



Adresseinformasjon fylles inn ved ekspedering. Se mottakerliste nedenfor.

Dato:
30.06.2025

Vår referanse:
24/01826-6

Saksbehandler:
Arnt Magne Johnsen

Deres referanse:
2025/526-7

Bistand fra FFI i forbindelse med kartlegging av U-864

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) viser til henvendelse fra Kystverket, der det er listet opp en rekke spørsmål som ønskes vurdert og om mulig besvart knyttet til ammunisjon ombord i vraket av U-864. FFI har gått gjennom spørsmålene og så godt som mulig forsøkt å gi svar. Det er fortsatt en rekke ukjente forhold ved vraket og ammunisjonen som kan befinne seg om bord i U-864. Det vil derfor være en del usikkerhet knyttet til de svar som FFI har avgitt. Svar på spørsmålene er gitt i vedlagt dokument.

Med hilsen

Arnt Magne Johnsen
Sjefsforsker

Dette dokumentet er elektronisk godkjent og har derfor ikke håndskreven signatur.

Mottakere:
Kystverket
Kystverket, Lill Veronika Benjaminsen

Svar på spørsmål knyttet til ammunisjon i vraket av U-864

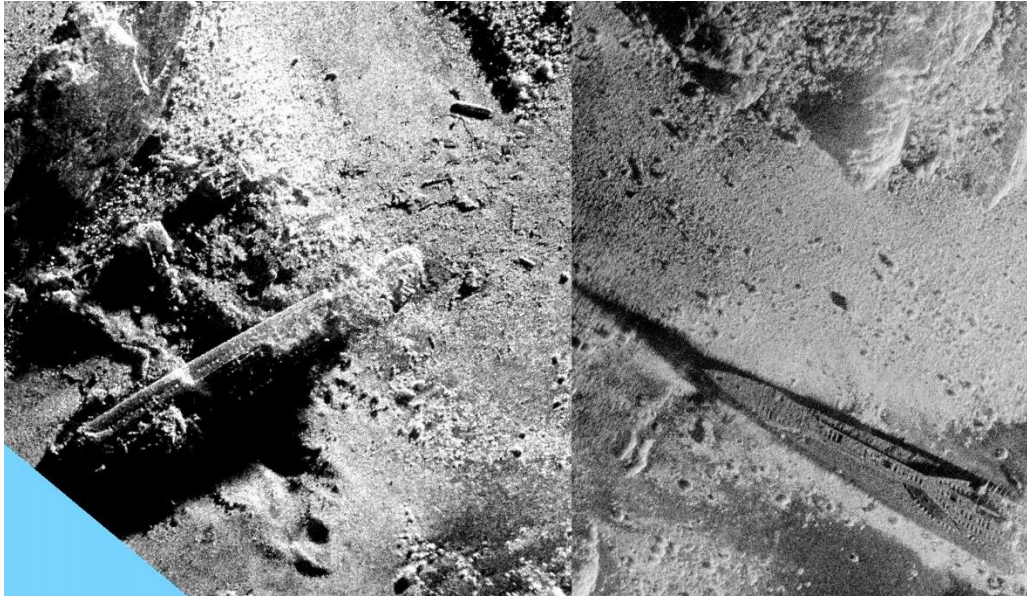
1 Innledning

I forbindelse med gjennomføring av miljøtiltaket ved vraket av ubåten U-864 har forsvarssektoren fått en rekke spørsmål knyttet til ammunisjon som kan være i vraket. Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) har gått gjennom spørsmålene og så godt som mulig forsøkt å gi svar. Det er fortsatt en rekke ukjente forhold ved vraket og ammunisjonen som kan befinne seg om bord i U-864. Det vil derfor være en del usikkerhet knyttet til de foreløpige svar som FFI har gitt.

Ubåten ble senket av den britiske ubåten HMS Venturer i 1945 med en torpedo og ligger på ca 150 meters dyp vest av Fedje. Store deler av midtseksjonen av ubåten ble sprengt vekk ved torpederingen og forskipet ligger i dag ca 30 meter fra akterskipet (Figur 1). U-864 hadde en last av flytende kvikksølv i kjølkassen. Undersøkelser som Kystverket har gjennomført viser at tilstanden på formskroget nå er redusert, mens tilstanden på trykkskroget er ganske god. Ved bygging av U-864 ble det sannsynligvis benyttet en tysk stållegering No. 52 med en tykkelse på rundt 20 mm i trykkskroget¹, noe som gjorde at den kunne dykke til omkring 230 meter².

¹ <https://uboatarchive.net/Design/DesignStudiesTypeIXC-S11.htm>

² <https://uboat.net/types/ixd.htm>



Figur 1: Sonarbilde (syntetisk apertursonar, HISAS) fra Hugin av vrakområdet til U-864.

2 Svar på spørsmål

Under er spørsmålene med bakgrunn fra Kystverket gjengitt. Svarene på spørsmålene er gitt under hvert spørsmål.

2.1 Avdekke innhold i kjølkassene:

Det er skissert to ulike løsninger for å få tilgang til kjølkasser der en antar at det kan ligge kvikksølv.

- a) Grave/mudre vekk masser slik at kjølkassene gjøres tilgjengelige for en WROV som kan fjerne platene på kjølkassene slik at innholdet i kjølkassen kan inspiseres. Det må trolig graves/mudres store mengder masser (flere hundre m³) for å få tilgang bare til noen av kjølkassene.
- b) Benytte «kikkhulls-verktøy» ved først å bore en «brønn» gjennom sedimentene og deretter et hull i platene på kjølkassen for så å føre inn et videokamera som kan filme innsiden av kjølkassen.

Spørsmål 1 (til kulepunkt a.): Når så store mengder masser fjernes, så det være at vraket gradvis legger seg over mot den siden det graves/mudres i fra. Vil dette medføre noen utfordringer for lasten av eksplosiver? Årsakssammenheng må beskrives, sannsynlighet for detonasjon anslås, samt konsekvens. Hva kan utføres av risikoreduserende tiltak?

Svar på spørsmål 1: Det forutsettes at endring av vrakets posisjon skjer gradvis og i et begrenset omfang. Vraket kan ha torpedoer i torpedorør og torpedorum innenfor trykktett del av ubåten. Det kan også være torpedoer i trykktette transportbeholdere utenfor trykktett del av ubåten. Torpedoer som ligger i torpedorørene og i transportbeholdere, vil mest sannsynlig ligge stabilt inne i disse beholderne. De var designet slik at bevegelser i ubåten som følge av bølger i overflaten eller ved dykking og oppstigning ikke skulle påføre skade eller belastninger på torpedoen som igjen kunne føre til uønskede hendelser. Det er liten avstand mellom torpedo og veggen i torpedorør og transportbeholder. Det kan derfor være at torpedoen delvis har rustet fast inne i disse beholderne om sjøvann har kommet inn i beholderne.

Torpedoer i torpedorør og transportbeholder vil være beskyttet av beholderen som tåler en høy belastning i og med at de var vanntette til dykkedybde på over 200 meter. Det skal derfor mye til for at torpedoer i disse beholderne blir utsatt for slag, støt eller andre belastninger som følge av en gradvis bevegelse av vrakdelene. Torpedoer i torpedorør vil ha montert tennapparat, men torpedoen vil ikke være armert. Torpedoer i transportbeholder vil ikke ha montert tennapparat. Det vil derfor være slik at en torpedo i torpedorør vil være noe mer følsom enn en torpedo i transportbeholder, men ikke mer følsom for detonasjon av stridshodet, hvis barrierene er intakte.

Lagrede torpedoer i torpedorum var festet i torpedorum, slik at bevegelser i ubåten som følge av bølger i overflaten eller ved dykking og oppstigning ikke skulle påføre skade eller belastninger på torpedoen som kunne føre til uønskede hendelser. Korrosjon kan ha ført til en svekkelse av festeanordningen, slik at torpedoene ikke er like godt festet som opprinnelig. Det er likevel trolig at mindre bevegelser av vraket i liten grad kan føre til en vesentlig bevegelse av de lagrede torpedoene. Om det skulle bli bevegelse av torpedoene som følge av gradvis endring av vrakets posisjon, vil det være lav sannsynlighet for at de skal utsettes for en belastning som vil medføre detonasjon. Det antas at torpedorum er fylt med vann. Dette vil redusere hastighet på bevegelse om objekter skulle løsne i torpedorum som følge av korrosjon og bevegelse av vraket.

Sprengladningen i torpedoen bestod mest sannsynlig av såkalt Schiesswolle som bestod av TNT (størst andel) heksanitrodifenylamin og aluminium. Dette er et eksplosiv som har lav følsomhet, sannsynligvis mindre enn TNT. Kilder sier at følsomheten for Schiesswolle er påfallende lav, og at sprengstoffet også «overlever» beskytningstest og regnes som en forløper til moderne IM³-sprengstoff⁴. Det skal derfor en

³ Insensitive Munition

⁴ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/prep.201680373>

kraftig ytre påvirkning til for at denne ladningen skal detonere. Tennapparatet hadde sannsynligvis en boosterladning av PETN på omkring 300 gram.

Det var sannsynligvis lagret løse tennapparat i torpedorum. Selve boosterladningen i tennapparatet var beskyttet av metalliske deler. I tillegg var tennapparatet sannsynligvis lagret i en ytre beholder. Selv om tennapparat skulle falle fra oppbevaringsplassering ved endring av posisjon til vraket, er det lav sannsynlighet for at boosterladningen vil detonere. Undersøkelser som er gjort viser at PETN som har ligget ute i miljøet over lengre tid ikke har en vesentlig endret slagfølsomhet i forhold til nyprodusert PETN⁵. Slagfølsomheten for PETN er i samme undersøkelse beregnet til 5,6 Joule. I luft vil dette tilsvare at en vekt på 2 kg faller fra ca 30 cm. Fallfølsomhet for eksplosiver refererer til hvor lett et eksplosiv kan antennes eller detonere ved støt, friksjon eller slag. En kan ikke direkte sammenligne slagfølsomhet for et eksplosiv og støtfølsomhet (drop-test) for et stridshode eller tennapparat. Det er likevel relevant at et legeme vil falle mye raskere i luft enn det vil gjøre i vann. Bare som følge av tetthetsforskjell mellom luft og vann vil frifallhastigheten i vann være omkring 30 ganger lavere enn i luft⁶. Fallhastigheter i vann vil bare sjelden overstige 5 m/s for de objektene det her er snakk om, noe som er sammenliknbart med kritisk fallhammerhastighet for TNT, og betydelig lavere enn drop-test for moderne IM-ammunisjon. Det vurderes derfor å være lav sannsynlighet for at eksplosivene i tennapparatet skal bli utsatt for tilstrekkelig høy energi ved fall i vann til at boosterladningen detonerer.

Eksplosivmengden er som nevnt liten i tennapparatet. Det er derfor lav sannsynlighet for at en detonasjon av en boosterladningen fra et tennapparat på utsiden av torpedoen, vil gi en detonasjon av sprengladningen i de lagrede torpedoene i torpedorum.

Torpedoene vil inneholde flasker med trykkluft. En har sett at tilstanden til torpedoer som er blitt liggende i sjøvann er blitt redusert, slik at trykkluftflasker har løsnet fra torpedoen og kommet til overflaten. Det er registrert at slike flasker kan være skjøre og det har skjedd at trykkluftflasken har bristet som følge av ytre påvirkning⁷. Det er lite sannsynlig, men noe usikkert om en brist i trykktanken bak stridshodet i torpedoen vil frigjøre nok energi til at luftventilen i flasken kan treffe stridshodet med høy nok hastighet til at en detonasjon kan oppstå. Andre fragmenter vil i hovedsak rikosjettere før eventuelt treff mot stridshodet. For flasker som ikke er i torpedoen, vil avstand og vann bidra til å senke hastigheten av fragmenter som måtte dannes når flasken brister. Det vurderes å være lav sannsynlighet for at en brist i en trykkluftflaske skal oppstå, og også lav sannsynlighet for at en slik hendelse skal føre til detonasjon av sprengladningen i torpedoen. For å kunne fastslå dette nærmere må en foreta beregninger og modelleringer.

⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722039614?via%3Dihub>

⁶ Terminal fallhastighet er gitt ved $\sqrt{2mg/\rho CdA}$, der m er massen av objektet, g er gravitasjonskraften, ρ er tettheten til mediet, Cd er dragkoeffisienten og A er tverrsnittarealet. Cd er tilnærmet identisk i luft og vann for de Reynoldstall det her er snakk om.

⁷ <https://www.nrk.no/buskerud/eksplosjon-i-sandebukta-1.706028>

Drivstoffet i T1 torpedoer var Decalin, som bestod av dekahydronaftalen⁸. Det er usikkert om U-864 hadde T1 torpedoer. I datablad for dekahydronaftalen er det angitt at stoffet kan danne eksplosive peroksider⁹. Dannelse av peroksider fremmes av varme og lys¹⁰. Det vil derfor være lav sannsynlighet for at det skal ha blitt dannet eksplosive peroksider fra drivstoffet i torpedoen, ettersom dette er oppbevart i en tank inne i torpedoen og vært utsatt for en konstant lav temperatur tilsvarende sjøvannet. Avhengig av type organisk peroksid, kan disse være følsomme for detonasjon¹¹.

Basert på de nevnte vurderingene anslås det samlet å være lav sannsynlighet for at en gradvis og begrenset endring i posisjon til vrakdelene vil ha utfordringer for lasten av eksplosiver. Skulle detonasjon likevel oppstå, vil dette medføre store strukturelle skader og en vil oppleve spredning av forurenset masse fra havbunnen. Om torpedoer detonerer i den ene vrakdelen, vil avstanden være for stor til at torpedoer i den andre vrakdelen vil detonere. En detonasjon vil ikke være en katastrofal hendelse og en vil kun oppleve skade på utstyr i nærheten og mindre skader på fartøy på overflaten.

Tiltak: Innfylling av stabiliserende masse i torpedorum vil redusere sannsynlighet for at torpedoer lagret i torpedorum vil bevege seg som følge av endring i posisjon til vraket. Det vil også hindre at gjenstander i torpedorum vil treffe torpedoene eller at tennapparat i torpedorummet kan falle ut av lagrinsposisjon. Innfylling av stabiliserende masse vil også utgjøre en fordemning ved en detonasjon, slik at effekten av detonasjonen blir lavere.

Selv om innfylling av stabiliserende masse til en viss grad vil redusere sannsynlighet for detonasjon, vil sannsynlighet for detonasjon allerede være lav. Tatt i betraktning at det vil være betydelige kostnader for innfylling av stabiliserende masse, er ikke innfylling av stabiliserende masse noe som FFI vil anbefale gjennomført.

Spørsmål 2 (til kulepunkt b.): Er det noen forhold ved bruk av kikkhullsteknikk for inspeksjon av kjølkasser som kan påvirke eksplosiver om bord? Årsakssammenheng må beskrives, sannsynlighet for detonasjon må anslås, samt konsekvens. Hva kan utføres av risikoreduserende tiltak?

Svar på spørsmål 2: Ved bruk av kikkhullsteknikk for inspeksjon av kjølkasser vil en ikke komme i berøring med torpedoer og det vil heller ikke føre til bevegelser av vraket. Det vil derfor ikke være mulig at en slik operasjon vil føre til detonasjon av torpedoer. U-864 hadde både en 105 mm kanon på fordekket og

⁸ Løsninger for U-864 – Ubåtvraket utenfor Fedje i Vestland, 2022

⁹ <https://incem.org/documents/icsc/icsc/eics1548.htm>

¹⁰ https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB6333241.htm

¹¹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389485800248>

antiluftskyts på 20 mm og 37 mm. Det er derfor sannsynlig at det også var lagret slik ammunisjon om bord i U-864. Denne ammunisjonen kan ha blitt spredd i området rundt vraket som følge av torpedotreffet, da slik ammunisjon kan ha vært lagret i deler av ubåter som ble skadd. Ved kikkhullsteknikk kan en derfor påtreffe slik ammunisjon. Det er i henhold til Kystverket kun observert en 20 mm patron i sedimentene ved vraket i forbindelse med mudring. Det vil kun være 105 mm ammunisjon som vil ha et skadepotensial av betydning. FFI er ikke kjent med hvilke metoder en vil benytte ved kikkhullsteknikk, men det antas at det vil være lav sannsynlighet for å borre gjennom brannrør til denne ammunisjonen eller sprengladningen. Selv om dette skulle skje er det usikkert om dette vil føre til en detonasjon.

Det anses som lav sannsynlighet for at bruk av kikkhullsteknikk kan påvirke eksplosiver. Ved detonasjon vil en oppleve ødeleggelse av boreutstyr og det vil bli en begrenset spredning av forurenset masse.

Spørsmål 3 (til kulepunkt a og b.): For de operasjonene som er skissert over (pkt. a. og b.), vil det ha noen praktisk betydning for risikovurderingen om Kystverket på tokt 1 får avdekket type og antall torpedoer som er i vraket (torpedorum og torpedorør), eller om det ikke blir avdekket ifm. tokt 1?

Svar på spørsmål 3: Det er sannsynlig torpedoer om bord i vraket og det vil sannsynligvis være torpedoer både i fremre og aktre torpedorum. De ulike torpedoene som var om bord vil ha tilsvarende følsomhet for ytre påkjenninger og inneholde omtrent samme mengde sprengladning.

Det er derfor i utgangspunktet ikke hvor mange torpedoer det er om bord, men at det er torpedoer om bord som har betydning for risikovurderingen. Det vil derfor ha liten praktisk betydning for risikovurderingen om det blir avklart antall og typen torpedoer i vraket. Dette gjelder også for tokt 2.

2.2 Endelig miljøtiltak på U864

I forbindelse med gjennomføringen av forprosjektet for U864 i 2014, ble tre prinsipielle løsninger for å sikre tilgang til kjølkassene utarbeidet i samarbeid med offshoreindustrien.

Spørsmål 4: For å sikre tilgang til kjølkasser på begge sider av senterlinjeskott kan det være behov for større endringer av vrakenes vinkel i sedimentene, og/eller å løfte vrakdelen opp av sedimentene, dersom dette er mulig. Dette for å få god nok tilgang til kjølkassene slik at kvikksølvflasker kan hentes ut. Vrakdelene sitter svært godt i sedimentene, så svært store krefter må til for å utført en slik rulle/løfteoperasjon. Det er ikke gitt at en slik operasjon ikke medfører brå bevegelser og/eller skader på formskrog og/eller trykkskrog.

Vil en slik operasjon medføre for høy risiko for større detonasjoner til at en slik operasjon skal kunne gjennomføres? Årsakssammenheng må beskrives, sannsynlighet for detonasjon anslås, samt konsekvens. Hva kan utføres av risikoreduserende tiltak?

Svar på spørsmål 4: I forhold til en gradvis endring av vrakdelenes posisjon som nevnt i spørsmål 1, ser en for seg en noe mer brå bevegelse eller deformasjon av formskrog eller trykkskrog ved gjennomføring av tiltak for tilgang til kjølkasser. Som følge av vekten til de to vrakdelene, ser vi ikke for oss at en veldig brå bevegelse skal kunne oppstå ved løfting/rulling ut av sedimentene. Ved løfting, vil den største bevegelsen kunne skje ved at løftet slites og at vraket faller til bunns.

Torpedoer er konstruert for å tåle brå bevegelser som følge av høy sjø i overflatestilling eller rask dykking og oppstigning. Når U-864 ble truffet av en torpedo som detonerte og ubåten sank til bunns, var den utsatt for brå bevegelser og deformasjon av både formskrog og trykkskrog. Dette førte ikke til at torpedoene detonerte. HMS Thistle ble torpedert av den tyske ubåten U-4 utenfor Karmøy mens den var i overflaten¹². På samme måte som for U-864 ligger dette vraket i to deler et stykke fra hverandre på 160 meters dyp. Torpedoene i denne ubåten detonerte heller ikke her som følge av torpedotreffet. Den tyske ubåten U-534 ble truffet av en dypvannsbombe i 1945 og sank uten at torpedoene detonerte. Denne ubåten ble hevet i 1993 og ingen av torpedoene detonerte som følge av hevingsoperasjonen¹³. Forsvaret har også foretatt EOD operasjoner på flere torpedoer der stridshodet er blitt skilt fra resten av torpedoen med rettet ladning uten at sprengladning i torpedoen har detonert.

Som nevnt under spørsmål 1 har en sett at tilstanden på torpedoer som er blitt liggende i sjøvann reduseres over tid. En har observert at en rekke trykkluftflasker har løsnet fra torpedoen og kommet til overflaten. Det er registrert at slike flasker kan være skjøre, og det har skjedd at trykkluftflasken har bristet som følge av ytre påvirkning. Det er tvilsomt, men noe usikkert om en brist i en slik trykkluftflaske kan frigi nok energi til å få stridshodet i en torpedo til å detonere. Flaskene bak stridshodet ligger tett på, se argumentasjon ovenfor. For øvrige flasker vil det være avstand fra trykkluftflasken til sprengladningen og eventuelt vann vil bidra til å senke hastigheten av fragmenter som måtte dannes når flasken brister. Det vurderes samlet sett til å være lav sannsynlighet for at en brist i en trykkluftflaske skal føre til detonasjon av sprengladningen i torpedoen. For å kunne fastslå dette nærmere må en foreta beregninger og modelleringer.

Basert på beskrivelser ovenfor vurderes det til å være lav sannsynlighet for detonasjon av torpedoer ved brå bevegelser og/eller skader på formskrog og/eller trykkskrog. Om det skulle oppstå en uønsket hendelse under heving av vraket, der vraket løsner og treffer fjellgrunn direkte på torpedorørene, vil det være større sannsynlighet for at torpedoer skal detonere. Skulle detonasjon oppstå, vil dette medføre store strukturelle skader og en vil oppleve spredning av forurenset masse fra havbunnen. Om torpedoer detonerer i den ene vrakdelen, vil avstanden være for stor til at torpedoer i den andre vrakdelen vil detonere. En detonasjon vil ikke være en katastrofal hendelse og en vil kun oppleve skade på utstyr i nærheten og mindre skader på fartøy på overflaten.

¹² <https://historienet.no/teknikk/vapen/vapen-under-andre-verdenskrig/forskere-finner-ubat-utenfor-kysten-av-norge-83-ar-etter-torpedering>

¹³ <https://bitaboutbritain.com/the-mystery-of-u-534/>

Tiltak: Innfylling av stabiliserende masse i torpedorum vil redusere sannsynlighet for at torpedoer lagret i torpedorum vil bevege seg som følge av endring av posisjon til vraket. Det vil også hindre at gjenstander i torpedorum vil treffe torpedoene eller at tennapparat i torpedorommet kan falle ut av lagrinsposisjon. Innfylling av stabiliserende masse vil også utgjøre en fordemning ved en detonasjon, slik at effekten av detonasjonen blir lavere.

Selv om innfylling av stabiliserende masse til en viss grad vil redusere sannsynlighet for detonasjon, vil sannsynlighet for detonasjon allerede være lav. Tatt i betraktning at det vil være betydelige kostnader for innfylling av stabiliserende masse, er ikke innfylling av stabiliserende masse noe som FFI ut fra nåværende vurderinger vil anbefale gjennomført.

Spørsmål 5: Detaljprosjektering av en operasjon for å sikre tilgang til kjølkasser kan vise at det er behov for å gjøre ulike tiltak på vraket for kunne rulle og/eller løfte vraket for å gi tilgang til kjølkassene. Dette kan være fjerne deler av profils-krog og/eller trykkskrog, bore inn fester til wire/løftestag i trykkskrog, kutte i kjølkassens bærekonstruksjon eller andre intervensjoner på vraket.

Vil tiltak på vraket (fjerne deler og/eller feste utstyr) medføre for høy risiko for større detonasjoner til at en slik operasjon skal kunne gjennomføres? Årsakssammenheng må beskrives, sannsynlighet for detonasjon anslås, samt konsekvens. Hva kan utføres av risikoreduserende tiltak?

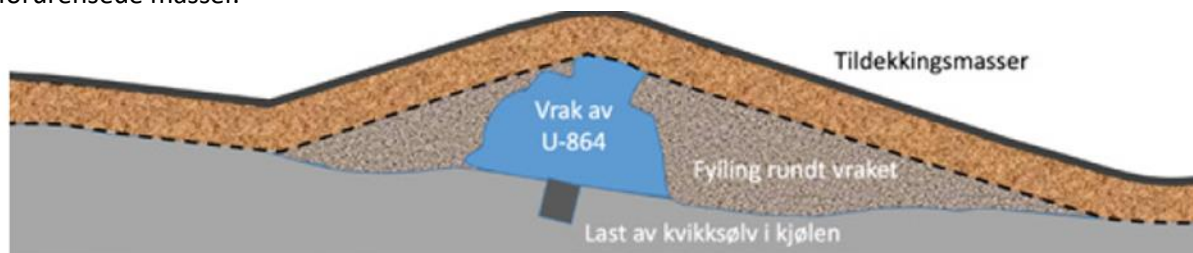
Svar på spørsmål 5: En har ganske god oversikt over hvor torpedoer og annen ammunisjon var lagret i U-864. Torpedoer i torpedorum vil sannsynligvis ikke ligge kloss inntil trykkskroget. Om torpedoer har løsnet i torpedorum, vil disse kunne ha sunket mot bunnen av vraket, da de vil være noe negativ i sjøvann. En har sett at tilstanden til torpedoer som er blitt funnet kan være ganske dårlig og det er observert en rekke tilfeller det trykkluftflasken i torpedoen har drevet på land. Om denne flasken har løsnet fra torpedoer i torpedorum, vil den kunne flyte opp og hvile mot taket av vraket.

Det vurderes som lav sannsynlighet for detonasjon av torpedoer som følge av at det fjernes deler og/eller festes utstyr om en tar hensyn til plassering av ammunisjon ved hulltaking i trykkskrog. Skulle detonasjon oppstå, vil dette medføre store strukturelle skader og en vil oppleve spredning av forurenset masse fra havbunnen. Om torpedoer detonerer i den ene vrakdelen, vil avstanden være for stor til at torpedoer i den andre vrakdelen vil detonere. En detonasjon vil ikke være en katastrofal hendelse og en vil kun oppleve skade på utstyr i nærheten og mindre skader på fartøy på overflaten.

Tiltak: Ved hulltaking i trykkskrog bør en passe på å ikke gjøre dette der torpedorørene er lokalisert eller der torpedoer er lagret i torpedorum. En bør også være oppmerksom på at en kan påtreffe trykkluftflasker fra torpedoen mot toppen av trykkskroget i vraket.

Spørsmål 6: Vrak og forurensede sedimentene skal dekkes til med egnede masser for å forhindre spredning og transport av miljøgifter fra sedimentene til omgivelsene, samt at levende organismer ikke kommer i kontakt med de forurensede sedimentene. Tildekkingslaget er estimert å nå en metning av kvikksølv etter ca. 3 400 år, og da er lekkasjen beregnet til å være 0,3 g/år fra hele det forurensede arealet på 30 000 m² (Forprosjekt U864, Kystverket). Tildekkingslagets tykkelse vil variere med lokasjon, rundt 3 meter tykkelse rundt vraket og i overkant av 1 meter tykkelse for resten av tiltaksområdet, men dette kan også endres noe etter at detaljprosjektering er utført (Figur 2). Tildekkingsmassene vil bli lagt ut ved bruk av en «Rock dumper» - et fartøy som fører massene ned gjennom en trakt og kan slik spre

massene skånsomt og med god presisjon like over havbunn og vrak. En diffusor på enden av trakten vil redusere hastigheten på massene før disse treffer havbunn og vrak for å redusere oppvirvling av forurensede masser.



Figur 6.4 Illustrasjon som viser et tverrsnitt av oppbyggingen av tildekkingen rundt vrakseksjonen
Kilde: (Kystverket 2014, 21)

Figur 2: Tenkt tildekking av forurensset sjøbunn og vrak.

Vil utlegging av tildekkingsmassene (som beskrevet ovenfor) medføre fare for detonasjon av eksplosiver? Årsakssammenheng må beskrives, sannsynlighet for detonasjon må anslås, samt konsekvens. Hva kan utføres av risikoreduserende tiltak?

Svar på spørsmål 6: U-864 var som tidligere nevnt konstruert for å dykke ned til over 200 meters dyp. Trykkskroget i U-864 vil derfor ha en betydelig styrke. Det er angitt at trykkskroget ved konstruksjon av ubåttypen IX C-40 hadde en tykkelse på 16-18 mm, der minste tykkelse er i endene av trykkskroget¹⁴. Det er tenkt at tildekningsmassen vil være sand og grus med et erosjonslag av stein på toppen. Tettheten på sand og grus er omkring 2 kg/dm³ i luft. I sjøvann vil det være noe mindre tetthet som følge av oppdrift. Om en forutsetter at trykkskroget er vannfylt og har samme styrke som når det var nytt, vil trykkskroget kunne motstå en belastning tilsvarende med at det fylles opp til overflaten med sand og grus (tetthet grus/sand i sjøvann minus tetthet sjøvann multiplisert med maksimal dybde), altså mer enn 160 m overdekning.

Det er sannsynlig at trykkskroget har mistet styrke som følge av korrosjon i løpet av alle de årene som vraket har ligget i havet. Det har også mistet styrke som følge av skader etter torpederingen. Kystverket har i 2025 målt en gjennomsnittlig tykkelse av trykkskroget til 14,8 mm. Det ser derfor ut til at tykkelsen av trykkskroget er redusert med ca 18 % som følge av korrosjon. Dette betyr at trykkskroget fortsatt har en betydelig styrke. Det må gjennomføres beregninger og modelleringer for å kunne si noe mer eksakt om hva trykkskroget vil tåle av belastning før det begynner å deformeres.

¹⁴ <https://uboatarchive.net/Design/DesignStudiesTypeIXC-S11.htm>

Det vurderes å være en lav sannsynlighet for detonasjon ved utlegging av tildekningsmasser. Trykkskroget vil mest sannsynlig fortsatt ha en betydelig styrke som vil kunne tåle en overdekning med mange meter grus og sand før det begynner å deformeres. En forsiktig utlegging av tildekningsmasser over vraket, vil medvirke til at det ikke blir kraftig ytre påvirkning og at posisjonen til vraket opprettholdes. Skulle detonasjon oppstå, vil dette medføre store strukturelle skader og en vil oppleve spredning av forurenset masse fra havbunnen. Om torpedoer detonerer i den ene vrakdelen, vil avstanden være for stor til at torpedoer i den andre vrakdelen vil detonere. En detonasjon vil ikke være en katastrofal hendelse og en vil kun oppleve skade på utstyr i nærheten og mindre skader på fartøy på overflaten.

Tiltak: Forsiktig utlegging av tildekningsmasser, og på en måte som gjør at tildekningsmasser vil støtte opp vraket fra bunnen og opp mot toppen av vraket. Innfylling av stabiliserende masse i torpedorum vil redusere sannsynlighet for at torpedoer lagret i torpedorum vil bevege seg som følge av endring i posisjon til vraket. Det vil også hindre at gjenstander i torpedorum vil treffe torpedoene eller at tennapparat i torpedorommet kan falle ut av lagringsposisjon. Innfylling av stabiliserende masse vil også utgjøre en fordemning ved en detonasjon, slik at effekten av detonasjonen blir lavere.

Selv om innfylling av stabiliserende masse til en viss grad vil redusere sannsynlighet for detonasjon, vil sannsynlighet for detonasjon allerede være lav. Tatt i betraktning at det vil være betydelige kostnader for innfylling av stabiliserende masse, er ikke innfylling av stabiliserende masse noe som FFI vil anbefale gjennomført.

Spørsmål 7: Vrakets profil- og trykkskrog vil fortsette å korrodere etter tildekking, men med lavere hastighet grunnet lavere tilgang på oksygen enn i dagens situasjon. Til slutt vil deler av vraket sammentrykkes, men dette er forventet å skje gradvis del for del og ikke som en plutselig større sammentrykking.

Vil gradvis sammentrykking medføre fare for detonasjon av eksplosiver? Årsakssammenheng skal beskrives, sannsynlighet for detonasjon må anslås, samt konsekvens. Hva kan utføres av risikoreducerende tiltak?

Svar på spørsmål 7: En rask sammentrykking av eksplosiver vil kunne føre til detonasjon om det oppstår en stor trykkoppbygging ($> 2,8$ GPa) i en innesluttet eksplosivladning¹⁵. En langsom kompresjon som følge av en gradvis sammentrykking av en eksplosivladning vil ikke medføre en detonasjon. Ved en gradvis sammentrykking av en eksplosivladning, vil varmen fra en eventuell trykkoppbygging reduseres av omkringliggende masser. Det vil også være sannsynlig at eksplosivladningen ikke lenger vil være i en innesluttet beholder eller at denne har svak styrke etter mange år. Det er derfor lite sannsynlig at det dannes «hot-spots» som følge av høyt trykk og temperatur som kan initiere kjemiske reaksjoner som kan medføre detonasjon.

Ut fra det som er nevnt over vurderes det til å være lav sannsynlighet for at det skal oppstå en detonasjon som følge av en gradvis sammentrykking av vraket. Ved en eventuell detonasjon vil det

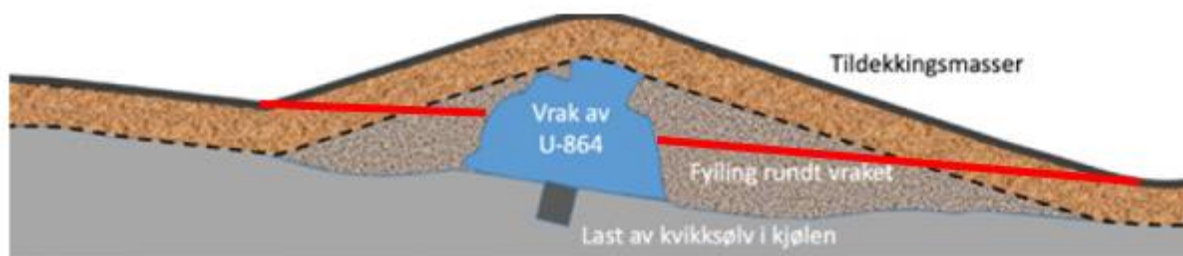
¹⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0082078463800612>

oppstå store strukturelle skader på vraket og en vil kunne oppleve noe spredning av forurenset masse. Overdekning av vraket med tildekningsmasse vil fungere som en fordemning og redusere sjokkbølgen ved detonasjon og dermed også skader og spredning av forurensning. Om torpedoer detonerer i den ene vrakdelen, vil avstanden være for stor til at torpedoer i den andre vrakdelen vil detonere. Det vil ikke være en katastrofal hendelse om detonasjon oppstår for fartøyer som befinner seg på overflaten rett over vraket. En detonasjon vil observeres av NORSAR, og risikoreduserende tiltak kan iverksettes for å redusere tilgjengelighet av forurensning.

Tiltak: Innfylling av stabiliserende masse kan være aktuelt, men slik masse vil sannsynligvis ha en viss levetid med hensyn til styrke og en vil sannsynligvis ikke få fylt slik masse inn i torpedorør. Innfylling av stabiliserende masse vil også medvirke til en fordemning av sjokkbølgen ved en eventuell detonasjon av torpedoer. Det vurderes at avbøtende tiltak i liten grad vil ha noen betydning for spredning av forurensning.

Selv om innfylling av stabiliserende masse til en viss grad vil redusere sannsynlighet for detonasjon, vil sannsynlighet for detonasjon allerede være lav. Tatt i betraktning at det vil være betydelige kostnader for innfylling av stabiliserende masse, er ikke innfylling av stabiliserende masse noe som FFI vil anbefale gjennomført.

Spørsmål 8: Tildekningsmassene har i tidligere utredninger vært foreslått lagt over hele vraket. Et alternativ til en slik tildekking er å bare delvis legge tildekningsmasser over vraket (Figur 3). En slik løsning har foreløpig ikke vært vurdert teknisk, så det må gjennomføres beregninger for å sikre at hensikten med tildekkingen ivaretas med en slik løsning.



Figur 6.4 Illustrasjon som viser et tverrsnitt av oppbyggingen av tildekkingen rundt vrakseksjonen
Kilde: (Kystverket 2014, 21)

Figur 3: Tildekking av sjøbunn, men uten tildekking over vrak.

Vil utlegging av tildekningsmassene (som beskrevet) medføre fare for detonasjon av eksplosiver? Årsakssammenheng må beskrives, sannsynlighet for detonasjon anslås, samt konsekvens. Hva kan utføres av risikoreduserende tiltak?

Svar på spørsmål 8: Det vises til svar på spørsmål 6. Om en ikke dekker til hele vraket, vil fordempningen ved en detonasjon være mindre enn om en dekker til hele vraket. Det vil også være en fare for at fiskerivirksomhet eller oppankring skal sette seg fast i vraket og føre til skader på utstyr eller at en avrivning av skrogdeler kan føre til noe spredning av forurensset sediment.

Tiltak: Se svar på spørsmål 6.

Spørsmål 9: Vrakets profil- og trykkskrog vil fortsette å korrodere. Til slutt vil deler av vraket sammentrykkes, men dette er forventet å skje gradvis del for del og ikke som en plutselig større sammentrykking.

Vil reduksjonen av vekt over vraket (løsning vist i figur 2 vs. løsning i figur 3) utgjøre noen signifikant forskjell mht. faren for detonasjon av eksplosiver og konsekvens av evt. detonasjon? Årsakssammenheng skal beskrives, sannsynlighet for detonasjon skal anslås, samt konsekvens. Hva kan utføres av risikoreduserende tiltak?

Svar på spørsmål 9: Det vises til svar på spørsmål 7. Som nevnt der, vil en trykkoppbygging i en eksplosivladning kunne føre til detonasjon. Det er likevel lav sannsynlighet for at en gradvis sammentrykking vil medføre en detonasjon av torpedoer. Hvis det ikke er en overdekning av skroget med tildekningsmasser, vil det sannsynligvis ta lengre tid før en gradvis sammentrykking vil begynne. Selv med en overdekning av hele vraket med tildekningsmasser, antas det at en vil ha en gradvis sammentrykking og ikke en plutselig kraftig sammentrykking av vraket.

Det vurderes å være liten forskjell mellom det å dekke over hele vraket og bare delvis dekke vraket for at en detonasjon skal oppstå. Ved en eventuell detonasjon vil det oppstå store strukturelle skader på vraket og en vil kunne oppleve noe spredning av forurensset masse. Tildekningsmasser rundt vraket vil fungere som en fordempning og redusere sjokkbølgen ved detonasjon og dermed også skader og spredning av forurensning. Ettersom trykkskroget er blitt tilstrekkelig svekket som følge av korrosjon, slik at det blir deformert, vil trykkskroget i mindre grad ha en fordempende effekt ved detonasjon av torpedoer. Om torpedoer detonerer i den ene vrakdelen, vil avstanden være for stor til at torpedoer i den andre vrakdelen vil detonere. Det vil ikke være en katastrofal hendelse om detonasjon oppstår for fartøyer som befinner seg på overflaten rett over vraket. En detonasjon vil observeres av NORSAR, og risikoreduserende tiltak kan iverksettes for å redusere tilgjengelighet av forurensning.

Tiltak: Det vil ikke oppstå trykk nede i sedimentene som kan komprimere eksplosivene tilstrekkelig til at man kan få en detonasjon. Det vil derfor ikke være behov for tiltak.

Spørsmål 10: Et mulig tiltak for å hindre at vraket sammentrykkes etter hvert som det korroderer er å fylle vraket med «grouting». Det er en tynnflytende sementblanding som benyttes i oljeindustrien for å fylle opp hulrom på olje- og gassinstallasjoner på sjøbunnen. Groutingen fortrenger vannet og når denne massen herdes blir det en fast støp. Vrakgods og inventar i vraket av U864 blir støpt inn i den posisjonen de er når groutingen fylles inn i vraket.

Dersom de to vrakdelene fylles med grouting (som beskrevet) vil det under fylling medføre fare for detonasjon av eksplosiver? Årsakssammenheng må beskrives, sannsynlighet for detonasjon anslås, samt konsekvens. Hva kan utføres av risikoreduserende tiltak?

Svar på spørsmål 10: Innfylling av grouting vil kunne gjøres i torpedorum, men sannsynligvis ikke i torpedorør og transportbeholder. Innfyllingen vil gjøres gradvis, slik at det ikke oppstår en plutselig kraftig påvirkning av torpedoer i torpedorum. Temperaturstigning som følge av herding vil bli minimal grunnet kjølede effekt fra sjøvannet rundt. Med utgangspunkt i at grouting er betong som har en egenvekt på 2,4 kg/dm³ i luft, vil betong i vann ha en egenvekt på 1,4 kg/dm³. Vektbelastningen av grouting på torpedoene i torpedorum vil derfor bli begrenset. Det er sannsynlig at trykktanker i torpedoen er blitt mindre stabile som følge av korrosjon. Det er imidlertid lite sannsynlig, men noe usikkert om en brist i trykktanken i torpedoen vil frigjøre nok energi til at en detonasjon kan oppstå.

Det vurderes at det er lav sannsynlighet for detonasjon av torpedoer som følge av innfylling grouting med bakgrunn i det som er nevnt over. Skulle detonasjon oppstå, vil dette medføre store strukturelle skader og en vil oppleve spredning av forurenset masse fra havbunnen. Om torpedoer detonerer i den ene vrakdelen, vil avstanden være for stor til at torpedoer i den andre vrakdelen vil detonere. En detonasjon vil ikke være en katastrofal hendelse og en vil kun oppleve skade på utstyr i nærheten og mindre skader på fartøy på overflaten.

Tiltak: Innfylling av grouting vurderes som unødvendig.

Spørsmål 11: Dersom de to vrakdelene fylles med grouting (som beskrevet) vil det etter at grouting har herdet, og i et evighetsperspektiv medføre fare for detonasjon av eksplosiver? Hvordan vil sannsynligheten for detonasjon endre seg dersom vraket er fylt med grouting sammenlignet med om vraket ikke fylles med grouting? Årsakssammenheng må beskrives, sannsynlighet for detonasjon anslås, samt konsekvens. Hva kan utføres av risikoreduserende tiltak?

Svar på spørsmål 11: Innfylling av grouting vil kunne gjøres i torpedorum, men sannsynligvis ikke i torpedorør og transportbeholder. I et evighetsperspektiv vil torpedoene i liten grad bli utsatt for en ytre påvirkning kraftig nok til at sprengladningen i torpedoen skal detonere (se også svar på spørsmål 7 og 9). Torpedoene vil inneholde trykkluftflasker. Over tid vil disse kunne korrodere og føre til at de brister. Det er lite sannsynlig, men noe usikkert om en brist i trykktanken i torpedoen vil frigjøre nok energi til at en detonasjon kan oppstå. For å kunne fastslå dette nærmere må en foreta beregninger og modelleringer.

Sannsynlighet for detonasjon vil i liten grad være avhengig av om torpedorum er fylt med grouting. Innfylling av grouting vil sannsynligvis redusere korrosjonshastigheten til trykkluftflaskene. Det vil derfor ta lenger tid før en brist i disse oppstår. Men som tidligere nevnt er det lav sannsynlighet for at en brist i

en trykkluftflaske vil medføre detonasjon av en torpedo. Grouting vil redusere den gradvise trykkbelastningen fra skroget over tid og også ytre påvirkning av torpedoene. Men som nevnt i svar på spørsmål 7, vil det være lav sannsynlighet for at gradvis sammentrykking av vraket vil medføre en detonasjon av torpedoer.

Ved en eventuell detonasjon vil det oppstå store strukturelle skader på vraket og en vil kunne oppleve noe spredning av forurenset masse. Groutingen og tildekningsmasser rundt vraket vil fungere som en fordemning og redusere sjokkbølgen ved detonasjon og dermed også skader og spredning av forurensning. Om torpedoer detonerer i den ene vrakdelen, vil avstanden være for stor til at torpedoer i den andre vrakdelen vil detonere. En detonasjon vil ikke være en katastrofal hendelse og en vil kun oppleve mindre skader på eventuelle fartøy på overflaten over vraket.

Tiltak: Innfylling av grouting vurderes som unødvendig.