

1 Vedlegg V04 Beskrivelse av tildekkingen

1.1 Innledning

Dette dokumentet er et vedlegg til rapporten «Kystverkets vurderinger og anbefalinger etter undersøkelse og kartlegging av U-864 2025-26 fra august 2026. Vedlegget beskriver hensikten med tildekkingen, nødvendig areal som må tildekkes, oppbygging av tildekkingen med tilhørende volum og forutsetninger og antagelser som vil ha virkning for videre design av tildekkingen og utlegging av denne. For alle henvisninger til andre vedlegg og dokumenter i dette vedlegget gjelder listen med vedlegg og dokumenter i Kystverkets hovedrapport.

1.2 Hensikten med tildekkingen

Tildekkingen av vraket etter U-864 har som formål å redusere risiko knyttet til kvikksølv i vraket og i sedimentet utenfor vraket. Dette oppnås ved å legge et lag med rene masser over det forurensede området og vrakdelene for å isolere forurensningen fra miljøet over. En slik tildekking vil redusere tilgjengeligheten av dette kvikksølvet (Hg), (både elementært Hg, ionisk Hg og metylkvikksølv) på overflaten av sjøbunnen etter tildekking. Basert på delrapport om miljømål og akseptkriterier for tiltak ved U-864 (DNV GL, 2014a) er oppnåelsen av dette beskrevet som at konsentrasjon i sediment i de øverste 2 cm av sjøbunnen etter tildekkingen (før plassering av erosjonslag) skal være mindre enn 0,52 mg/kg. Dette tilsvarer tilstandsklasse II ifølge Miljødirektoratets veileder¹ for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann.

Tykkelsen med tildekkingsmasse, der diffusjonstransport dominerer Hg-transporten, er konservativt beregnet slik at disse kravene tilfredsstilles. Videre er tildekkingslaget dimensjonert for å hindre at tildekkingslaget eroderer, og at bølger og vannstrøm fører til vesentlig transport ved adveksjon (bevegelse av porevannet) i tildekkingsmassene.

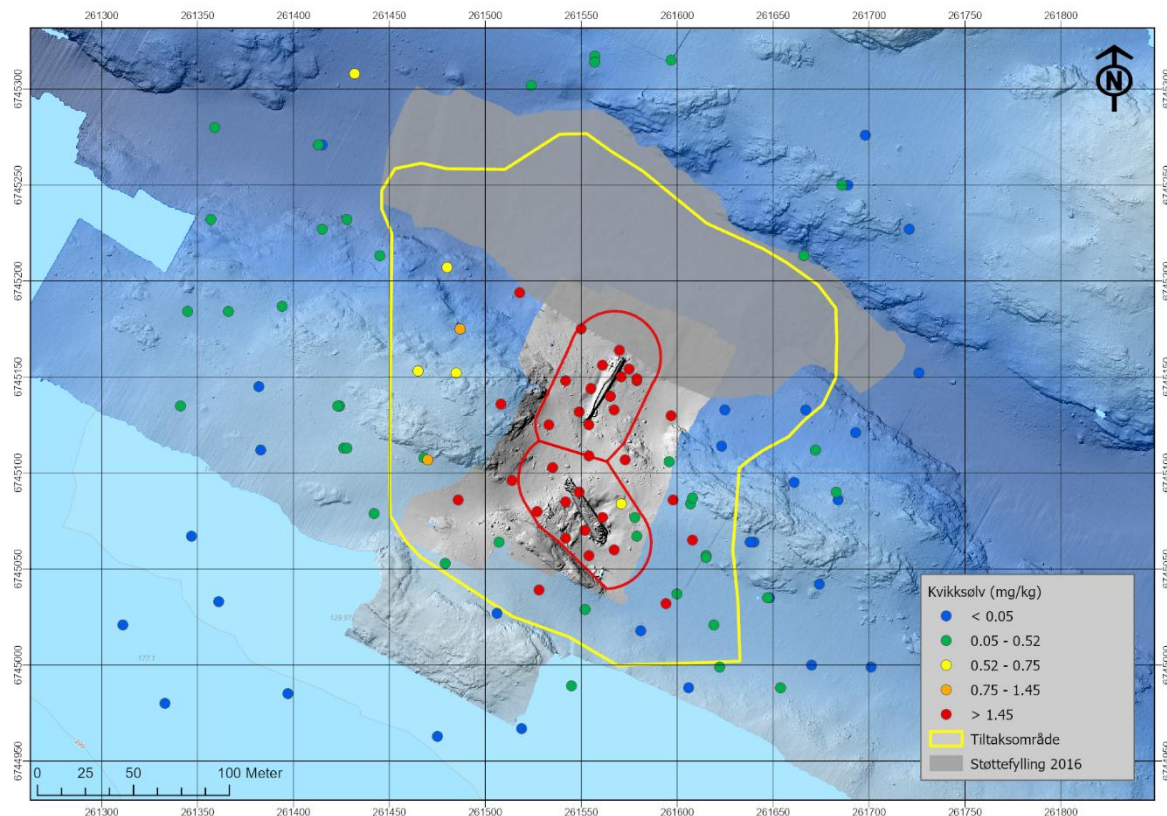
1.3 Fastleggelse av nødvendig areal som må tildekkes

For å redusere miljørisiko og for å forbedre miljøtilstanden på sjøbunnen til god tilstand eller bedre skal alle sedimenter med tilstandsklasse III eller høyere tildekkes. Det betyr at akseptkriteriet (miljømålet) er 0,52 mg Hg/kg og at det utføres tiltak hvor sedimentene er i tilstandsklasse III, IV og V.

Det er i prinsippet to ulike områder som må dekkes til, og som må designes ut fra grad av kvikksølvforurensning, hva som skal dekkes til og mulige hendelser som kan medføre skader på tildekkingen.

Det er et indre område der vrakdelene og forurensede masser tildekkes, og et ytre område med kvikksølvforurensede sedimenter der utstrekning er vurdert ut fra resultater fra sedimentprøver, se figur nedenfor.

¹ Miljødirektoratet. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota – revidert 30.10.2020. Veileder M-608/2016



Figur 1 Målte konsentrasjoner av kvikksølv (Hg) i sediment i området rundt vraket. Tilstandsklasser i henhold til Miljødirektoratets gjeldende veileder M-608/2016 (revidert 2020). Støttefylling (rene masser) ble lagt ut i 2016. Kilde: Kystverket, FFI, Van Oord, NIVA og DNV.

Design og beregnet utstrekning av tildekkingen var i forprosjektene (2014) basert på gjeldende akseptkriterier for de ulike tilstandsklassene og at tildekkingen skulle omfatte områder innenfor tilstandsklassene 3 til 5. Dette ga et areal på 47 000 m² sjøbunn som må tildekkes.

NIVA har i en rapport fra 2005 /D22/ estimert et areal på 30.000 m² ut fra en vurdering av at en avstand på 100 m ut fra vrakdelene var tilstrekkelig for å dekke et «høyrisikoområde». I ekspertutvalgets rapport /D06/ er et areal med samme størrelse presentert, men kilde er ikke angitt.

Med oppdaterte miljømål i revidert veileder fra Miljødirektoratet (2020) som er skjerpet fra 0,63 til 0,52 mg Hg/kg for tilstandsklasse II, kan det være behov for et noe større areal av havbunn som må tildekkes enn det som tidligere er estimert, men vi anser at en økning vil være ivarettatt innenfor det estimat som er lagt til grunn (47.000 m²).

Det presiseres at arealet kan bli justert etter forprosjektering og detaljprosjektering. Dersom tildekking av vrakdelene og forurenset havbunn skjer etter et tiltak med heving av last, kan det være behov for å utvide tiltaksområdet dersom disse aktivitetene har ført til en spredning av forurensede sedimenter ut over planlagt tiltaksområde. I kostnadsanalysen er usikkerheten i et mulig økt areal ivarettatt i estimatene.

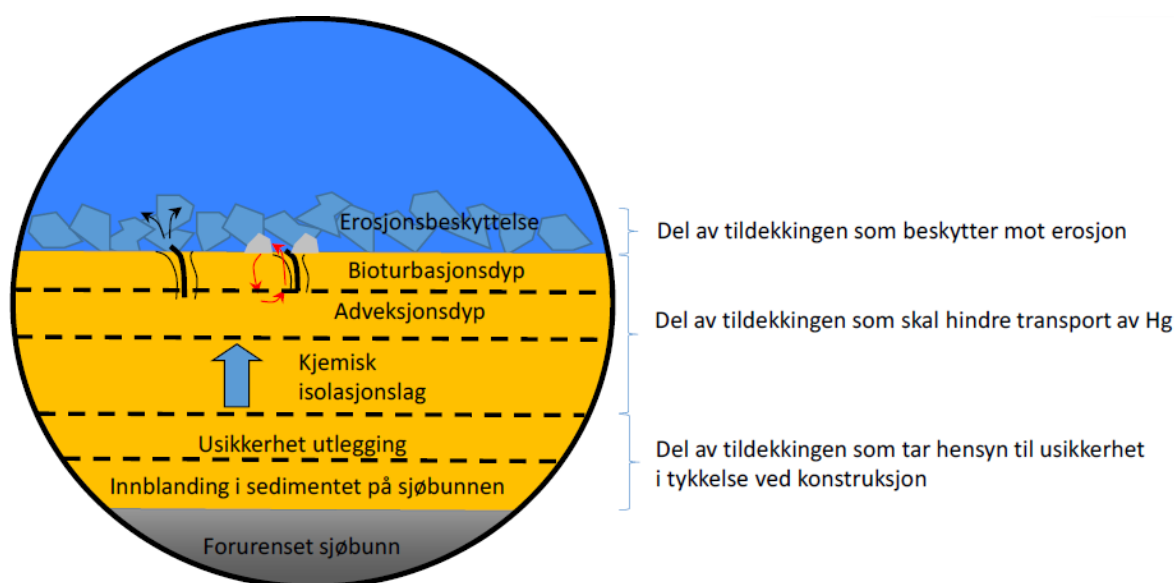
1.4 Oppbygging av tildekkingen med tilhørende volum og vekt

Tildekkingen består av ulike lag som har ulike funksjoner. Det øverste laget er et *erosjonslag* bestående av materiale som ikke eroderer under de strømforholdene som kan forventes i området. Design av dette er basert på strømmålinger i området. De øvrige lagene nedover i tildekkingen har ulike funksjoner for å motvirke at kvikksølv kan trenge opp gjennom tildekkingen.

Bioturbasjonslag: I dette laget skal organismer som lever i bunnsedimentene kunne drive sin aktive graving og blanding av sedimentene uten at det påvirker forurensede sedimenter under eller at det fører til overskridelse av grenseverdien for kvikksølv i overflatesedimentet.

Adveksjonslag: motvirker at trykkforskjellene som dannes av vannstrømmen over fyllingen over vraket fører til vannstrømmer inne i tildekkingen (adveksjon) som igjen kan føre til økt kvikksølvtransport.

Isolasjonslag: skal begrense hastigheten av kvikksølvdifusjon gjennom tildekkingen. Dette vil begrense hvor mye kvikksølv som kan tilføres overflatesedimentet der bunnfauna lever og dermed bidra til å minimere hvor mye som lekker ut fra tildekkingen til vannet over



Figur 2 Illustrasjon av designlag i tildekkingen av forurensningen i og ved vraket av U-864

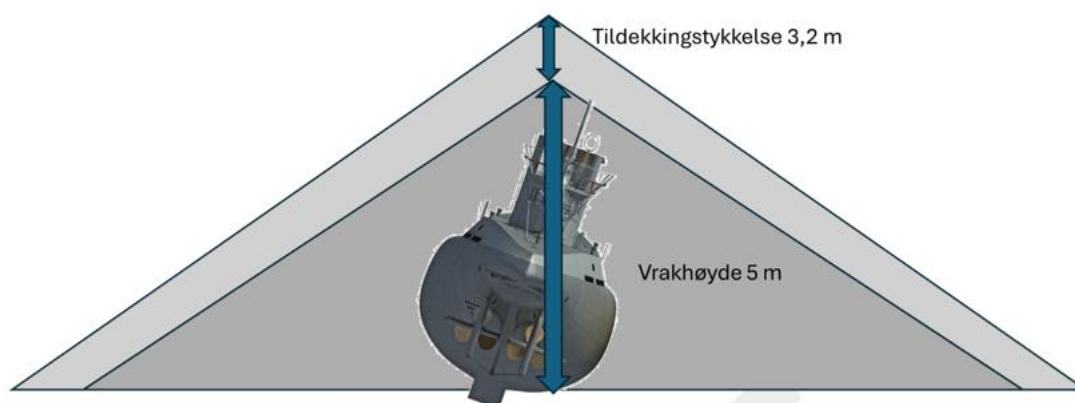
Nødvendige tykkelser av de ulike lagene er basert på konseptuelt design av tildekkingen (NGI, 2014) og beskrivelsen av den geotekniske modellen av tildekking og støttefylling beskrevet av Geopartner (2014).

En detaljert oversikt over arealer, tykkelser, romvekt av materialer og annet som er benyttet i estimer for volum og vekt er presentert i /V19/. For en oversikt er nøkkelparametere vist i tabellen nedenfor.

Tabell 1 Nøkkelparametere for design av tildekkingen

Parameter	Verdi	Referanse
Forurensset areal	47 000 m ²	(Kystverket, 2014)
Areal som tildekkes	50 000 m ²	(Kystverket, 2014)
Areal av indre område (avrundet)	9 000 m ²	/V19/
Areal av ytre område (avrundet)	36 000 m ²	/V19/
Høyde vrak	5 m	(NGI, 2014 ²)
Mektighet tildekking vrakområde (tykkelse av laget)	3,2 m	(NGI, 2014) design tykkelse 2,9, erosjonsbeskyttelse økt fra 0,2 m til 0,5 m
Mektighet tildekking utenfor vrakområde	1,5 m	(NGI, 2014) design tykkelse 1,15. Erosjonsbeskyttelse økt fra 0,2 m til 0,5 m
Mektighet erosjonsbeskyttelse/ trålbeskyttelse	0,5 m	Erfaringstall

Ved vrakdelene må det legges ut fyllmasser omkring vraket slik at det er mulig å legge ut masser over vrakdelene. Volumet av disse fyllingene er estimert ved å anta at de kan legges ut med en skråning på 1:3. Den riktige skåningsvinkelen blir bestemt i den geotekniske detaljprosjekteringen. I figuren nedenfor er oppfylling rundt en vrakdel illustrert sammen med tildekking over.



Figur 3 Illustrasjon som viser estimert høyde av fylling og tildekking

Det er beregnet volum og vekt av tildekkingen som vist i tabellen nedenfor fordelt på erosjonsbeskyttelse, tildekking og oppfylling ved vrakdelene i tillegg til en totalsum /V19/.

² NGI-teknisk notat 20130288-01-TN Modellering for design av tildekkingslag for tildekking av U-864 og forurensede sedimenter omkring vraket, 28.april 2014.

Tabell 1-2 Beregnede volum (m³) og masse (t) av tildekkingen

Del av tildekkingen	Volum (m ³)	Masse (t)
Erosjonsbeskyttelse	25 000	42 500
Tildekking	66 500	95 000
Fylling ved vrakdelene	9 500	14 100
Sum	101 000	151 600

1.5 Forutsetninger og antagelser

Det er vurdert ulike forhold som vil ha virkning for videre design av tildekkingen og utlegging av denne. Disse er presentert nedenfor og med begrunnelser for valg.

Økt tykkelse på tildekkingen for å motvirke virkningen av en mulig detonasjon av eksplosiver

I FFI rapporten /VXX/ er det beregnet effekten av en detonasjon av torpedoer ut fra ulike tykkelser av tildekkingen over vrakdelene. Det er beregnet mengde kvikksølvforurensning som kan spres og over hvor stort område. I kostnadsestimatet er det ikke lagt inn en ekstra tykkelse for å redusere virkningen av en detonasjon.

Bruk av aktive materialer i tildekkingen

I det konseptuelle designet (NGI, 2014) er det beskrevet at deler av tildekkingen kan erstattes med et lag aktive materialer, bestående av aktivt kull for å øke binding av kvikksølv og bentonitt for å redusere permeabiliteten og dermed effekten av adveksjon induisert av vannstrømmer. I notatet /V19/ er det også estimert hvor mye aktivt materiale som eventuelt trengs og hvor mye mineralsk tildekkingsmasse dette vil erstatte dersom det senere velges å benyttes aktive materialer i tildekkingen.

I kostnadsestimatet er det ikke lagt inn bruk av ovennevnte materialer som aktivt kull og bentonittleire. Dersom det er aktuelt å vurdere denne type materiale, vil dette kunne inngå i en forprosjektering senere i prosjektet.

Vurdering av merforbruk av masser ved utlegging

Det må tas høyde for et merforbruk av masser ved utlegging av tildekkingen. Dette skyldes et forventet tap av finstoff som driver bort med vannstrømmen, og innsynkning og innblanding av utlagte masser i sjøbunnen. Det er videre noe usikkerhet i tykkelsen som faktisk blir lagt ut i forhold til designtykkelse ut fra gitte krav til toleranser.

I denne utredningen er tapet estimert basert på resultater fra målinger gjort i forbindelse med installasjon av støttefyllingen i 2016 der marin operatør (Van Oord) rapporterte både mengder masser brukt og volum av fyllingen oppmålt på sjøbunnen. Dette ble brukt til å estimere totalt overforbruk av masser, som kan skyldes begge mekanismene beskrevet over.

I kostnadsanalysen er det tatt hensyn til svinn og innsynkning. I notatet /V19/ er det beregnet hvor mye tap av masser som kan forventes per type masse. For erosjonsbeskyttelsen (pukk) ligger dette i størrelsesorden 11 – 17 % der vi har lagt til grunn 15 %. For materiale for tildekking og fyllingen ved vrakdelene (sand) ligger dette på 24 – 34 % der vi har lagt til grunn 30 %.

Vurdering av virkninger for tildekkingen fra fremtidig sammensynking av vrakdeler

Tildekking over vraket vil føre til en større belastning på skroget enn det som er i dag. Disse forholdene vil føre til at skroget gir etter når korrosjon har svekket styrken i skroget slik at det ikke lenger kan bære vekten av tildekkingen. Det ytre profils kroget vil gi etter først og det indre trykkskroget senere da dette har en langt større tykkelse og styrke. Ved en sammensynking av vraket vil tildekkingsmassene som ligger over vraket synke inn i dette, og kan føre til at tykkelsen av tildekkingen over det mest forurensede området bli mindre enn det som vil bli lagt ut.

I kostnadsanalysen er det medregnet et volum som tilsvarer hele volumet av oppfylling under overdekningen som om vrakdelene ikke var der, og som vil sikre tilstrekkelig overdekning etter full kollaps er inntruffet. Det er ikke tatt hensyn til en fremtidig reparasjon (etterfylling av sand og pukk) av tildekkingen som skyldes andre forhold.