003. Manglende innhenting av kunnskap om ammunisjonstyper og -modeller, og om eksplosivens innhold om bord på U-864, er blant forhold som har medført feilaktige anbefalinger og konklusjoner i tidligere rapporter. Det samme gjelder manglende fagkunnskap om U-864s konstruksjon, med «quick diving upper deck»-konfigurasjon på fordekket for å kunne dykke raskt under lufttrussel. Denne konfigurasjonen reduserer mulig antall logistikk-kontainere utvendig til kun å omfatte inntil seks, på akterdekk og midtskips. I sum har disse feilaktighetene og manglende bruk av kilder senere blitt en følgefeil som har «smittet» fra rapport til rapport.

Forsvarsmateriell har gransket formelle kilder grundig. Dette omfatter bl.a. åpne krigsarkiver i Tyskland, Storbritannia og USA, i tillegg til flere publiserte rapporter. Kystverket og deres bestillinger hos DNV med flere har stort sett forholdt seg til kildemateriell fra andre ubåter og med annen oppdragsspesifikasjon enn for U-864. Det kan også synes som om det er festet for stor tillit til den tidligere ubåtkapteinen på U-861, Jürgen Oesten, og hans beretninger om full torpedokrigslast.

FMA og AG U-864 har i henhold til oppdraget og regjeringens utredningsinstruks innhentet ny informasjon om ammunisjon og ammunisjonssikkerhet fra eksterne kilder og rapporter. Kunnskapen nye rapporter gir oss påvirker alle tidligere risikovurderinger om ammunisjonssikkerhet. FMA mener vår rapport fremmer avgjørende kunnskap for ikke å bidra til uønsket eller mer spredning av kvikksølv. Nyervervet kunnskap medfører også et sterkt behov for å studere tidligere anbefalinger, anvendte metoder, risikovurderinger og konklusjoner med nye øyne.

Som påpekt i e-post til Kystverket 10. desember 2024 var de fleste, om ikke alle, kildene som rapporten fra ScienceDirect oppgir, tilgjengelige for Ekspertutvalget.²⁰ Også Kystverket og deres konsulenter burde ha benyttet åpne kilder i langt større grad.

2.2 Tidligere arbeid og deltakelse fra forsvarssektoren

Det har opp gjennom årene vært gjort adskillige forsøk på å støtte Kystverket med fagpersoner fra forsvarssektoren, som oftest personell fra FFI og MDK. Fagmyndighet maritimt materiell har etter det vi har funnet ut aldri vært formelt involvert før senhøstes 2024, etter at Forsvarsdepartementet sendte oppdrag nr. 15 (2024) til Forsvarsmateriell.

Flaggkommandør (p) Geir Kilhus, som var sjef for teknisk divisjon i Sjøforsvarets forsyningskommando og senere sjef FLO MARKAP i perioden fra 2001-2013, bekrefter at fagmyndighet maritimt materiell ikke har vært forespurt om bistand fra Kystverket vedrørende håndtering av U-864 i hans tid som sjef.²¹ Også Forsvarsmateriells kontaktperson var i en årrekke fra år 2000 til han gikk av med pensjon i 2017 fast medlem av ledergrupper i SFK, FLO SJØ, FLO Materielldivisjonen, FLO/Investeringsdivisjon og FMA MARKAP uten at spørsmål om støtte til

²⁰ E-post fra FMAs kontaktperson Knut Moe, 10. desember 2024.

²¹ Telefonsamtale mellom Geir Kilhus og Knut Moe 13. mai 2025. Flaggkommandør (p) Geir Kilhus regnes internt som en person med «elefanthukommelse».

Kystverket om ammunisjon og ammunisjonssikkerhet vedrørende U-864 var på dagsorden. Likevel har enkeltpersoner engasjert seg sterkt, som avdøde kommandørkaptein Hans Kristian Kjelstrup. Hans initiativer var personlig, og ikke i regi av fagmyndigheten.

Forsvarsstaben anbefalte i desember 2009, etter at regjeringen i januar 2009 besluttet å heve vraket, et samarbeidsprosjekt finansiert av Kystverket.²² Meningen var at ressurser fra MDK, FLO, Forsvarets operative hovedkvarter (FOH) og Kystvakten skulle delta.²³ Fagmyndighet logistikk, herunder fagmyndighet maritimt materiell, var den gangen organisert i FLO. Det ser ut til at et formelt samarbeid i regi av FD, finansiert av Kystverket, trolig aldri så dagens lys. Uansett var ikke fagmyndighet maritimt materiell involvert.

Forsvarssektorens daværende fagmyndighet på ammunisjonssikkerhet i 2019, FMA Felleskapasiteter, ble først forespurt av Forsvaret, ikke Kystverket, om bistand til risikovurdering av gjenværende ammunisjon i ubåten U-864.²⁴ Besvarelsen fra FMA til Kystverket om sannsynlighet for detonasjon ved håndtering av ammunisjon (rydding av eksplosive gjenstander) var basert på publiserte empiriske data fra Department of Defense Explosives Safety Board, Technical paper-14. Siden ca. 80 % av disse ulykkene som er grunnlag for TP-14 er scenarier med brann, er sannsynligheten for håndteringsulykker under vann på ene siden redusert. På andre siden er usikkerheten med ammunisjongjenstandene større i dag på grunn av aldring og at teknisk sikkerhet i WW2 ammunisjon er lavere enn TP-14 grunnlaget. Arbeid under vann med fjernstyrt utstyr innebærer også mindre kontroll over operasjonen, slik at uhellsfrekvensen i sum i 2019 ble antatt å være om lag som for generell ammunisjonshåndtering ved en ryddeoperasjon. Konsekvenser vil være avhengig av graden av fjernstyring og eksponering av mannskap. Sannsynlighet for omsetning av ammunisjon i urørt vrak ble anslått å være meget lav.

Det fremgikk i fagmyndighet ammunisjonssikkerhets svar til Kystverket i 2019 at Forsvarsmateriell trenger mer presis informasjon om vrakdelenes tilstand, om ammunisjonen og om operasjoner tenkt gjennomført for å gjøre mer kvalitative vurderinger.²⁵ Mer presis informasjon for videre vurderinger ble etter det vi kjenner til ikke mottatt.

Ekspertutvalgets rapport påpeker på s. 57 at «Forsvarsmateriell har vurdert sannsynligheten for detonasjon på nytt i 2019 og bekrefter i stor grad de vurderinger som ble lagt til grunn i 2008.» Ekspertutvalget tok informasjonen fra Kystverket som fullverdig, uten å ta kontakt med andre fagmyndigheter i FMA, som fagmyndighet maritimt materiell. Utvalget støttet seg fullt og helt på DNVs og Rambølls rapporter, MDKs vurderinger og utsagn fra FOHs personell.

DNVs rapporter i 2008 og senere, og Rambøll i 2019, konkluderer med et stort antall torpedoer om bord da ubåten ble senket. DNV sier i sin tekniske rapport om eksplosiver at det var forventet full våpenlast om bord, det vil si 27 torpedoer av typen G7a(TI) og G7e(TIII).²⁶ Dette har senere vist seg ikke å stemme.

DNV har i samme rapport likevel fremholdt et viktig forhold i sammendraget:

«Fjerning av eksplosiver fra U-864 er vurdert å være en rutineoperasjon av Forsvaret. Eksplosivene er vurdert å ikke kunne selvdetonere under heving.»

Det er et faktum, som tidligere aldri ser ut til å ha vært vurdert, at store deler av torpedoer og krigshodene faktisk befinner seg utenfor ubåtens trykkskrog, både forut og akterut. Dette faktum vil måtte medføre endringer i risikovurderinger av belastninger på krigshoder og

²² Regjeringen.no, pressemelding nr. 06/2009 fra regjeringen Stoltenberg II, datert 29. januar 2009.

²³ Forsvarsstaben, DocuLive referanse 2009/040765-2, 11. desember 2009.

²⁴ Brev fra Kystverket til Forsvaret 30. april 2019 med referanse 2012/2377-59 (DocuLive referanse 2019/018112-1). Videre fra Forsvaret ved Forsvarsstaben til Forsvarsmateriell 20. august 2019, med kopi til Kystverket, DocuLive referanse 2019/018112-2.

²⁵ Forsvarsmateriell 23. September 2019, DocuLive referanse 2019/018112-3.

²⁶ Det Norske Veritas, Study No. 2: Explosives, Report No. 23916-2 revision 2, 2008-07-04.

tennapparater ved alternativer for tildekking, delvis tildekking eller fylling med «grout».²⁷ Kun de to torpedoene lagret på toppdørken i forre torpedorum befinner seg inne i trykkskroget. Også tennapparaterne til disse torpedoene er lagret i forre torpedorum. Detaljer om tennapparater er beskrevet i vedlegg C.

Ekspertutvalget hevdet at tidligere håndtering av torpedoer og annen type ammunisjon har vært undervurdert. Videre mente utvalget at innen olje- og gassindustrien vil både kortsiktig miljørisiko og operasjonell risiko være på uakseptabelt nivå for mannskapet om bord på overflatefartøy ved hevingsalternativet. Utvalgets akseptanskriterier for risikonivå ved ulykker med alvorlig konsekvens er ikke beskrevet eller vedlagt deres rapport.

Etter det vi kjenner til er det ikke registrert ulykker når MDK har ryddet gammel krigsammunisjon i sjø. Heller ikke under fjerning av torpedoer med høy følsomhet fra vrakene etter KNM Oslo og KNM Helge Ingstad ble det registrert ulykker.

Det ble av en gruppe med offiserer, tidligere ansatte i forsvarssektoren og den tyske sivilingeniøren Wolfgang Lauenstein, levert en privat høringsuttalelse på Ekspertutvalgets rapport 18. januar 2023. Arbeidet ble utført på fritiden, og ble ledet av orlogskaptein Rune Birger Nilsen. Noen av deltakerne i denne høringen er også med i AG U-864, nå som tjenestegjørende med ledelsesforankret oppdrag. Flere av observasjonene, beskrivelser og konklusjoner i Nilsens høringsuttalelse var basert på mye av den samme informasjonen Ekspertutvalget faktisk satt med, men som utvalget ikke benyttet. Nilsens høringsuttalelse kunne ikke den gang med sikkerhet fastslå hvilke modeller av torpedoer og tennapparater som befant seg om bord, men risikoer og forholdsregler knyttet til de ulike modellene ble beskrevet. NFD ser ikke ut til å ha benyttet seg av Nilsens høringsuttalelse eller noen av rådene og anbefalingene fra andre høringssvar.

Sjef FMA MARKAP oppnevnte etter oppdraget fra FD en arbeidsgruppe i november 2024, AG U-864. AG U-864 har innhentet mye ny kunnskap og informasjon som ikke har vært benyttet tidligere. FMA og AG U-864 gjør derfor selvstendige analyser og vurderinger uavhengig av Nilsens tidligere arbeidsgruppe. Arbeidet i FMA er dessuten tilført nye medlemmer, med særlig kompetanse på ammunisjonssikkerhet og ubåtskrog. Derfor vil Forsvarsmateriell kunne levere denne rapporten med vedlegg fristilt fra Nilsens tidligere arbeid.

2.3 Arbeid utført av Forsvarsmateriell

Forsvarsmateriell og AG U-864 viser som nevnt respekt for at hensynet til miljøet forårsaket av lekkasjer fra kvikksølvlasten, og at berging av mest mulig kvikksølv er det overordnede målet. Alt arbeid utført av AG U-864 har kun til hensikt å styrke kunnskapsgrunnlaget for NFD og Kystverkets valgmuligheter for videre håndtering av vrakrestene.

Forsvarsmateriell har tidligere fortløpende besvart Kystverkets oppdrag innen angitte frister med forankring i Forsvarsmateriells ledelse. Denne rapporten med vedlagte risikovurdering gir et samlet svar på alle spørsmålsstillinger FMA er forelagt i skriv og under møter med Kystverket.

Faren for uønsket spredning av kvikksølv, utover det som allerede ble spredt ved senkningen av U-864, har nøye sammenheng med hvordan ammunisjon og eksplosiver om bord var plassert i vrakdelene. Gjenværende ammunisjonen i vrakdelene har igjen sammenheng med hvordan deler av ammunisjon sannsynligvis detonerte ved torpederingen og havnet i sedimentene.

Denne rapporten utreder risikoen ved håndtering av ammunisjon. Ammunisjonssikkerheten vil være styrende for å unngå ytterligere spredning av kvikksølv, uavhengig av hvilken løsning som NFD og Kystverket velger.

AG U-864 har søkt og innhentet ny informasjon om våpen, hvilken mengde ammunisjonen, ammunisjonstyper og modeller som måtte befinne seg om bord da U-864 ble senket 9. februar

²⁷ «Grout», «grouting», en form for injeksjonsmasse bestående av miks av sement, sand og vann. Kystverket 19. mai 2025, med referanse 2025/526-7, s. 7.

1945. AG U-864 har også innhentet informasjon om plasseringen av ammunisjonen om bord. Videre har vi analysert hvilke risikomomenter ammunisjonsbeholdningen har å si for ulike alternativer for håndtering av kvikksølv i vrakdelene og i sedimentene på havbunnen. Dette omfatter også vurderinger av skrogstyrke på formskrog og trykkskrog, og effekten av at krigshodene i torpedoer som er ladet i torpedorørene fysisk befinner seg utenfor trykkskroget.

Det viktigste grunnlaget for ny informasjon om ammunisjonen om bord og ammunisjonsikkerhet er som nevnt historikeren dr. Axel Niestlé's rapport fra 24. november 2024, rapporten publisert på «ScienceDirect» april 2023 om «Bedre beslutningsgrunnlag ved å styrke risikovurderingene av udetonert ammunisjon og eksplosive krigsrester», samt doktoravhandlingen til oberstløytnant dr. Novik.

Rapporten til dr. Niestlé med kildehenvisninger ble vedlagt FMAs brev til Kystverket 21. februar 2025.²⁸ Dr. Niestlé's rapport gir en langt mer presis og verifisert dokumentasjon av ammunisjonsbeholdningen på U-864 enn benyttet i alle tidligere rapporter, herunder om antall torpedoer og torpedomodeller med tilhørende tennapparater.

Rapporten fra ScienceDirect april 2023 ble som nevnt sendt på e-post fra Knut Moe til alle involverte i oppdraget fra FD, inklusive også Kystverket og deres tilknyttede konsulenter 10. desember 2024.²⁹

Basert på oppdragene fra FD og Kystverket, inklusive Kystverkets presiseringer av oppdraget 8. januar 2025, har FMA gjennomført grundige analyser som har resultert i våre risikovurderinger. I risikovurderingene er de tre hovedalternativene ekspertutvalget benyttet lagt til grunn:

1. tildekking av vrak med last og forurenset sjøbunn
2. heving av last (kvikksølv) og deretter tildekking av vrak og sjøbunn
3. heving av vrak med last og deretter tildekking av sjøbunn.

Vi følger prinsippene i rapportene fra ScienceDirect og i Aven et.al. (2017), og har med dette som bakgrunn gjennomført en dypere analyse og vurdering av hovedalternativene ovenfor. Se mer om arbeidet med risikovurderingene i kapittel 4 nedenfor.

3 Udetonert krigsammunisjon og ammunisjon om bord på U-864

3.1 Om udetonert ammunisjon og eksplosive krigsrester

3.1.1 Generelt

Forsvarsmateriell har benyttet et utvalg av studiene til oberstløytnant dr. Geir Petter Novik om risikovurderinger av udetonert ammunisjon og eksplosive krigsrester som basiskunnskap og underlag for utarbeidelse av risikovurderinger. Også en rapport fra The British Geological Survey har gitt mye nyttig informasjon (BGS 2005).³⁰

Forskning tyder på at aldrende eksplosiv ammunisjon kan bli stadig mer følsom for ytre stress. Generelt viser prøver av aldrende ammunisjon større spredning i prøveutfall enn for nye eksplosiver. Primæreksploder vurderes som mer følsomme for ytre påkjenninger enn sekundære eksplosiver, og kan lett detonere ved påvirkning av et relativt svakt mekanisk støt, varme, gnister og/eller friksjon. Denne følsomheten må være dimensjonerende for eventuell håndtering. Fuktighet kan medføre at stoffer reagerer med hverandre på en måte som er vanskelig å forutsi. Studier har vist at tilstedeværelsen av fuktighet, sammen med andre faktorer, kan bidra til en økning i slagfølsomheten. Fukt påskynder ofte en slik prosess, men vannfuktet eksplosivt stoff er

²⁸ DocuLive referanse 2024042880-3.

²⁹ Se fotnote 20 ovenfor.

³⁰ G. Ford, L. Ottermöller, and B. Baptite, *Analysis of Explosions in the BGS Seismic Database in the Area of Beaufort's Dyke, 1992-2004* (British Geological Survey, 2005).

oftest likevel mindre sensitivt enn tørt stoff. Det er derfor vesentlig at eksplosive rester og gjenstander ikke tillates å tørke ut ved håndtering.

Det er kjent at eksplosive sammensetninger som inneholder ammoniumnitrat kan få endrede egenskaper når de er forurenset med små mengder metaller, eller når de kommer i kontakt med metaller. Disse metallene kan reagere kjemisk med ammoniumnitrat, danne komplekse salter og kjemiske forbindelser.

Mest fremtredende risiko for uønskede detonasjoner i sjø er ytre påvirkning i form av mekaniske påvirkninger som støt og eller friksjon. Også lyn, elektrostatiske utladninger eller brann kan forårsake uønskede detonasjoner i landdeponier, men er ikke like relevant for vrakdelene fra U-864.

Andre detonasjon kan oppstå som et resultat av terrorhandling, sabotasje eller annen kriminalitet.

En detonasjon av en konsentrert ladning i vann gir et grunnsjokk som kan være inntil 10 ganger sterkere enn samme eksplosivmengde brukt i en salve til fjellsprengning. BGS 2005- rapporten bekrefter dette, jf. også Gitterman og Shapira etter studier av undervannsdetonasjoner i Dødehavet.³¹ Også en rapport om "Allied and Enemy Explosives" understøtter dette, og sier i tillegg at undersjøiske sjokkbølger har større hastighet i vann enn i luft, og med mye høyere trykk, men med kortere varighet. Dette medfører at nærdetonasjoner under vann er svært skadelig for stålplatene i skipsskrog.³²

3.1.2 Om selvdetonasjon

Det er også kjent at gammel krigsammunisjon kan selvdetonere. Et økende antall spontane detonasjoner er rapportert ved aldrende ammunisjon, muligens som følge av forringede tekniske og eller kjemiske egenskaper i sprengstoffene. Kjemiske reaksjoner har også bidratt til sensitive blandinger som høyst sannsynlig har ført til detonasjon ved liten mekanisk påvirkning. Gammelt krutt har selvantent på grunn av lavt stabilisatorinnhold. Det kan ikke utelukkes at det samme kan skje i sjø med gammelt krutt, men det er mindre sannsynlig.

Rapporten fra The British Geological Survey (BGS 2005) bekrefter at konvensjonell ammunisjon foretar spontane eksplosjoner og detonasjoner på sjøbunnen i nærheten av ammunisjonsdumpingsområder, også uten forklaring. Men registreringene av detonasjonene skiller ikke på intenderte detonasjoner og tilfeller der man ikke vet årsaken. Det er dermed ikke entydige data på hendelsesfrekvens eller hva som har detonert.

Det kan ikke utelukkes at selvdetonasjon kan forårsake omrøring av kvikksølv i sedimentene rundt vrakdelene etter U-864. Arbeidsgruppen ser de seks ladede torpedoene i torpedorørene som viktigst å vurdere i risikovurderingen av selvdetonasjon i de tre hovedalternativene.

3.1.3 Om svartsvane-hendelser

Også såkalte «Svartsvane-hendelser» kan oppstå, som kjennetegnes ved at detonasjon kan skje spontant med eller uten ytre stimuli. Hendelser kan skje uten at årsakene nødvendigvis kan identifiseres. Svartsvane-hendelser blir imidlertid ofte oversett eller ignorert som risiko og utelatt fra risikovurderinger. Derfor bør alltid svartsvane-hendelser vurderes.

Svartsvane-hendelser kategoriseres i tre kategorier:

1. Den første kategorien, nemlig de ukjente ukjente, består av hendelser som er helt utenkelige og ukjente for det vitenskapelige samfunnet og som derfor er fraværende i risikovurderingen

³¹ G. Ford, L. Ottermöller, and B. Baptite, *Analysis of Explosions in the BGS Seismic Database in the Area of Beaufort's Dyke, 1992-2004* (British Geological Survey, 2005), pkt. 2 andre avsnitt, og Gitterman and Shapira, 2001.

³² Allied and Enemy Explosives, 1946, s. 11.

2. Den andre kategorien, det vil si de ukjente kjente, omfatter hendelser som ikke fanges opp av den aktuelle risikovurderingen, enten fordi risikovurdereren ikke kjenner dem eller fordi de ikke har gjort tilstrekkelig grundige vurderinger
3. Den tredje kategorien omfatter hendelser som inntreffer til tross for at den eller de som vurderer risiko vurderte sannsynligheten for at hendelsen skulle inntreffe som ubetydelig.³³

3.2 Ammunisjon i Kriegsmarine og om bord på U-864

I risikovurderingen er ammunisjonen om bord i U-864 inndelt etter små, medium og store eksplosiver. Bakgrunnen for inndelingen i de tre kategoriene er basert på netto eksplosivinnhold (NEI):

- små eksplosiver med NEI opp til 1 kg, som i risikovurderingen er definert som signalammunisjon, ammunisjon til linekastere/maskingevær/maskinpistoler/pistoler, håndgranater og løse/enkle granater til luftvernkanoner³⁴
- medium eksplosiver med NEI fra 1 kg opp til 50 kg, som i risikovurderingen er definert som flybomber, artilleriammunisjon (granater til sjømålskanon og magasiner/kasser med granater til luftvernkanoner), demoleringsladninger og løse tennapparater til torpedoer
- store eksplosiver med NEI over 50 kg er torpedokrigshoder.

Ammunisjon og annen logistikk var i utgangspunktet gjort sjøklart for oppdraget om bord på U-864. Etter torpederingen hersker det kaos. Rulling og rykk eller endring av vinkel (krenkning) på vrakdelene kan føre til at ammunisjon kommer i klem eller at det oppstår friksjon, med detonasjoner som følge.

Mekaniske slag, støt eller friksjon anser AG U-864 som den største faren for omsetning av ammunisjonen. Friksjon vil utgjøre en fare sammen med støt hvis vrakdelene ikke håndteres varsomt. Aldring og kjemisk tilstand, spesielt i krigshodene, kan medvirke til ustabil sprengstoff og forhøyet usikkerhet for detonasjoner ved ytre påvirkning eller selvdetonasjoner. Tildekking vil kunne medføre at den delen av torpedorørene som ligger utenfor trykkskroget, men innenfor formskroget, bøyes ned. En torpedodetonasjon i et torpedorør, forut eller akterut, vil føre til sympatiooverføring mellom samtlige torpedoer som er ladet i torpedorørene i den enkelte vrakdel. Mer om sympatiooverføringer nedenfor i pkt. 3.2.2.

Ladete torpedoer kan være upåvirket av sjøvann og ligge tørt eller delvis tørt. Dette har stor betydning for ammunisjonens følsomhet. Også ammunisjon i ammunisjonsmagasin #2 kan ligge tørt. Detonasjoner kan oppstå enkeltvis i ammunisjonsmagasin # 2, uten store konsekvenser.

3.2.1 Ammunisjon i Kriegsmarine

I denne rapporten benytter vi millimeter på luftvernartilleriets kaliber og ammunisjon, mens det i originale tyske dokumenter benyttes centimeter. På artilleriammunisjon ≥ 10 cm benytter vi centimeter for kaliber og tilhørende ammunisjon.

Kriegsmarine benyttet 41 ulike høyeksplosiver i hovedladningene i sine undervannsvåpen, som besto av ulike varianter med betegnelsen Schießwolle (SW) med et nummer bak (1-41). SW-kombinasjonene har «stygge» og til dels giftige blandinger med hexanitrodeiphenylamine, trinitrotulen, ammoniumnitrat og eller aluminiumspulver i varierende grad. Sprengstoffet i tennladninger for torpedoer består av pentaerythrittetranitrat («penta», pentritt, PETN), normalt i pulverform presset til en fast konsistens. Detonatorer for torpedoer kom i minst to varianter, avhengig av om de ble avsatt mekanisk med tennstempel eller elektrisk. Sprengstoffet utgjorde i begge tilfeller ca. 1 g knallvikksølv og 0,5 g tetra nitro metyl nilin («tetra») i detonatorene.

³³ Fritt oversatt fra doktoravhandlingen til oberstløytnant dr. Geir Petter Novik.

³⁴ Se også vedlegg B for definisjoner i risikovurderingen, vedlegg C for detaljer om hver type ammunisjon om bord.

For drivladninger kan nedbrytningen gå så raskt at den til slutt fører til dannelsen av tilstrekkelig varme til å forårsake spontan antenning. Sannsynligheten for selvdetonasjon i ammunisjon vil selvsagt være avhengig av flere faktorer, som type, mengde, struktur, materiale, kjemisk sammensetning, ytre miljø osv. Og selv om risikoen for selvdetonasjon i de fleste tilfeller anses som lite sannsynlig, kan de potensielle konsekvensene være ekstreme. Forskning indikerer at gammel ammunisjon både kan bli stadig mer følsom for ytre stress og ofte har viset seg å detonere spontant uten menneskelig interaksjon.

Flybomber inneholder amatol. Skulle det være flybomber igjen i en vrakdel eller i sedimentene må endringer i amatolens egenskaper hensyntas i videre vurderinger. Endringer i amatolens egenskaper kan oppstå ved kontakt med metalloverflater over tid. I tillegg til å være reaktive mot jern, kan blandinger av amatol i nærvær av fuktighet også reagere med metaller som kobber, messing, bronse og bly, og danne farlig følsomme forbindelser.

3.2.2 Sympatioverføring – torpedodetonasjoner

Det kan forventes at et av krigshodene i et av torpedorørene i samme skrogseksjon vil kunne detonere, enten som følge av ytre påvirkning ved tildekking, eller ved selvdetonasjon uten ytre påvirkning over tid. Høyest risiko er knyttet til G7es(TV) torpedoene med toppmonterte tennapparater. Detonerer et krigshode i et av torpedorørene vil detonasjonen sannsynligvis medføre sympatioverføring til torpedoene i de andre torpedorørene. Det er fire ladede torpedoer i forskipet og to ladede torpedoer i akterskipet. Med ladede torpedoer menes at tennapparat er innmontert og at torpedoene befinner seg inni torpedorørene.

Massedetonasjoner eller sympatioverføringer vurderes ikke å kunne opptre i annen ammunisjon enn torpedoer ladet i torpedorørene. Ammunisjon i kategorien små eller middels eksplosiver kan likevel detonere enkeltvis, men utgjør trolig ikke en strukturell eller operasjonell risiko, eller risiko for sympatioverføringer. Mer om dette i risikovurderingen, og i risikomatriksen i kapittel 5 nedenfor.

I forskipets fire torpedorør er det ca. 1100 kg NEI. I torpedorommet i forskipet er det i tillegg to reservetorpedoer på toppdørken og tennapparater til disse, i alt ca. 560 kg NEI. Tennapparater til reservetorpedoer er ikke innmontert. Det forventes ikke at reservetorpedoene i forskipet kan detonere ved sympatioverføring fra detonasjon i torpedorørene.

I akterskipets to torpedorør er det torpedoer med ca. 550 kg NEI. Også her er tennapparatene innmontert.

Effekten av en detonasjon med sympatioverføring vil medføre et grunnsjokk. Om forskipet da raser eller glir utfor støttefyllingen kan dette medføre uønsket omrøring av forurensede masser og spredning av kvikksølv. Jordskjelv kan også føre til omrøring av ustabile leirmasser og gi utglidning. Effekten av jordskjelv ble ikke presentert av Ekspertutvalget i deres rapport. Sjokket fra små og middels ladninger berører et mindre volum av sedimentene og vil gi mindre risiko for omrøring av kvikksølv og utglidning. Fra detonasjon av store ladninger vil grunnsjokk kunne være den største årsaken til utglidning.

Den mulig planlagte tildekkingen over vrakdelene, jf. rapporten fra DNV GL, vil ved sympatioverført detonasjon ikke være tilstrekkelig for å forhindre gjennomtrengning av detonasjonsbølgen og dannelse av krater ved noen av de to vrakdelene.³⁵ Vi tar her kun utgangspunkt i ladningsvekten i krigshodene i torpedorørene i for- og akterskipet, ikke annen gjenværende ammunisjon som f.eks. i ammunisjonsmagasin # 2 i forskipet. Dekningstykkelse beregnes etter formelen $C=1,2*Q^{0,3}$, hvor C er nødvendig dekningstykkelse for å hindre gjennombrudd av eksplosionsgassene og derav følgende kraterutkast, og Q ladningsvekten målt i NEI.³⁶ Faktoren 1,2 er en konstant for beregning av nødvendig dekningstykkelse i fjell. For den dekningsmassen DNV GL anbefaler vil faktoren i formelen ovenfor være større enn 1,2. Nødvendig

³⁵ DNV GL 12. mai 2014, Design av tildekking og kontroll med utlegging, s. 26.

³⁶ Reglementet for ammunisjonstjenesten – fellesbestemmelser, pkt. 16.2.2.

dekningstykkelse for forskipet alene, om tildekkingen hadde vært fjell, overskrider beregningene i DNV GL rapporten med mer enn faktor tre. Med en kraftig detonasjon ved sympatiooverføring i torpedorørene vil selv en tildekking med ca. 2,9 meter masse, jf. oversendt rapport fra Kystverket, trolig heller ikke være tilstrekkelig for å sikre mot utglidning av forskipet.³⁷

Formelen fra reglementet for ammunisjonstjenesten vil medføre behov for svært store dekningstykkelser over vrakdelene om torpedoene ikke fjernes fra torpedorørene. Om så store dekningstykkelser vil være praktisk mulig å gjennomføre, kan ikke FMA ta stilling til. Det er imidlertid sannsynlig at utlegging av så store dekningsmasser, langt mer enn i rapporten oversendt fra DNV GL, vil kunne øke sannsynligheten for betydelig mer ytre påvirkning på skrog og på tennapparatene, og derved også sprengstoffene i krigshodene. Store dekningsmasser vil derfor kunne medføre uønsket detonasjon med ytterligere spredning av kvikksølv.

3.3 Mer om ammunisjonstyper om bord på U-864

Vedrørende ammunisjonstyper om bord på U-864 anser Forsvarsmateriell rapporten fra dr. Axel Niestlé som dekkende. AG U-864 har ettergått kildene til dr. Niestlé. De oppgitte kildene i rapporten fremstår som et troverdige faktaunderlag, med flere referanser som er ikke tidligere er fremlagt i andre rapporter. AG U-864 korrigerer dog at det skal være toppmontert tennapparat Pi 4c, ikke Pi 4b, som ble benyttet på G7es(TV) torpedoer.

Forholdsregler må tas ved direkte og indirekte håndtering av ammunisjon.

FMA viser også til detaljert oversikt over antall og utplassering av ammunisjon i skipstegningene. Skipstegninger i A0-format av Kriegsmarine U-Boot Type IX D1 og IX D2 ble overlevert Kystverket under møtet 30. januar, og senere også oversendt til Kystverket elektronisk i PDF-format.

AG U-864 antar at det ligger lite ammunisjon i sedimentene tett inntil vrakdelene. Ammunisjonen som ble slynget ut av U-864 ifm. torpederingen, høyt opp i vannsøylen, har truffet sjøbunnen et stykke unna vrakdelene, og er spredt omkring over et større område.

3.3.1 Torpedoer

Jf. dr. Niestlé var U-864 utrustet med åtte torpedoer om bord da ubåten ble senket. Seks torpedoer var ladet i torpedorørene, henholdsvis fire i torpedorørene forut og to i torpedorørene akterut. Opplysningene fremstår som presise og samsvarer med oppdragets art og karakter.

I torpedorørene forut var fordelingen av torpedoer mest sannsynlig to stk. G7es(TV) og to stk. G7e(TIIIa Fat2). Videre var to stk. G7e(TIIIa Fat2) lagret på torpedodørken i torpedorommet forut. Mest sannsynlig var det ladet to stk. G7es(TV) i torpedorørene akterut.

G7es(TV) torpedoene har tennapparat Pi 4c med mekanisk tennmekanisme toppmontert. Tennladningen, som består av 400 gram pentritt med to detonatorer, er montert inne i selve hovedladningen. Det er derfor etablert en direkte tennkjede inne i krigshodet, noe som innebærer at om detonator og/eller tennladningen detonerer, vil hovedladningen detonere. Slik detonasjon kan skje enten ved ytre påvirkning i form av mekanisk støt sjokk, friksjon, eller klem, eller som selvdetonasjon over tid uten ytre påvirkning. Selvdetonasjon er beskrevet ovenfor i pkt. 3.1.2.

Torpedo G7e(TIIIa Fat2) har nesemontert tennapparat Pi 2. Før armering befinner tennladningen med 300 gram presset pentritt seg utenfor krigshodet, noe som medfører at tennkjeden under normale forhold er brutt. Sannsynligheten for detonasjon av krigshodet i G7e(TIIIa Fat2) anses derfor som mindre sannsynlig enn for G7es(TV), men kan ikke utelukkes.

3.3.2 SC50 Flybomber

Kort tid før avgang ble det besluttet av myndigheter over skipssjefens nivå at U-864 skulle frakte et ikke dokumentert antall flybomber til Djakarta. Av hensyn til fartøyets trim ble SC50 flybombene trolig sjøsikret og stuert i kasser med to og to i den midtre seksjonen av skipet. Alternativt ble flybombene sjøsikret og stuert uten oppbevaringskasser. Det kan ikke utelates at

³⁷ Design av tildekking fra DNV GL datert 12. mai 2014, oversendt fra Kystverket først 18. juli 2025.

SC50 flybombene ble lagret i andre seksjoner enn i den midtre seksjonen, men det er lite trolig. Høyeksplosivet amatol inngår trolig som en komponent i sprengladningen. Trolig er ikke tenner/detonator innmontert. Siden det ikke er funnet flybomber til nå, antas det at flybombene detonerte, eller de ble omkastet ifm. at torpedoen fra HMS «Venturer» traff U-864 relativt midtskips.

3.3.3 Demoleringsladninger

For demolering ved eventuelle fiendtlig forsøk på overtakelse av ubåten, hadde U-864 et antall demoleringsladninger som raskt kunne monteres og omsettes ifm. evakuering. Demoleringsladningene ble sjøsikret og stuet i proviantstøven i forskipet. Demoleringsladninger kan også være lagret i andre seksjoner. Tenner/detonator er ikke montert på demoleringsladningene.

3.3.4 Artilleriammunisjon

3.3.4.1 Brannrør

Det er stor variasjon på egenskapene til de ulike artillerigranatene og granatenes brannrør. Brannrørene har anslags-, forsinkelses- og selvdeleggelsesfunksjoner. Ammunisjon til 10,5 cm kanonen vurderes som mest risikofyllt å håndtere av artilleriammunisjonen. Funnet ammunisjon med brannrør skal håndteres som blindgjengere.

3.3.4.2 10,5 cm artilleriammunisjon

Sprenggranater som ble lagret utvendig nær kanonen detonerte eller ble omkastet som følge av torpederingen. Det ble lagret 10,5 cm ammunisjon i ammunisjonsmagasin #1, men magasinet er sprengt bort. Det ble muligens lagret et mindre antall 10,5 cm ammunisjon i ammunisjonsmagasin #2., som er intakt. 10,5 cm ammunisjonen kan inneholde sporlys.

3.3.4.3 37 mm luftvernammunisjon

Det ble lagret klipset spreng- og panserbrytende enhetspatroner «ready for use» i trykktette konteinere i akterkant av den doble 37 mm M42 luftvernkanonen, og i ammunisjonsmagasin #2. Ammunisjonen inneholder sporlys- og brannbrennstoff.

3.3.4.4 20 mm luftvernammunisjon

Det ble lagret spreng- og panserbrytende enhetspatroner «ready for use» i 20 skudds kassetter i trykktette konteinere utvendig, i bakkant av de to doble 20 mm C/38 kanonene. Disse ble trolig sprengt under torpederingen, eller omkastet sammen med enhetspatroner som ble lagret i kontrolltårnet. Det ble også lagret enhetspatroner i ammunisjonsmagasin #1 og #2 i forskipet. Ammunisjonsmagasin #1 ble som nevnt ovenfor «blåst bort» ved torpederingen. 20 mm luftvernammunisjonen inneholder sporlys- og brannbrennstoff.

3.3.4.5 Ammunisjon til hånd- og avdelingsvåpen

Det ble lagret ammunisjon til hånd- og avdelingsvåpen flere steder i U-864. Hvor mye som er igjen, og hvor mye som ble slynget ut eller omkastet innvendig i vrakdelene ved torpederingen er uvisst. Det er sannsynlig at en god del av denne ammunisjonen befinner seg på sjøbunnen eller i sedimentene, spredt ut over et stort område vekk fra vrakdelene.

3.3.4.6 Pyroteknisk ammunisjon

Det ble lagret pyroteknisk ammunisjon rundt om på fartøyet. En del ammunisjon ble sprengt eller omkastet ifm. torpederingen. Håndtering av ammunisjonen over vann må ta hensyn til ammunisjonen inneholder fosfor.

3.3.5 Samlet ammunisjonsoversikt med lokalisering og NEI

I tabellen nedenfor listes den samlede ammunisjonsbeholdningen som AG U-864 antar var om bord da ubåten startet toktet sitt siste tokt 9. februar 1945. I netto eksplosivinnhold har vi ikke

tatt med netto eksplosivinnhold fra mulige SC50 flybomber i beregningen, selv om det kan være noen lokalisert i ammunisjonsmagasin # 2.

Seksjonen midtskips ble knust og spredd sammen med ammunisjonsmagasin # 1 da torpedoen fra HMS «Venturer» traff ubåten relativt midtskips. Vi antar derfor at flybombene som var midtskips eller i ammunisjonsmagasin # 1 detonerte i det U-864 ble senket. Alternativt kan de eventuelle udetonerte flybomber ha blitt spredd utover et stort område ved vrakdelene, men rapporter fra Kystverket viser at de ikke har funnet flybomber på bunnen eller i sedimentene.

Tabell 1 nedenfor er en redigert versjon hentet fra ammunisjonsvedlegget, vedlegg C, kapittel 11.

LOKASJON	AMMUNISJONSTYPE	ANTALL	NEI
Baugtorpedorum – Ladet i torpedorør I-IV	Torpedokrigshoder til: 2 stk. G7es(TV) 2 stk. G7e(TIIIa Fat II)	2 stk. Type Kb med tennapparat Pi 2 2 stk. Type Ke med tennapparat Pi 4c	Ca. 1100 kg høyeksplosiver og ca. 1,5 kg pentritt
Baugtorpedorum – Ligger på dørkplatene rett bak torpedorørene	Torpedokrigshoder til: 2 stk. G7e(TIIIa Fat II)	2 stk. Type Kb med tennapparat Pi 2	Ca. 560 kg høyeksplosiver
Baugtorpedorum	Løse tennapparater til torpedokrigshoder	2 stk. Pi 4c 2 stk. Pi 2	Ca. 1,5 kg pentritt
Forre WC, rett i akterkant av baugtorpedorum	Løse tennapparater til torpedokrigshoder	2 stk. Pi 4c eller Pi 2	Ca. 1 kg pentritt
Proviantlager	5 bokser med demoleringsladninger	24 stk. Sprengbüchse A 12 stk. Sprengpatrone A	36 kg høyeksplosiver (kan være mer).
Magasin #2	Ammunisjon til artilleri og avdelingsvåpen (kan også inneholde håndgranater, flybomber og detonatorer)	Usikkert, men sannsynlighet for store NEI-verdier	Usikkert, ca. 2760 kg NEI, kan også inneholde noe 10,5 cm ammunisjon og flybomber
Magasin #1	Ammunisjon til artilleri og avdelingsvåpen (kan også inneholde håndgranater, flybomber og detonatorer).	Usikker beholdning, men opprinnelig sannsynlighet for store NEI-verdier	Usikkert, ca. 1790 kg NEI (merk: Sannsynlig at ammunisjonen ble slynget ut ifm. torpederingen)
Offisersmesse	3 bokser 7.92 mm til MG 81Z	540 patroner	Usikker (minimal NEI)
Oppbevaringsrom i akterkant av 10,5 cm sjømålskanon på fordekk	Enhetspatroner til 10,5 cm SK C/32	32 patroner i beredskapskogger, klargjort til bruk	Ca. 45 kg NEI (merk: Sannsynlig at ammunisjonen ble slynget ut ifm. torpederingen)
Oppbevaringsrom i akterkant av dobbel 3,7 cm luftvernkanon på tårnplattform	Enhetspatroner til 3,7 cm Flak M42	38 klips á 5 patroner klargjort til bruk, i beredskapsbeholder	Ca. 250 kg NEI
Hekk torpedorum	2 bokser med tennmekanismer for demoleringsladninger	24 x Zt.Z.9 detonatorer	Svært lite NEI
Hekk torpedorum	Løse tennapparater til torpedokrigshoder	2 stk. Pi 4c	Ca. 1 kg pentritt

LOKASJON	AMMUNISJONSTYPE	ANTALL	NEI
Hekk torpedorum -Ladet i torpedorør V-VI	Torpedokrigshoder til: 2 stk. G7es(TV)	2 stk. Type Ke med tennapparat Pi 4c	Ca. 550 kg NEI, høyeksplosiver og ca. 1 kg pentritt

Tabell 1 viser oversikt over ammunisjonsbeholdningen til U-864, med unntak av flybomber SC50.

4 Bakgrunn for risikovurderinger

Forsvarsmateriell benytter i denne rapporten en risikoanalysemodell for gjennomgang av ammunisjonssikkerheten på eksplosive rester som også tar hensyn til usikkerhet og bakgrunnsinformasjon. Risiko er et grunnleggende begrep i risikostyring og beslutningsprosess. I henhold til NS 5814:21 og Aven et.al. (2017) defineres risiko som en kombinasjon av konsekvenser og usikkerhet knyttet til en uønsket hendelse (C, U).³⁸ Her innebærer usikkerheten at man ikke kan forutsi med visshet om en hendelse vil inntreffe, eller hvilke konsekvenser den vil ha dersom den skjer. Risiko er dermed ikke bare en måling av sannsynlighet, men også en måling av den underliggende bakgrunnskunnskapen (K) og styrken av denne kunnskapen (SK).

Ved kalkulasjon av risiko vurderes typisk faktorer som sannsynlighetene (P), konsekvensene (C), samt bredden av faglig bakgrunnskunnskap og usikkerhet. Risiko kan derfor beskrives som et produkt av disse elementene, og formålet med risikoanalysen er å kartlegge, beskrive og visualisere dette risikobilde for å understøtte beslutningsprosesser.

En risikoanalyse består av tre hovedfaser; planlegging, risikovurdering og risikohåndtering. En grundig analyse skal ikke bare tilfredsstille myndighetskrav, men også utnytte potensialet for å identifisere initiatorer, forstå årsakssammenhenger og konsekvenser, og dermed gi et pålitelig beslutningsgrunnlag. I denne sammenheng er det viktig å ta hensyn til usikkerhetene og den bakgrunnskunnskap som påvirker vurderingene, slik at analyseresultatene blir så realistiske og kostnadseffektive som mulig. Vurdering av kosteffektivitet er i denne sammenheng utenfor FMAs mandat.

I risikovurderingen er følgende parametere og verdier lagt til grunn:

- anvendte kriterier med forklaring og tallverdier for sannsynlighet
- anvendte kriterier med forklaring og tallverdier for konsekvens ved miljøskader, personskader og materiellskader
- anvendte kriterier med forklaring og tallverdier (skala) for risiko og sannsynlighet
- forutsetninger om eksplosiver, torpedoer, artilleri og skrogkonstruksjoner med betydning for ammunisjonshåndteringen og derav miljø sikkerheten er beskrevet
- for hver delaktivitet under alternativene er uønskede hendelser, årsak, risikoreduserende tiltak på sannsynlighet og konsekvens pr. uønsket hendelse, samt en vurdering av bakgrunnskunnskap og usikkerhet for analysen lagt inn med nummerhenvisning
- avslutningsvis er det utarbeidet en to-faktor risikomatrix for hvert av de tre alternativene med delaktiviteter, med nummerhenvisning til hvor i regnearket kriterier, vurdering og beregning av sannsynlighet og konsekvens er å finne. Flere detaljer om innholdet i risikomatrixene nedenfor i kapittel 5.

Risikoverdier og kriterier for fargekoder i risikomatrixen er forklart som følger:

³⁸ NS 5814:21, Norsk Standard 5814, Krav til risikovurderinger, Standard Norge, 2021. Aven et.al., se fotnote nr. 4.

Verdi	Kriterie	Forklaring
1-4	Grønn kategori/ lav risiko	Aktivitet kan gjennomføres, men risikoreduserende tiltak kan vurderes
4-10	Gul kategori/ middels risiko	Aktivitet bør ikke gjennomføres uten tiltak. Rutiner og tiltak bør kvalitetssikres og ev. forbedres
10-25	Rød kategori/ høy risiko	Aktivitet bør ikke gjennomføres

5 Risikovurdering for hvert hovedalternativ

Nedenfor i pkt. 5.1 til 5.3 vises en risikomatrix fra risikovurderingen i vedlegg B for de tre hovedalternativene:

- tildekking av vrak med last og forurenset sjøbunn
- heving av last (kvikksølv) og deretter tildekking av vrak og sjøbunn
- heving av vrak med last og deretter tildekking av sjøbunn.

De tre risikomatrixene viser risikoer etter risikoreduserende tiltak.

I forklaringen under risikovurderingene i punkt 5.1 til 5.3 nedenfor har vi beskrevet vurderingen av rød kategori/høy risiko, med aktiviteter som ikke bør gjennomføres, og gul kategori/middels risiko hvor aktiviteter ikke bør gjennomføres uten tiltak. Risikoreduserende tiltak bør kvalitetssikres og eventuelt forbedres. Grønne aktiviteter kommenteres ikke nærmere utover beskrivelsen i selve risikovurderingen for det enkelte alternativ i risikovurderingen. Grønne aktiviteter kan gjennomføres, men også disse aktivitetene kan ha risikoreduserende tiltak som beskrevet, eller som må vurderes eller forbedres.

Punktnummer inne i firkanten i risikomatrixene nedenfor viser til hvilken identifisert risiko, uønsket hendelse og årsak i risikovurderingen tallet er hentet fra. Ringens størrelse rundt henvisningen viser økende grad av usikkerhet, større ring viser større usikkerhet. Fargekoden bak ringen viser hvor god bakgrunnskunnskap FMA har for vurderingen, hvor grønn bakgrunn i matrisen viser til god bakgrunnskunnskap, oransje bakgrunn viser til medium bakgrunnskunnskap og blå bakgrunn viser til svak bakgrunnskunnskap for vurderingen.

Risikomatrixen for alternativ 1-3 nedenfor er produktet av sannsynlighet * konsekvens vurdert etter uønskede hendelser og kriterier beskrevet innledningsvis i risikovurderingen.

5.1 Risikovurdering alternativ 1, tildekking av vrak med last og forurenset sjøbunn

RISIKOMATRISE (R), Alternativ 1						Usikkerhet		Bakgrunnskunnskap				
		SANNSYNLIGHET (S)					1	○	God			
		Usannsynlig	Mindre sannsynlig	Sannsynlig	Meget sannsynlig	Svært sannsynlig				2	○	Medium
		1	2	3	4	5						
KONSEKVENNS (K)	Ubetydelig	1	2	3	4	5	4 <td rowspan="5">○ <td rowspan="5"></td> </td>	○ <td rowspan="5"></td>				
	Mindre alvorlig	2	4	6	8	10						
	Alvorlig	3	6	9	12	15						
	Meget alvorlig	4	8	12	16	20						
	Svært alvorlig/katastrofalt	5	10	15	20	25						

Figur 1, risikomatrix ved alternativ 1 – tildekking av vrak med last og forurenset sjøbunn

Risikovurderingene i de røde feltene med høy risiko ovenfor og gule felter med medium risiko er gjennomført med varierende usikkerhet og bakgrunnskunnskap.

Alle markerte uønskede hendelser i risikomatrixen er etter risikoreduserende tiltak som er beskrevet i risikovurderingen for sannsynlighet og eller konsekvens.

Risikovurderingene i de røde feltene med høy risiko ovenfor er:

- uønsket hendelse 3.6.2 detonasjon av store eksplosiver på lang sikt ved total tildekning, årsak jordskjelv medfører støt/friksjon, kombinert med økt følsomhet i eksplosivene
- uønsket hendelse 2.6.2 detonasjon av store eksplosiver på lang sikt, ved delvis tildekning, årsak jordskjelv medfører støt/friksjon, kombinert med økt følsomhet i eksplosivene
- uønsket hendelse 5.1 detonasjon av store eksplosiver ved fylling av «grout» i torpedorom og torpedorørens utside inne i trykkskroget før tildekning, endrer trimmen og belastningen på U-864 og underlaget, årsak nedbøyning av torpedorørene mellom trykkskrog og formskrog og omsetning av tennapparat og detonasjon av store eksplosiver
- uønsket hendelse 5.2 detonasjon av store eksplosiver ved fylling av «grout» i torpedorom og torpedorørens utside inne i trykkskroget før tildekning, forskjellige setninger i massene, årsak nedbøyning av torpedorørene mellom trykkskrog og formskrog og omsetning av tennapparat og detonasjon av store eksplosiver
- uønsket hendelse 5.3 detonasjon av store eksplosiver ved fylling av «grout» i torpedorom og torpedorørens utside inne i trykkskroget før tildekning, årsak ufullstendig fylling av hulrom medfører kollaps av formskroget med omsetning av tennapparat og store eksplosiver
- uønsket hendelse 3.6.1 detonasjon av store eksplosiver på lang sikt ved total tildekning, årsak støt og indusert friksjon fra skrog og dekkmasser, kombinert med økt følsomhet i eksplosivene
- uønsket hendelse 3.3 umiddelbar detonasjon av store eksplosiver ved total tildekning, årsak trykkskroget utsettes for støt som overføres til/medfører friksjonskrefter i ammunisjonen

- uønsket hendelse 2.3 umiddelbar detonasjon av store eksplosiver ved delvis tildekning, årsak trykkskroget utsettes for støt som overføres til/medfører friksjonskrefter i ammunisjonen
- uønsket hendelse 2.6.1 detonasjon av store eksplosiver på lang sikt ved delvis tildekning, årsak støt og induert friksjon fra skrog og dekkmasser, kombinert med økt følsomhet i eksplosivene
- uønsket hendelse 5.6 umiddelbar detonasjon av store eksplosiver ved fylling av «grout» i torpedorum og torpedorørens utside inne i trykkskroget før tildekking, årsak kjemisk reaksjon/varmeutvikling fra herding av «grouten».

Risikovurderingene i de gule feltene med middels risiko ovenfor er:

- uønsket hendelse 5.5 umiddelbar detonasjon av medium eksplosiver ved fylling av «grout» i torpedorum og torpedorørens utside inne i trykkskroget før tildekking, årsak kjemisk reaksjon/varmeutvikling fra herding av «grouten»
- uønsket hendelse 5.4 umiddelbar detonasjon av små eksplosiver ved fylling av «grout» i torpedorum og torpedorørens utside inne i trykkskroget før tildekking, årsak kjemisk reaksjon/varmeutvikling fra herding av «grouten»
- uønsket hendelse 3.5.2 detonasjon av medium eksplosiver på lang sikt ved total tildekning, årsak jordskjelv medfører støt/friksjon, kombinert med økt følsomhet i eksplosivene
- uønsket hendelse 6.1 ammunisjon detonerer spontant, årsak endring av eksplosivenes kjemiske reaksjoner over tid. Risiko redusert til gul ved fjerning av ammunisjon.

5.2 Risikovurdering alternativ 2, heving av last (kvikksølv) og deretter tildekking av vrak og sjøbunn

Metodikken for oppbygging av risikoanalysen nedenfor, med angivelse av usikkerhet, bakgrunnskunnskap, og risikoreduserende tiltak er som for alternativ 1 ovenfor.

RISIKOMATRISSE (R), Alternativ 2						Usikkerhet		Bakgrunnskunnskap					
		SANNSYNLIGHET (S)					1	○	God				
		Usannsynlig	Mindre sannsynlig	Sannsynlig	Meget sannsynlig	Svært sannsynlig				2	○	Medium	
		1	2	3	4	5							3
KONSEKVENNS (K)	Ubetydelig	1	1	2	3	4	5	4	○				
	Mindre alvorlig	2	2	4	6	8	10			5	○		
	Alvorlig	3	3	6	9	12	15						
	Meget alvorlig	4	4	8	12	16	20						
	Svært alvorlig/ katastrofalt	5	5	10	15	20	25						

Figur 2, risikomatrise ved alternativ 2 – heving av last (kvikksølv) og deretter tildekking av vrak og sjøbunn

Risikovurderingene i de røde feltene med høy risiko ovenfor er:

- uønsket hendelse 10.6.2 detonasjon av store eksplosiver på lang sikt ved utlegging av tildekningsmasser på U-864 for- og akterskip, årsak jordskjelv medfører støt/friksjon, kombinert med økt følsomhet i eksplosivene
- uønsket hendelse 10.6.1 detonasjon av store eksplosiver på lang sikt ved utlegging av tildekningsmasser på U-864 for- og akterskip, årsak støt og industert friksjon fra skrog og dekkmasser, kombinert med økt følsomhet i eksplosivene
- uønsket hendelse 10.3 umiddelbar detonasjon av store eksplosiver på lang sikt ved utlegging av tildekningsmasser på U-864 for- og akterskip, årsak trykkskroget og andre løse deler utsettes for støt som overføres til/medfører friksjonskrefter i ammunisjonen
- uønsket hendelse 7.3 umiddelbar detonasjon av store eksplosiver ved rulling av skroget av U-864 for å komme til kvikksølvet, årsak trykkskroget og andre løse deler utsettes for støt som overføres til/medfører friksjonskrefter i ammunisjonen.

Risikovurderingene i de gule feltene med middels risiko ovenfor er:

- uønsket hendelse 7.2 umiddelbar detonasjon av medium eksplosiver ved rulling av skroget av U-864 for å komme til kvikksølvet, årsak trykkskroget og andre løse deler utsettes for støt som overføres til/medfører friksjonskrefter i ammunisjonen
- uønsket hendelse 10.5.2 umiddelbar detonasjon av medium eksplosiver på lang sikt ved utlegging av tildekningsmasser på U-864 for- og akterskip, årsak jordskjelv medfører støt/friksjon, kombinert med økt følsomhet i eksplosivene
- uønsket hendelse 12.1 ammunisjon detonerer spontant, årsak endring av eksplosivenes kjemiske reaksjoner over tid. Risiko reduseres til gul ved fjerning av ammunisjon.

5.3 Risikovurdering alternativ 3, heving av vrak med last og deretter tildekking av sjøbunn

Metodikken for oppbygging av risikoanalysen nedenfor, med angivelse av usikkerhet, bakgrunnskunnskap, og risikoreduserende tiltak er som for alternativ 1 ovenfor.

RISIKOMATRISE (R), Alternativ 3						Usikkerhet		Bakgrunnskunnskap				
KONSEKVENNS (K)		SANNSYNLIGHET (S)					1	○	God			
		Usannsynlig	Mindre sannsynlig	Sannsynlig	Meget sannsynlig	Svært sannsynlig				2	○	Medium
		1	2	3	4	5						
Ubetydelig	1	1	2	3	4	5	4	○				
Mindre alvorlig	2	2	4	6	8	10	5	○				
Alvorlig	3	3	6	9	12	15						
Meget alvorlig	4	4	8	12	16	20						
Svært alvorlig/ katastrofalt	5	5	10	15	20	25						

Figur 3, risikomatrikse ved alternativ 3 – heving av vrak med last og deretter tildekking av sjøbunn

Risikovurderingene i det gule feltet med middels risiko ovenfor er:

- uønsket hendelse 18.1 ammunisjon detonerer spontant, årsak endring av eksplosivenes kjemiske reaksjoner over tid.

5.4 Vurdering av alternativene

5.4.1 Alternativ 1, tildekking av vrak med last og forurenset sjøbunn

Alternativ 1 fremstår som det alternativet hvor risikoen for detonasjoner fra store og middels eksplosiver er høyest med tanke på skade på miljøet ved spredning av kvikksølv. Dette omfatter alle former for tildekking, helt eller delvis, samt fylling av «grout» i vrakdelene.

En rekke faktorer påvirker Forsvarsmateriells vurdering. Krigshodene til seks torpedoer befinner seg utenfor trykkskroget. Nedbøyning av torpedorør, og skjev belastning og friksjon på krigshoder med ustabil sprengstoff etter mer enn 80 år, medfører høy risiko for detonasjon.

Endring i vrakdelenes stabilitet ved tildekking og fylling av «grout» i torpedorum og rundt torpedorør i trykkskroget vil øke risikoen for detonasjoner med ytre påvirkning i form av mekaniske støt og friksjon. Beregninger og referanser i kapittel 3 viser at anbefalt tildekking ikke er tilstrekkelig for å unngå kraterdannelser ved detonasjon av torpedoer med sympatiooverføringer. I tillegg vil det dannes grunnsjøkk sammenlignbart med lokalt jordskjelv med om lag styrke 3. Et slikt grunnsjøkk vil dessuten øke risikoen for utgliding av forskipet fra støttefyllingen. Alt i alt vil alternativ 1 medføre høy risiko for økt spredning av kvikksølv.

Forsvarsmateriell fraråder alle alternativer for tildekking uten først å ha fjernet store og middels store eksplosiver fra vrakdelene. Frarådingen er basert både på ammunisjonsfaglig og skrogteknisk grunnlag.

5.4.2 Alternativ 2, heving av last (kvikksølv) og deretter tildekking av vrak og sjøbunn

Alternativ 2 fremstår som det alternativet hvor risikoen for detonasjoner fra store og middels eksplosiver er nest høyest med tanke på skade på miljøet og spredning av kvikksølv. Mange av risikomomentene er de samme som for tildekking med tanke på mekaniske støt og friksjon, med påfølgende detonasjon og fare for utgliding av forskipet.

Fordelen med alternativ 2 sammenlignet med alternativ 1 er at kvikksølvet fjernes fra vrakrestene like over sjøbunnen, og på sjøbunnen, før vrakdelene med torpedoer i torpedorørene varsomt legges tilbake på uforurenset sjøbunnen.

Forsvarsmateriell fraråder alle former for tildekking uten først å ha fjernet torpedoer fra vrakdelene. Frarådingen er basert på ammunisjonsfaglig og skrogteknisk grunnlag.

5.4.3 Alternativ 3, heving av vrak med last og deretter tildekking av sjøbunn

Alternativ 3 fremstår som det alternativet hvor risikoen for detonasjoner av store og middels eksplosiver er lavest.

Alternativ 3 vil medføre at risikoen for fremtidig kvikksølvforurensning bortfaller om både kvikksølvlasten og torpedoer fra vrakdelene fjernes fra forurensete sedimentene og sjøbunn, og håndteres. Når vrakdelene heves og torpedoer fjernes må alle risikoreducerende tiltak benyttes og eventuelt forbedres.

Alternativ 3 baseres på anerkjente militære EOD-prosedyrer (Explosive Ordnance Disposal) hvor den overordnede tilnærmingen innebærer å stabilisere vrakdelene mest mulig i deres nåværende posisjon på havbunnen, før de heves langsomt og kontrollert. Hvert enkelt steg i prosessen skal risikovurderes og godkjennes før det utføres, særlig når det gjelder operasjoner som kan innebære mekanisk belastning og økt eksplosjonsfare. Beskyttelse mot eksterne risikofaktorer, som lekkasje av kvikksølv, må integreres i EOD-prosedyrer. På denne måten sikres det at den samlede risikoen for involvert personell til enhver tid holdes innenfor akseptable rammer.

Erfaring fra Forsvaret viser at moderne EOD-metoder er trygge, og at kvalifisert personell gjennomfører desarmering av tilsvarende våpen på jevnlig basis i Norge. Arbeidet utføres på grunnlag av gjennomprøvde og solide prosedyrer, utarbeidet av eksperter innen fagområdet.

Operatøren som tildeles hevingoppdraget må, i nært samarbeid med EOD-avdeling og fagmiljø for rensing og oppsamling av kvikksølv, velge metode for stabilisering og heving. Det er viktig først å stabilisere vrakdelene med samme slagside og posisjon som vrakdelene har mot sjøbunnen og sedimentene, gjerne med en form for krybbe, for å unngå detonasjoner påført ved ytre påvirkning. Deretter, når stabilitet er oppnådd, kan det bores hull høyt i trykkskroget for å klargjøre fester for heving. Neste steg vil være å lage et vern mot lekkasje av kvikksølv. Ved heving må rykk og napp unngås for å unngå mekaniske støt eller friksjon som kan påvirke de ladede torpedoene i torpedorørene. Heving må forgå varsomt. Operatøren har også ansvar for å gjennomføre egne risikovurderinger, tilpasset alle involverte aktørers roller i operasjonen. Torpedoene må håndteres og uskadeliggjøres på et egnet sted etter heving, basert på EOD-operatørens egne risikovurderinger. Deretter kan eventuell forurenset sjøbunn tildekkes.

Etter Forsvarsmateriells vurdering representerer alternativ 3 den eneste bærekraftige løsning, også i et evighetsperspektiv. Tilrådingen er basert på ammunisjonsfaglig og skrogteknisk grunnlag. Forsvarsmateriell anbefaler derfor at alternativ 3, heving av vrak med last og deretter tildekking av sjøbunn, iverksettes.

5.4.4 Øvrige kommentarer

Det vil være mest hensiktsmessig å starte heving av akterskipet før forskipet, fordi det er vesentlig mindre NEI i akterskipet. I akterskipet er det dessuten kun to torpedoer ladet i torpedorørene, og reserve tennapparater i torpedorømmet. Totalt er det ca. 815 kg NEI i akterskipet.

I forskipet er det fire torpedoer ladet i torpedorørene, to torpedoer lagret på dørken i torpedorommet, samt at det også er lagret tennapparater i torpedorommet. Det er i tillegg forventet at ammunisjonsmagasin # 2 er intakt. I forskipet er det ca. 4400 kg NEI igjen etter at ammunisjonsmagasin # 1 ble «blåst ut» ifm. torpederingen.

Det kan ikke utelukkes at det blant de 8 torpedoene i vrakdelene var et lite antall torpedoer av modellen G7es(TXI). G7es(TXI) torpedoene var en forbedret versjon av torpedo G7es(TV). G7es(TXI) har Pi 4c mekanisk tennapparat toppmontert, samme tennapparat som i torpedo G7es(TV). Dette innebærer at om det skulle være torpedoer av modellen G7es(XI) i vrakdelene, vil risiko ved håndtering av vrakdeler og torpedoer være den samme som for torpedomodellen G7es(TV).

Selv om vrakdelene så å si blir tømt for kvikksølv, befinner det seg mer enn 100 tonn bly og annet giftig mikset avfall i vrakdelene som kan bli spredd ut i vannsøylen ved torpedodetonasjoner.

FMA har ikke vurdert økonomiske og administrative konsekvenser av alternativene for håndtering av U-864, da dette er utenfor vårt mandat.

6 Konklusjon og anbefaling

Forsvarsmateriell har etter oppdrag fra Forsvarsdepartementet, og med spesifisering av oppdrag fra Kystverket, gjennomført analyser av hvordan ammunisjon og ammunisjonssikkerhet påvirker ulike løsningsalternativer for håndtering av U-864.

Kilder og forkortelser

Kilder

- Aven, Røed og Wiencke, Risikoanalyse – prinsipper og metoder, med anvendelse, 2017.
- Det Norske Veritas, Salvage of U864 – Technical Report – Supplementary Studies, Report 23916 No 1-12, 2008-07-04.
- DNV GL AS, Vedlegg Vo.02, Miljøtiltak ved vraket av U-864, Design av tildekking og kontroll av utlegging, 12. mai 2014.
- Dr. Axel Niestlé, UR-Report No 002/2024: Ammunition carried aboard U 864 during its final patrol in February 1945.
- Ekspertutvalgets rapport, Løsninger for U-864, ubåtvraket utenfor Fedje i Vestland, 2022.
- Geir P. Novik, Eirik B. Abrahamsen og Morten Sommer, ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106065>.
- Geir Petter Novik, Complex risk management in explosive-contaminated areas: Explosive remnants of war, University of Stavanger, 2023.
- Norges Miljøvernforbund, hørings svar til ekspertutvalgets rapport, 27. januar 2023.
- Rambøll Norge, U864 Ny informasjon om kvikksølv og ny teknologi for heving av last, 27. mars 2019.
- Regjeringen.no, U-864 skal heves, pressemelding regjeringen Stoltenberg II, 29. januar 2009.
- Reglement for ammunisjonstjenesten – Fellesregler, Forsvarsmateriell 2017.
- Rune Birger Nilsen, Høringsuttalelse U-864, 18. januar 2023.
- Studies of underwater explosions in the Dead Sea, Gitterman and Shapira, 2001.
- UNITECH subsea, kommentarer til Ekspertutvalgets rapport, 16. januar 2023.
- Vedlegg B, Risikovurdering av ammunisjon og ammunisjonssikkerhet, alternativ 1-3, med risikomatrise.
- Vedlegg C, Ammunisjonsbeholdning i Kriegsmarine Type IX D2 ubåt, U-864, Håvard Hovdet og Rune Birger Nilsen, 2025.

Forkortelser

BGS	The British Geological Survey
DNV	Det Norske Veritas
DNV GL	Det Norske Veritas Germanischer Lloyd
dr.	doctor, f.eks. i titler: dr.med., dr.philos
EOD	Explosive Ordnance Disposal, eksplosivrydding
et.al.	«et alii», fra latin, betyr «og andre»
FD	Forsvarsdepartementet
FFI	Forsvarets forskningsinstitutt
FMA	Forsvarsmateriell
FMA MARKAP	Forsvarsmateriell Maritime kapasiteter
FST	Forsvarsstaben
IEDD	Improvised Explosive Device Disposal
MDK	Minedykkerkommandoen
NFD	Nærings- og fiskeridepartementet
NEI	Netto eksplosivinnhold
ph.d.	philosophiae doctor (doktorgrad)