



RAPPORT

Stavanger Kommune

TILTAKSPLAN FOR FORURENSET SJØBUNN I
FIRE SJØOMRÅDER

DOK.NR. 20150658-01-R
REV.NR. 2 / 2016-06-21

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

Prosjekt

Prosjekttittel: Stavanger Havn
Dokumenttittel: Tiltaksplan for forurenset sjøbunn
Dokumentnr.: 20150658-01-R
Dato: 2016-02-12
Rev.nr. / Rev.dato: 2/2016-06-21

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Stavanger kommune
Kontaktperson: Arnfinn Skadsheim
Kontraktreferanse: Kontrakt signert 6/10-15

for NGI

Prosjektleder: Espen Eek
Utarbeidet av: Anita Nybakk, Erlend Sørmo, Arne Pettersen, Hans Petter Arp,
Espen Eek
Kontrollert av: Gijs Breedveld

Sammendrag

NGI har på oppdrag fra Stavanger kommune utarbeidet tiltaksplan for Stavanger kommune. Grunnlaget for tiltaksplanen er tidligere utførte undersøkelser og risikovurdering av områdene nærmere beskrevet i avsnitt 1.3. Tiltaksplanen er utarbeidet i hht Miljødirektoratets Faktaark M-325 (Miljødirektoratet, 2015).

Tidligere undersøkelser har konkludert med at fire områder i Stavanger kommune er så forurenset at det er behov for tiltak; indre Bangarvågen (1), indre Galeivågen (2), ytre Galeivågen (3) og området rundt Jadarholm (4). Risikovurderinger (trinn I til trinn III) fra COWI/NGI 2013 og 2015 viser at det er risiko for human helse, økosystemet og spredning i alle de aktuelle områdene.

Eidem (2012) og COWI (2015) har gjennomført undersøkelser av konsentrasjon av miljøgifter i overvannsystemet (slam i kummer og sandfang og suspenderte partikler i overvann). Slike undersøkelser kan gi viktig informasjon om i hvor stor grad miljøgifter fremdeles tilføres sjøområdene og sedimentet på sjøbunnen.

I forbindelse med byggingen av Ryfast og Rogfast (www.vegvesen.no/vegprosjekter/ryfast/ og www.vegvesen.no/Europaveg/e39rogfast) samt mulig bygging av krafttunnel i området forventes det overskuddsmasser. Disse sprengsteinsmassene søkes å bli benyttet som tildekkingsmasser i tiltaksområdet.

Miljømål

Det overordnede miljømålet for tiltaksområdene er god økologisk og kjemisk tilstand. COWI/NGI (2013) tolket miljømål satt av Fylkesmannen i Rogaland i 2004, sammen med Vannforskriften og Naturmangfoldloven på følgende måte:

- Det skal ikke pågå spredning til andre områder som medfører kostholdsråd eller hindrer oppheving av kostholdsråd
- Sedimentenes tilstand skal ikke være så dårlig at det medfører kostholdsråd
- Forurensningstilstanden i sedimentet skal på sikt kunne bedres
- Forurensningstilstanden i sedimentene skal ikke utgjøre en risiko for helse ved områdets arealbruk
- Forurensningskonsentrasjonen i sedimentet skal ikke medføre konsentrasjoner i overflatevann over tilstandsklasse II for sjøvann
- Forurensningskonsentrasjonen i sedimentet skal ikke være så høy at arter som naturlig finnes i området ikke kan leve der

Det gjeldende kostholdsrådet i Stavanger er fra september 2015, hvor det advares mot konsum av filet av torsk og blåskjell, basert på konsentrasjoner funnet av kvikksølv, PAH og PCB.

Tiltaksmål

De definerte miljømålene er langsiktige og ikke alltid like målbare. I forbindelse med tiltak i de aktuelle områdene ønskes det å sette konkrete miljømål for de anbefalte tiltaksmetodene, som er målbare og operasjonelle.

I områder utenfor byer og i andre områder med påvirkning fra menneskelig aktivitet og tilførsler av forurensning fra land er det anbefalt å bruke klasse III som tiltaksmål (Miljødirektoratet 2015).

Tiltaksmålene er laget med tanke på å etablere konkrete krav til tiltakene som skal gjennomføres for at disse skal kunne bidra til oppnåelse av miljømålene. Disse er utarbeidet ved å ta hensyn til brukerinteresser og påvirkninger. Disse målene kan brukes til å evaluere miljøgevinsten (tiltakseffektivitet) på kort og lang sikt.

Tiltaksmålene er nært knyttet til hvilken tiltaksmetode som skal benyttes det er derfor utarbeidet egne tiltaksmål for hvert delområde, bestemt av tiltaksmetodene som anbefales i disse.

Mudring

Etter avsluttet mudring skal det ikke ligge igjen sediment med konsentrasjoner tilsvarende farlig avfall

Og:

Etter avsluttet mudring skal sedimentene i overflaten (0 – 10 cm) ha TK II og på sikt skal mudringen føre til at spredning fra sjøbunnen og eksponering av miljøgifter til bunnlevende organismer reduseres med 80% i forhold til situasjon før tiltak, og at tilstanden i sedimentene skal være TK III eller bedre. Hvis ikke må området dekkes til med rene masser.

Isolasjonstildekking

Sjøbunnen etter tildekking skal være klasse II og egnet for rekolonisering av lokale arter. På sikt skal tildekkingen føre til at spredning fra sjøbunnen og eksponering av miljøgifter til bunnlevende organismer reduseres med 80% i forhold til situasjon før tiltak, og at tilstanden i sedimentene skal være TK III eller bedre. Tildekkingslagets tykkelse skal i 80% av arealet være design tykkelse og i resten av arealet må tykkelsen ikke være mindre enn 50% design tykkelse. Design tykkelse for anbefalt tildekking er beskrevet for hvert delområde.

AC-behandling

På sikt skal AC-behandlingen føre til at spredning fra sjøbunnen og eksponering til bunnlevende organismer for miljøgiftene PAH, PCB, TBT og kvikksølv reduseres med 80% i forhold til situasjon før tiltak.

Tiltaksanbefalinger

På bakgrunn av målingene som er gjort i overvannsystemet og i tråd med anbefalingene fra COWI 2015, anbefales det at undersøkelser og eventuelle tiltak for å redusere spredning fra land gjennomføres før eller samtidig med tiltak på sjøbunnen i alle delområdene.

Følgende tiltaksalternativer er vurdert i Bangarvågen:

1. Tildekking kun i områder med vanddyp >8 m (hvis ikke annet seilingsdyp er påkrevd)
2. Tildekking i områder med vanddyp >8 m og AC-behandling
3. Tildekking i hele delområdet
4. Tildekking som i alternativ 1), 2) eller 3) og tildekking med sprengsteinsmasser i områder med vanddyp >8 m

Det er antatt et behov for 8 m seilingsdybde i alle delområder. Lokale forhold og reguleringer av seilingsdybde satt av farledsmyndigheten kan endre dette. Basert på vurdering av måloppnåelse og kostnader for de fire alternativene over anbefales alternativ 4) med sprengsteinsmasser, kombinert med alternativ 2) AC-behandling. Dette forutsetter at

tester med denne metoden viser at en slik behandling gir ønsket måloppnåelse og er skånsom nok mot ålegressenga

Følgende tiltaksalternativer er vurdert i indre og ytre Galeivågen:

- 1) Tildekking direkte på sjøbunnen og seiling begrenses
- 2) Området mudres først og dekkes deretter til med rene masser
- 3) Områder som trafikkeres av de største båtene mudres først og dekkes deretter til med rene masser
- 4) Tildekking som i alternativ 1), 2) eller 3) og tildekking med sprengsteinsmasser i områder med vanddyb >8 m
- 5) Tildekking som i alternativ 2) eller 3) og etablering av undervannsdeponi i området med vanddyb >8 – 10 m

Basert på vurdering av måloppnåelse og kostnader for de fem alternativene over anbefales alternativ 3) der det mudres med tanke på seilingsdyp for de båtene i Galeivågen som ikke kan flyttes. I dette alternativet må det gjøres en litt grundigere behovskartlegging og planlegging for å begrenses mudringen til bare de områdene der det vil være båttrafikk som krever seilingsdyp utover 0,5 m grunnere enn dagens dyp.

Det anbefales at det gjennomføres undersøkelser og dialog med tanke på å vurdere muligheten for å finne alternativ kai plass for de større båtene som manøvrerer i Galeivågen.

Følgende tiltaksalternativer er vurdert i tiltaksområdet ved Jadarholm:

1. Tildekking direkte på sjøbunnen (inkludert forurenset grunn i strandkanten)
2. Tildekking med sprengsteinsmasser i områder med vanddyb >8 m
3. Tildekking som i alternativ 1) eller 2) og etablering av strandkantdeponi i området nord-øst for Jadarholmen.

Basert på vurdering av måloppnåelse og kostnader for de tre alternativene over anbefales alternativ 3) der sprengsteinsmasser benyttes som tildekkingsmasser i de dypere områdene og det etableres et strandkantdeponi for mudrede masser. På denne måten utnyttes deler av arealet som likevel skal tildekkes som deponiområde for mudrede masser fra de andre delområdene.

Vurdering av rekkefølge for gjennomføring

Det er i tidligere risikovurdering for tiltaksområdene i Stavanger kommune og i denne tiltaksplanen påpekt det at kilder på land fremdeles kan bidra med spredning til sjø som kan redusere kvaliteten på sjøbunnen etter et tiltak. Det er derfor anbefalt her at det gjøres undersøkelser med tanke på å kvantifisere hvor mye forurensing som fremdeles spres fra kilder på land og hvilken effekt dette kan ha på fremtidig sjøbunn. Dersom det er nødvendig bør det gjøres tiltak slik at spredningen fra land reduseres. Det anbefales at dette arbeidet startes nå og gjennomføres parallelt med tiltak på sjøbunnen.

Videre anbefales det at tiltakene i sjø i størst mulig grad gjøres i de grunne områdene først og deretter i dypere områder. Dette vil sikre at områder som er ferdig tildekket eller behandlet i minst mulig grad rekontamineres fra områder som ikke er behandlet. Tildekking av dypere områder med sprengsteinsmasser kommer noe i konflikt med dette. En slik utfylling med overskuddsmasser fra et annet prosjekt er imidlertid kostnadsmessig gunstig og er dessuten en god ressursutnyttelse. Det kan derfor anbefales å ta noe større risiko i forhold til rekontaminering etter tildekkingen når disse massene utnyttes. En rekontaminering kan i så fall bety at noen av disse områdene må dekkes til igjen.

Mudring vil ofte føre til større spredning av forurensning under gjennomføring enn tildekking. Det anbefales derfor at mudring i størst mulig grad gjennomføres før det skal gjøres tildekking i det samme område.

Basert på vurderingene i denne tiltaksplanen og under forutsetning om at det parallelt dokumenteres tilstrekkelig kontroll på aktive kilder på land så anbefales det at tiltak i Galeivågen og ved Jadarholm gjennomføres i følgende rekkefølge:

- 1) Mudring og tildekking Galeivågen
- 2) Tildekking Jadarholm

Tiltak i Bangarvågen kan gjøres tidsmessig uavhengig av tiltakene i Galeivågen. Følgende rekkefølge anbefales for disse tiltakene:

- 1) Eventuell nødvendig mudring
- 2) Eventuelt AC-behandling i ålegressområde
- 3) Tildekking med mineralske masser eventuelt med sprengsteinsmasser i områder dypere enn 8 m

Tiltaksrekkefølgen er basert på graden av forurensning og vurdering av risiko for rekontaminering av områder der tiltak allerede er gjennomført. Dersom andre forhold tilsier at rekkefølgen må endres, må det vurderes behov for tiltak for å hindre rekontaminering av allerede oppryddede områder.

Tildekking med sprengsteinmasser kan gjøres når disse massene er tilgjengelige.

Innhold

1	Innledning	9
1.1	Bakgrunn	9
1.2	Hensikt	9
1.3	Tidligere undersøkelser	10
2	Forurensningskilder og områdebeskrivelse	10
2.1	Delområdene	12
2.2	Kilder til forurensning	13
2.3	Kulturminner	18
2.4	Beskrivelse av de enkelte delområdene	19
2.5	Strømforhold	23
3	Forurensningstilstand i sjøbunnen	23
3.1	Område 1 Indre Bangarvågen	24
3.2	Område 2 Indre Galeivågen	25
3.3	Område 3 Ytre Galeivågen	26
3.4	Område 4 Området rundt Jadarholmen	26
3.5	Utførte tiltak/endrede forhold siden risikovurderingen	27
4	Miljømål	27
4.1	Lokale forvaltningsmål	27
4.2	Tiltaks mål basert på forvaltningsmålene	28
5	Tiltaksmetoder	29
5.1	Modellering av utviklingen av konsentrasjonen av miljøgifter i sediment	30
5.2	Overvåket naturlig restitusjon	31
5.3	Mudring	32
5.4	Isolasjonstildekking	36
5.5	Tildekking med aktivt kull	41
6	Tiltaksvurderinger	44
6.1	Sammenstilling av tiltakskostnader	44
6.2	Bangarvågen	46
6.3	Indre og ytre Galeivågen	56
6.4	Jadarholm	69
6.5	Tiltaksrettede undersøkelser og andre forhold som kan påvirke tiltaksprioriteringer, fremdrift og kostnader	78
7	Kontroll, overvåkning og avbøtende tiltak	82
7.1	Kontroll og overvåkning	82
7.2	Avbøtende tiltak	85
8	Plan, budsjett og foreslått fremdriftsplan	86
9	Referanser	89

Vedlegg

Vedlegg A	Tabeller over forurensningstilstand fra COWI (2015)
Vedlegg B	Grunnlagsdokumenter for tiltaksplanen
Vedlegg C	Kart med forurensningstilstand

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

NGI har på oppdrag fra Stavanger kommune utarbeidet tiltaksplan for fire sjøområder i Stavanger kommune. Grunnlaget for tiltaksplanen er tidligere utførte undersøkelser og risikovurdering av områdene nærmere beskrevet i avsnitt 1.3. Tiltaksplanen er utarbeidet i hht Miljødirektoratets Faktaark M-325 (Miljødirektoratet, 2015).

1.1 Bakgrunn

Tidligere undersøkelser har konkludert med at 4 områder i Stavanger kommune er så forurenset at det er behov for tiltak, indre Bangarvågen (1), indre Galeivågen (2), ytre Galeivågen (3) og området rundt Jadarholm (4). Risikovurderinger (trinn I til trinn III) fra COWI/NGI 2013 og 2015 viser at det er risiko for human helse, økosystemet og spredning i alle de aktuelle områdene.

Eidem (2012) og COWI (2015) har gjennomført undersøkelser av konsentrasjon av miljøgifter i overvannsystemet (slam i kummer og sandfang og suspenderte partikler i overvann). Slike undersøkelser kan gi viktig informasjon om i hvor stor grad miljøgifter fremdeles tilføres sjøområdene og sedimentet på sjøbunnen.

I forbindelse med byggingen av Ryfast og Rogfast (www.vegvesen.no/vegprosjekter/ryfast/ og www.vegvesen.no/Europaveg/e39rogfast) samt mulig bygging av krafttunnel i området forventes det overskuddsmasser. Disse sprengsteinsmassene søkes å bli benyttet som tildekkingsmasser i tiltaksområdet.

1.2 Hensikt

Risikovurderingen av sedimentene i Stavanger viser at det er overskridelser av grenseverdiene for risiko for spredning, for human helserisiko og for økologisk risiko i alle i de fire delområdene; Bangarvågen, indre og ytre Galeivågen og Jadarholm (COWI 2015). Denne risikovurderingen konkluderer med at det er behov for å gjøre tiltak i sedimentene og at det er behov for å gjøre undersøkelser og sanering av kilder på land i disse områdene.

Den foreliggende tiltaksplanen er utarbeidet for å danne grunnlag for beslutninger om detaljprosjektering og gjennomføring av tiltak for å stanse, fjerne eller begrense virkningen av forurensning på sjøbunnen.

Tiltaksplanen beskriver først hva som har blitt gjort av tidligere undersøkelser og resultater fra undersøkelsene og risikovurderinger. Basert på eksisterende undersøkelser er det estimert utvikling for kjemiske konsentrasjoner av miljøgifter. Basert på dette vil det bli anbefalt et tiltaksløsninger som vil være mest mulig kostnadseffektive med hensyn på å oppfylle miljømålene (avsnitt 4). Gjennomføring, kostnader, prosjekterings- og undersøkelsesbehov knyttet til de anbefalte tiltakene vil bli beskrevet.

1.3 Tidligere undersøkelser

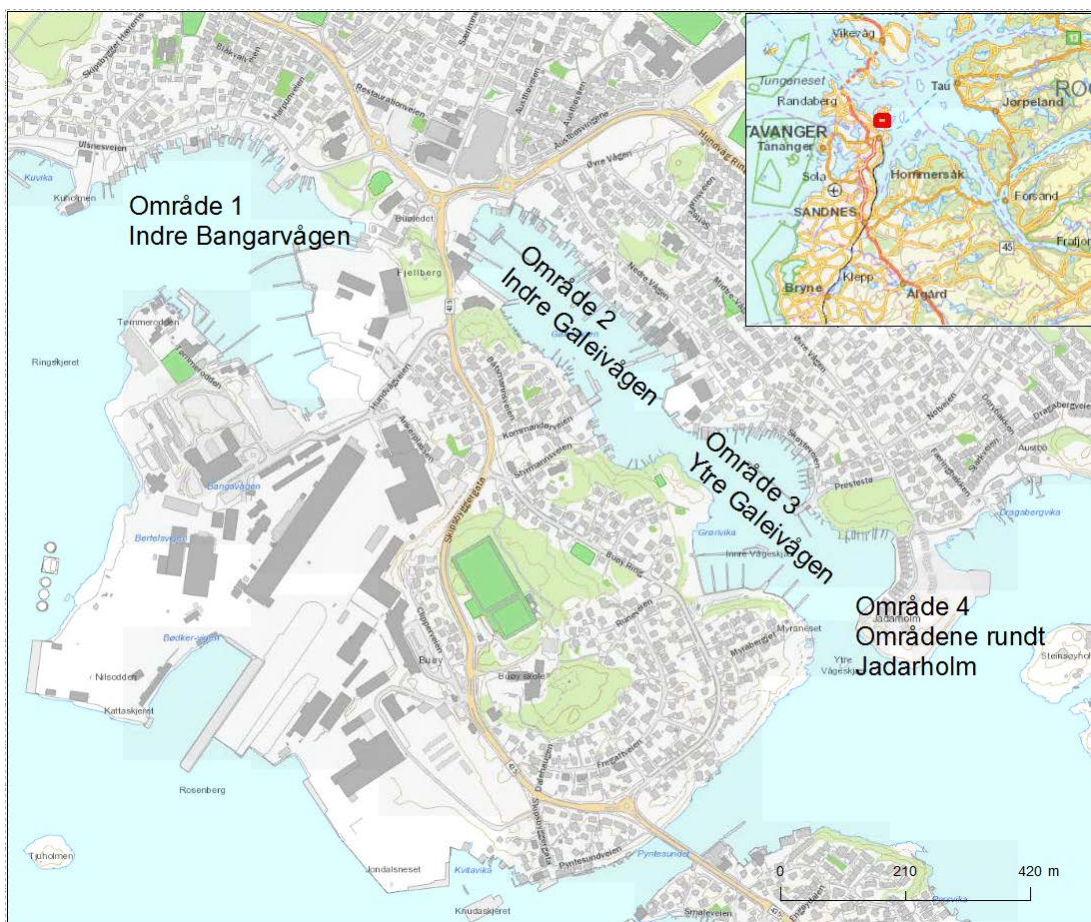
Det har vært gjort en rekke undersøkelser av sedimentene i sjøområdene i Stavanger kommune. I denne rapporten fokuseres det kun på undersøkelser gjort fra og med 2000. COWIs rapport fra 2015 (COWI, 2015) vil bli tillagt størst vekt. Vedlegg B gir en oversikt over tidligere undersøkelser og utredninger knyttet til forurensede sedimenter i Stavanger kommune

Som et resultat av alle de tidligere undersøkelser som har blitt utført, har fire delområder blitt pekt ut av Stavanger kommune hvor det prioriteres tiltak:

1) Indre Bangarvågen, 2) Indre- og 3) Ytre Galeivågen og 4) rundt Jadarholm.

2 Forurensningskilder og områdebeskrivelse

Tiltaksområdene som omfattes av denne tiltaksplanen er lokalisert på Hundvåg i Stavanger, Figur 1. Havneområdene her har historisk sett vært preget av industri (verftsindustri og fiskeri). Forsvaret har hatt et anlegg på Ulnes i området. I tillegg var Norges første oljebase plassert i Bangarvågen i noen få år, dette området har i den senere tid blitt referert til som Essobasen.



Figur 1 Oversiktskart med delområder

Informasjonen i dette kapitlet er hentet for COW/NGI (2013) og COWI (2015), samt tilleggsinformasjon gitt av Stavanger kommune på epost og i møter. Kun de aktuelle tiltaksområdene omtales.



Figur 2 Oversiktsbilder tiltaksområdene. Bilde til venstre er fra 1937 og bildet til høyre er fra 2014. Begge bildene er hentet fra www.norgebilder.no.

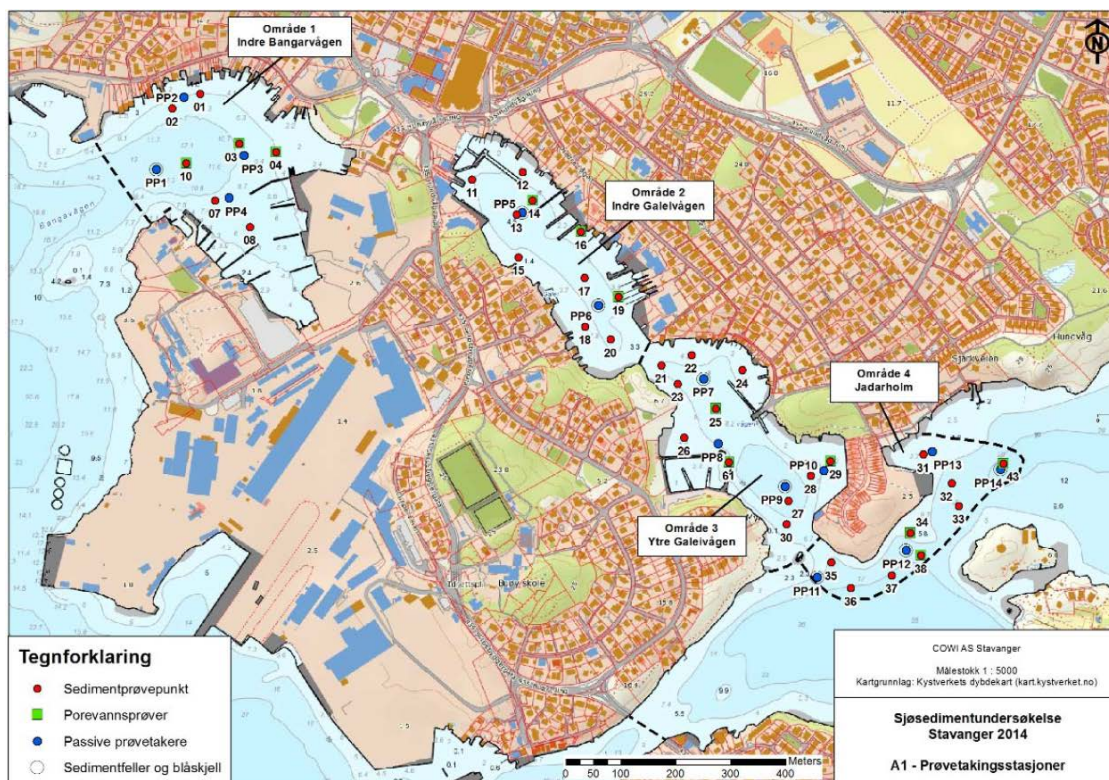
I Stavanger har det vært endringer i landskapet opp igjennom tidene. Figur 2 viser hvordan strandlinjen har endret seg fra 1937 til i 2014. Endringen har vært størst på vestsiden av Buøy, og spesielt i indre Bangarvågen. Det kan også sees tydelige endringer på Jadarholm. Mens endringene i Galeivågen har vært mindre. Endringene består hovedsakelig av utfylling i sjø. I flere områder er det kvaliteten på utfyllingsmassen som har blitt brukt ukjent.

2.1 Delområdene

Delområdene (Figur 1) er i hovedsak delt opp ut ifra geografi. Område 4 rundt Jadarholm har ikke samme naturlige avgrensning som de andre men er avgrenset til omlag 100 m utenfor land (Figur 3). Delområdenes utbredelse, bunnareal, topografi og kilder er beskrevet i detalj i COWI/NGI 2013. I de kommende avsnittene er en kort oppsummering av informasjonen i COWIs rapporter (2013 og 2015).

Tabell 1 De fire delområdene, bunnareal og volum

Område	Navn	Areal <10m (m ²)	Areal <20m (m ²)	Areal >20m (m ²)	Vannvolum (m ³)
1	Indre Bangarvågen	95 000	126 000	0	860 000
2	Indre Galeivågen	73 000	73 000	0	310 000
3	Ytre Galeivågen	65 000	76 000	0	430 000
4	Områdene rundt Jadarholm	28 000	46 000	2 000	460 000



Figur 3 Inndeling i delområder fra COWI 2015

2.2 Kilder til forurensning

Både i COWI (2015) og særlig i masteroppgave fra NTNU (Pettersen, 2012) er flere historiske kilder til forurensning i Stavanger kommune beskrevet. Figur 4 er hentet fra COWI (2015) og viser en oversikt over mulige historiske kilder i de aktuelle områdene. COWI (2015) og Pettersen (2012), samt (Eidem, 2012) beskriver dessuten kilder som fremdeles kan bidra til forurensning i sedimentene.

2.2.1 Kildekontroll i Stavanger kommune

Det er en forutsetning for å at tiltak som gjennomføres i forurensede sedimenter på sjøbunnen skal bli vellykkede at kildene til forurensingen er stoppet eller tilstrekkelig redusert. COWI (2015) konkluderer med at det ikke er dokumentert at dette er tilfelle for de delområdene som denne tiltaksplanen omfatter. Denne konklusjonen er basert på kartlegging av materiale i sandfangskummer (Eidem, 2012) og analyse av suspendert materiale i overvann.

Gjennomgangen av historiske og aktive kilder av COWI (2015) og Pettersen (2012) viser at det har vært en rekke forurensingskilder på land (slik som båtbyggeri, slipp og hermetikkfabrikker). De fleste av de historiske kildene er industri som ikke lenger er aktiv og der en forventer at spredningen fra disse kildene er stoppet. Det er likevel funnet

høye konsentrasjoner av flere miljøgifter i enkelte kummer i overvannsystemet og suspendert i overvannet (COWI 2015). Dessuten viser konsentrasjonsprofilen av flere tungmetaller i kjerneprøver at konsentrasjonen ikke reduseres til bakgrunnsnivå for flere av tungmetaller (UiB 2014 og COWI 2015). Kildene til denne spredningen kan være aktive utslipp fra eksisterende virksomheter, utlekking og gravevirksomhet og erosjon fra forurenset grunn, rengjøring av småbåter (Miljødirektoratet/NGI 2010) eller spredning fra mer diffuse kilder i urbane områder slik som veistøv og husmaling.

Foreliggende kildekartlegging og analyseresultater indikerer at det kan finnes aktive kilder tilfører forurensning til sjøbunnen i Stavanger. Dersom dette er tilfellet kan effekten av tiltak på sjøbunnen bli redusert grunnet rekontaminering. Det anbefales derfor at det gjøres ny prøvetaking tilsvarende den som er gjort av COWI (2015) og Pettersen (2012) av overvannssystemet for å dokumentere om det er en pågående aktiv spredning via overvannsnett. Forut for en slik ny undersøkelse bør sandfangskummene i området tømmes, slik at en er sikker på at den forurensning som eventuelt påvises ikke er fra historiske kilder.

Dersom det dokumenteres aktiv tilførsel av forurensning fra overvannsnett bør det gjennomføres kildekartlegging for å identifisere kildene til forurensningen og for å kvantifisere hvor mye som tilføres resipienten. Dersom en spredning fra land vurderes til å være for høy må det iverksettes tiltak for å redusere spredningen fra land til et akseptabelt nivå, slik at tiltakene i sjø gir en varig forbedring av forurensningstilstanden og slik at miljømålene kan oppfylles.

Data fra COWI 2015 viser at det er lave sedimentasjonshastigheter i tiltaksområdene (7 – 16 g/m²/d tilsvarer om lag 5 mm per år, vær oppmerksom på feil verdi for total tørrvekt fra sedimentfellene i tabell 35 og 36 i COWI 2015). Dette tilsier tiltakene i sjø også kan iverksettes før eventuelle arbeider mot kilder på land er ferdig. Dette innebærer imidlertid en risiko for rekontaminering av deler av områdene der det er gjort tiltak.

Avsnittene nedenfor beskriver forslag til hvordan en slik kildekartlegging kan legges opp.

2.2.2 Gjennomføring

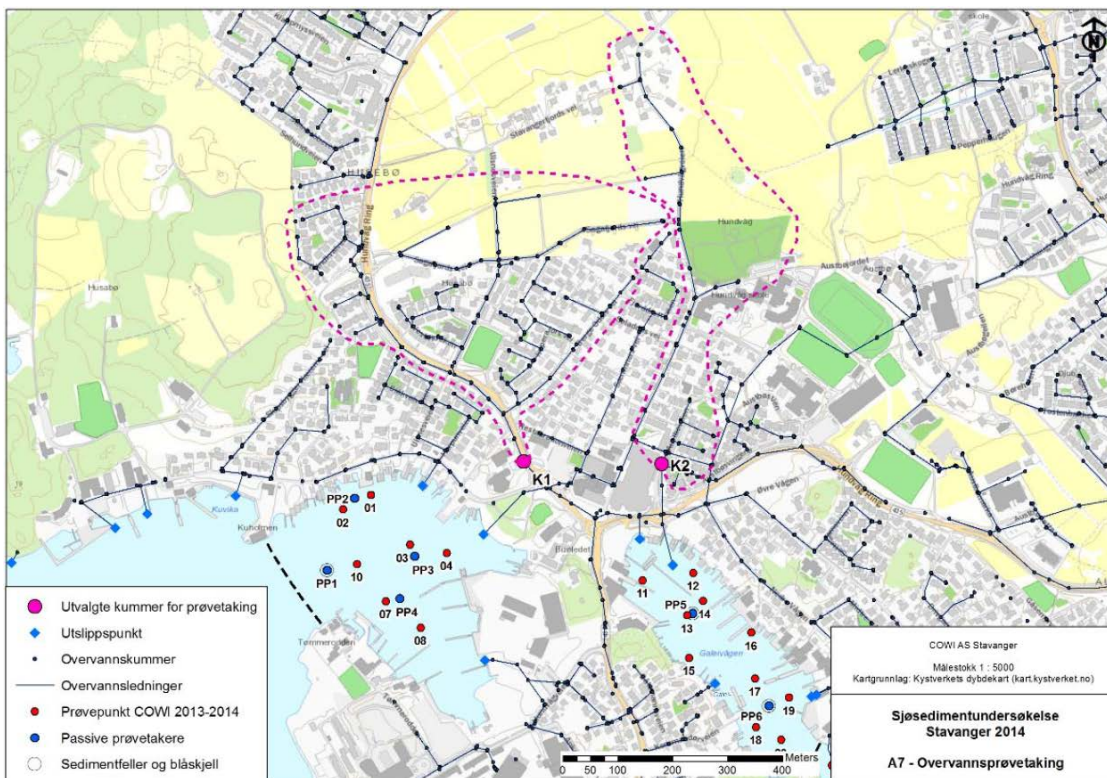
For å kvantifisere og redusere spredning av miljøgifter fra land anbefales følgende undersøkelser:

- Skaffe oversikt over eksisterende rutiner for tømming av sandfang og annet vedlikehold i overvannssystemet
- Skaffe oversikt over eksisterende planer for endringer, utbygging eller utbedringer av overvannsnett i området.
- Detaljert kildekartlegging
- Overvåkningsprogram for overvannet
- Hindre forurensning av overvann

- Innlekking fra forurenset grunn
- Utslipp fra småindustri
- Erosjon fra bygninger (PCB fra maling etc.)
- Behandle forurenset overvann
 - Samle opp overvann i felles ledninger til renseanlegg
 - Regelmessig tømning av eksisterende kummer og sandfang
 - Design av behandlingsløsninger

Detaljert kildekartlegging

En detaljert kildekartlegging gjøres for å skaffe bedre informasjon om hva som er de konkrete kildene til forurensningen som finnes i overvannsystemet og for å kvantifisere mengden partikler og forurensning som transporteres med overvannet over tid.



Figur 4 Overvannsnett i tiltaksområdet. Fra COWI (2015)

Kildesporing

For å gjøre en mer detaljert kildekartlegging anbefales det å gjøre en prøvetaking av kummene i alle overvannsledninger lengst nede i overvannssystemet. Dette er i stor grad dekket av undersøkelsen gjort av Eidem (2012), men det anbefales å gjenta undersøkelsen for at denne skal være komplett og oppdatert slik at utviklingen i transport med

overvann dokumenteres. Forut for en slik ny undersøkelse bør sandfangskummene i området tømmes, slik at en er sikker på at den forurensning som eventuelt påvises ikke er fra historiske kilder. Usikkerhet med hensyn på når de prøvetatte kummene er tømt før prøvetakingen betyr også at det er usikkerhet knyttet til innholdet av miljøgifter i materialet som transporteres med overvann. Dette betyr at denne transporten kan være noe høyere eller noe lavere enn det som er estimert i denne rapporten (jfr. Avsnitt 5.1).

I de kummene der det blir funnet høye konsentrasjoner av miljøgifter følger man overvannsledningen oppstrøms og prøvetar kummer lenger opp ved hver forgrening. Analysen av materialet i disse kummene vil kunne vise ved hvilken forgrening de ulike miljøgiftene kommer inn i systemet. Deretter kan samme metode følges oppstrøms i den forgreningen der forurensingen er funnet til et kildeområde er identifisert.

Kvantifisering av partikkel- og miljøgifttransport

Transport av partikler med overvann er svært avhengig av nedbørsintensitet og det er derfor viktig å måle mengde partikler som transporteres med overvann gjennom ulike nedbørsepisoder og over tid. Det anbefales derfor å installere automatiske prøvetakere som tar jevnlige prøver av overvannet og kan styres til å øke prøvetakingsfrekvensen når nedbøren eller partikkeltettheten i vannet øker.

Det anbefales å bruke denne prøvetakeren til å gjøre prøvetaking over et år og å samle prøver som representerer både perioder med lite og mye nedbør og vannmengde data underveis. Prøvene analyseres for konsentrasjon av partikler og innhold av miljøgifter i partiklene.



Figur 5 Automatisk prøvetaker i bruk (<http://www.isco.com/products/products1.asp?PL=201>)

Denne prøvetakingen koordineres med eventuelle eksisterende programmer for prøvetaking, inspeksjon eller vedlikehold i overvannssystemet.

Det kan også være aktuelt å gjøre en slik prøvetaking for å kvantifisere transporten av miljøgifter knyttet til enkelte kilder som er identifisert i løpet av kildesporingen.

Basert på erfaringene fra kildesporing og undersøkelsene for å kvantifisere transport lages det et overvåkningsprogram som skal ha til hensikt å gi grunnlag for å vurdere variabiliteten og utviklingen over tid i transport av forurensning med overvannet.

Tiltak for å hindre at forurensning tilføres overvannsnett

Basert på kildesporingen, tilsyn hos eventuelle næringsaktivitet som er sannsynlige kilder og eventuelle undersøkelser av transport fra identifiserte kilder gjøres det en vurdering av hvilke kilder som er de viktigste og det utarbeides planer for å redusere tilførsel av forurensning til overvannssystemet fra disse kildene.

Disse tiltakene vil være avhengig av hvilke kilder som blir identifisert som mest alvorlige, men kan inneholde tiltak som:

- Hindre innlekking i overvannsledninger fra forurenset grunn
 - Vurdere tilstand og behov for utbedring av overvannsledninger og kummer
 - Koordineres med utbyggingsprosjekter i området
- Hindre utslipp fra småindustri
 - Skipsverft mm
 - Småbåthavner
 - Utbedre sandfang og oljeutskillere i disse områdene

Der hvor det eventuelt blir identifisert utslipp fra eksisterende virksomheter, kan det være naturlig å vurdere om dagens utslippstillatelser og kontrollregime for disse virksomhetene er tilstrekkelige til å begrense utslippene slik at disse ikke medfører uakseptabel forurensning av sjøbunnen i resipienten.

Forurenset grunn kan være en viktig kilde til forurensning i overvann både ved at eksponert forurenset grunn kan gi forurenset overvann ved direkte nedbør og utlekking og erosjon fra den forurensete grunnen, ved utlekking og utvasking av partikler fra forurenset grunn som vaskes inn i utette overvannsledninger og pumping av byggegropsvann direkte til overvannsnett under bygging i forurenset grunn.

Tiltak for å behandle forurenset overvann

- En del kilder kan være vanskelig å gjøre tiltak mot for å hindre at de fører til tilførsel av forurensning til overvannssystemet. Dette vil for eksempel være diffuse urbane kilder som for eksempel biltrafikk
- Forurensning fra maling på bygninger (Eidem 2012)

For å redusere transport fra disse kildene til sjøområdene kan det gjøres ulike tiltak. Følgende metoder kan være aktuelle for å rense overvannet før dette kommer til sjøen:

- Regelmessig tømning (<50% fyllingsgrad til enhver tid)

- Design av egne behandlingsløsninger for overvann
 - Oppsamlingskummer
 - Sedimentasjonsdammer
 - Infiltrasjonsanlegg/filtersystem

Dette vil være langsiktige tiltak som det vil være særlig viktig å dimensjonere riktig og ta høyde for økte nedbørsmengder som følge av klimaendringer.

2.3 Kulturminner

Nettstedet kulturminnesøk.no gir mulighet til å søke på kulturminner registrert i kulturminnedatabasen Askeladden. Et slikt søk (søk gjennomført 2. desember 2015) resulterte i to funn på land ved Galeivågen (Figur 6). Disse kulturminnene er et bosetnings-/aktivitetsområde fra eldre steinalder sør vest for Galeivågen og et område med bergkunst fra bronsealder. Ingen av disse vil bli direkte berørt av tiltak i sjø. Det er likevel viktig å avklare med aktuelle kulturminnemyndigheter om hvilke undersøkelser som er nødvendige i forkant av et tiltak i sjø og om det vil bli nødvendig med oppfølging fra arkeolog i felt under gjennomføringen av eventuelle tiltak i sjø.



Figur 6 Resultat fra søk på kulturminnesøk.no

2.4 Beskrivelse av de enkelte delområdene

2.4.1 Indre Bangarvågen

Geografisk beskrivelse:

Området 1 indre Bangarvågen er avgrenset av sundet mellom Kuholmen og Tømmerodden. Området er delvis skjermet men kun i kontakt med ytre Bangarvågen gjennom det overnevnte sundet. Området er relativt grunt, med det dypeste punktet på kote -13, og ca. 75 % av området er grunnere enn kote -10.

Historiske kilder:

- Tidligere kommunalt deponi (søppelfylling).
- Maling- og lakkfabrikk,
- Opphugging av gamle krigsskip og hermetikkfabrikk.
- "Essobasen", potensiell forurensning i grunnen
- Brannøvingsfelt på Tømmerodden
- Urenset spillvann.
- I ytre Bangarvågen er forsvarets base på Ulsneset lokalisert i nord, mens Kværner Oil and Gas er lokalisert i sør.

Mulige aktive kilder:

- Småbåttaktivitet
- I flere områder har det vært fylt ut i sjø med ukjente fyllmasser
- Det er mulig at det er spredning av miljøgifter fra forurenset grunn ved "Essobasen". Disse massene har ikke blitt undersøkt (status 2014). Mulighet for forurenset grunn ved Tømmerodden. Det er uklart om disse kan være kilde til miljøgifter i sedimentet.
- Overvann fra industriområder og byområder
- Resuspensjon av partikler med forurensning fra sjøbunnen

Nåværende arealbruk:

Småbåttvirksomhet med ca. 100 småbåtplasser. Naust og servicebedrifter knyttet til småbåter. Boliger og restaurant. Rekreasjon og friluftsbuk.

Båttrafikk:

Skoleskipet Grann (108,5 m langt og 4,74 m dyptgående) opererer i indre Bangarvågen. For øvrig er det for det meste småbåter som trafikkerer området. Under gjennomføring av utfyllingsprosjekt med masser fra Ryfast er det betydelig aktivitet med transportleker i området.

Naturverdier

Det har blitt gjort observasjoner av truede fuglearter i området. I den nordlige delen av Bangarvågen er det en ålegressbiotop på sjøbunnen. Denne er vurdert som nasjonalt viktig (NIVA/Naturbase 2012). Ecofact undersøkte denne ålegressengen igjen i 2015 og fant at denne var redusert fra 67 000 m² i 2012 til om lag 30 000 m² i 2015. Denne ligger på 1 til 9 m dyp (Figur 7). Dersom det blir aktuelt med tiltak i sjø i områdene med ålegresseng må det gjøres en avveining mellom verdien av enga og verdien av redusert forurensning og effekt av ulike tiltaksmetoder før tiltaksmetode velges for dette område (se kapittel 6).



Figur 7 Venstre: Utbredelse av Ålegress i Bangarvågen per oktober 2015 (Ecofact, 2015). Arealet av den største delen av dette ålegressområdet i nordenden av Bangarvågen er om lag 23 500 m². Høyre: Ålegressområdet som angitt i Naturbase.

2.4.2 Indre Galeivågen

Geografisk beskrivelse:

Som Bangarvågen, er indre Galeivågen et delvis skjermet området og avgrenses av sundet mellom indre og ytre Galeivågen. Maksimal dybde er ved kote -5,7 m. Ca. 500 meter lang og 150 meter bred. Innsnevring (ca. 40 meter) og terskel på 3,3 m dyp mellom indre og ytre Galeivågen.

Historiske kilder:

- Småbåtaktivitet, som kan medføre forurensning av tungmetaller, PCB, PAH, olje og tinnorganiske forbindelser.
- Overvann fra industriområder og byområder.
- Hermetikkfabrikk.
- Motorfabrikk, båtbyggeri og slipp, som kan ha medført forurensning av bly, kadmium, kobber, krom, kvikksølv, nikkel, sink, PAH, klororganiske stoffet, PCB, tjære, tinnorganiske forbindelser, blyorganiske stoffer, løsemidler (BTEX) og olje.

Mulige aktive kilder:

- Småbåtaktivitet
- Overvann fra industriområder og byområder
- Resuspensjon av partikler med forurensning fra sjøbunnen
- Industri
 - Hundvåg Båt og Karosseri AS
 - Bilpleieprodukter

Nåværende arealbruk:

Småbåtvirksomhet, ca. 165 småbåtplasser. Naust og servicebedrifter knyttet til småbåter. Boliger og restaurant. Bolig, rekreasjon og friluftsbruk.

Båttrafikk:

Området trafikkeres av fritidsbåter dessuten har slepebåten Rondo og en sightseeingbåt tilholdssted i indre Galeivågen.

Naturverdier

Det har blitt gjort observasjoner av truede fuglearter i området. Det er ingen registreringer i Naturbase.no.

2.4.3 Ytre Galeivågen

Geografisk beskrivelse:

Området ligger mellom indre Galeivågen og Jadarholm. Det er en innsnevring (ca. 40 meter) og en terskel på kote -3,3 meter mellom indre og ytre Galeivågen. Ytre Galeivågen er ca. 450 meter lang og 150-200 meter bred. Ved munningen mellom Buøy (Myraneset) og Jadarholm er bredden ca. 75 meter. Terskelen ved munningen er 6,7 m dyp.

Historiske kilder:

- Her har det vært fiskemottak og fiskeforedling
- Båtbyggerier, båtoppbygging og båtmotorfabrikker.
- Notbarking og notimpregnering på området fram til sildefisket sluttet på 1960 tallet.
- Skipsoppbygging, metallskrapvirksomhet på Jadarholm. Det er utført omfattende sanering av forurenset jord på land på Jadarholm, i forbindelse med arealbruksendring fra industri til boliger. Aktiviten på Jadarholm framstår som den historisk største bidragsyteren til forurensning av sjøbunnen i ytre Galeivågen og rundt Jadarholm.

Mulige aktive kilder:

- Småbåtaktivitet
- Overvann fra industriområder og byområder
- Resuspensjon av partikler med forurensning fra sjøbunnen

Nåværende arealbruk:

Bolig, rekreasjon og friluftsbredning. Småbåtvirksomhet med over 300 småbåtplasser. Naust og servicebedrifter knyttet til småbåter. Boliger, friluftsområde med lekeplass og bade-plass.

Båttrafikk:

Området trafikkeres blant annet av fritidsbåter samt slepebåten Rondo og en sightseeing-båt i indre Galeivågen.

Naturverdier

Det har vært registrert observasjoner av truede fuglearter.

2.4.4 Området rundt Jadarholmen

Geografisk beskrivelse:

Relativt flat og grunt, med fallende sjøbunn øst og sør. Det er her benyttet samme avgrensning av delområdene som har blitt gjort tidligere og beskrevet i COWIs rapport fra 2015.

Historiske kilder:

- Skipsopphuggingsfirma og virksomhet knyttet til metallskrap.
- Notbarking og notimpregnering på området fram til sildefisket sluttet på 1960 tallet.
- Det er utført omfattende sanering av forurenset jord på land, i forbindelse med arealbruksendring fra industri til boliger.
- Aktiviteten på Jadarholm framstår som den historisk største bidragsyteren til forurensning av sjøbunnen i ytre Galeivågen og rundt Jadarholm.

Mulige aktive kilder:

- Gjenværende forurensede masser på land
- Avrenning av overvann fra forurenset grunn
- Resuspensjon av partikler med forurensning fra sjøbunnen

Nåværende arealbruk:

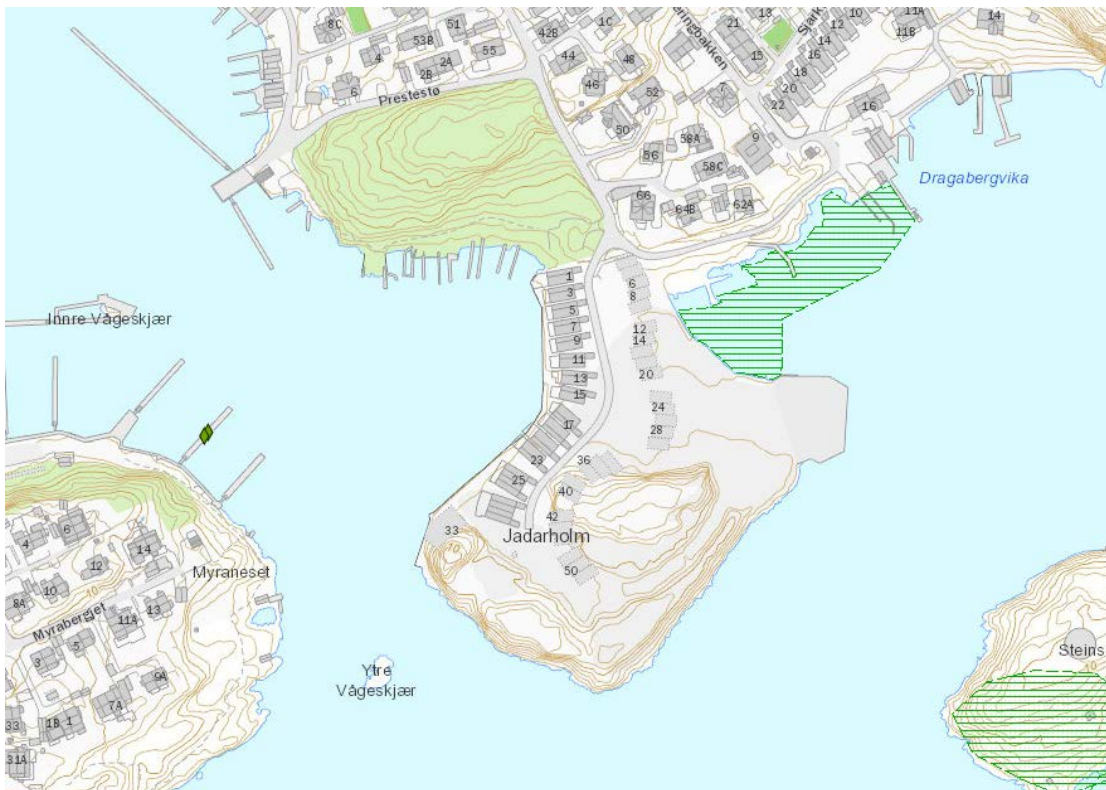
Bolig og friluftsområde.

Båttrafikk:

Småbåttrafikk, samt fartøyer som passerer inn til indre- og ytre Galeivågen.

Naturverdier

Øst for Jadarholm er det i www.naturbase.no registrert et bløtbunnsområde i strandsonen som er kategorisert som "lokalt viktig" (Figur 8). Det har vært observert truede fuglearter.



Figur 8 Funn i naturbase.no ved Jadarholm

2.5 Strømforhold

COWI beskriver strømsituasjonen i delområdene i rapporten fra 2015. Oppsummert så er indre Bangarvågen, indre og ytre Galeivågen beskyttede områder med begrenset vannutskiftning. I indre Bangarvågen og ytre Galeivågen anslås utskiftning av bunnvannet til en gang per måned, mens for indre Galeivågen anslås utskiftning 3,5 ganger per år. Vannutskiftningen drives av tidevann og avrenning fra land mens, tersklene begrenser vannutskiftningen. Den begrensede vannutskiftningen kan føre til anoksiske forhold i bunnvann i perioder.

3 Forurensningstilstand i sjøbunnen

Tiltaksområdene som er vurderte her er deler av to ulike vannforekomster; Stavangerfjorden Indre og Stavanger Havn. Begge disse vannforekomstene oppnår per i dag ikke god kjemisk tilstand, mens den økologiske tilstanden karakteriseres som moderat (Vannnett.no). I vedlegg C er det presentert forurensningstilstand for seks stoffer i tiltaksområdet. Figurene er hentet fra COWI/NGI (2013).

Det har også blitt utført risikovurdering trinn 1, 2 og 3 av sedimentene i tiltaksområdene, COWI (2014 og 2015). I den forbindelse har det blant annet blitt utført sedimentprøvetaking for kjemiske analyser, toksisitetstester, bioakkumuleringstest, porevannsanalyser, samt sedimentfeller, blåskjellsanalyser, passive prøvetakere, miljøgifter i fisk, hummer og nettsnegl og prøvetaking av partikkelbunden forurensningstransport i overvann. Resultatene fra risikovurderingen viser at det både er risiko for human helse og for økologiske effekter. Det er også kostholdsråd knyttet til kvikksølv i torsk og til konsum av blåskjell i enkelte områder (http://www.matportalen.no/uonskedestoffer_i_mat/tema/miljogifter/endrer_sjomatadyr_arsel_for_stavanger). Det er derfor behov for tiltak i alle de fire aktuelle delområdene. For detaljer om forurensningstilstand henvises det til COWI/NGI (2013) og COWI (2015). Nedenfor er en liten oppsummering av konklusjonene fra de rapportene. Det har også blitt utført en undersøkelse av materiale fra sandfangkummer i delområde 1, 2 og 3 (Eidem, 2012).

COWI har i sin rapport fra 2014 sammenliknet konsentrasjoner av miljøgifter i sedimentene i perioden 2001-2004 med 2013, samt sammenliknet konsentrasjoner av miljøgifter i sandfangkummer, på sjøbunn og i sedimentfeller. Tabeller fra disse sammenlikningene er gitt i vedlegg A.

3.1 Område 1 Indre Bangarvågen

Kart i vedlegg C viser klassifisering av tilstanden i sedimentet basert på konsentrasjon av ulike miljøgifter. COWIs rapport fra 2013 konkluderer med at de viktigste forurensningsparametere i sedimentet i indre Bangarvågen er bly, kobber, kvikksølv, PAH og TBT. Sammenligning med sedimentundersøkelser fra 2001-2004 indikerer at det har skjedd en reduksjon i konsentrasjon av kvikksølv og en økning i konsentrasjonen av PCB i sedimentene siden 2001-2004.

Effekten av en eventuell naturlig restitusjon i de ulike delområdene og hva som kan forventes å bli tilstanden i den nye sjøbunnen som dannes etter et eventuelt tiltak på sjøbunnen vil være påvirket av kvaliteten på det materialet som sedimenterer og danner ny sjøbunn.

Undersøkelser av innholdet av miljøgifter i slam fra sandfangkummer og i suspenderte partikler som transporteres med overvannet kan brukes til å vurdere hva kvaliteten på ny sjøbunn etter tiltak vil bli. Materiale som samles opp i sedimentfeller kan også si noe om hvordan konsentrasjonen i overflatesedimentet forventes å utvikle seg.

Prøvene fra sandfangskummene representere materiale som kan transporteres til sedimentene, altså potensiell spredning fra aktive kilder på land. Materialet fra sandfangskummene har ikke blitt analysert for innhold av TBT.

Områdene hvor sedimentfellene har vært plassert har vært så grunne at innholdet i sedimentfellene kan inneholde en kombinasjon av tilførsel av nye partikler til sedimentene fra land og resuspenderte partikler fra sjøbunnen. Resuspenderingen vil være et resultat av bølger og strøm, samt propelloppvirvling fra båter i området.

Oppsummering delområde 1 indre Bangarvågen:

- Sannsynlig at tilførsel av Hg er redusert betydelig.
- Potensielt betydelig tilførsel av Pyren, PCB og TBT
- Overvann og avrenning fra land kan fremdeles være en kilde til konsentrasjonene av miljøgifter i sedimentene.
- Det er observert høye nivåer av kobber og TBT i sedimentene
- Det er registrert høye konsentrasjoner av metylkvikksølv i sedimentene i indre Bangarvågen
- Ålegrassenger i Bangarvågen er karakterisert som nasjonalt viktige

3.2 Område 2 Indre Galeivågen

Kart i vedlegg C viser klassifisering av tilstanden i sedimentet basert på konsentrasjon av ulike miljøgifter. De viktigste forurensningsparametere i indre Galeivågen er bly, kvikksølv, kobber, PAH, PCB og TBT. Det ble påvist en markant hotspot med hensyn på TBT i 2015. Denne hotspotten er ikke påvist i tidligere undersøkelser.

Det ikke registrert en klar nedgang i konsentrasjoner i sedimentene de siste 15 årene. Det er, som for Bangarvågen, registrert en økning i konsentrasjonen av PCB i sedimentene.

Oppsummering delområde 2 indre Galeivågen:

- Potensiell tilførsel av Hg og TBT
- Dårlig utskiftning av bunnvannet
- Overvann og avrenning fra land kan være en viktig kilde til konsentrasjonene av miljøgifter i sedimentene.

3.3 Område 3 Ytre Galeivågen

Kart i vedlegg C viser klassifisering av tilstanden i sedimentet basert på konsentrasjon av ulike miljøgifter. De viktigste forurensningsparametere i ytre Galeivågen er bly, sink, kvikksølv, kobber, PAH, PCB og TBT. Som for indre Bangarvågen er det registrert en reduksjon i konsentrasjonen av kvikksølv i sedimentene de siste 15 årene og en økning av konsentrasjonen av PCB. De øvrige analyserte parameterne er i tilnærmet samme nivå.

Oppsummering delområde 3 ytre Galeivågen:

- Potensiell høy tilførsel av Hg og andre miljøgifter
- Det er observert høye nivåer av miljøgifter i sedimentene
- Dårlig utskiftning av bunnvannet, men bedre enn for indre Galeivågen
- Overvann og avrenning fra land er en svært viktig kilde til konsentrasjonene av miljøgifter i sedimentene.

3.4 Område 4 Området rundt Jadarholmen

Kart i vedlegg C viser klassifisering av tilstanden i sedimentet basert på konsentrasjon av ulike miljøgifter. COWI konkluderte i 2015 at de viktigste forurensningsparameterne ved Jadarholm er bly, kvikksølv, kobber, nikkel, sink, PAH, PCB og TBT.

Det er registrert en økning av konsentrasjon av nikkel og PCB i sedimentene i området rundt Jadarholm de siste 15 årene, mens det ikke er registrert en markant endring i konsentrasjonen i de andre målte parameterne.

Gjennomsnittskonsentrasjonen av kvikksølv, pyren, PCB-7 og TBT i materialet i sedimentfellene er om lag lik eller noe lavere enn i dagens sjøbunn. Det vil si at uten tiltak i sedimentene, kan man forvente at konsentrasjonene av miljøgifter i sedimentene gradvis vil gå ned. Konsentrasjonene i det sedimenterende materialet tilsvarer likevel klasse III – V. Gitt at sedimentfellene ikke er påvirket av oppvirvlet sediment kan det være behov for ytterligere kildekontroll på land for å hindre at et gjennomført tiltak påvirkes negativt ved rekontaminering.

Oppsummering delområde 4 Jadarholm:

- Potensielt høy tilførsel av Hg og andre miljøgifter
- Det er observert høye nivåer av miljøgifter i sedimentene
- Tidligere industriområde på land, hvor forurenset grunn har blitt sanert
- Det er gjenværende forurenset grunn etter saneringen, i et en meter bredt belte fra strandlinja
- Overvann og avrenning fra land må kartlegges i dette området.

3.5 Utførte tiltak/endrede forhold siden risikovurderingen

Statens Vegvesens benytter overskuddsmasser fra Ryfast utbyggingen til å bygge nye landarealer i ytre Bangarvågen. I tillegg planlegges det å benytte en del av overskuddsmassene til tildekking av forurensete sedimenter i dypere deler av sjøområdene.

I forbindelse med utbygging av Ryfastsambandet gjøres det anleggsarbeider som berører indre delen av Bangarvågen. I den forbindelse skal forurenset grunn i dette området håndteres og fjernes eller isoleres (Statensvegvesen 2013, søknad om Utfylling Buøy, referanse 2013/068258-001). Dette kan bidra til å hindre avrenning fra forurenset grunn i dette området.

4 Miljømål

4.1 Lokale forvaltningsmål

Det overordnede miljømålet for tiltaksområdene er god økologisk og kjemisk tilstand. COWI/NGI (2013) tolket miljømål satt av Fylkesmannen i Rogaland i 2004, sammen med Vannforskriften og Naturmangfoldloven på følgende måte:

- Det skal ikke pågå spredning til andre områder som medfører kostholdsråd eller hindrer oppheving av kostholdsråd
- Sedimentenes tilstand skal ikke være så dårlig at det medfører kostholdsråd
- Forurensningstilstanden i sedimentet skal på sikt kunne bedres
- Forurensningstilstanden i sedimentene skal ikke utgjøre en risiko for helse ved områdets arealbruk
- Forurensningskonsentrasjonen i sedimentet skal ikke medføre konsentrasjoner i overflatevann over tilstandsklasse II for sjøvann
- Forurensningskonsentrasjonen i sedimentet skal ikke være så høy at arter som naturlig finnes i området ikke kan leve der

Det gjeldende kostholdsrådet i Stavanger er fra september 2015, hvor det advares mot konsum av filet av torsk og blåskjell, basert på konsentrasjoner funnet av kvikksølv, PAH og PCB.

Disse miljømålene ansees å fungere som lokale forvaltningsmålene for Stavanger kommune. Disse målene setter opp visjoner om at tiltak i forhold til vannforekomsten skal bidra til å bedre tilstanden i denne både i forhold til innhold av miljøgifter i sediment og i organismer og at det på sikt skal være mulig å oppheve kostholdsråd og bidra til bedring av tilstanden i vannforekomstene.

4.2 Tiltaksmål basert på forvaltningsmålene

De definerte miljømålene er langsiktige og ikke alltid like målbare. I forbindelse med tiltak i de aktuelle områdene ønskes det å sette konkrete miljømål for de anbefalte tiltaksmetodene, som er målbare og operasjonelle.

Tiltaksmålene er laget med tanke på å etablere konkrete krav til tiltakene som skal gjennomføres for at disse skal kunne bidra til oppnåelse av miljømålene. Disse er utarbeidet ved å ta hensyn til brukerinteresser og påvirkninger. Disse målene kan brukes til å evaluere miljøgevinsten (tiltakseffektivitet) på kort og lang sikt.

Tiltaksmålene er nært knyttet til hvilken tiltaksmetode som skal benyttes det er derfor utarbeidet egne tiltaksmål for hvert tiltaksmetode beskrevet her. Disse er brukt til å formulere spesifikke tiltaksmål for hvert delområde (se kap. 6).

Her er aktuelle tiltaksmål for de ulike tiltaksmetodene beskrevet. Tiltaksmål for de enkelte delområdene er gjentatt under avsnittet som beskriver tiltaksløsninger for disse.

Mudring

Etter avsluttet mudring skal det ikke ligge igjen sediment med konsentrasjoner tilsvarende farlig avfall

Og:

Etter avsluttet mudring skal sedimentene i overflaten (0 – 10 cm) ha TK II og på sikt skal mudringen føre til at spredning fra sjøbunnen og eksponering av miljøgifter til bunnlevende organismer reduseres med 80% i forhold til situasjon før tiltak, og at tilstanden i sedimentet skal være klasse III eller bedre. Miljømål om at sjøbunnen skal være i tilstandsklasse III eller bedre på sikt begrunnes med at tilførsler fra land fremdeles kan føre til noe forurensing av sjøbunnen. I slike tilfeller er det anbefalt å bruke klasse III som tiltaksmål (Miljødirektoratet 2015).

Isolasjonstildekking

Sjøbunnen like etter tildekking skal være klasse II og egnet for rekolonisering av lokale arter. På sikt skal tildekkingen føre til at spredning fra sjøbunnen og eksponering av miljøgifter til bunnlevende organismer reduseres med 80% i forhold til situasjon før tiltak og at tilstanden i sedimentet skal være klasse III eller bedre.

Tildekkingslagets tykkelse skal i 80% av arealet være design tykkelse og i resten av arealet må tykkelsen ikke være mindre enn 50% design tykkelse. Design tykkelse for anbefalt tildekking er beskrevet for hvert delområde.

AC-behandling

På sikt skal AC-behandlingen føre til at spredning fra sjøbunnen og eksponering til bunnlevende organismer for miljøgiftene PAH, PCB, TBT og kvikksølv reduseres med 80% i forhold til situasjon før tiltak.

5 Tiltaksmetoder

Som nevnt tidligere viser risikovurderingen av sedimentene i Stavanger kommune at det er overskridelser av grenseverdiene for risiko for spredning, for human helserisiko og for økologisk risiko i alle i de fire delområdene delområdene; Bangarvågen, indre og ytre Galeivågen og Jadarholm (COWI 2015). Betydelige konsentrasjoner av metaller og enkelte organiske miljøgifter i slammet fra sandfangskummene og i suspendert materiale i overvannsprøver indikerer at overvannet kan være en viktig aktiv tilførselsvei for forurensing til sjøbunnen. Det må gjøres nye undersøkelser for å dokumentere betydningen av denne kilden.

På bakgrunn av dette er det anbefalt at undersøkelser og tiltak for å redusere kilder på land gjøres parallelt med tiltak i sjø.

Tildekking med rene masser har oftest gitt de beste resultatene i form av forbedret kvalitet på sjøbunnen på kort og lang sikt (NGI 2014) og er derfor hovedtiltaksstrategien som er anbefalt i denne planen. I noen områder vil det være nødvendig å mudre sedimenter før tildekking. På de grunne områdene langs nordsiden av Bangarvågen er det en ålegress forekomst av høy verdi som man sannsynligvis ønsker å beholde levedyktig og av høy kvalitet også etter gjennomføringen av et tiltak. Her er det derfor foreslått å undersøke om behandling med AC kan redusere risiko knyttet til miljøgiftene i sedimentet og samtidig bevare ålegressengas kvalitet på sikt. Andre tilnærminger til dette er også vurdert

Tabell 2 presenterer de vurderte tiltaksmetodene. Tiltaksmetodene blir diskutert nærmere i egne delkapitler der disse metodene er vurdert i forhold til tiltakseffektivitet, gjennomførbarhet, kostnad og sekundære effekter på for eksempel eksisterende naturverdier eller kulturminner i området.

Kapittel 6 beskriver tiltak som er anbefalt i de ulike delområdene, her beskrives ulike alternative kombinasjoner av tiltak og kostnader knyttet til disse.

Tabell 2 Tiltaksmetoder med virkemåter

Tiltaksmetode	Virkemåte
Overvåket naturlig restitusjon	Tildekking av forurenset sediment med renere masser kan skje naturlig over tid. Overvåkning av utviklingen i tilstand, spredning og risiko i overflatesedimentet for å dokumenter effekten
Kildekontroll	Kontroll og begrensning av spredning av forurensing via overvann og andre aktive kilder på land som vil bidra til naturlig restitusjon i sedimentene.
Mudring	Mudring av forurenset sediment og deponering av de mudrede massene i egnet deponi.
Tildekking	Tildekking av de forurensete sedimentene med et isolerende lag med rene masser, for å hindre utlekking av miljøgifter fra sedimentet.
Behandling med aktivt kull (AC)	Tilsetning av aktivt kull til overflatesedimentet for å binde miljøgifter slik at tilgjengeligheten for økosystemet reduseres.

5.1 Modellering av utviklingen av konsentrasjonen av miljøgifter i sediment

NGI har brukt tilgjengelige data fra COWI (2015) og underliggende rapporter til å estimere utviklingen i konsentrasjonen av Hg, PCB-7, PAH kongeneren pyren og TBT. Det er kjørt scenarier for delområdene Bangarvågen, indre Galeivågen, ytre Galeivågen og Jadarholm.

NGIs fjordmodell er brukt til beregningene, og er en integrert modell som er basert på de viktigste mekanismene for fordeling og transport av miljøgifter i fjorder og avgrensede marine systemer. Modellen benytter stedsspesifikke inngangsdata der dette er tilgjengelig, og det benyttes ellers litteraturverdier og erfaringsdata. Teknisk dokumentasjon av modellen er presentert i et eget teknisk notat (NGI 2016).

De viktigste resultatene kan oppsummeres som følger:

1. Resultatene fra modellberegningene viser at det i alle de fire tiltaksområdene pågår en forholdsvis sakte forbedring i sedimentkonsentrasjon. Denne forbedringen kan ikke forventes å medføre en forbedring av sedimentkvaliteten til tilstandsklasse II (tiltaksmål for sedimentkvalitet) selv i overskuelig framtid. Dette skyldes at nåværende konsentrasjoner i materialet som tilføres sjøbunnen fra kilder på land er for høy.
2. Ved en aktiv saneringen av kilder på land, her satt til en 90 % reduksjon i konsentrasjonen av miljøgifter i materialet som tilføres tiltaksområdene, vil tiltaks målet om sedimentkvalitet tilsvarende tilstandsklasse II eller bedre kunne oppfylles på sikt. Tidsforløpet på denne restitusjonen, etter at kildene er tilstrekkelig sanert, er imidlertid lang og i størrelsesorden mer enn 20 år. Årsaken til dette lange

tidsforløpet er den lave naturlige sedimentasjonshastigheten i tiltaksområdene, samt det antatte bioturbasjonsdypet på 10 cm som bringer forurensning til overflaten.

3. Ved å dekke til sedimentene med rene masser (antatt virkningsgrad 95 %) oppnås umiddelbart en klar forbedring av tilstanden i overflatesedimentet. Erfaringer fra andre tildekkingsprosjekter viser at tilstandsklasse I-II oppnås for de fleste stoffer etter en tildekking. Modellens estimater viser imidlertid at uten tilstrekkelig kildekontroll vil tiltaksområdet kunne bli rekontaminert.

5.2 Overvåket naturlig restitusjon

5.2.1 Generelt

Sedimenterende materiale vil hele tiden fornye sjøbunnen i akkumulasjonsområder og innholdet av forurensning i dette materialet vil etter hvert definere tilstanden i den nye sjøbunns-overflaten. Dersom denne strategien benyttes som en tiltaksmetode kalles det overvåket naturlig restitusjon.

Suksessen til overvåket naturlig restitusjon avhenger av at de naturlige prosessene (fysiske, kjemiske eller biologiske) i tiltaksområdet har evnen til å isolere, fjerne eller redusere biotilgjengeligheten eller toksisiteten til miljøgiftene (Fuchsman, Bell et al., 2014). I Miljødirektoratets veileder *Håndtering av sedimenter* (M-350/2015) er denne tiltaksmetoden nevnt som et mulig tiltak i områder med tilstrekkelig høy nok sedimenteringsrate av rene sedimenter som sikrer et renere miljø innen en akseptabel restitusjonstid. Videre heter det at andre tiltaksalternativer må i tillegg vurderes som lite gjennomførbare, grunnet forventet null-effekt, høye kostnader, fraværende miljøeffekt eller andre praktiske årsaker (Miljødirektoratet, 2015).

Dette tiltaksalternativet vurderes her som et null-alternativ som de andre tiltaksalternativene kan sammenlignes med. En viktig del av dette alternativet vil være å gjennomføre en grundig overvåkning slik at man kan dokumentere om denne strategien har ønsket effekt. En viktig forutsetning for naturlig restitusjon er en tilstrekkelig høy sedimentasjonsrate. Undersøkelsene med sedimentfeller viser at denne forutsetningen ikke er tilstede i disse fire delområdene. Den lave sedimentasjonshastigheten vil gi en alt for lang tidshorison for oppnåelse av satte miljømål, slik at denne tiltaksmetoden ikke er relevant for dette området.

5.2.2 Tiltakseffektivitet

Naturlig restitusjon er avhengig av at sedimenterende materiale er relativt rent, og i tilstrekkelig mengde. For å oppnå miljømålene forutsettes det at det har skjedd en betydelig reduksjon i de kilder på land.

Som beskrevet i kapittel 3 har tidligere undersøkelser (COWI 2015) av konsentrasjon av miljøgifter i materialet funnet i overvannskummer og i sedimentfeller vist at konsentrasjonen i dette materialet i samme størrelsesordenen som konsentrasjonen i overflate-sedimentet for mange stoffer. Modelleringen av denne utviklingen viser at det kan skje en viss forbedring i noen områder for noen stoffer, men at naturlig restitusjon ikke forventes å kunne oppfylle miljømålene alene.

5.3 Mudring

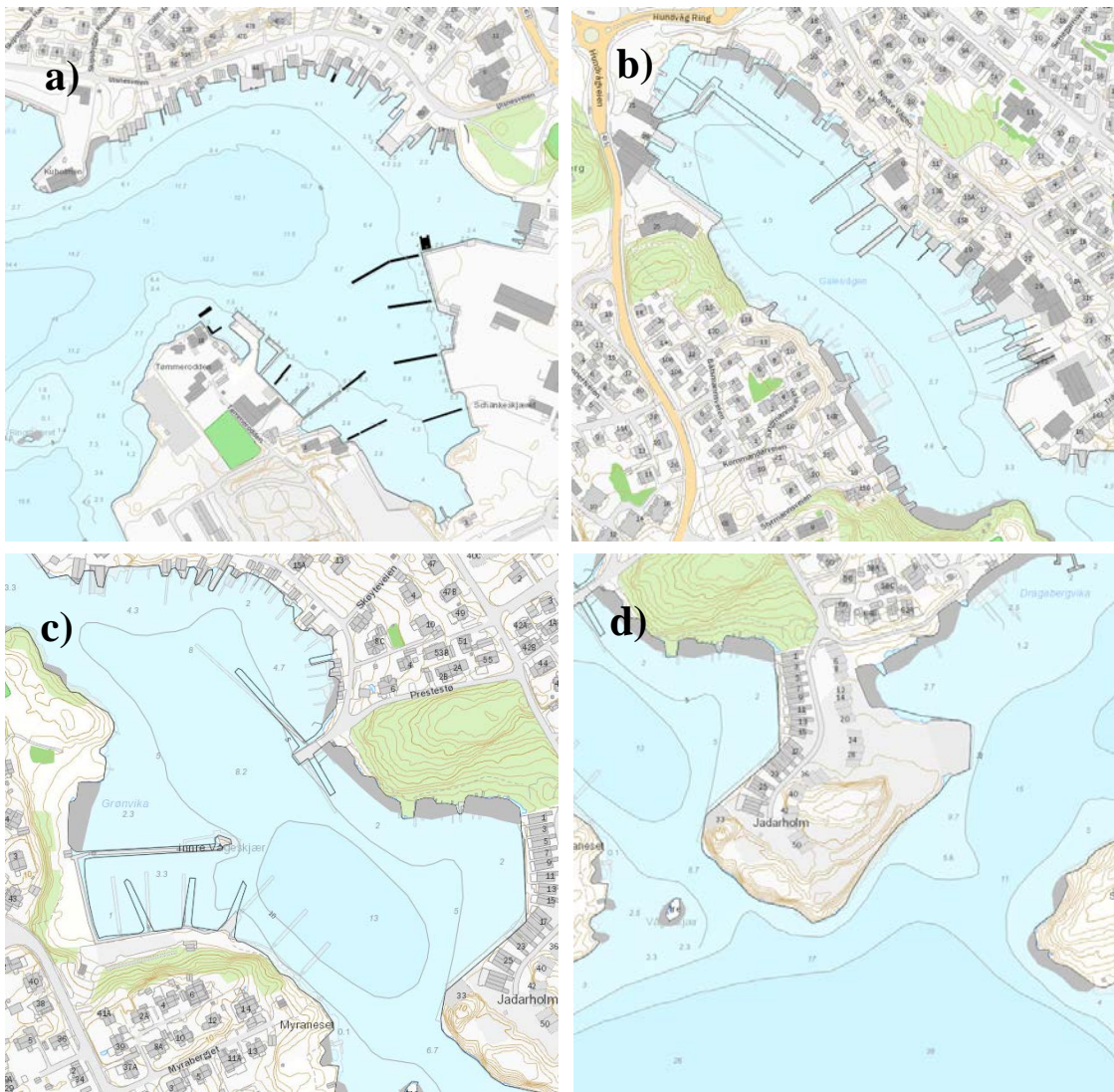
5.3.1 Generelt

Hensikten med mudring som miljøtiltak er å fjerne sedimentene som er forurenset og isolere disse slik at eksponering og spredning stanses. Oppnås en ren sjøbunn etter mudringen kan tiltakseffektiviteten av et slikt tiltak være høy.

Mudring benyttes oftest som tiltak i områder der seilingsdypet må opprettholdes, men kan også være et tiltaksalternativ i andre situasjoner. Metoden fjerner mye av det forurensete sedimentet, men gjenværende forurensing etter mudring eller rekontaminering av sjøbunnen som følge av spredning under mudringen er en betydelig utfordring. Dette gjør at det ofte er nødvendig å dekke til de mudrede områdene for å tilfredsstillere tiltaksmålene. En annen vesentlig utfordring med mudring er at de mudrede massene må avvannes og deponeres i godkjent mottak.

5.3.2 Mudringsbehov

Ettersom mudring er et utfordrende og kostbart tiltaksalternativ anbefales det at mudring kun benyttes i områder hvor det er nødvendig å opprettholde et visst farledsdyp. Dersom tildekking velges som tiltaksalternativ vil tildekkingslaget redusere dybden, noe som kan bety utfordringer for båttrafikk i grunne områder. I disse områdene kan det derfor være nødvendig å mudre ned til et dyp slik at den resulterende dybden etter tildekking tilfredsstiller ønsket seilingsdyp. Store deler av indre Galeivågen, samt deler av ytre Galeivågen er svært grunn. Her kan mudring før tildekking være aktuelt i område med båttrafikk.



Figur 9 Tiltaksområder med bunnforhold a) Bangarvågen, b) indre Galeivågen, c) ytre Galeivågen, d) Jadarholm

5.3.3 Gjennomføring

Som beskrevet i kapittel 5.3.2 anbefales det at mudring begrenses til områder hvor det er nødvendig å opprettholde et visst farledsdyp. Da anbefales videre at mudringen kombineres med en tildekking, slik at mudringen begrenses til et dyp som gjør at påfølgende tildekking ikke reduserer ønsket seilingsdyp.

Mudringen kan utføres lagvis i hele tiltaksområdet, eller ved å mudre ett og ett delområde fullstendig. Begge disse alternativene vil medføre at dypere sedimentlag med høyere konsentrasjoner av forurensning blir eksponert, dersom det ikke er mulig å mudre ned til underliggende rene masser. Dette kan føre til en forhøyet utlekking av miljøgifter

fra sedimentet. Det er derfor viktig at tiltakene prosjekteres slik at tidsrommet mellom mudring og påfølgende tildekking minimeres.

Mudring av deler av sedimentene i tiltaksområdene vil innebære håndtering av sterkt forurensete masser og vil bety en risiko for eksponering til personell som jobber på anlegget. Denne risikoen vil også måtte vurderes og tas hensyn til ved utarbeidelse av HMS-plan for et slikt prosjekt.

Mudringen kan gjennomføres som gravemudring, sugemudring eller mekanisk / hydraulisk mudring. Disse metodene er beskrevet under.

Gravemudring

Gravemudring forutsetter at sedimentene er relativt faste. Da løftes forurenset sediment opp fra sjøbunnen til en lekter ved hjelp av en grabb. Gravemudring er godt egnet for indre havneområder hvor mudringsvolumet er begrenset og hvor det kan være utfordringer relatert til skrot og søppel i sedimentet og tilgjengelighet. Det anbefales ikke å benytte gravemudring dersom vanninnholdet i sedimentet er høyt (>> 50%).

Sugemudring

Sugemudring er egnet for bløte til svært bløte sedimenter. Sedimentmassene må være relativt flytende for at mudringsutstyret skal klare å pumpe det opp fra sjøbunnen. Det blir derfor blandet inn vann under mudringen for å fasilitere pumpingen. Denne metoden er mindre egnet dersom det kan være mye skrot, søppel og andre fremmedlegemer i sedimentet, og krever derfor at sjøbunnen ryddes før tiltaket. Der er også behov for håndtering av store mengder vann.

5.3.4 Avvanning av mudrede masser

Sedimentene i Stavanger havn har et vanninnhold på mellom 40 og 70 %. I tillegg vil en måtte regne med en økning av vanninnhold som følge av mudreprosessen. Mudring med grabb vil føre til en økning av vanninnhold som er mindre enn 100%. Sugemudring derimot vil kunne føre til at det blandes inn vann tilsvarende 10 ganger volumet sediment som mudres noe som gir en suspensjon med et vanninnhold på 90 – 95 % totalt. Det er derfor nødvendig å avvanne muddermassene for å redusere volumet før deponering.

Avvanning kan gjøres direkte på lekter i geotekstilposer, i strandkantdeponi eller i et eget avvanningsanlegg.

Ved avvanning i geotekstilposer vil partikler bli holdt tilbake, mens løste forbindelser vil følge vannet som renner tilbake i sjøen.

Ved avvanning i strandkantdeponi lages det et filterlag i deponisjeteen som vannet kan passere igjennom før det renner tilbake til sjøen. Filterlaget vil holde tilbake forurensete partikler. Dersom vannet inneholder høye konsentrasjoner av løste forbindelser kan det lages en aktiv barriere som bidrar til å adsorbere disse forbindelsene.

Et eget avvanningsanlegg kan benyttes dersom massene skal sendes til et mottak for forurensede masser. Et slikt anlegg vil bestå av en eller flere sedimenteringsbasseng hvor partiklene felles ut og vannet dreneres av og føres tilbake i sjøen, eller renses ytterligere dersom det er nødvendig.

5.3.5 Disponering av mudrede masser

Etablering av strandkantdeponi i havneområdene eller andre nærliggende områder vil kunne være et kostnadsbesparende deponeringsalternativ for muddermassene. Dette alternativet er særlig aktuelt dersom det er ønskelig å utvide landareal i havneområdet. Deponiet bygges da opp slik at muddermassene isoleres på en forsvarlig måte som hindrer spredning av forurensning fra massene. Det lages da også et overvåkningsprogram som skal kontrollere at forurensning ikke lekker ut av deponiet. Ved Jadarholm kan det være aktuelt å legge et slikt strandkantdeponi i tilknytning til kommunens eiendom der.

Dersom det er lokale undervannsområder med tilstrekkelig dyp der det uansett er behov for tildekking, kan det være aktuelt å deponere mudrede masser i undervannsdeponi. Et slikt deponi kan etableres i et område uten vesentlige naturverdier på sjøbunnen som kan ødelegges og med tilstrekkelig dyp til at det etter tildekking fremdeles er tilstrekkelig seilingsdyp over bunnen.

Dersom det ikke er aktuelt å bygge strandkantdeponi i havneområdene eller i andre nærliggende områder må massene deponeres hos et godkjent mottak som for eksempel Deponi Stendafjellet drevet av Fana Stein og Gjenvinning AS. Resterende lett forurensede masser og moderat forurensede masser vil enten kunne deponeres på deponi for ordinært avfall eller deponi for inert avfall. Det er høye kostnader knyttet til denne formen for deponering.

5.3.6 Tiltakseffektivitet

Selv om denne metoden tar sikte på å fjerne alle forurensede sedimenter viser erfaring at det som regel vil være noe restforurensning igjen i sedimentene, uansett mudringsmetode. En deler her mellom uforstyrret restforurensning og generert restforurensning. Uforstyrret restforurensning er delen av de forurensede sedimentene som ikke berøres av tiltaket, enten på grunn av unøyaktigheter i kartleggingen av forurensningen, fordi man ikke planlegger å mudre til rene masser, eller på grunn av begrensninger til mudringsutstyret. Generert restforurensning dannes under selve mudreprosessen, som følger av enten oppvirvling eller søl. Oppvirvlede, forurensede masser vil sedimentere tilbake og rekontaminere den mudrede sjøbunnen (Palermo og Hays, 2014). Undersøkelser i etterkant av en rekke mudringstiltak har vist at restforurensningen var 5 – 9 % av den totale mengden fjernede forurensede sedimenter (Patmont, 2006). Det er mulig å fortsette mudreprosessen i flere omganger for å redusere restforurensningen, men det er svært vanskelig å fullstendig eliminere denne. Mange mudringstiltak må avsluttes med en tildekking for å oppnå ønsket miljøgevinst.

En betydelig negativ miljøeffekt av mudringen er spredning av forurensning underveis i mudreprosessen. Denne spredningen vil i hovedsak forekomme i sammenheng med oppvirvling og søl under mudring, eksponering av dypereliggende sedimentlag med høye konsentrasjoner og utslipp av forurenset vann fra avvanningsprosessen (Palermo og Hays, 2014).

Utglidning av masser på sjøbunnen vil kunne føre til en større episode av oppvirvling. Dette kan skje som følger av at det fjernes masser som har en stabiliserende effekt på andre deler av sjøbunnen. Utglidning av masser på sjøbunnen kan i verste fall også føre til skader på infrastruktur i strandsonen. Geoteknisk prosjektering må gjøres før mudringen slik at risiko for utglidninger minimeres. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 6.5.

De negative effektene av et mudringstiltak, som er beskrevet her, kan reduseres gjennom et tilpasset kontrollprogram med avbøtende tiltak. Dette vil inkludere generelle tiltak mot spredning av partikler i tillegg til akutte tiltak som iverksettes når kontrollen viser at spredningen er for høy. Dette er beskrevet nærmere i kapittel 7.

En positiv tiltakseffektivitet fra mudringen kan oppnås hvis den gjøres i tråd med kontroll og avbøtende tiltak, i tillegg til at det gjøres en tildekking etter at mudringen er gjennomført.

5.3.7 Sekundære effekter

Mudring av sjøbunnen vil kunne være ødeleggende for lokal bunnfauna, ettersom tiltaket medføres at sediment, inklusiv bunnfauna og alt det måtte inneholde, graves opp og fjernes. Det forventes at bunnfauna vil kunne reetableres på den rene sjøbunnen etter at tiltaket er ferdigstilt. Det er imidlertid ikke gitt at den samme bunnfaunaen som var der før mudringen er den som reetableres. Et slikt tiltak i indre Bangarvågen vil være ødeleggende for ålegressenga, og er derfor ikke å anbefale i dette området.

Mudring kan også være en utfordring i forhold til kulturminner, kabler og andre installasjoner i sjøbunnen. Det er derfor viktig at mudringsarbeidet prosjekteres slik at det tas hensyn til slike installasjoner og objekter. Mer om dette i kapittel 6.5.

5.4 Isolasjonstildekking

5.4.1 Generelt

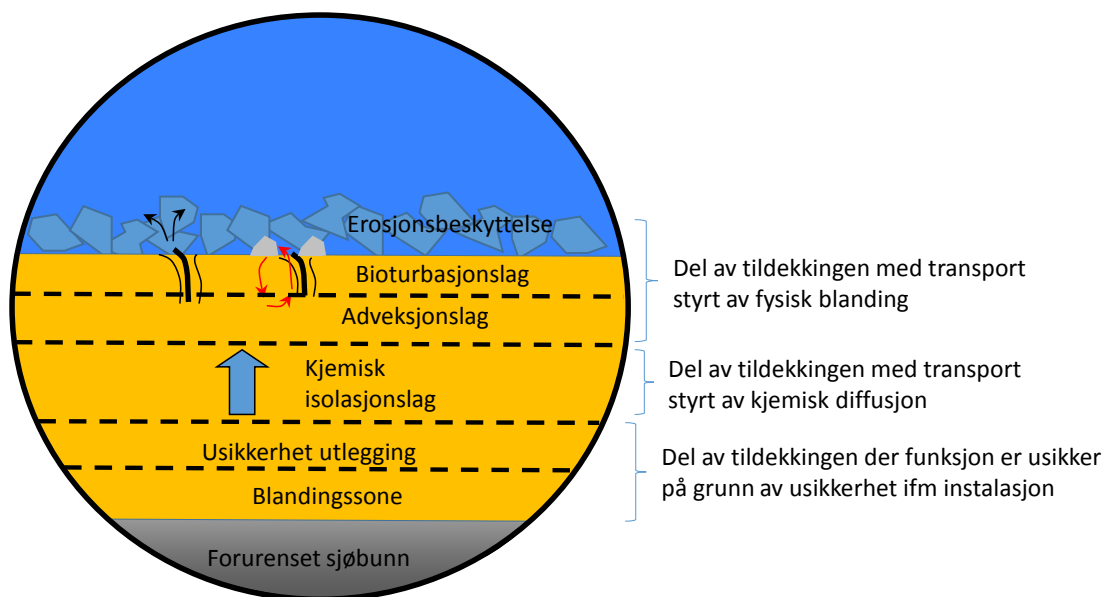
Tildekking av forurensete sedimenter gjøres for å redusere miljørisiko ved å isolere det forurensete sedimentet fra bunnfauna og vannmassene over. Tildekkingen reduserer transport av miljøgifter fra de forurensete sedimentene på sjøbunnen, noe som også betyr at biotilgjengeligheten på sjøbunnen etter tildekkingen reduseres i forhold til før tildekkingen. En isolasjonstildekking vil hindre både spredning via oppvirvling og utlekking fra porevannet, og direktekontakt mellom bunnfauna og forurenset sediment.

En isolasjonstildekking kan bygges opp av kun passive materialer (grus og sandige materialer) eller så kan det inkluderes lag med spesifikke funksjoner slik som lav permeabilitet eller høy sorpsjonskapasitet (aktive lag, kapittel 5.5). Tykkelsen på en isolasjonstildekking er typisk på 20 cm eller mer.

Design av tildekkingen gjøres for å bestemme tykkelser og materialtyper (kornfordeling) som er nødvendig for å tilfredsstille miljømålene for prosjektet. Et typisk tildekkingsdesign består av følgende lag:

- Erosjonslag
- Bioturbasjonslag
- Adveksjonslag
- Kjemisk isolasjonslag
- Blandingslag

I tillegg kan usikkerheten i tykkelsen som faktisk legges ut legges inn som et ekstra lag (usikkerhet utlegging) slik at ønsket tykkelse sikres over alt. Dette tildekkingsdesignet er illustrert i Figur 10. Hensikt og designmetode for de ulike lagene er beskrevet i Tabell 3.



Figur 10 Tildekkingsdesign

Tabell 3 Hensikt og designmetode for de ulike lagene av en isolasjonstildekking

Lag	Hensikt	Designmetode
Erosjonslag	Hindre at vannstrømmer eroderer bort tildekkingen.	Vurdere strømhastigheter i det aktuelle området og beregne kornstørrelse nødvendig for å motstå erosjon.
Bioturbasjonslag	Øverste del av tildekkingen der bioturbasjon kan øke transporthastigheten uten at det går utover tildekkingens effektivitet.	Vurdere effektivt bioturbasjonsdyp til organismer som vil være viktige etter tildekkingen. Kan ofte slås sammen med erosjonslaget.
Adveksjonslag	Skal redusere adveksjon i tildekkingen skapt av trykkforskjeller som følge av vannstrøm eller bølger.	Beregne permeabilitet nødvendig for å begrense adveksjon til ønsket nivå. Eller estimerer fra typisk dyp der effekt av adveksjon er observert.
Kjemisk isolasjonslag	Lag der diffusjon styrer transport.	Tykkelse som er nødvendig for å sikre lavere konsentrasjonen i sedimentoverflaten enn miljømålet
Blandingslag	Tykkelsen på laget der de første tildekkingsmassene som legges ut blandes med de forurensede sedimentene.	Basert på erfaringer. Kan legge inn krav om kontrollmåling før utlegging av neste lag starter

Denne tilnærmingen til tildekkingsdesign gir et ganske konservativt design som gir liten risiko for at tildekkingen ikke vil redusere transport ut av sedimentet. Ofte kan det være grunnlag for å forenkle designet ved at flere av lagene slås sammen dersom et lag kan ivareta funksjonene til flere av disse lagene, eller ved at enkelte lag kan unnlates dersom det et mindre konservativt design ansees som tilstrekkelig, f.eks. ved lite fare for erosjon.

5.4.2 Gjennomføring

Isolasjonstildekking har vært gjort i flere prosjekter i Norge i tillegg til en rekke prosjekter internasjonalt, særlig i USA. Mer enn 4 km² forurensede sedimenter er tildekket i mer enn 50 prosjekter i USA de siste 25 årene (Patmont, 2013). I Norge har isolasjonstildekking blitt brukt både på mudrede masser og direkte på forurenset sjøbunn i Oslo havn. Tildekking av forurensede sedimenter er også i gang i Trondheim havn. Dette betyr at det er både masseleverandører og entreprenører som har utstyr og erfaring med tildekking av forurensede sedimenter. I forskningsprosjektet Opticap ble det også gjort felttesting med tynntildekking av forurensede sedimenter i Eidangerfjorden og i Orme-fjorden.

Det er en rekke masseleverandører som kan levere materialer som kan brukes til en slik tildekking som er beskrevet her. Tilgjengelighet og transportavstand vil være viktig for prisen på slike masser.

I Opticap ble det lagt ut 0,05 m x 10 000 m² knust kalkstein på det ene testfeltet i løpet av to dager. Dette tilsvarer 250 m³/dag eller ca. 360 m² med 0,7 m tykkelse per dag. Ved utlegging av sandige tildekkingsmasser med splittlekter i Oslo havn var produksjonshastigheten 750 - 1750 m³/dag. Det vurderes imidlertid som mest sannsynlig at utleggingshastigheten vil ligge mellom disse eksemplene avhengig av hvilket utstyr som kan brukes i de ulike områdene. På svært bløte sedimenter vil det være nødvendig å legge ut tildekkingen i tynne lag slik at sedimentet får nok tid til å konsolidere mellom hvert lag, dette vil styre hvor rask fremdrift det er mulig å holde.

5.4.3 Tiltakseffektivitet

Tildekking av de forurensede sedimentene i Tiltaksområdene vil redusere både utlekkingen og oppvirvling fra sedimentet. Dersom tildekkingen lykkes med å isolere sedimentet helt og det ikke tilføres ny forurensing til sjøbunnen kan transport av miljøgifter fra sjøbunnen reduseres med >99%. Under tildekkingen og like etter denne vil konsolideringen av det relativt bløte sedimentet føre til en utpressing av porevann. Dette porevannet vil ta med seg ulike løste forbindelser og vil være en engangs-utlekkelse som må vurderes opp mot hva tiltaket oppnår på lang sikt.

Utlegging av tildekkingsmasser kan også føre til noe økt oppvirvling av forurenset sediment ved det første utleggingslaget. Dersom massene legges ut forsiktig vil denne oppvirvlingen være minimal og vil dessuten dempes av rent finstoff som sedimenterer over oppvirvlet finstoff fra sjøbunnen.

Tildekking i skråninger eller på bløte sedimenter kan føre til at sjøbunnens stabilitet eller bæreevne overskrides. Geoteknisk stabilitet må derfor alltid vurderes som en del av prosjekteringen av et tildekingstiltak.

5.4.4 Sekundære effekter

Tildekking av sjøbunnen vil kunne være ødeleggende for lokal bunnfauna, ettersom tiltaket medfører at det legges et tykt og isolerende lag over nåværende sjøbunn. Det forventes at bunnfauna vil kunne reetableres på den rene sjøbunnen etter at tiltaket er ferdigstilt. Et slikt tiltak i indre Bangarvågen vil imidlertid kunne ødelegge ålegressenga, og er derfor ikke å anbefale i dette området.

Ved tildekking må det også tas hensyn til kulturminner, kabler og andre installasjoner i sjøbunnen slik at disse ikke påføres skade ved utlegging av tildekkingsmasser. Mer om dette i kapittel 6.5.

5.4.5 Tildekking med sprengsteinsmasser

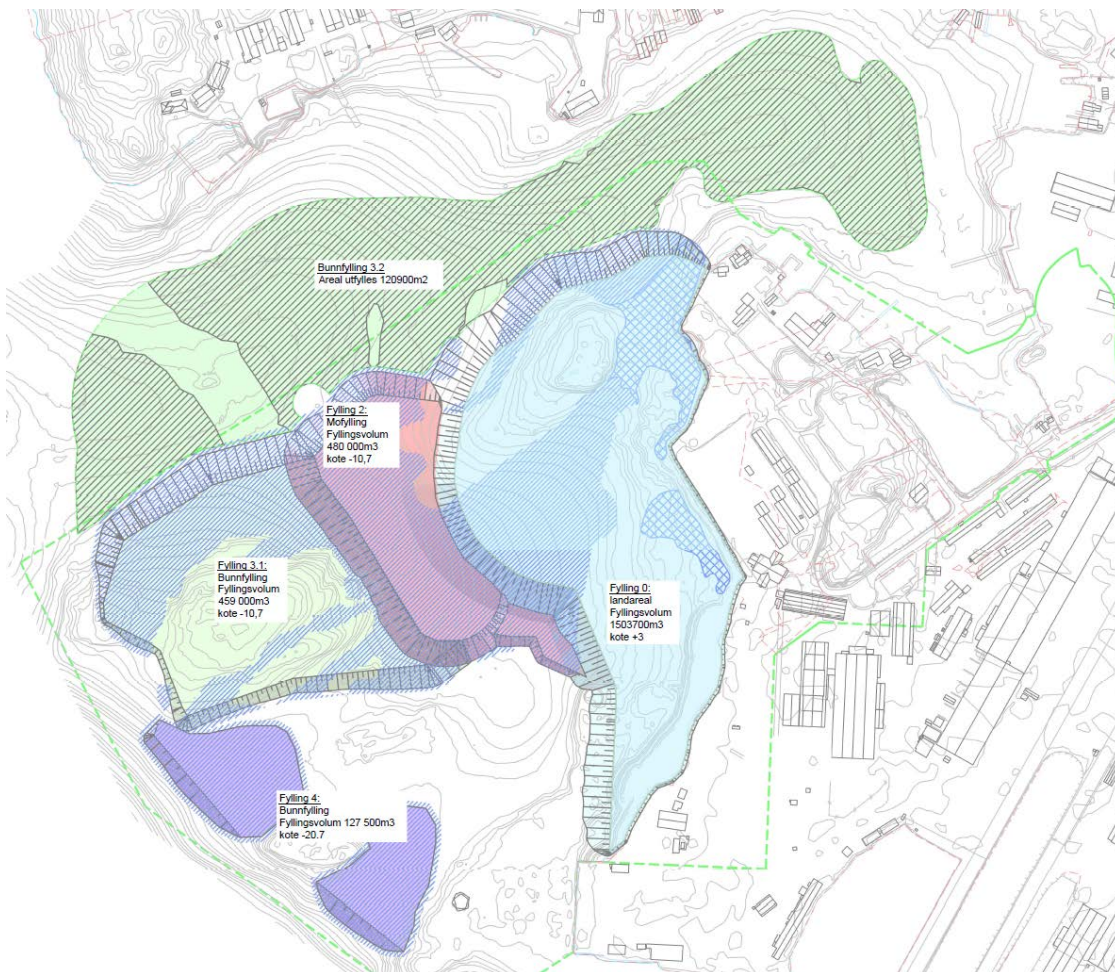
Formålet med Ryfast-prosjektet er å lage et fastlandssamband mellom Ryfylket og Nord-Jæren, samt å bygge et nytt fastlandssamband mellom Hundvåg og Stavanger sentrum. Eiganestunnelen er en del av dette prosjektet og blir en del av E39 Kyststamvegen mellom Kristiansand og Trondheim. Arbeidene med dette anlegget ble igangsatt i 2012 og det er forventet at veien skal åpne i 2019. Dette arbeidet genererer derfor et stort overskudd av sprengsteinsmasser. Disse massene brukes blant annet til å fylle ut et landområde på om lag 100 000 m² inkludert motfyllinger og andre fyllinger på bunnen vil disse massene dekke et areal på i overkant av 200 000 m² på sjøbunnen utenfor Buøy ved Bangarvågen. Alle disse utfyllingene vil, dersom utleggingen gjøres slik at overflaten får tilstrekkelig mektighet med rene masser, kunne fungere som tildekking av de arealene med forurenset sediment som disse legges på. Om lag 35 000 m² av de planlagte bunnfyllingene er innenfor tiltaksområdet i Bangarvågen som er omfattet av denne tiltaksplanen.

Neste trinn i Stamveitbyggingen er Rogfast, med bygging av undersjøisk tunell under Boknafjorden. Planlagt oppstart for dette er sent i 2017.

Siden disse massene består av usortert sprengstein vil de sannsynligvis være grovere enn de massene som er anbefalt i et vanlig tildekkingsdesign. Dersom massene legges ut direkte fra splittlekter eller lignende vil dette sannsynligvis føre til større innblanding i de forurensete sedimentene enn det som er forutsatt i designet, avhengig av fastheten til sedimentet i dette området. Dersom massene legges ut med tilstrekkelig mektighet forventes det likevel at disse massene vil ha en positiv effekt i forhold til å redusere risiko knyttet til forurensningen i sjøbunnen.

Dersom ikke annen informasjon om fastheten til massene på sjøbunnen foreligger antas det at disse er bløte og at det er sannsynlig at sprengsteinsmassene vil blande seg betydelig ned i slammet på sjøbunnen. Det må derfor forventes en tykkelse på minimum 100 cm til slik innblanding dersom sprengsteinsmasser legges direkte på sjøbunnen.

Dersom det legges ut sandpute først kan dette blandingslaget reduseres. Det er imidlertid ikke sannsynlig at sprengstein fylt over sandputen vil gi vesentlig ekstra verdi som miljøforbedringstiltak. Det er også viktig å vurdere stabilitetsforholdene nøye dersom man legger sprengstein over en sandpute fordi svært bløte sjøbunnsmasser kan ved en slik utfylling gi et glidesjikt i slammet som svekker sikkerheten mot utglidninger.



Figur 11 Igangsatt og planlagt utfylling ved Buøy

5.5 Tildekking med aktivt kull

5.5.1 Generelt

Behandling med aktivt kull (AC) er en tiltaksmetode som har vært testet ut i flere prosjekter med forurensede sedimenter i USA, Nederland og Norge (Patmont et al, 2015; Cornelissen et al, 2012 og 2015). Metoden går ut på å tilsette aktivt kull til overflate-sedimentet slik at kullet binder forurensing og reduserer den fritt løste konsentrasjonen i porevannet og dermed både biotilgjengeligheten og utlekking av forurensingen fra sedimentet til vannet over.

Denne behandlingen gjøres vanligvis ved å tilføre 1 – 5 kg aktivt kull/m² til sediment-overflaten og enten aktivt blande dette inn i det antatt biologisk aktive overflatelaget eller ved å la bioturbasjon til de organismene som lever i dette laget sørge for denne innblandingen. Den relativt lave mengden materiale som tilføres sedimentoverflaten ved denne behandlingen er fordelaktig for områder hvor biota på bunnen ønskes bevart.

Miljødirektoratet har meddelt at de er i en prosess der de vurderer denne tiltaksmetoden.

5.5.2 Gjennomføring

Det er ennå ikke gjennomført fullskala tiltak med aktivt kull i Norge, men det er gjort en rekke pilotforsøk hovedsakelig i Norge og i USA (Patmon et al, 2015). De fleste av disse pilotforsøkene har vært tiltak i sedimenter forurenset hovedsakelig med organiske miljøgifter. I oversiktsstudien av Patmont et al. (2015) er det likevel beskrevet en pilot-test med aktivt kull rettet kun mot kvikksølvforurensing og 5 andre studier der kvikksølv har vært målforurensingen for tiltaket sammen med PCB. Aktivt kull brukes også i vannrensing for å redusere konsentrasjonen av metaller.

Gjennomførte pilotstudier har som regel blitt gjennomført med 1 – 5 kg AC/m². En viktig oppgave i design- og prosjekteringsfasen dersom behandling med AC velges blir å gjøre laboratorie- og pilottester for å bestemme optimal dosering av AC og hva slags bæremateriale som er egnet for utleggingen under tiltaket.

Aktivt kull AC produseres ikke i Norge, men brukes i mange norske virksomheter og det er derfor flere leverandører som kan tilby ulike typer aktivt kull.

Dersom aktivt kull skal legges ut som pulverkull sammen med et bæremiddel, må disse blandes før utleggingen. Dette kan enten gjøres i en egen prosess på land eller det gjøres samtidig med utleggingen i enheten som brukes til dette. I Opticap ble denne blande-prosessen gjort om bord i et sugemudringsfartøy. I pilottesten i Trondheim havn ble det benyttet et mindre blande- og pumpesystem på lekter.

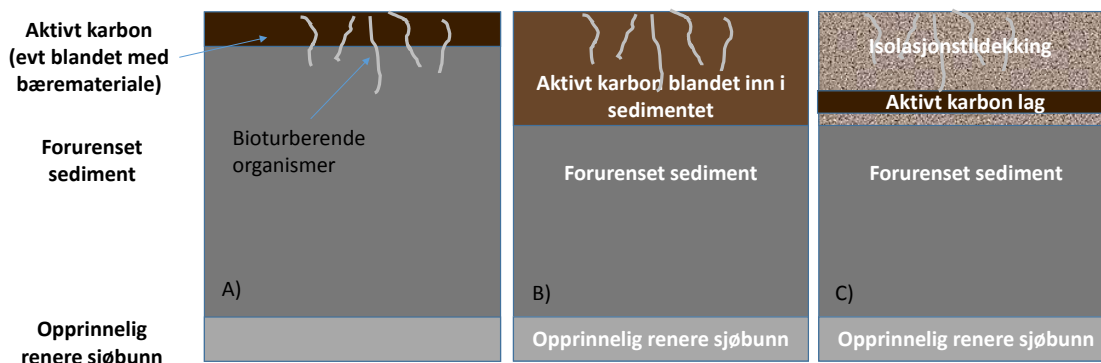
Aktivt kull kan også legges ut som pellets med bæremiddelet ferdig blandet med kullet. Slike pellets kan legges ut med splittlekter eller fallbunnslekter. Det finnes også leverandører av aktivt kull i pulverform som er bearbeidet med tanke på effektiv utlegging som et granulært materiale.

Utlegging av aktivt kull i Opticap-prosjektet ble gjort med en hastighet på 5000 m²/dag. Selv om dette var relativt utfordrende fordi dypet var betydelig, ble det benyttet utstyr som passet godt til dette dypet. Det antas derfor at dette er et rimelig estimat for fremdrift av denne typen operasjon.

5.5.3 Tiltakseffektivitet

De fleste studier av effektivitet til aktivt kull med hensyn på reduksjon i tilgjengelighet viser at man oppnår størst reduksjon i biotilgjengelighet ved å bruke finkornig aktivt kull (Zimmermann et al, 2005). Finkornig kull består av lette og små partikler som lett føres med vannstrømmen under eller etter utlegging. Det er derfor som regel nødvendig å beskytte kullet mot erosjon både under utlegging og etterpå. Dette gjør at det er tre ulike måter å behandle forurensete sedimenter med aktivt kull på som alle innebærer en eller annen form for erosjonsbeskyttelse av det aktive kullet:

- A) Aktivt kull legges som et tynt lag på sjøbunnen. Det vil da som regel være behov for et å legge kullet ut sammen med et bæremateriale, slik som leire eller sand. Dette bærematerialet skal bidra til å transporteres kullet ned på sjøbunnen og samtidig sørge for at minst mulig av kullet eroderes vekk etter utleggingen. Denne behandlingsmåten ble benyttet både i felttestene som ble gjort i Trondheim havn (Cornelissen, 2011) og i Grenlandsfjordene (Opticap; NGI / NIVA, 2013; Cornelissen et al, 2012 og 2015). Ved utlegging med denne metoden forutsettes det at bioturbasjon og andre naturlige blandingsprosesser i sedimentet blander kullet inn i det biologisk aktive laget.
- B) Aktivt kull blandes aktivt inn i de øverste 5 - 30 cm av sedimentet. På denne måten vil sedimentet selv beskytte mot erosjon av aktivt kull og vil samtidig sørge for at det aktive kullet er blandet inn i det biologisk aktive laget av overflatesedimentet. Testbehandlingen som ble gjort på Hunters Point Naval Shipyard, San Francisco Bay, CA benyttet denne metoden (Cho et al, 2009 og Oen et al, 2011).
- C) Aktivt kull legges inn som et ekstra kjemisk isolasjonslag i en isolasjonstildekning slik som beskrevet i avsnitt 4.6. En slik løsning vil gi mindre besparelser i forhold til forbruk av masse og ressurser til konstruksjon, men kan gi lavere risiko og økt effektivitet til en isolasjonstildekning.



Figur 12 Illustrasjon av behandling med aktivt kull. A) Tynn tildekning sjøbunnsoverflaten. B) innblanding av AC i de øverste om lag 10 cm for å kjemisk stabilisere Hg og dioksiner i disse. C) aktivt kull som et lag i en isolasjonstildekning.

Sammenlignet med isolasjonstildekking vil behandling med aktivt kull ikke gi noen fysisk barriere eller beskyttelse mot erosjon, bioturbasjon eller annen fysisk forstyrrelse. Aktivt kull kan imidlertid gi god beskyttelse mot tilførsel av ny forurensning fordi denne også kan bindes av kullet og tilgjengeligheten vil reduseres. Hvor stor og hvor langvarig denne effekten vil bli er imidlertid ikke godt nok dokumentert, se for eksempel gjennomgang i (Janssen og Beckingham, 2013).

5.5.4 Sekundære effekter

Behandling med aktivt kull innebærer forsiktig plassering relativt små mengder masse på sjøbunnen og derfor vil denne behandlingen mulig være egnet for områder hvor en ønsker å bevare bunnfauna, som for eksempel ålegressenga i indre Bangarvågen.

Dersom denne tiltaksmetoden skal benyttes bør det imidlertid undersøkes hvilken effekt kullet har på ålegresset, ettersom det er i noen undersøkelser har blitt funnet negative effekter av aktivt kull på biota på sjøbunnen (Miljødirektoratet, 2014).

Dersom aktivt kull legges i betydelig mektigheter eller det legges ut sammen med betydelige mengder annen materiale (for erosjonsbeskyttelse eller enklere utlegging) må det gjøres en vurdering av stabiliteten i sedimentet før utleggingen.

6 Tiltaksvurderinger

Tiltak som anses som egnede for å bidra til å oppnå de overordnede tiltaksmålene for hvert av delområdene er beskrevet her. Tiltakene er vurdert ut ifra evne til å oppnå miljømålene, kostnader og mulige negative bieffekter.

6.1 Sammenstilling av tiltakskostnader

Kostnader for tiltak i sedimenter varierer mye, som en følge av lokale forhold. Forhold som kan ha innvirkning på prisen kan være:

- Tilgjengelighet av større utstyr. Er området lett tilgjengelig, eller er det infrastruktur eller bunnforhold som er til hinder for anleggsutstyret. Eventuelt flytting av flytebrygger.
- Valg av utstyr og metoder
 - Mudringsmetode
 - Tildekningsmetode og –materiale
- Begrensninger i arbeidsperioder pga. for eksempel vekstperioder for ålegress, vandrings- og gyteperioder for fisk eller båttrafikk
- Eventuell deponiløsning og distanse til deponi
- Mengde søppel på sjøbunnen som må fjernes for klargjøring før mudring og/eller tildekking

Tabell 4 Estimerte enhetskostnader som er brukt i kostnadsestimatene

Beskrivelse	Enhet	Enhetspris lav	Enhetspris høy
Søknader	RS	400 000	500 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1 500 000	5 000 000
Omlegging av rørledning	m	1300	4000
Omlegging av kabler	m	500	4000
Innkjøp og utlegging av tildekkingsmateriale	m ³	150	300
Innkjøp av aktivt kull	t	8000	20000
Utlegging av tildekkingsmateriale (3-5kg AC og 0,05 m ³ bærematerial /m2)	m ²	5	10
Rydding klargjøring av sjøbunn for mudring	m ²	10	20
Mobilisering/demobilisering og drift for mudring	RS	5 000 000	12 000 000
Mudring ca. 100 cm sjøbunn (inkl. transport til lokalt deponi)	m ³	250	650
Konstruksjon av strandkantdeponi	m ³	100	140
Innfylling av mudrede masser i strandkantdeponi	m ³	150	200
Overvåkning av strandkantdeponi	RS	1 000 000	2 000 000
Overvåkning under tiltak (1 år)*	RS	1 500 000	3 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)*	RS	800 000	2 000 000

*I beregningene for kostnader er det tatt utgangspunkt i at tiltakene gjøres i alle tre områdene som et prosjekt og derfor er det lagt inn 1/3 av overvåkningskostnadene i hvert delområde

Forutsetninger og grunnlag for kostnadsberegninger:

- Erfaringskostnader fra gjennomførte tiltak i Trondheimhavn (NGI 2014b) og Oslo havn
- Oppdaterte kostnadsestimater gjort i forbindelse med tiltaksplaner i Horten havn (NGI 2016b) og Gunneklevfjorden
- Innhentede budsjettpriser fra aktuelle masseleverandører og entreprenører
- Omlegging av vann og avløpsrør er beregnet som legging av nytt rør
- Det er ikke tatt høyde for at eventuelle høyspentkabler skal legges på nytt disse må eventuelt løftes opp mens tildekkingen gjøres.
- Kostnadene for konstruksjon av strandkantdeponi er lagt inn som kostnader for deponering av mudrede masser.
- Det er antatt behov for seilingsdyp på 8 meter i alle tiltaksområder. Det kan imidlertid være nødvendig å ta hensyn til et annet seilingsdyp regulert av farledsmyndighet.

6.2 Bangarvågen

6.2.1 Tiltaksmål for Bangarvågen

Følgende tiltaksmål foreslås for delområdet Bangarvågen:

- På sikt skal tiltakene føre til at spredning fra sjøbunnen og eksponering av de mest aktuelle miljøgiftene til bunnlevende organismer reduseres med 80% i forhold til situasjon før tiltak.
- Tiltakene skal gjennomføres på en slik måte at man etter tiltaket har en ålegress biotop som ansees å ha en verdi om lag som i dag eller bedre.

I områder med Isolasjonstildekking gjelder også:

- Sjøbunnen like etter tildekking skal være klasse II og egnet for rekolonisering av lokale arter.
- Tildekkingslagets tykkelse skal i 80% av arealet være design tykkelse og i resten av arealet må tykkelsen ikke være mindre enn 50% design tykkelse. Design tykkelse for anbefalt tildekking er beskrevet for hvert delområde.
- På sikt skal tilstanden på sjøbunnen skal være klasse III eller bedre.

6.2.2 Tiltak i Bangarvågen

I den nordlige delen av Bangarvågen er det en ålegressbiotop på sjøbunnen. Denne er vurdert som nasjonalt viktig (NIVA/Naturbase 2012). Ecofact undersøkte denne ålegressengen igjen i 2015 og fant at denne var redusert fra 67 000 m² i 2012 til om lag 30 000 m² i 2015. Det er tatt utgangspunkt i at denne skal bevares og at tiltak mot forurensete sedimenter ikke skal ødelegge eller vesentlig forringe denne.

Det er her lagt til grunn at tiltakene i dette området skal gjennomføres på en slik måte at denne enga skal ha høy kvalitet også etter at tiltak er gjennomført. Både tildekking og mudring vil fjerne ålegressengen og gjøre at dette ikke oppnås. Tre alternative tilnærminger er vurdert for å kunne bevare ålegressengen:

- Ikke gjennomføre tiltak i området med ålegresseng
- Gjøre AC-behandling i området med ålegresseng
- Gjøre tildekking i området med ålegress og plante tilbake ålegressengen

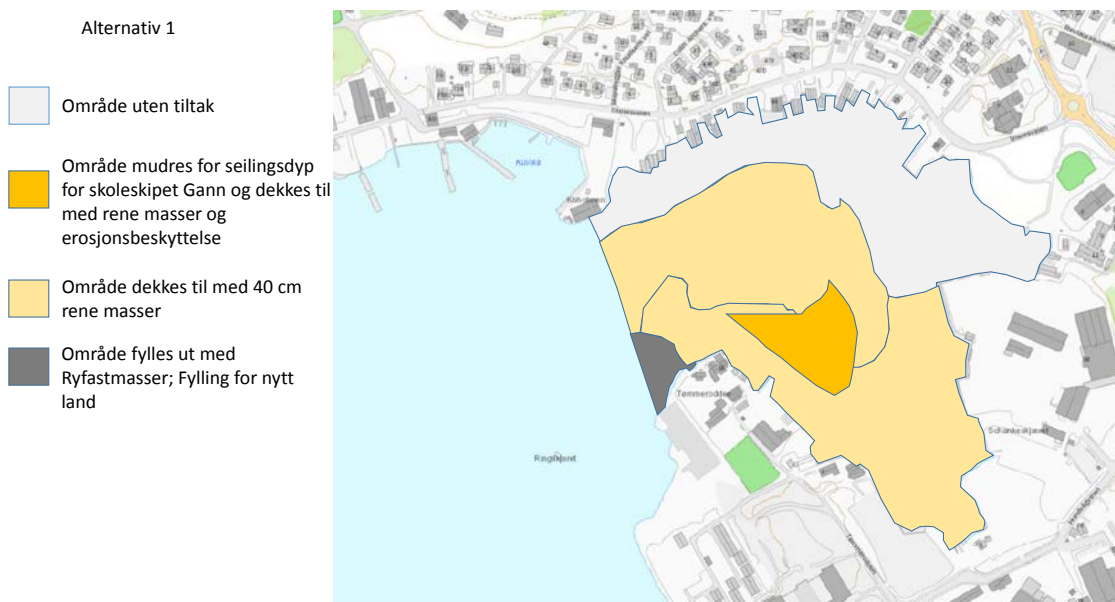
I områdene utenfor ålegressengen er det anbefalt å gjøre tildekking. I området der skoleskipet Gann manøvrerer vil det kanskje være behov for ekstra erosjonsbeskyttelse og eventuelt mudring for å få tilstrekkelig seilingsdyp og samtidig plass til tildekking. Mudring alene vil ofte ikke være nok til å oppnå en ren sjøbunn etter tiltaket.

Følgende alternativer er vurdert:

5. Tildekking i områder med vanndyp >8 m alene
6. Tildekking i områder med vanndyp >8 m og AC-behandling
7. Tildekking i hele delområdet
8. Tildekking som i alternativ 1), 2) eller 3) og tildekking med sprengsteinsmasser i områder med vanndyp >8 m

6.2.3 Alternativ 1: Isolasjonstildekking utenfor ålegressengen

Dette alternativet består i å dekke til området utenfor ålegressengen med rene masser. Ingen tiltak gjøres i området med ålegresseng for å spare denne.



Figur 13 Illustrasjon av arealer som dekkes med ulike tiltaksmetoder i alternativ 1

Tildekking er erfaringsmessig en metode som gir rask forbedring av kvaliteten på sjøbunnen og dermed eksponering av miljøgifter til bunnsfauna. Kostnadene er dessuten moderate sammenlignet med mudring. Tildekking fører også i mindre grad enn mudring til spredning av forurensing under gjennomføring.

Dersom sjøbunnen skal dekkes til med isolasjonstildekking Bør dette gjøres i henhold til metode for tildekkingsdesign som beskrevet i avsnitt 5.4. Et overordnet design av en slik tildekking i Bangarvågen er beskrevet i Tabell 5.

Tabell 5 Tildeckningsdesign Bangarvågen

Lag	Dimensjonerende forhold	Type masse	Design
Erosjonslag	Strømhastighet fra vind og tidevann. Strømhastighet fra propellstrøm fra skoleskipet Gann	Masser med $d_{50} > 30$ mm. Basert på strøm ved sjøbunnen på 2 m/s generert av skoleskipet Gann i områder med mer enn 10 m vanddyb.*	10 cm lag
Bioturbasjonslag	Ingen stedsspesifikke vurderinger er gjort.		Bruker generisk verdi på 10 cm, slås sammen med erosjonslaget. Blir da 0 cm
Adveksjonslag	Ingen stedsspesifikke vurderinger er gjort.	Sand eller finere subus f.eks., 0 – 4 eller 0 – 8 mm	Bruker generisk verdi på 15 cm
Kjemisk isolasjonslag	Beregnet fra transport av Hg, Cu, Krysen og PCB52	Sand eller finere subus f.eks., 0 – 4 eller 0 – 8 mmm	5 cm holder for alle de modellerte stoffene
Blandingslag	Erfaringsmessig anslått	Sand eller finere subus f.eks., 0 – 4 eller 0 – 8 mmm	10 cm
Total design tykkelse			40 cm
Usikkerhet i utlegging	Ikke ansett som nødvendig med konservativt design her holder at det dokumenteres at 80% av arealet er \geq design tykkelse		0 cm

*Det vil være nødvendig med eget design for erosjonsbeskyttelse i områdene der MS Gann trafikkerer over områder som er grunnere enn 10 m. Dette kan også være nødvendig i andre områder som er særlig utsatt for skipstrafikk.

Tiltaksarealet i Bangavågen er på 126 000 m². Når ålegressenga ikke skal dekkes til blir tildeckningsarealet (resten av arealet) på 86 000 m². Arealet der Skoleskipet Gann trafikkerer er på om lag 8 000 m². I dette området må tildekkingen beskyttes med erosjonsbeskyttelse dimensjonert for propellstrøm fra skoleskipet Gann. Dette innebærer at det kan være nødvendig å mudre deler av dette området.

Resten av tildeckningsområdet (ca. 78 000 m²) tildekkes med erosjonsbeskyttelse dimensjonert for propellstrøm fra Gann i dypere områder, mindre båter og bølger (se Tabell 5).

Stabilitetsvurderinger og nødvendige geoteknisk prosjektering må gjennomføres før tildekkingen iverksettes. Det anbefales dessuten at tildekkingen legges ut lagvis med lag på om lag 5 – 10 cm om gangen.

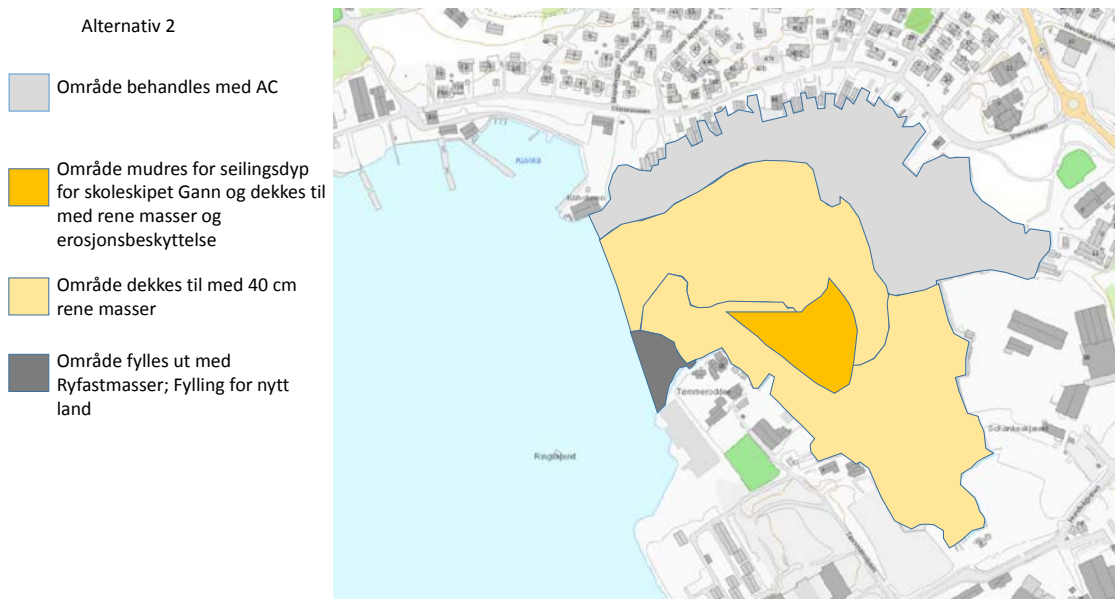
Ved å ikke tildekke ålegressengen vil et større forurenset område være eksponert også etter at områdene utenfor er tildekket. Oppvirvling fra ålegressområdet kan da føre til at forurensete partikler spres til områder som er dekket til med rene masser og rekontaminere disse. Bølgeerosjon vil sannsynligvis være en viktig mekanisme som kan bidra til dette.

Tabell 6 Tildekking i områder utenfor ålegresseng (vanndyp >8 m og hele sørenden av Bangarvågen) Ingen tiltak i ålegressengen.

Beskrivelse	Enhet	Antall	Pris lav	Pris høy
Detaljprosjektering av tiltaket	RS	1	400 000	2 000 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1	1 500 000	5 000 000
Omlegging av kabler	m	200	100 000	800 000
Innkjøp og utlegging av tildekkingsmateriale (0,4 m tykkelse)	m ³	34 400	5 160 000	10 320 000
Overvåkning under tiltak (1 år)	RS	1/3	500 000	1 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	1/3	266 000	666 000
Sum			7 526 000	17 786 000

6.2.4 Alternativ 2: AC-behandling i ålegressengen og tildekking utenfor

For å bevare ålegressengen, men likevel gjøre aktive tiltak for å reduseres spredning og bioakkumulering av miljøgifter foreslås det derfor at området med ålegress behandles med aktivt kull. Resten av områdene i delområdet Bangarvågen tildekkes da med isolasjonstildekking som beskrevet for alternativ 1 (Tabell 4).



Figur 14 Illustrasjon av arealer som dekkes med ulike tiltaksmetoder i alternativ 2

Dette er en behandling som innebærer liten fysisk påvirkning av sjøbunnen og som derfor kan være skånsom mot ålegressengen. Det er i en oversiktsstudie av effekt av AC-behandling funnet negative effekter i 20 % av de undersøkte behandlingene (Janssen og Beckingham, 2013). Det er derfor sannsynlig at en slik behandling vil gi liten skade på ålegressengen sammenlignet med mudring og isolasjonstildekking. Det er imidlertid viktig å verifisere om den aktuelle biotopen har tilstrekkelig robusthet til å tåle en slik behandling før hele området behandles. Det kan være nødvendig å gjøre et slikt tiltak utenom vekstperioden i ålegressengen. Det anbefales derfor å gjøre en pilottest i felt både for å studere effekten av AC-behandling på ålegressamfunnet og for å teste om behandlingen er effektiv nok for å redusere tilgjengeligheten til de viktigste miljøgiftene i Bangarvågen.

Det anbefales dessuten å gjøre innledende tester i labskala for å bestemme den typen aktivt kull som er mest egnet for forurensningen i dette området og hvilken dosering som er mest kosteffektiv.

Ved en slik behandling med AC vil, for å beskytte ålegressengen, ikke kunne legges ut erosjonsbeskyttelse på sjøbunnen. Området vil derfor fremdeles være utsatt for erosjon. Dersom AC-behandlingen har fått blande seg med overflatesedimentet gjennom bioturbasjon vil det eroderte materialet bestå av en blanding av forurenset sediment og AC-partikler. AC-partiklene i denne blandingen vil sannsynligvis bidra til at tilgjengeligheten til miljøgiftene vil være liten også i materialet som spres ved erosjon. Dette vil bidra til å redusere miljørisikoen og dermed effekten av en slik rekontaminering fra ålegressområdet til tildekkede områder utenfor.

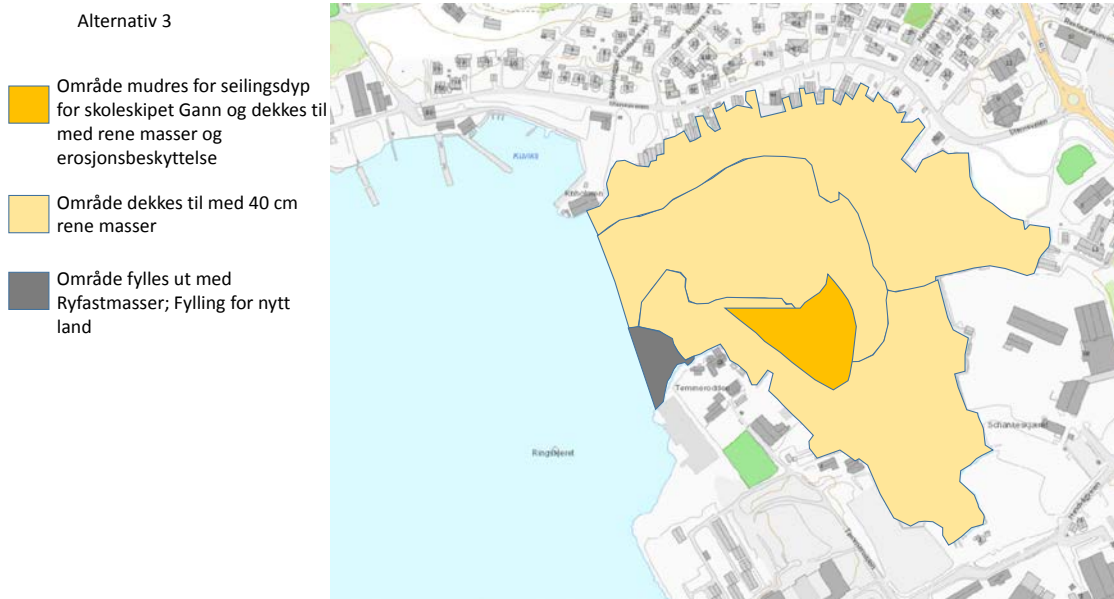
I dette tiltaksalternativet vil 86 000 m² dekkes av en isolasjonstildekking. Arealet der Skoleskipet Gann trafikkerer er på om lag 8 000 m². I dette området må tildekkingen beskyttes med erosjonsbeskyttelse dimensjonert for propellstrøm fra skoleskipet Gann. Dette innebære at det kan være nødvendig å mudre deler av dette området. Resten av tildekkingsområdet (ca. 78 000 m²) tildekkes med erosjonsbeskyttelse dimensjonert for propellstrøm fra Gann i dypere områder, mindre båter og bølger (se Tabell 5). Ålegressenga utgjør om lag 40 000 m² som behandles med 3 – 5 kg AC/m². I detaljprosjekteringsfasen må det gjøres tester for å se hvor mye AC som skal til for å gi tilstrekkelig reduksjon i spredning og tilgjengelighet av miljøgiftene. Det må også gjøres tester for å se hvor stor dose som kan brukes uten at ålegressenga skades vesentlig.

Tabell 7 Alternativ 2 Tildekking i områder utenfor ålegresseng (vanndyp >8 m og hele sørenden av Bangarvågen). AC-behandling i områdene med Ålegresseng (dyp < 8 m i nordlig del av Bangarvågen)

Beskrivelse	Enhet	Antall	Pris lav	Pris høy
Detaljprosjektering av tiltaket	RS	1	400 000	2 000 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1	1 500 000	5 000 000
Omlegging av kabler	m	200	100 000	800 000
Innkjøp og utlegging av tildekkingsmateriale (0,4 m tykkelse)	m ³	34 400	5 160 000	10 320 000
Overvåkning under tiltak (1 år)	RS	1/3	500 000	1 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	1/3	266 000	666 000
Mobilisering/demobilisering og drift for AC-behandling	RS	1	1 000 000	3 000 000
Innkjøp av tildekkingsmateriale (3-5kg/m ²)	t	160	1 280 000	3 200 000
Utlegging av tildekkingsmateriale (3-5kg AC og 0,05 m ³ bærematerial /m ²)	m ³	2 000	180 000	400 000
Overvåkning under tiltak (1 år)	RS	1	500 000	1 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	3	1 200 000	3 000 000
Sum			12 086 000	30 386 000

6.2.5 Alternativ 3 Tildekking i hele delområdet

Dette alternativet kan velges dersom det likevel ikke er nødvendig å bevare ålegressengen. Tildekkingen vil bli gjort som beskrevet for alternativ 1.



Figur 15 Illustrasjon av arealer som dekkes med ulike tiltaksmetoder i alternativ 3

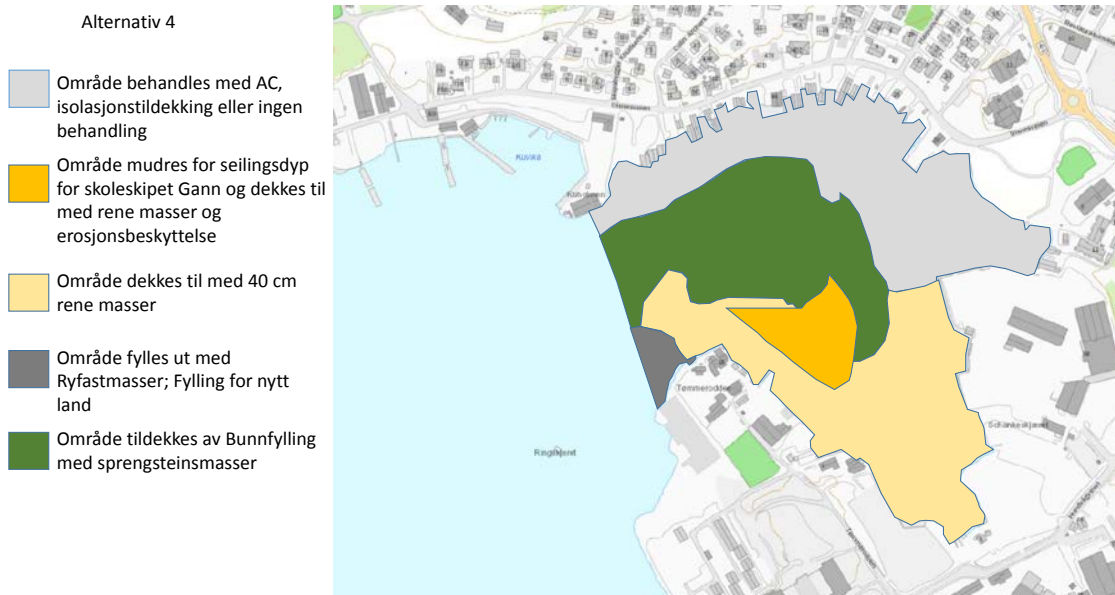
I dette tiltaksalternativet skal hele tiltaksarealet i Bangavågen på 126 000 m² dekkes til. Arealet der Skoleskipet Gann manøvrerer er på om lag 8 000 m². I dette området må tildekkingen beskyttes med erosjonsbeskyttelse dimensjonert for propellstrøm fra skoleskipet Gann. Dette innebære at det kan være nødvendig å mudre deler av dette området. Resten av tildekkingsområdet (ca. 118 000 m²) tildekkes med erosjonsbeskyttelse dimensjonert for propellstrøm fra Gann i dypere områder, mindre båter og bølger (se Tabell 5).

Tabell 8 Alternativ 3: Tildekking i hele delområdet

Beskrivelse	Enhet	Antall	Pris lav	Pris høy
Detaljprosjektering av tiltaket	RS	1	400 000	2 000 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1	1 500 000	5 000 000
Omlagging av kabler	m	200	100 000	800 000
Innkjøp og utlegging av tildekkingsmateriale (0,4 m tykkelse)	m ³	50 400	7 560 000	15 120 000
Overvåkning under tiltak (1 år)	RS	1/3	500 000	1 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	1/3	266 000	666 000
Sum			9 926 000	22 586 000

6.2.6 Alternativ 4 Tildekking som i alternativ 1), 2) eller 3) og tildekking med sprengsteinmasser i områder med vanddyb >8 m

Det planlegges å legge ut tildekking i deler av dette området med sprengsteinsmasser. Siden disse massene består av usortert sprengstein vil de sannsynligvis være grovere enn de massene som er anbefalt i tildekkingsdesignet over. Dersom massene legges ut direkte fra splittlekter eller lignende vil dette sannsynligvis føre til større innblanding i de forurensede sedimentene enn det som er forutsatt i designet, selvfølgelig avhengig av fastheten til sedimentet i dette området. Dersom massene legges ut med tilstrekkelig mektighet forventes det likevel at disse massene vil ha en positiv effekt i forhold til å redusere risiko knyttet til forurensningen i sjøbunnen.



Figur 16 Planskisse Tiltaksalternativ 4 Bangarvågen

I dette tiltaksalternativet skal alle de grunne områdene i tiltaksarealet (grunnere en 8 m) behandles som i alternativ 1), 2) eller 3). De dypere delene av Bangarvågen (35 000 m²) dekkes av sprengstein. Arealet der Skoleskipet Gann manøvrerer er på om lag 8 000 m². I dette området må tildekkingen beskyttes med erosjonsbeskyttelse dimensjonert for propellstrøm fra skoleskipet Gann. Dette innebære at det kan være nødvendig å mudre deler av dette området.

Tabell 9 Alternativ 4) Tildekking som i alternativ 1), 2) eller 3) og tildekking med sprengsteinmasser i områder med vanddyb >8 m (tildekking hele området alt 3) er brukt her)

Beskrivelse	Enhet	Antall	Pris lav	Pris høy
Detaljprosjektering av tiltaket		1	400 000	2 000 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1	1 500 000	5 000 000
Omlagging av kabler	per m ledning	200	100 000	800 000
Innkjøp og utlegging av tildekkingsmateriale (0,4 m tykkelse)	m ³	36 400	5 460 000	10 920 000
Overvåkning under tiltak (1 år)	RS	0,3	500 000	1 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	0,3	266 000	666 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1	1 000 000	3 000 000
Innkjøp av tildekkingsmateriale (3-5kg/m ²)	t	160	1 280 000	3 200 000
Utlegging av tildekkingsmateriale (3-5kg AC og 0,05 m ³ bærematerial /m ²)	m ³	2 000	180 000	400 000
Overvåkning under tiltak (1 år)	RS	1	500 000	1 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	3	1 200 000	3 000 000
Sum			12 386 000	30 986 000

Kostnadene for dette alternativet er beregnet uten å ta med kostnader til innkjøp og utlegging av sandpute før tildekking med sprengsteinmasser eller til selve utleggingen av sprengsteinmassene.

6.2.7 Oppsummering og anbefaling om tiltak i Bangarvågen

Tabell 10 Tiltaksalternativer for tiltak på sjøbunnen i Bangarvågen

Tiltaksalternativ	Forutsetninger og konsekvenser	Areal tildekking	Volum mudring	Kostnad (MNOK)
1) Tildekking i områder utenfor ålegresseng (vanddyp >8 m og hele sørenden av Bangarvågen) Ingen tiltak i ålegressengen.	Risiko for rekontaminering fra ålegressområdet	Totalt: 86 000 m ² Erosjonsbeskyttelse dimensjonert for skoleskipet Gann: Ca. 8 000 m ² Dimensjonert for mindre båter og bølger: Ca. 78 000 m ²	Mudring eventuelt spesialisert erosjonsbeskyttelse kan bli nødvendig i der skoleskipet Gann manøvrerer	8 – 20
2) Tildekking i områder utenfor ålegresseng (vanddyp >8 m og sørenden av Bangarvågen) AC-behandling i områdene med Ålegresseng (dyp < 8 m i nordlig del av Bangarvågen)		Isolasjonstildekking: 86 000 m ² Erosjonsbeskyttelse: ca. 8 000 m ² dimensjonert for skoleskipet Gann Erosjonsbeskyttelse dimensjonert for mindre båter og bølger: 78 000 m ² AC-behandling: 40 000 m ²	Mudring eventuelt spesialisert erosjonsbeskyttelse kan bli nødvendig i der skoleskipet Gann manøvrerer	12 - 30
3) Tildekking i hele delområdet	Ødeleggelse av ålegressengen må aksepteres, ev. gjøres forsøk med tilbakeplanting av ålegresseng etter tildekking	Totalt: 126 000 m ² Ca. 8 000 m ² Erosjonsbeskyttelse dimensjonert for propellstrøm fra skoleskipet Gann, Ca. 120 000 m ² erosjonsbeskyttelse dimensjonert for mindre båter og bølger	Mudring eventuelt spesialisert erosjonsbeskyttelse kan bli nødvendig i der skoleskipet Gann manøvrerer	10 – 25
4) Tildekking som i alternativ 1), 2) eller 3) og tildekking med Sprengsteinmasser i områder med vanddyp >8 m		Totalt: 86 000 - 126 000 m ² Sprengsteinmasser: 35 000 m ² Tildekking med sand eller grus masser: 51 000 – 91 000 m ²	Mudring eventuelt spesialisert erosjonsbeskyttelse kan bli nødvendig i der skoleskipet Gann manøvrerer	12 - 31

Basert på vurdering av måloppnåelse og kostnader for de fire alternativene over anbefales alternativ 4) med masser fra Ryfast- eller Rogfastsambandet, kombinert med alternativ 2) AC-behandling. Dette forutsetter at tester med denne metoden viser at en slik behandling gir ønsket måloppnåelse (se avsnitt 4.2) og er skånsom nok mot åle-gressenga.

Det anbefales også at undersøkelser og eventuelle tiltak for å redusere spredning fra land gjennomføres før eller samtidig med tiltak på sjøbunnen.

6.3 Indre og ytre Galeivågen

Indre og ytre Galeivågen ligger i direkte tilknytning til hverandre og det er sannsynlig at oppvirvling fra sjøbunnen i stor grad kan spres fra det ene til det andre av disse områdene. Tiltaksvurderingen for Indre og ytre Galeivågen er derfor behandlet samlet.

6.3.1 Tiltaksmål for Galeivågen

Følgende tiltaksmål foreslås for delområdet Galeivågen:

- På sikt skal tiltakene føre til at spredning fra sjøbunnen og eksponering av de mest aktuelle miljøgiftene til bunnlevende organismer reduseres med 80% i forhold til situasjon før tiltak.
-

I områder med Isolasjonstildekking gjelder også:

- Sjøbunnen like etter tildekking skal være klasse II og egnet for rekolonisering av lokale arter.
- Tildekkingslagets tykkelse skal i 80% av arealet være design tykkelse og i resten av arealet må tykkelsen ikke være mindre enn 50% design tykkelse. Design tykkelse for anbefalt tildekking er beskrevet for hvert delområde.
- På sikt skal tilstanden på sjøbunnen skal være klasse III eller bedre.

6.3.2 Tiltak i Galeivågen

Begge delområdene er forholdsvis grunne (for det meste grunnere enn 5 m), samtidig trafikkeres området av taubåten Rondo og enkelte andre mellomstore båter. Dette betyr at området er utsatt for spredning og blanding av sedimenter som følge av resuspensjon. For å redusere spredning og tilgjengelighet av miljøgifter slik at miljømålene oppnås er det nødvendig å gjøre tiltak i sjø. Det mest effektive tiltaket vurderes generelt å være tildekking. Mudring alene vil ofte ikke være nok til å oppnå en ren sjøbunn etter tiltaket. Dersom seilingsdyp for de båtene som trafikkerer disse områdene nå skal opprettholdes samtidig som tildekkingen skal beskyttes mot erosjon fra denne trafikken vil det være nødvendig å mudre for å få plass til tildekkingsmassene.

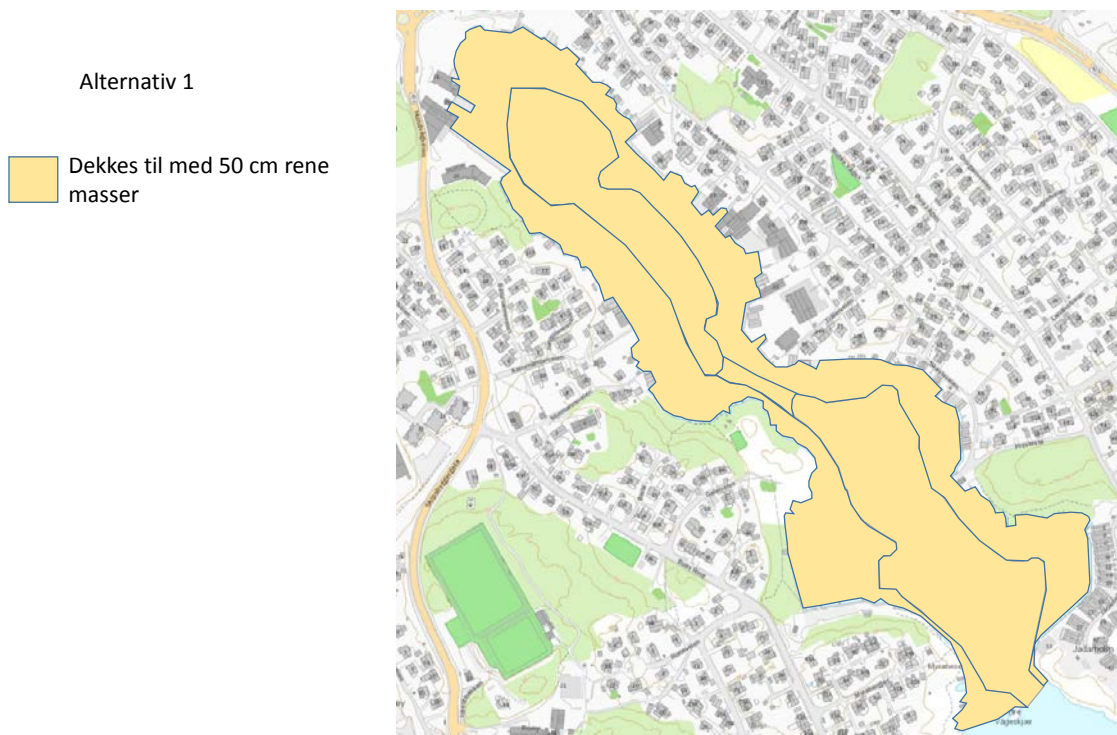
Kildekontroll anbefales gjennomført som beskrevet i avsnitt 5.3. Siden Indre Galeivågen er nært knyttet til områdene ytre Galeivågen og Jadarholm så anbefales det å se på kildekontroll i disse områdene under ett.

Isolasjonstildekking av sjøbunnen vil innebære å legge ut rene masser med en tykkelse på for eksempel 50 cm (se tildekkingsdesign under) noe som betyr at dersom denne legges direkte på sjøbunnen vil tildekkingen komme i konflikt med dagens seilingsaktivitet i området. Dette kan håndteres på følgende alternative måter:

- 1) Tildekking direkte på sjøbunnen og seiling begrenses
- 2) Området mudres først og dekkes deretter til med rene masser
- 3) Områder som trafikkeres av de største båtene mudres først og dekkes deretter til med rene masser
- 4) Tildekking som i alternativ 1), 2) eller 3) og tildekking med sprengsteinmasser i områder med vandyp >8 m
- 5) Tildekking som i alternativ 2) eller 3) og etablering av undervannsdeponi i området med vandyp >8 – 10 m

6.3.3 Alternativ 1: Tildekking direkte på sjøbunnen, ingen mudring

Dette alternativet innebærer å dekke til hele dette delområdet (I indre Galeivågen 73 000 m² + Ytre Galeivågen 65 0000 m²) med rene masser direkte på sjøbunnen uten å mudre først.



Figur 17 Arealplan for tiltaksalternativ 1) i indre og ytre Galeivågen

I indre Galeivågen er vanndypet om lag 5,7 m på det dypeste (Statens kartverk Sjø) og meste parten av arealet (48 000 m²) er grunnere enn 5 m, bare i de sentrale delene av vågen er vanndypet > 5m. Maksimal dyp på terskelen mellom indre og ytre Galeivågen er om lag 3,3 m. I Ytre Galeivågen (65 0000 m²) er det maksimale dypet om lag 13 m store deler har likevel et dyp <5m (27 000 m²) har mer en areal Disse områdene trafikk-eres i dag av flere fartøy av en viss størrelse. For eksempel holder taubåten Rondo til i indre Galeivågen og har en propelldybde på 3,6 m. Det er så vidt at denne båten kommer seg over terskelen mellom ytre og indre Galeivågen. Dette betyr derfor at dette og andre fartøy vil komme i konflikt med en slik tildekking. Dersom hele arealet skal dekkes til uten mudring betyr det derfor at disse fartøyene ikke lenger kan trafikkere indre Galeivågen og det bør legges begrensinger på trafikken i området basert på dypgang og motorkraft. Dette betyr også at det må legges til rette for nye anløpssteder for de aktuelle båtene.

Tabell 11 viser anbefalt tildekkingsdesign for tildekking i indre og ytre Galeivågen.

Tabell 11 Tildekkingsdesign Galeivågen.

Lag	Dimensjonerende forhold	Type masse	Design mineralske masser	Design aktive masser
Erosjonslag	Strømhastighet fra vind og tidevann. Strømhastighet fra propellstrøm fra taubåten Rondo	Masser med d50 > 60 mm*. Basert på strøm ved sjøbunnen på 3 m/s generert av taubåten Rondo i områder med mer enn 5 m vanndyp.**	20 cm	20 cm
Bioturbasjonslag	Ingen stedsspesifikke vurderinger er gjort.		Bruker generisk verdi på 10 cm, slås sammen med erosjonslaget. Blir da 0 cm	Bruker generisk verdi på 10 cm, slås sammen med erosjonslaget. Blir da 0 cm
Adveksjonslag	Ingen stedsspesifikke vurderinger er gjort.	Sand eller finere subus f.eks., 0 – 4 eller 0 – 8 mm	Bruker generisk verdi på 15 cm	Bruker generisk verdi på 5 cm
Kjemisk isolasjonslag	Beregnet fra transport av Hg, Cu, Krysen og PCB52	Sand eller finere subus f.eks., 0 – 4 eller 0 – 8 mmm	5 cm holder for alle de modellerte stoffene	5 cm holder for alle de modellerte stoffene
Blandingslag	Erfaringsmessig anslått	Sand eller finere subus f.eks., 0 –	10 cm	0

Lag	Dimensjonerende forhold	Type masse	Design mineralske masser	Design aktive masser
		4 eller 0 – 8 mmm		
Total design tykkelse			50 cm	30 cm
Usikkerhet i utlegging	Ikke ansett som nødvendig med konservativt design her holder at det dokumenteres at 80% av arealet er \geq design tykkelse		0 cm	0

*Det kan være nødvendig å bruke pukk eller andre masser med minimalt finstoff for å hindre masseflukt og oppbygging av hauger med tildekkingsmaterialet i områder der båtene skal manøvreres

** Det kan være nødvendig med eget design for erosjonsbeskyttelse også i andre områder som er særlig utsatt for skipstrafikk.

Tilstrekkelig erosjonsbeskyttelse er viktig både for å hindre at tildekkingslaget svekkes og for å hindre masseflukt og ukontrollert oppbygging av områder med mindre seilingsdyp. Dette betyr også at det er behov for et tykkere erosjonslag.

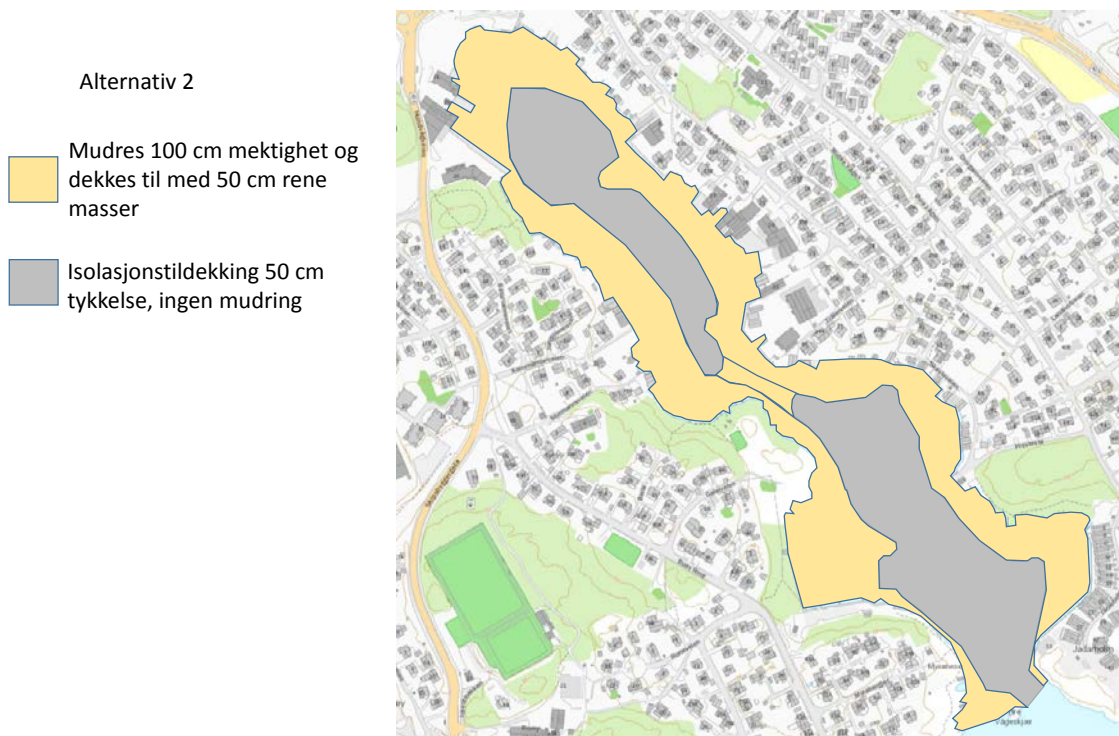
Dersom man velger å bruke aktive materialer, med økt sorpsjonsevne for de viktigste miljøgiftene i området, så kan tykkelsen på tildekkingen reduseres med 0,2 m. Dette gir igjen mindre behov for mudring og deponering

Tabell 12 Alternativ 1) Tildekking direkte på sjøbunnen

Beskrivelse	Enh et	Antall	Pris lav	Pris høy
Detaljprosjektering av tiltaket		1	300 000	1 000 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1	1 500 000	5 000 000
Omlegging av rørledning	m	350	455 000	1 400 000
Omlegging av kabler	m	650	325 000	2 600 000
Innkjøp og utlegging av tildekkingsmateriale (0,4 m tykkelse)	m ³	69 000	10 350 000	20 700 000
Overvåkning under tiltak (1 år)	RS	1/3	500 000	1 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	1/3	266 000	666 000
Sum			13 696 000	32 366 000

6.3.4 Alternativ 2: Området mudres først og dekkes deretter til med rene masser

Dette alternativet innebærer at hele tiltaksområdet i indre og ytre Galeivågen mudres først for så å legge på tildekking. Denne tildekkingen må beskyttes med et erosjonslag som kan motstå propellersosjon fra båttrafikk tilsvarende det som er situasjonen i dag i dette området.



Figur 18 Arealplan for tiltaksalternativ 2) i indre og ytre Galeivågen

Mudring

Dersom hele Galeivågen skal være tilgjengelig for trafikk som i dag må mudringsbehovet vurderes i detalj for hver enkelt kai. For estimere kostnader knyttet til dette alternativet er det antatt at det er et mudringsbehov på 2 x tykkelsen av tildekkingslaget i hele indre og ytre Galeivågen grunnere enn 5 m. Dette utgjør et areal på 75 000 m² og et sedimentvolum på 75 000 m³ (faste masser). Ved mudring vil volumet i disse massene økes, men det er antatt at når massene er anbragt i et strandkant deponi vil massene konsolideres slik at volumet igjen vil bli 75 000 m³ eller mindre (anbragte masser).

Deponering av mudrede masser.

Deponering av mudrede masser kan gjøres ved å transportere disse til godkjent mottak. Det kan også etableres deponier lokalt. Dette vil ofte være den mest bærekraftige

løsningen da det minimerer behovet for å transportere forurensede masser over lange avstander. Dersom det etableres et nytt strandkantdeponi for mudrede masser ved Jadarholm vil det sannsynligvis være det mest gunstige alternativet.

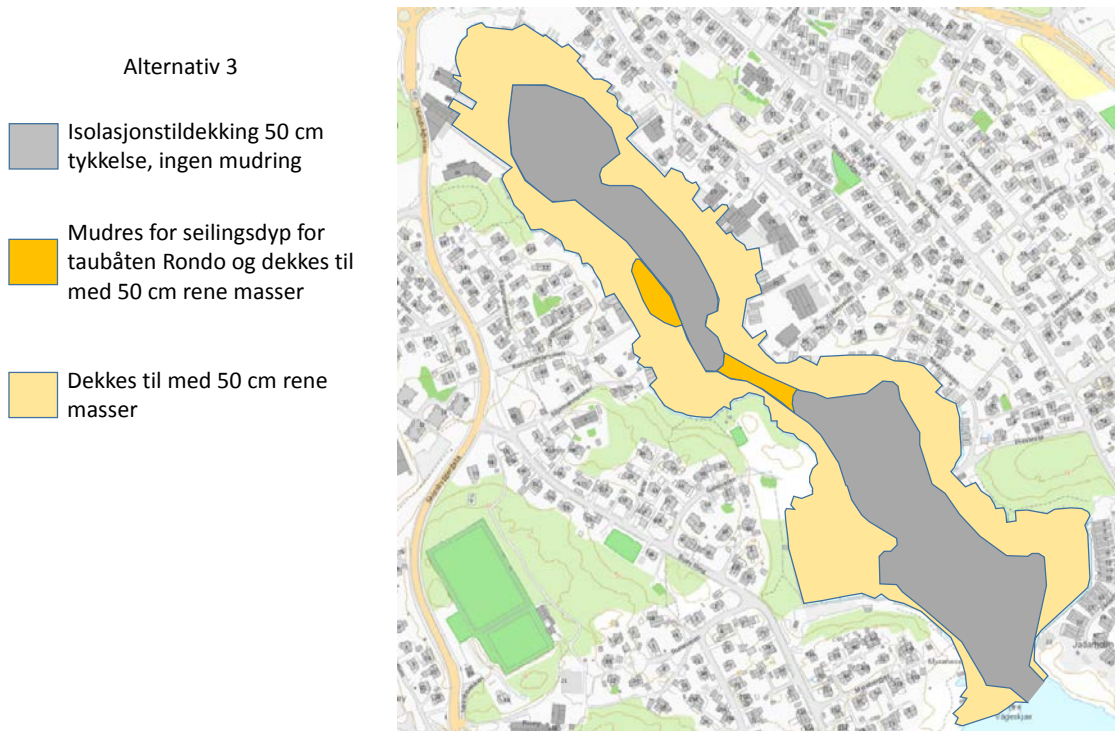
Før etablering av strandkantdeponi vil det være nødvendig å prosjektere tiltaket geoteknisk og miljøteknisk og søke om tillatelse til etableringen. Fra et miljøperspektiv er det svært gode grunner for en slik løsning både fordi det blir mindre behov for transport og omlasting av forurensede masser og fordi massen i deponiet blir den samme typen masse som skal isoleres med tildekking in situ uansett. Strandkant eller undervannsdeponier betyr dermed en ren omdisponering av forurensede masser på området, slik som er vanlig for eksempel i områder med forurenset grunn. For dette alternativet vil det være behov for større deponi kapasitet enn det det er plass til i strandkantdeponiet som foreslås i delområde Jadarholm (se avsnitt 6.4.3).

Tabell 13 Kostnadsestimater for Alternativ 2) Området mudres først og dekkes deretter til med rene masser

Beskrivelse	Enhet	Antall	Pris lav	Pris høy
Detaljprosjektering av tiltaket		1	500 000	1 500 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1	1 500 000	5 000 000
Omlegging av rørledning	m	350	455 000	1 400 000
Omlegging av kabler	m	650	325 000	2 600 000
Innkjøp og utlegging av tildekkingsmateriale (0,4 m tykkelse)	m ³	69 000	10 350 000	20 700 000
Overvåkning under tiltak (1 år)	RS	0,33	500 000	1 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	0,33	266 000	666 000
Rydding klargjøring av sjøbunn for mudring	m ²	75 000	750 000	1 500 000
Mobilisering/demobilisering og drift for mudring	RS	1	5 000 000	12 000 000
Mudring 150 cm sjøbunn (inkl transport til lokalt deponi)	m ³	75 000	18 750 000	48 750 000
Søknader	RS	1	400 000	500 000
Prosjektering og søknad om strandkantdeponi	RS	1	400 000	1 000 000
Konstruksjon av strandkantdeponi	m ³	75 000	7 500 000	15 000 000
Innfylling av mudrede masser i strandkantdeponi	m ³	75 000	11 250 000	15 000 000
Overvåkning av strandkantdeponi	RS	1	1 000 000	2 000 000
Sum			58 946 000	128 616 000

6.3.5 Alternativ 3: Mudring i områder som trafikkeres av større båter

Dette alternative består i å mudre bare de områdene der det er behov for dette for å sikre seilingsdyp for taubåten Rondo og eventuelle andre større båter. Etter mudringen dekkes hele delområdet med rene masser som beskrevet i tildekkingsdesignet i Tabell 11 Tildekkingsdesign Galeivågen.



Figur 19 Arealplan for tiltaksalternativ 3 i indre og ytre Galeivågen

Det vil sannsynligvis være behov for å holde seilingsdypet på 5 m dyp der hvor det trafikkeres med de største båttypene. Dette behovet må vurderes for hver enkelt kai i forhold til hvilke båter som trafikkerer, dyptgående og propellstrøm som disse forårsaker. Det er anslått at for området der taubåten Rondo anløper vil det være behov for mudring i et areal opp til 2 000 m² i tillegg til 2 000 m² i sundet mellom ytre og indre Galeivågen. Det eksakte mudringsarealet bør bestemmes som en del av detaljprosjektering av tiltaket.

Dagens vandndyp i dette området varierer fra 3 til 5 m og dersom tildekkingen på 0,5 m skal legges til betyr dette at det vil være et behov for å mudre 0,5 - 2,5 m ned i sjøbunnen. Dette gir et grovt estimat av mudringsvolumet (faste masser, inklusiv noe overmudring) på om lag 8 000 m³ dersom dette er de eneste stedene det er nødvendig å mudre. Dersom det velges et tildekkingsdesign med aktive masser kan man redusere mudringsvolumet en del. Selv om det ikke skal mudres til rene masser fordi det skal dekkes til igjen etterpå så må det likevel påregnes noe overmudring for å oppnå tilstrekkelig dyp. Innblanding

av vann vil dessuten gjøre at de mudrede massene som skal deponeres vil øke i volum. Dersom mudringen gjøres mekanisk forventes denne volumøkningen å være relativt beskjeden (<100%).

Etter mudring for seilingsdyp og plass til prosjektert tildekking dekkes hele indre og ytre Galeivågen med rene masser. Det må gjøres egen prosjektering av lag for erosjonsbeskyttelse der de største båtene som skal trafikkere området. Dette må koordineres med prosjektering av mudringen slik at det mudres tilstrekkelig for å få plass til denne erosjonsbeskyttelsen. Dersom dette alternativet bør trafikk med større båter begrenses i resten av området.

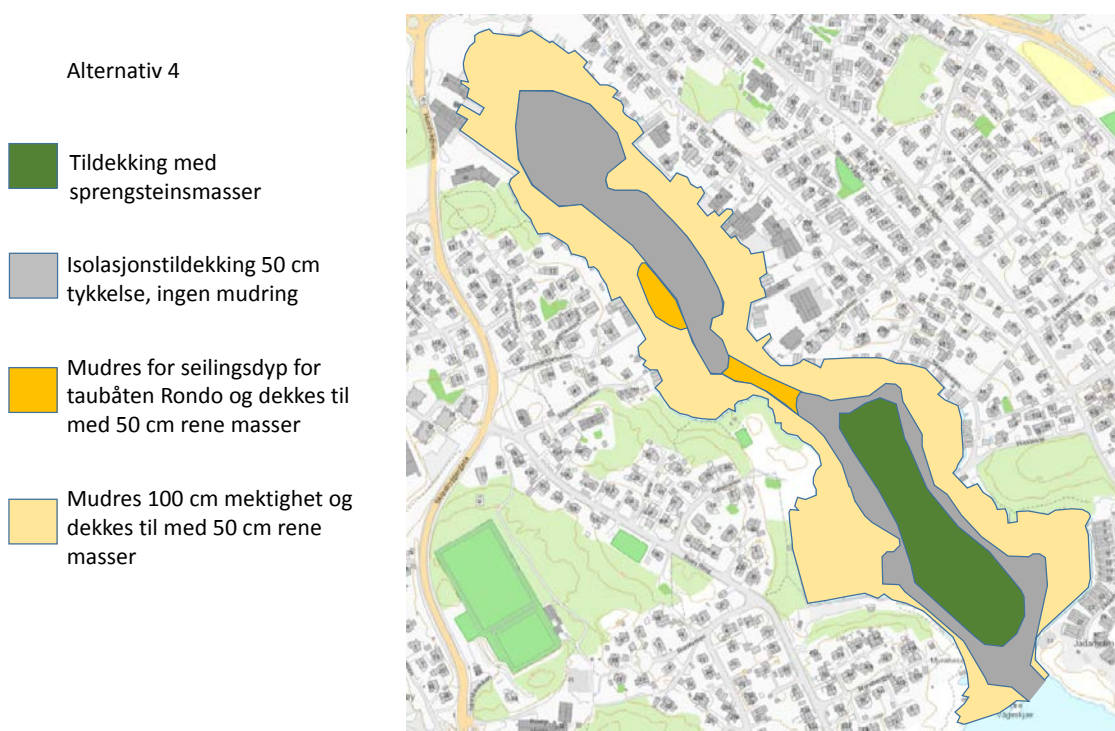
Tabell 14 Alternativ 3) Områder som trafikkeres av de største båtene mudres først og dekkes deretter til med rene masser

Beskrivelse	Enhet	Antall	Pris lav	Pris høy
Detaljprosjektering av tiltaket	RS	1	500 000	2 000 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1	1 500 000	5 000 000
Omlægging av rørledning	m	350	455 000	1 400 000
Omlægging av kabler	m	650	325 000	2 600 000
Innkjøp og utlegging av tildekkingsmateriale (0,4 m tykkelse)	m ³	69 000	10 350 000	20 700 000
Overvåkning under tiltak (1 år)	RS	1/3	500 000	1 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	1/3	266 000	666 000
Rydding klargjøring av sjøbunn for mudring	m ²	4 000	40 000	80 000
Mobilisering/demobilisering og drift for mudring	RS	1	1 000 000	5 000 000
Mudring 150 cm sjøbunn (inkl transport til lokalt deponi)	m ³	8 000	2 000 000	5 200 000
Søknader	RS	1	400 000	500 000
Prosjektering og søknad om strandkantdeponi	RS	1	400 000	1 000 000
Konstruksjon av strandkantdeponi	m ³	11 000	1 100 000	2 200 000
Innfylling av mudrede masser i strandkantdeponi	m ³	11 000	1 650 000	2 200 000
Overvåkning av strandkantdeponi	RS	1	1 000 000	2 000 000
Sum			21 486 000	51 546 000

6.3.6 Alternativ 4: Tildekking som i alternativ 1), 2) eller 3) og tildekking med sprengsteinmasser i områder med vanddyb >8 m

I dette alternativet erstattes de ordinære tildekkingsmassene i de dypere delene av området med sprengsteinsmasser. Siden disse massene består av usortert sprengstein vil de sannsynligvis være grovere enn de massene som er anbefalt i tildekkingsdesignet over. Som beskrevet i avsnitt 5.4.5 kan dette kompenseres med å legge massene med større mektighet eller at det legges ut en sandpute først, dersom det er stabilitetsmessig akseptabelt. Alternativt kan også massene siktes for å tilfredsstillende anbefalte kornstørrelser i de generelle tildekkingsdesignet (Tabell 11).

I detaljprosjekteringsfasen må det gjøres en geoteknisk vurdering av utfyllingene og tildekkingen for å vurdere mektigheter og utfyllingsmetodikk som gir tilfredsstillende stabilitet.



Figur 20 Arealplan for tiltaksalternativ 4 i indre og ytre Galeivågen

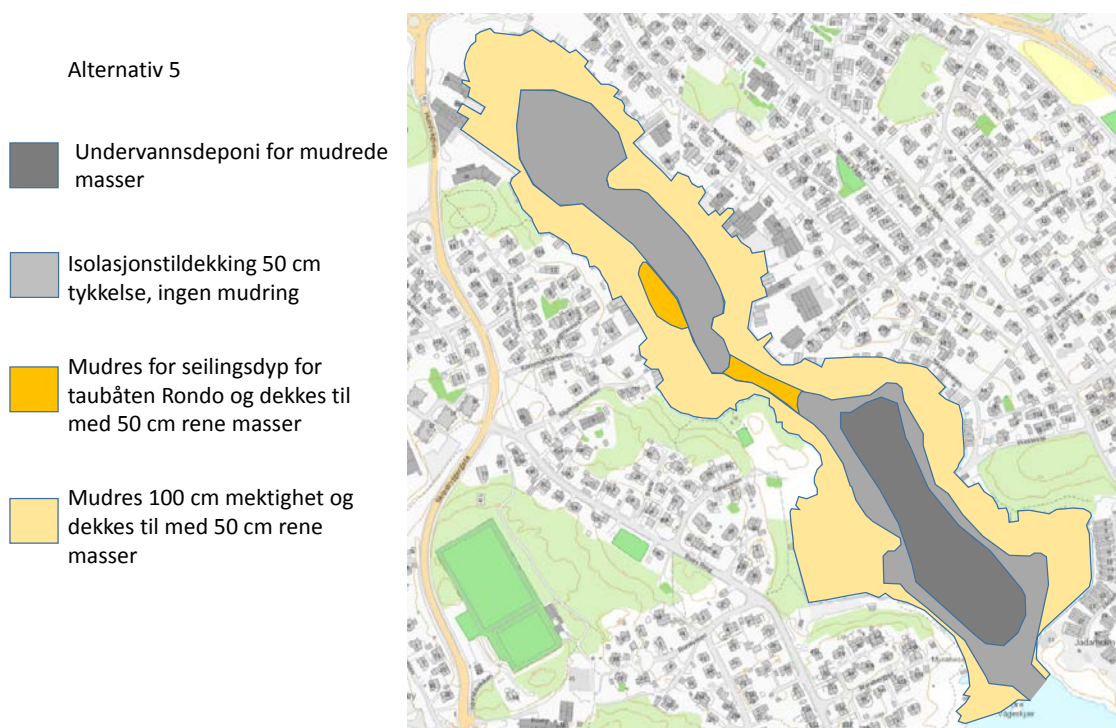
Tabell 15 Alternativ 4) Tildekking som i alternativ 1), 2) eller 3) og tildekking med Ryfastmasser i områder med vanddyp >8 m

Beskrivelse	Enhet	Antall	Pris lav	Pris høy
Detaljprosjektering av tiltaket		1	300 000	1 000 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1	1 500 000	5 000 000
Omlagging av rørledning	per m ledning	350	455 000	1 400 000
Omlagging av kabler	per m ledning	650	325 000	2 600 000
Innkjøp og utlegging av tildekkingsmateriale (0,5 m tykkelse)	m ³	37 500	5 625 000	11 250 000
Overvåking under tiltak (1 år)	RS	0,33	500 000	1 000 000
Overvåking etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	0,33	266 000	666 000
Rydding klargjøring av sjøbunn for mudring	m ²	4 000	40 000	80 000
Mobilisering/demobilisering og drift for mudring	RS	1	5 000 000	12 000 000
Mudring 150 cm sjøbunn (inkl transport til lokalt deponi)	m ³	8 000	2 000 000	5 200 000
Søknader	RS	1	400 000	500 000
Prosjektering og søknad om strandkantdeponi	RS	1	400 000	1 000 000
Konstruksjon av strandkantdeponi	m ³	8 000	800 000	1 600 000
Innfylling av mudrede masser i strandkantdeponi	m ³	8 000	1 200 000	1 600 000
Overvåking av strandkantdeponi	RS	1	1 000 000	2 000 000
Sum			19 811 000	46 896 000

Kostnadene for dette alternativet er beregnet uten kostnader til innkjøp og utlegging av sandpute før tildekking med Ryfastmasser eller til anskaffelse og utleggingen av Ryfastmassene.

6.3.7 Alternativ 5: Tildekking som i alternativ 2) eller 3) og etablering av undervannsdeponi i området med vanddyp >8 – 10 m

Dette alternativet består i å gjøre mudring og så tildekking i henhold til alternativ 2) eller 3) og deponere de mudrede massene i et undervannsdeponi i den dypeste delen av ytre Galeivågen.



Figur 21 Arealplan for tiltaksalternativ 5 i indre og ytre Galeivågen

Undervannsdeponiet kan etableres i et område som likevel skal dekkes til. Dypområdet (13 m vanddyb) i ytre Galeivågen mot Jadarholm kan være egnet for dette. Etter deponering i undervannsdeponiet må de mudrede massene dekkes til med rene masser slik som i resten av tiltaksområdet.

For at deponeringen i et slikt undervannsdeponi ikke skal føre til uakseptabel spredning av forurensede partikler bør deponeringen gjøres i et lukket system, enten ved at massene pumpes ned i et rør, legges ned i geotekstilposer eller deponeres fritt i vannet men innenfor en lukket siltgardin.

Selv om det er gode tekniske erfaringer med deponering av mudrede masser under vann både i forbindelse med oppryddingen i Oslo havn (NGI 2014) og i Trondheim havn (<https://www.trondheim.kommune.no/renehavn/>), så kan et slikt undervannsdeponi møte en del lokal motstand særlig i et område med boliger og annen fritidsbruk. Det anbefales derfor en hensiktsmessig involvering av aktuelle interessenter fra tidlig stadium av planleggingen av et slikt tiltak.

Tabell 16 Alternativ 5) Tildekking som i alternativ 2) eller 3) og etablering av undervannsdeponi i området med vandyp >8 – 10 m

Beskrivelse	Enhet	Antall	Pris lav	Pris høy
Detaljprosjektering av tiltaket		1	500 000	2 000 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1	1 500 000	5 000 000
Omlegging av rørledning	m	350	455 000	1 400 000
Omlegging av kabler	m	650	325 000	2 600 000
Innkjøp og utlegging av tildekkingsmateriale (0,4 m tykkelse)	m ³	37 500	5 625 000	11 250 000
Overvåkning under tiltak (1 år)	RS	0,33	500 000	1 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	0,33	266 000	666 000
Rydding klargjøring av sjøbunn for mudring	m ²	138 000	1 380 000	2 760 000
Mobilisering/demobilisering og drift for mudring	RS	1	5 000 000	12 000 000
Mudring 150 cm sjøbunn (inkl. transport til lokalt deponi)	m ³	75 000	18 750 000	48 750 000
Søknader	RS	1	500 000	1 500 000
Konstruksjon av undervannsdeponi	m ³	75 000	3 750 000	10 500 000
Innfylling av mudrede masser i undervannsdeponi	m ³	75 000	1 500 000	3 750 000
Overvåkning av undervannsdeponi	RS	1	1 000 000	2 000 000
Sum			41 051 000	105 176 000

6.3.8 Oppsummering og anbefaling om tiltak i Indre og ytre Galeivågen

Tabell 17 Tiltaksalternativer for tiltak på sjøbunnen i indre og ytre Galeivågen

Tiltaksalternativ	Forutsetninger	Areal tildekking	Volum mudring	Kostnad
1) Tildekking direkte på sjøbunnen	Seiling i området begrenses i forhold til båtenes dyptgående og motorkraft	Totalt: 138 000 m ² erosjonsbeskyttelse dimensjonert for mindre båter og bølger	0 m ³	14 – 32
2) Området mudres først og dekkes deretter til med rene masser	Designet som skal motstå propellererosjon fra båttrafikk tilsvarende det som er situasjonen i dag	Totalt: 138 000 m ² Erosjonsbeskyttelse dimensjonert for kraftig propellstrøm: 75 000 m ² 63 000 m ² erosjonsbeskyttelse dimensjonert for mindre båter og bølger	75 000 m ³ 1 m mektighet i alle områder med dyp < 5 m	59 - 128
3) Områder som trafikkeres av de største båtene mudres først og dekkes deretter til med rene masser	Designet som skal motstå propellererosjon fra båttrafikk tilsvarende det som er situasjonen i dag Seiling i resten av området begrenses i forhold til båtenes dyptgående og motorkraft	Totalt: 138 000 m ² Erosjonsbeskyttelse dimensjonert for kraftig propellstrøm : 4000 – 10 000 m ² Ca. 130 000 m ² erosjonsbeskyttelse dimensjonert for mindre båter og bølger	11 000 m ³ Antatt mudring bare for Rondo	21 - 52
4) Tildekking som i alternativ 1), 2) eller 3) og tildekking med Ryfastmasser i områder med vanddyb >8 m		Totalt: 138 000 m ² Ryfastmasser: 10 000 – 20 000 m ² Tildekking med sand eller grus masser: 118 000 – 128 000 m ²	0 - 75 000 m ³	20 - 47
5) Tildekking som i alternativ 2) eller 3) og etablering av undevannsdeponi i området med vanddyb >8 – 10 m		Totalt: 138 000 m ²	11 000 - 75 000 m ³	41 - 105

Basert på vurdering av måloppnåelse og kostnader for de fem alternativene over anbefales alternativ 3) der det mudres med tanke på seilingsdyp for de båtene i Galeivågen som ikke kan flyttes. I dette alternativet må det gjøres en litt grundigere behovskartlegging og planlegging for å begrenses mudringen til bare de områdene der det vil være båttrafikk som krever seilingsdyp utover 0,5 m grunnere enn dagens dyp.

Det anbefales at det gjennomføres undersøkelser og dialog med tanke på å vurdere muligheten for å finne alternativ kai plass for de større båtene som manøvrerer i Galeivågen.

Dersom det er vanskelig å utelukke betydelig båttrafikk i vesentlige deler av tiltaksområdet vil dette alternativet nærme seg alternativ 2) i gjennomføring og kostnad og dersom alle båter i konflikt med begrenset seilingsdyp kan flyttes ut av området vil tiltaket ligne mer på alternativ 1).

Det anbefales også at undersøkelser og eventuelle tiltak for å redusere spredning fra land gjennomføres før eller samtidig med tiltak på sjøbunnen.

6.4 Jadarholm

Sjøbunnen sør og øst for Jadarholm ned til 20 m vanddyp er inkludert i dette tiltaksområdet. Det er nylig bygget ut boliger på land på selve Jadarholmen. I forbindelse med dette arbeidet ble det ryddet opp i forurenset grunn ned til et belte på 1 m over strandkanten. I detaljprosjekteringen må det vurderes hvilke spesifikke tiltak som er aktuelle i de ulike delene av strandsonen.

6.4.1 Tiltaksmål for området rundt Jadarholm

Følgende tiltaksmål foreslås for delområdet Jadarholm:

- På sikt skal tiltakene føre til at spredning fra sjøbunnen og eksponering av de mest aktuelle miljøgiftene til bunnlevende organismer reduseres med 80% i forhold til situasjon før tiltak.

I områder med Isolasjonstildekking gjelder også:

- Sjøbunnen like etter tildekking skal være klasse II og egnet for rekolonisering av lokale arter.
- Tildekkingslagets tykkelse skal i 80% av arealet være design tykkelse og i resten av arealet må tykkelsen ikke være mindre enn 50% design tykkelse. Design tykkelse for anbefalt tildekking er beskrevet for hvert delområde.
- På sikt skal tilstanden på sjøbunnen skal være klasse III eller bedre.

6.4.2 Tiltak i Jadarholm

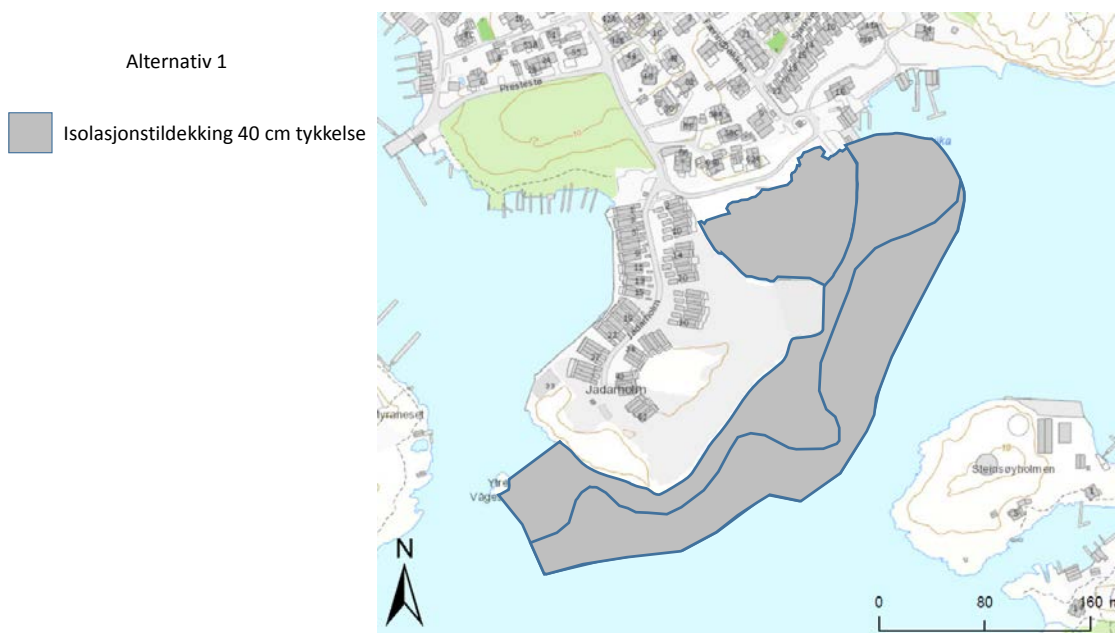
Dette delområdet ligger rett utenfor Galeivågen og det er derfor sannsynlig at oppvirvling av forurensede sedimenter i Galeivågen spres ut og kan bidra til forurensingen i delområdet ved Jadarholm. Det anbefales derfor at tiltakene utenfor Jadarholm gjøres etter at tiltakene i Galeivågen er gjennomført.

I delområde 4, Jadarholmen, er følgende tiltaksalternativer vurdert:

1. Tildekking direkte på sjøbunnen (inkludert forurenset grunn i strandkanten)
2. Tildekking med sprengsteinmasser i områder med vanddyb >8 m
3. Tildekking som i alternativ 1) eller 2) og etablering av strandkantdeponi i området nord-øst for Jadarholmen.

6.4.3 Alternativ 1: Tildekking direkte på sjøbunnen

Alternativ 1 består i å dekke til sjøbunnen i område 4 med en isolasjonstildekking i henhold til metode for tildekkingsdesign som beskrevet i avsnitt 5.4. Et overordnet design av en slik tildekking for område 4 Jadarholm er beskrevet i Tabell 18.



Figur 22 Arealplan for tiltaksalternativ 1 i tiltaksområde Jadarholm

Tabell 18 Tildeckingsdesign Jadarholm

Lag	Dimensjonerende forhold	Type masse	Design
Erosjonslag	Strømhastighet fra vind og tidevann. Strømhastighet fra propellstrøm fra skoleskipet Gann	Masser med d50 > 30 mm. Basert på strøm ved sjøbunnen på 2 m/s generert av taubåten Rondo i områder med mer enn 6,0 m vanddyb.*	10 cm lag
Bioturbasjonslag	Ingen stedsspesifikke vurderinger er gjort.		Bruker generisk verdi på 10 cm, slås sammen med erosjonslaget. Blir da 0 cm
Adveksjonslag	Ingen stedsspesifikke vurderinger er gjort.	Sand eller finere subus f.eks. 0 – 4 eller 0 – 8 mm	Bruker generisk verdi på 15 cm
Kjemisk isolasjonslag	Beregnet fra transport av Hg, Cu, Krysen og PCB52	Sand eller finere subus f.eks. 0 – 4 eller 0 – 8 mmm	5 cm holder for alle de modellerte stoffene
Blandingslag	Erfaringsmessig anslått	Sand eller finere subus f.eks. 0 – 4 eller 0 – 8 mmm	10 cm
Total design tykkelse			40 cm
Usikkerhet i utlegging	Ikke ansett som nødvendig med konservativt design her holder at det dokumenteres at 80% av arealet er design tykkelse og ≥ 50% design tykkelse		0 cm

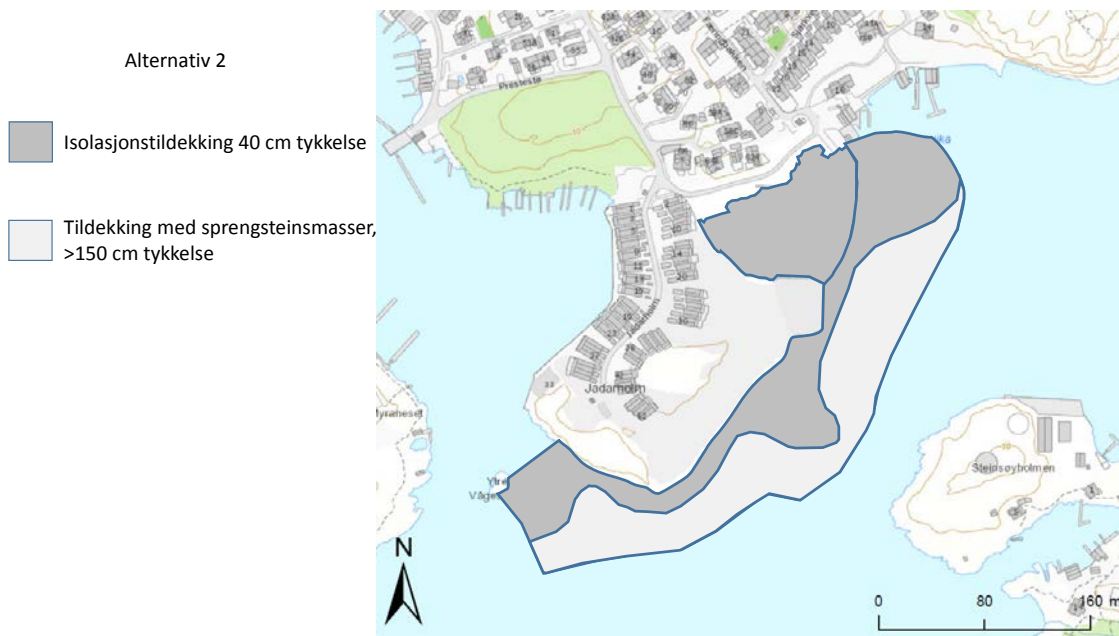
*Det vil være nødvendig med eget design for erosjonsbeskyttelse i områdene båter trafikkerer over grunne områder.

Tabell 19 Kostnadsestimater for Alternativ 1) Tildekking direkte på sjøbunnen

Beskrivelse	Enhet	Antall	Pris lav	Pris høy
Detaljprosjektering av tiltaket	RS	1	400 000	2 000 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1	1 500 000	5 000 000
Omlegging av rørledning	m	100	130 000	400 000
Omlegging av kabler	m	800	400 000	3 200 000
Innkjøp og utlegging av tildekkingsmateriale (0,4 m tykkelse)	m ³	18 400	2 760 000	5 520 000
Overvåkning under tiltak	RS	0,33	500 000	1 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	0,33	266 000	666 000
Sum			5 956 000	17 786 000

6.4.4 Alternativ 2: Tildekking med sprengsteinmasser i områder med vanddyb >8 m

I dette alternativet erstattes de ordinære tildekkingsmassene i de dypere delene av området med sprengsteinsmasser. Siden disse massene består av usortert sprengstein vil de sannsynligvis være grovere enn de massene som er anbefalt i tildekkingsdesignet over. Som beskrevet i avsnitt 5.4.5 kan dette kompenseres med å legge massene med større mektighet eller at det legges ut en sandpute først, dersom det er stabilitetsmessig akseptabelt. Alternativt kan også massene siktes for å tilfredsstillende anbefalte kornstørrelser i de generelle tildekkingsdesignet (Tabell 18).



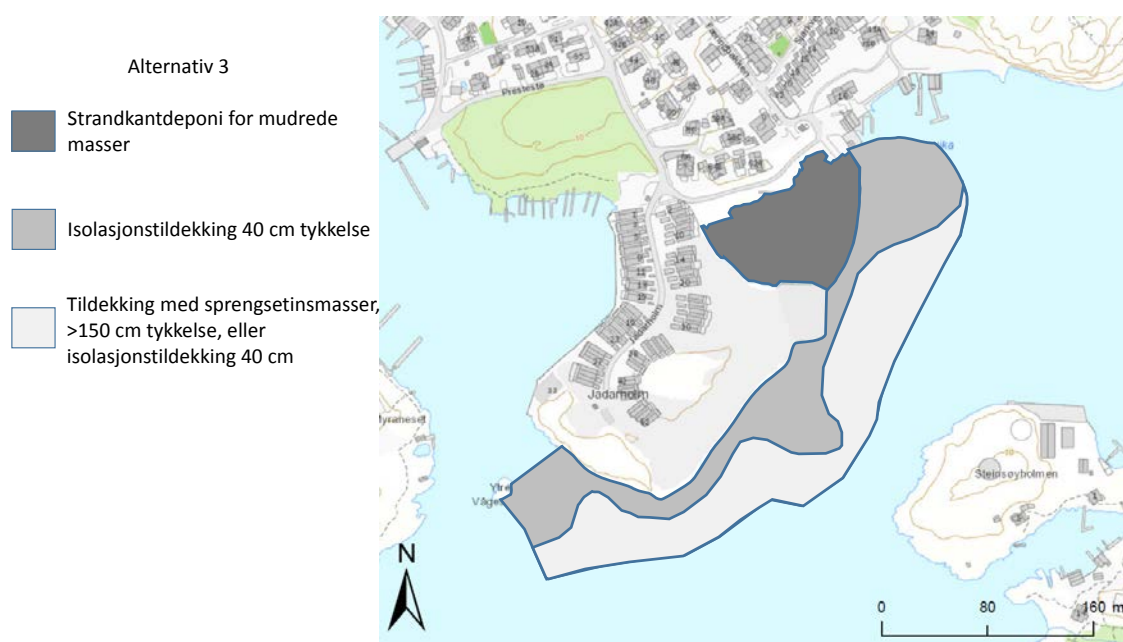
Figur 23 Arealplan for tiltaksalternativ 2 i delområdet Jadarholmen

Tabell 20 Kostnadsestimat for tiltaksalternativ 2) Tildekking med sprengsteinmasser i områder med vanddyb >8 m

Beskrivelse	Enhet	Antall	Pris lav	Pris høy
Detaljprosjektering av tiltaket	RS	1	400 000	2 000 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1	1 500 000	5 000 000
Omlegging av rørledning	m	100	130 000	400 000
Omlegging av kabler	m	800	400 000	3 200 000
Innkjøp og utlegging av tildekkingsmateriale (0,4 m tykkelse)	m ³	10 000	1 500 000	3 000 000
Overvåkning under tiltak (1 år)	RS	0,33	500 000	1 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	0,33	266 000	666 000
Sum			4 696 000	15 266 000

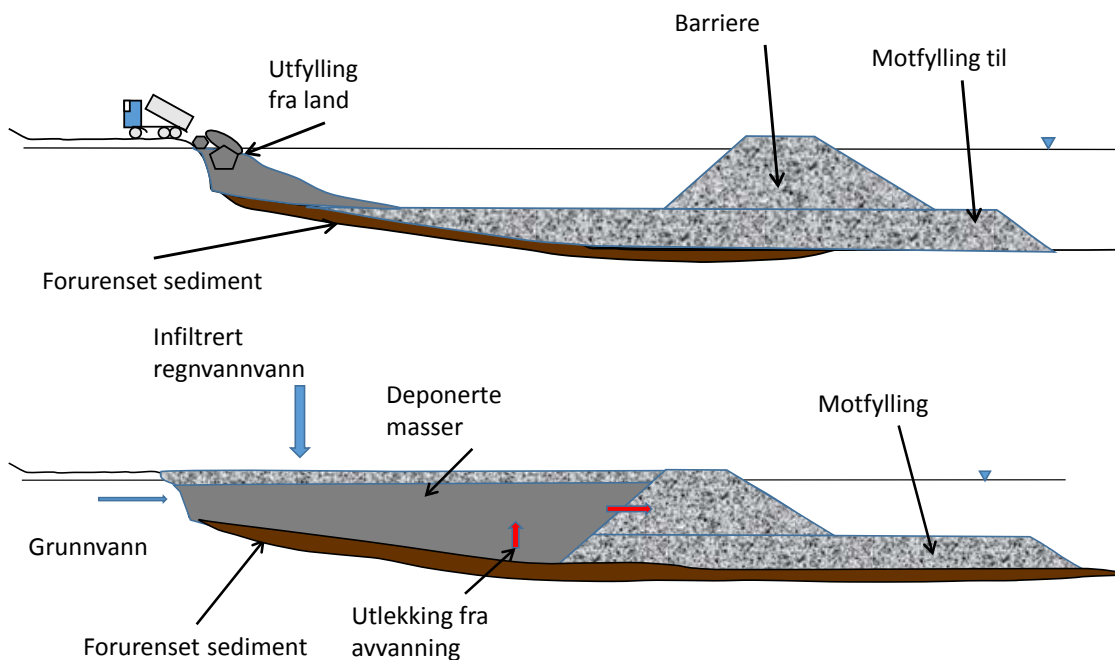
6.4.5 Alternativ 3: Tildekking som i alternativ 1) eller 2) og etablering av strandkantdeponi

I bukta nord-øst for Jadarholm er Stavanger kommune grunneier og ser derfor for seg at dette arealet kan brukes som strandkantdeponi for senere utvikles som landareal. Arealet av det skisserte området er om lag 7000 m² og relativt grunt, med maksimumsdyp 2,7 m (statens kartverk sjø). Hvis det antas at det kan fylles mudrede masser opp til kote 0 med en anslått mektighet på 2 m gir dette et volum på 14 000 m³. Dette strandkant deponiet vurderes derfor å sannsynligvis kunne romme mudringsbehovet i Galeivågen (anslått til 11 000 m³). Dersom det blir nødvendig å øke kapasiteten ut over dette må det fylles over kote 0 noe som vil eksponere de mudrede massene for infiltrert regnvann og for oksygen. Dette vil bety økt krav til topptetting av deponiet.



Figur 24 Planskisse tiltaksalternativ 3 Jadarholm

Både eksakt volum mudrede masser, hvor mye disse kan forventes å avvannes i deponiet og volumet som deponiet kan romme må beregnes med større presisjon i prosjekteringsfasen.



Figur 25 Skisse (ikke målsatt) av snitt gjennom strandkantdeponi. Illustrerer viktige forhold ved et slikt deponi.

Figur 25 viser en prinsippskisse for et strandkantdeponi med en permeabel barriere der massene deponeres under vannspeilet. I et slikt deponi vil sjøbunnsedimentene ligge i et sjøvannsmiljø også etter deponeringen og dermed være mindre utsatt for erosjon og utlekking som følge av grunnvannstransport gjennom deponiet. Under deponeringen vil vann fra avanningen slippe ut gjennom barrierene. Dette vannet kan ta med seg vannløste miljøgifter.

Tabell 21 Kostnadsestimat for tiltaksalternativ 3) Tildekking som i alternativ 1) eller 2) og etablering av strandkantdeponi

Beskrivelse	Enhet	Antall	Pris lav	Pris høy
Detaljprosjektering av tiltaket	RS	1	500 000	2 000 000
Mobilisering/demobilisering og drift for tildekking	RS	1	1 500 000	5 000 000
Omlegging av rørledning	m	100	130 000	400 000
Omlegging av kabler	m	800	400 000	3 200 000
Innkjøp og utlegging av tildekkingsmateriale (0,4 m tykkelse)	m ³	7 200	1 080 000	2 160 000
Overvåkning under tiltak (1 år)	RS	0,33	500 000	1 000 000
Overvåkning etter tiltak (2, 5, 10 år)	RS	0,33	266 000	666 000
Sum			4 376 000	14 426 000

Kostnadene knyttet til bygging av strandkantdeponiet er ikke med her, de er en del av kostnadene ved deponering av mudrede masser beskrevet under tiltaksalternativene for delområdet indre og ytre Galeivågen.

6.4.6 Anbefaling for Jadarholm

Tabell 22 Tiltaksalternativer for tiltak på sjøbunnen i Jadarholm

Tiltaksalternativ	Forutsetninger og konsekvenser	Areal tildekking	Volum mudring	Kostnader
1) Tildekking direkte på sjøbunnen	Tilpassing til erosjonsforhold langs land og ved kaier kan være nødvendig	Totalt: 46 000 m ² Erosjonsbeskyttelse dimensjonert for mindre båter og bølger*	*0 m ³	6 - 18
2) Tildekking med sprengsteinmasser i områder med vanddyp >8 m	Tilpassing til erosjonsforhold langs land og ved kaier kan være nødvendig	Totalt: 46 000 m ² Sprengsteinmasser: 21 000 m ² Tildekking med sand eller grus masser: 25 000 m ² Erosjonsbeskyttelse dimensjonert for mindre båter og bølger*	*0 m ³	5 - 15
3) Tildekking som i alternativ 1) eller 2) og etablering av strandkantdeponi i området nord-øst for Jadarholmen.	Strandkantdeponi for mudrede masser fra de andre delområdene. Konstrueres og dekkes til slik at det også isolerer forurenset sediment i arealet der det konstrueres	Tildekking: 39 000 m ² Sprengsteinmasser: 21 000 m ² Tildekking med sand eller grus masser: 18 000 m ² Erosjonsbeskyttelse dimensjonert for mindre båter og bølger*. Strandkantdeponi: 7 000 m ²	*0 m ³	4 - 14

*Behov for erosjonsbeskyttelse langs land og ved enkelte kaier kan likevel utløse behov for grovere tildekking eller også noe mudring.

Basert på vurdering av måloppnåelse og kostnader for de tre alternativene over anbefales alternativ 3) der masser fra Ryfastsambandet benyttes som tildekkingsmasser i de dypere områdene og det etableres et strandkantdeponi for mudrede masser. På denne måten utnyttes deler av arealet som likevel skal tildekkes som deponiområde for mudrede masser fra de andre delområdene og Ryfast massene utnyttes der de kan.

Ryfastmassene er imidlertid tilgjengelige i et begrenset tidsrom sannsynligvis hovedsakelig i inneværende år noe som betyr at disse i så fall vil bli lagt ut før tildekkingen gjøres på grunnere områder og før strandkantdeponiet etableres. Dette kan innebære risiko for spredning fra utildekkede områder på dypere områder som er tildekket og dessuten fra eventuelt søl under innfylling av mudrede masser i strandkantdeponiet.

Det anbefales også at undersøkelser og eventuelle tiltak for å redusere spredning fra land gjennomføres før eller samtidig med tiltak på sjøbunnen.

6.5 Tiltaksrettede undersøkelser og andre forhold som kan påvirke tiltaksprioriteringer, fremdrift og kostnader

Gjennomføringen av de anbefalte tiltakene vil kreve grundig planlegging og detaljprosjektering slik at man oppnår best mulig resultat. God planlegging kan sikre at prosjektet kan gjennomføres på en måte som tilfredsstiller krav og forventninger til å hindre spredning, i tillegg til at man oppnår god tiltakseffektivitet og har kontroll på kostnader.

En viktig forutsetning for dette er at det gjøres en god prosjektering av tiltaket slik at gjennomføringen kan gjøres etter en plan som tar hensyn til de forholdene som i vesentlig grad kan påvirke resultatet av tiltaket. Som grunnlag for denne prosjekteringen vil det være nødvendig å gjøre en del mer detaljerte, tiltaksrettede undersøkelser av sedimentene og andre forhold. Det er under beskrivelsen av hvert tiltaksalternativ beskrevet hvilke undersøkelser som ansees å være nødvendige for det aktuelle tiltaksalternativet. Det kan være andre undersøkelser enn disse som også er nødvendige uten at de er beskrevet her. Noen av disse undersøkelsene vil det være naturlig at tiltakshaver gjennomfører før tiltaket planlegges i detalj, mens andre typer undersøkelser vil bli gjort av entreprenøren som en innledning til tiltaksarbeidene.

6.5.1 Kildekontroll

Tiltaksrettede undersøkelser vil være viktige for å bestemme om det er nødvendig å gjøre tiltak mot kilder på land og hvor disse tiltakene bør gjøres. Når det eventuelt skal gjøres fysiske inngrep for å redusere transport med overvannet vil det være nødvendig med flere tiltaksrettede undersøkelser knyttet til disse inngrepene.

6.5.2 Mudring og deponering

Ved gjennomføring av de anbefalte tiltakene i Galeivågen vil det være nødvendig med noe mudring. Det må derfor gjøres tiltaksrettede undersøkelser for å bestemme mektighet som må mudres, mudringsegenskaper til sedimentet og hvordan mudringen kan gjøres samtidig som stabiliteten til kaianlegg og andre installasjoner på land og på sjøbunnen ivaretas.

Tiltaksrettede undersøkelser som ansees å være nødvendige før et mudringsstiltak i sedimentene i tiltaksområdene gjennomføres er:

- Avvanningsegenskaper
 - Konsolidering, ødometer
 - Utlekking, ristetester
- Geotekniske undersøkelser i områder som skal mudres
- Kartlegging av skrot og eventuelle eksplosiver
- Kulturminner som berøres av mudringen
- Kartlegging av ledninger berøres av tiltaket, disse må enten sikres under mudringen eller legges om

For vurdering av avvanningshastighet og deponikapasitet bør det gjøres undersøkelser av hvordan og hvor raskt de mudrede massene vil dreneres og avvannes. Undersøkelse av hvilken konsentrasjon som forventes i vannet fra avvanningen gjøres med utlekkings- og representative sedimentprøver.

Geoteknisk stabiliteten i området som mudres og på land ved disse områdene må vurderes slik at mudringsdyp og fremdrift hensyn tar stabiliteten i området og slik at eventuelle tiltak for å sikre god nok stabilitet kan iverksettes.

Det vil også være nødvendig å gjøre en geoteknisk prosjektering av strandkantdeponiet som er anbefalt bygget ved Jadarholmen. Her vil det sannsynligvis være nødvendig å gjøre grunnboringer for å skaffe godt nok datagrunnlag for en slik prosjektering.

Før mudringen gjøres vil det normalt være nødvendig å kartlegge og rydde sjøbunnen for skrot. Dette gjøres vanligvis av entreprenøren før mudringen starter.

For mudringen starter må det gjøres en avklaring med kulturminnemyndigheter hvor vidt det skal gjøres en kartlegging av kulturminner i sedimentet før mudringen starter og om det skal være oppfølging av dette underveis i prosjektet.

Rør som avsluttes i vannkanten eller traséer for rør eller kabler gjennom mudringsområdet må påvises og det må prosjekteres omlegging eller beskyttelse av disse.

6.5.3 Isolasjonstildekking

I alle delområdene anbefales det isolasjonstildekking i hele eller deler av de vurderte områdene.

Tiltaksrettede undersøkelser som ansees å være nødvendige før det gjennomføres en isolasjonstildekking i de fire delområdene i Stavanger kommune er:

- Konsolidering under tildekkingen
 - Forløp
 - Utlekking
- Geoteknisk undersøkelse
- Strømforhold og risiko for erosjon
- Kartlegging av ledninger i tiltaksområdet
- Kulturminner som berøres av tildekkingen

Undersøkelser av konsolideringsforløpet til det bløte slamlaget under tildekkingen gjøres i ødometerforsøk. Estimer av mengder miljøgifter som kan følge med porevannet som presses ut av sedimentet under tildekkingen kan baseres på utlekkings tester på representative sedimentprøver.

Det er i det overordnede designet av tildekkingen som er beskrevet her gjort et estimat av behovet for erosjonsbeskyttelse. Det må gjøres en mer detaljert vurdering av dette i forhold til seilingsmønster for de ulike båtene som trafikkerer de ulike delområdene. Vurdering av erosjonsforhold på sjøbunnen etter en tildekking vil også være nødvendig for dimensjonere erosjonssikringen av tildekkingen i ulike områder. Denne vurderingen må gjøres på bakgrunn av målte strømhastigheter i ulike deler av fjorden og på beregnede eller målte strømhastigheter som genereres ved manøvrering av de båtene som genererer kraftigst strøm i de ulike områdene.

For tildekkingen starter må det gjøres en avklaring med kulturminnemyndigheter hvor vidt det skal gjøres en kartlegging av kulturminner i sedimentet først og om det skal være oppfølging av dette underveis i prosjektet.

Eventuelle rør som avsluttes i vannkanten eller traseér for rør eller kabler gjennom fjorden må også kartlegges og det må prosjekteres omlegging av disse.

Det må også gjøres vurdering av bæreevne og stabilitet for det planlagte tildekkingslaget slik at tildekkingen kan gjennomføres med lav risiko for utglidning i sedimentet under og i tildekkingslaget. Som grunnlag for dette må det gjøres en kartlegging av geotekniske parametere i sedimentene på sjøbunnen.

6.5.4 AC-behandling

Behandling med aktivt kull er anbefalt i området med ålegress i Bangarvågen. Som grunnlag for prosjektering av dette tiltaket bør effektiviteten til AC i forhold til de ulike miljøgiftene i dette området undersøkes. Videre er det viktig å undersøke om AC har en negativ effekt på vegetasjon og fauna i ålegressområdet. Disse undersøkelsene vil danne grunnlag for å bestemme riktig dosering av AC til behandling av sjøbunnen.

Før en behandling med aktivt kull vil det være nødvendig å gjøre følgende tiltaksrettede undersøkelser:

- Sorpsjonseffektivitet av aktuelle kulltyper og aktuelle miljøgifter
- TOC-innhold in overflatesedimentet
- Eroderende forhold
- Kulturminner
- Effekt av AC på biota

For å bestemme hvilken type kull som vil være best egnet og for å vurdere riktig dosering av aktivt kull i sedimentet er det nødvendig å gjøre tester av sorpsjonsegenskaper for ulike miljøgifter i aktivt kull i kontakt med sedimentet fra tiltaksområdene. For å få med den naturlige variabiliteten bør slike undersøkelser gjøres på batch tester på 5 – 10 sedimentprøver.

En kartlegging av TOC innholdet i sedimentet før tildekkingen kan gjøres for å bestemme bakgrunnskonsentrasjonen slik at en enkel TOC-bestemmelse i sedimentet etterpå kan brukes til å bestemme mengden og fordelingen av aktivt kull i sedimentet.

På samme måte som for isolasjonstildekkingen kan det være områder som er mer utsatt for erosjon enn andre og der det kanskje er nødvendig med særlige tiltak for å beskytte det aktive kullet mot å bli erodert vekk. Det kan derfor være aktuelt med strømmålinger og vurderinger knyttet til dette før behandling med aktivt kull.

Før en behandling med aktivt kull starter må det gjøres en avklaring med kulturminnemyndigheter om hvor vidt det skal gjøres en kartlegging av kulturminner i sedimentet først og om det skal være oppfølging av dette underveis i prosjektet. Dette inngrepet vil sannsynligvis ha mindre effekt på eksisterende kulturminner på sjøbunnen enn for mudring og isolasjonstildekking, men det er likevel viktig å avklare behovet med kulturminne myndighetene.

7 Kontroll, overvåkning og avbøtende tiltak

7.1 Kontroll og overvåkning

For å sikre at tiltakene som iverksettes gir den ønskede effekten og ikke gir for store uønskede effekter er det viktig å kontrollere gjennomføringen av tiltakene mens disse gjennomføres og overvåke effekten av tiltakene på lang sikt. Det kreves derfor at det må lages et kontroll- og overvåkningsprogram for overvåkning før, under og etter tiltak i sjø. Programmet skal ivareta kravene til kontroll av spredning under mudring og tildekking, spredning av forurensning ved oppvirvling av partikler og utpressing av porevann. Ved tiltak mot spredning fra kilder på land vil det også være viktig med kontroll av spredning under gjennomføringen av tiltak og med overvåkning av effekten av tiltakene på lengre sikt.

Ved tiltaksgjennomføring skal det være planlagt avbøtende tiltak for å redusere uønskede effekter slik som for eksempel spredning under mudring. Disse avbøtende tiltakene vil iverksettes dersom overvåkningen viser at det er nødvendig.

Kontroll av spredning ved tiltak i sjøområder gjøres ofte med hjelp av turbiditetsmålinger, analyser av vannprøver og passive prøvetakere, samt innsamling av partikulært materiale ved hjelp av sedimentfeller. Et slik program bør blant annet inneholde prosedyrer for følgende:

- Kontroll av mudring, transport og deponering av sedimenter
- Kontroll av tildekningsmasser og –metodikk
- Kontinuerlig overvåkning av spredning fra mudring, tildekking og deponering av sedimentet – turbiditetsmålinger
- Kontroll av strøm
- Kontroll av spredning før, under og etter tiltak – Aktuelle undersøkelser kan være sedimentfeller, passive prøvetakere, vannprøver, flukskamre og prøvetaking av biota
- Kontroll av tildekningsmasser

Hensikten med et slik program er å minimere den tidsbegrensede negative miljømessige påvirkningen som tiltak i sedimentene vil medføre. Et slik program vil også gjøre det enklere for alle involverte parter, slik som entreprenør, å arbeide innenfor en gitt tillatelse fra den aktuelle miljømyndighet.

Overvåkningen av tiltak mot kilder på land vil i stor grad følge det programmet som er beskrevet under selve gjennomføringen av disse tiltakene. Nedenfor er programmet for overvåkning av tiltak i sjø beskrevet.

7.1.1 Før tiltak

Før tiltak starter bør det gjøres oppdaterte undersøkelser av innholdet av miljøgifter i sedimenter, vann og materiale i sedimentfeller. For å ha et godt sammenlikningsgrunnlag er det viktig at disse undersøkelsene før tiltaket gjøres på samme måte som undersøkelsene underveis og etter tiltaket skal gjøres. Sedimentene er per i dag godt kartlagt, det er særlig viktig å gjøre nye målinger av konsentrasjoner i vann og i materiale i sedimentfeller og at dette følges opp i forhold til tiltak for å redusere spredning fra land er gjort.

7.1.2 Under tiltak

Overvåkning under tildekking består hovedsakelig av tre deler:

1. Dokumentere av tiltaket blir utført i hht plan og tillatelse
2. Måle eventuell endring i konsentrasjon av miljøgifter i vann og i partikulært materiale samlet inn med sedimentfeller
3. Kontinuerlig måle spredning av partikulært materiale ut av tiltaksområdet ved hjelp av turbiditetsmålinger

Turbiditetsmålinger er en av få metoder som kan benyttes i sanntid for å måle spredning av forurensning gjennom å måle mengde partikulært materiale i vann. Det er en indirekte måle metode, men den gir on-line/real-time resultater og er mest vanlig i Norge ved tiltak i sedimenter.

Det foreslås å benytte to ulike måleregimer for turbiditet. Et måleregime for forurensete partikler og et regime for rene partikler. Turbiditetsmålingene er ofte benyttet til å begrense spredning av miljøgifter og turbiditetsgrenseverdier har i hovedsak vært knyttet til forurensete partikler. Suspensjon av rene masser kan også påvirke vannkvaliteten og akvatisk biota. Suspendert materiale kan påvirke organismene (biota) på ulike måter (Bilotta og Brazier, 2008.). De viktigste måtene suspendert materiale kan påvirke organismene er:

- 1) Høy konsentrasjon av suspendert materiale kan redusere evt. hindre at lys slipper gjennom de øverste vannlagene. Både fauna og flora er avhengig av tilgang på sollys for å leve som normalt.
- 2) Nedslamming av sjøbunn. Suspendert materiale kan dekke over sjøbunnen rundt tiltaksområdet. Dette kan være problematisk for fauna, organismer som lever i sedimentoverflaten og i elver med grusbunn hvor fisk som laks og ørret gyter.
- 3) For organismer som filtrerer vann for å spise eller fisk med gjeller, så kan filtrerne og gjellefunksjonen påvirkes negativt suspendert materiale.

For at rent suspendert materiale skal ha negativ effekt på omgivelsene må det være høy turbiditet over en lengre periode.

I prosjektet Renere havn i Trondheim har de operert med to ulike alarmregimer relatert til turbiditetsmålinger:

Lavere alarmregime, LAR

Dette alarmregimet er relatert til turbiditet generert av suspenderte forurensede partikler. Alarmgrensen for turbiditet er referanseverdi + 10 NTU i mer enn 20 min.

Høyere alarmregime, HAR

Dette alarmregimet er relatert til turbiditet generert av suspenderte rene partikler. Alarmgrensen for turbiditet er referanseverdi + 20 NTU i mer enn 4 timer.

Tiltaksområdene i Trondheim har alle tilknytning til Nidelva som fører med seg store mengder vann. Havneområdene i Trondheim har en tidevannsvariasjon på ca. 3 meter. Disse to faktorene gjør at tiltaksområdene er utsatt for relativt høy strøm, og strøm er en avgjørende faktor sammen med turbiditetsmålinger ved beregning av spredning. Beregninger gjort av COWI viser at det mest sannsynlig er lav strømhastighet i de aktuelle tiltaksområdene i Stavanger. Dette sammen med andre faktorer, slik som tilstedeværelsen av ålegress bør tas med i vurderingen når alarmgrenser for turbiditet fastsettes. Eksempelvis; mindre strømhastighet taler for høyere LAR og tilstedeværelse av ålegress for lavere HAR.

En stor del av tiltaket i de fire aktuelle tiltaksområdene i Stavanger kommune vil være kildekontroll. Som påpekt tidligere, er vann som transporteres med overvannsnett en stor aktiv kilde til miljøgiftene i sedimentene. For å dokumentere effekten av tiltak som blir gjort i forhold til overvannsnett og eventuell avrenning fra land, foreslå det at sedimentfelleundersøkelser utføres jevnlig.

7.1.3 Etter tiltak

Etter tildekkingen av hele eller deler av området bør det gjøres fysiske undersøkelser for å bedømme og tildekningslaget er i hht. planlagt tykkelse, samt kjemiske undersøkelser for å vurdere måloppnåelse i hht. miljømål. Ved bruk av aktiv kull bør sjøbunnen prøvetas for å kartlegge mengde og tykkelse av tildekningslag med aktivt kull på sjøbunnen. Det kan også være aktuelt å bruke SPI-kamera for å dokumenter tykkelsen av tildekkingen med aktiv kull.

Overvåkning av effektiviteten av tiltaket gjøres ved å overvåke endring i porevannskonsentrasjoner, opptak i biota (bunnfauna og fisk) og ved å måle utlekking fra sjøbunnen. Dette kan gjennomføres med hjelp av ulike metoder som kjemiske analyser av porevann og fast stoff, flukskammer og prøvetaking av biota. Overvåkningen bør pågå i minst 5 år etter tiltak for å vurdere effekt av tiltak og eventuell rekontaminering av tildekkingen.

7.2 Avbøtende tiltak

I områder eller perioder som er sensitive for turbiditet eller spredning av miljøgifter finnes det en del tiltak som kan utføres for å redusere påvirkningen av mudring eller tildekking. Dette er de tre viktigste tiltakene:

Partikkelsperrer

Partikkelsperrer eller siltgardiner er en effektiv måte å redusere spredning av suspenderte partikler. Siltgardiner egner seg ikke i alle områder, da de er sårbare for høy strøm og er et fysisk hinder i sjøen som kan være utsatt for skade av båttrafikk.

Valg av mudringsmetode

Valg av mudringsmetode og –utstyr vil være med på å avgjøre mengde partikulært materiale som oppvirvles. Enkelte metoder for sugemudring vil redusere belastningen på sjøbunnen, i forhold til grabbing. Grabbing kan gjøres med ulike grabbhoder, som vil gi ulik mengde oppvirvling. Alle mudringsmetoder har fordeler og ulemper. Disse må veies imot hverandre ved valg av mudringsmetode.

Valg av tildekningsmetode

Som for mudring, finnes det ulike tildekningsmetoder og –utstyr. Noen metoder legger ut tildekningsmaterialet fortere enn andre, som tildekking med splitlekter. Dette fører til større mengder tildekningsmateriale treffer bunnen i større hastighet, som gir en høyere belastning på sjøbunnen og kan gi økt oppvirvling av stedlige forurensete masser. Andre tildekningsmetoder, som "rainbowing" gir mindre belastning på sjøbunnen, og selv om tildekningsmetoden selv gir høy turbiditet vil risiko for oppvirvling av stedlige forurensete masser være mindre.

Valg av tiltaksperiode

Enkelte organismer, som for eksempel ålegress, er mer sensitive for miljøbelastninger i deres vekstperioder. Tiltaksperiode kan derfor planlegges til utenfor organismenes vekstperioder. Det beste for ålegresset er å unngå tiltak i sedimentene i perioden 15. mai til 15. september.

Redusere periode for mudring og tildekking

Ved tiltak i sedimenter vil det være en økt miljøbelastning under tiltaksperioden. Effekten av miljøbelastningen vil være et resultat av intensiteten og lengden. Hvis det er mulig å redusere den ene uten å øke den andre tilsvarende, så er det mulig å redusere effekten på miljøbelastningen. Det er derfor viktig at alarmgrense for turbiditet er lokalt forankret, slik at intensiteten på miljøbelastningen ikke blir for høy, og at fremdriften i prosjektet blir tilfredsstillende.

8 Plan, budsjett og foreslått fremdriftsplan

Det er i tidligere risikovurdering for tiltaksområdene i Stavanger kommune og i denne tiltaksplanen påpekt at det er sannsynlig at kilder på land fremdeles bidrar med spredning til sjø som kan redusere kvaliteten på sjøbunnen etter et tiltak. Det er derfor anbefalt her at det gjøres undersøkelser med tanke på å kvantifisere hvor mye forurensing som fremdeles spres fra kilder på land og hvilken effekt dette kan ha på fremtidig sjøbunn. Dersom det er nødvendig bør det gjøres tiltak slik at spredningen fra land reduseres. Det anbefales at dette arbeidet startes nå og gjennomføres parallelt med tiltak på sjøbunnen.

Videre anbefales det at tiltakene i sjø i størst mulig grad gjøres i de grunne områdene først og deretter i dypere områder. Dette vil sikre at områder som er ferdig tildekket eller behandlet i minst mulig grad rekontamineres fra områder som ikke er behandlet. Tildekking av dypere områder med Ryfastmasser kommer noe i konflikt med dette. En slik utfylling med overskuddsmasser fra et annet prosjekt er imidlertid kostnadmessig gunstig og er dessuten en god ressursutnyttelse. Det kan derfor anbefales å ta noe større risiko i forhold til rekontaminering etter tildekkingen når disse massene utnyttes. En rekontaminering kan i så fall bety at noen av disse områdene må dekkes til igjen.

Mudring vil ofte føre til større spredning av forurensning under gjennomføring enn tildekking. Det anbefales derfor at mudring i størst mulig grad gjennomføres før det skal gjøres tildekking i det samme område.

Tiltak	2016		2017		2018		2019		2020	
	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H
Undersøkelse av kilder på land										
Eventuelle tiltak mot kilder på land										
Tildekking med Ryfast masser i Bangarvågen og ved Jadarholm*										
Avklaring med sjøfartsmyndigheter										
Tiltaksrettede undersøkelser										
Geoteknisk prosjektering av mudring og tildekking										
Miljøteknisk prosjektering av tildekking mudring, deponering og AC-behandling										
Pilottest med AC-behandling										
Planarbeid deponier										
Avklaring av regulering i Galeivågen ifht trafikkering med ulike typer båter										
Søknad til miljømyndigheter										
Bygging strandkant deponi										
Mudring i Galeivågen										
Tildekking i Galeivågen										
Mudring i Bangarvågen dersom nødvendig fro erosjonssikring ved skoleskipet Gann										

Tiltak	2016		2017		2018		2019		2020	
	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H
AC-behandling i Galeivågen										
Tildekking i grunne områder i Bangarvågen										
Tildekking ved Jadarholm										
Sluttkontroll										
Overvåking av tiltakets effekt**										

*forutsetter at geoteknisk prosjektering er gjort og tillatelser gitt

** program for langsiktig overvåking av tiltaket må utarbeides

De anbefalte tiltakene for hvert delområde er oppsummert i tabellen under.

Tabell 23 Oppsummering av anbefalte tiltaksalternativene i de ulike tiltaksområdene.

Tiltaksalternativ	Forutsetninger og konsekvenser	Areal tildekking	Volum mudring	Kostnader (MNOK)
Bangarvågen	Tildekking som i alternativ 1), 2) eller 3) og tildekking med Ryfastmasser i områder med vandyp >8 m	Totalt: 86 000 - 126 000 m ² Sprengsteinmasser: 35 000 m ² Tildekking med sand eller grus masser: 51 000 – 91 000 m ²	Mudring eventuelt spesialisert erosjonsbeskyttelse kan bli nødvendig i der skoleskipet Gann manøvrerer	12 - 31
Indre og ytre Galeivågen	Tildekking som i alternativ 1), 2) eller 3) og tildekking med Sprengsteinmasser i områder med vandyp >8 m	Totalt: 138 000 m ² Sprengsteinmasser: 10 000 – 20 000 m ² Tildekking med sand eller grus masser: 118 000 – 128 000 m ²	0 - 75 000 m ³	20 - 47
Jadarholm	Tildekking som i alternativ og etablering av strandkantdeponi i området nord-øst for Jadarholmen	Tildekking: 39 000 m ² Sprengsteinmasser: 21 000 m ² Tildekking med sand eller grus masser: 18 000 m ² Erosjonsbeskyttelse dimensjonert for mindre båter og bølger*. Strandkantdeponi: 7 000 m ²	*0 m ³	4 - 14

Basert på vurderingene ovenfor og under forutsetning om at det parallelt dokumenteres tilstrekkelig kontroll på aktive kilder på land så anbefales det at tiltak i Galeivågen og ved Jadarholm gjennomføres i følgende rekkefølge:

- 3) Mudring og tildekking Galeivågen
- 4) Tildekking Jadarholm

Tiltak i Bangarvågen kan gjøres tidsmessig uavhengig av tiltakene i Galeivågen. Følgende rekkefølge anbefales for disse tiltakene:

- 4) Eventuell nødvendig mudring
- 5) Eventuelt AC-behandling i ålegressområde
- 6) Tildekking med mineralske masser eventuelt med sprengsteinmasser i områder dypere enn 8 m

Tildekking med sprengsteinmasser kan gjøres når disse massene er tilgjengelige, men dette vil innebære risiko for rekontaminering av disse områdene.

9 Referanser

Arp, H.P. Eek, E., Nybakk, A.W., Glette, T., Møskeland, T., Pettersen A. (2014).
When will the TBT go away? Integrating monitoring and modelling to address TBT's
delayed disappearance in the Drammensfjord, Norway. *Water Research* 65 (2014) 213-
223.

Cho, Y.-M.; Ghosh, U.; Kennedy, A. J.; Grossman, A.; Ray, G.; Tomaszewski, J. E.;
Smithenry, D. W.; Bridges, T. S.; Luthy, R. G., (2009)
Field Application of Activated Carbon Amendment for In-situ Stabilization of
Polychlorinated Biphenyls in Marine Sediment. *Environ. Sci. Technol.* 2009, 43 (10),
3815-3823.

COWI (2015).
Sedimentundersøkelse i sjøbunn i Stavanger 2014 risikovurderinger Trinn 3.
Oppdragsnr. A056400 Dokumentnr. RAP001. Versjon: Rev. 2. Datert 25. mars 2015

COWI/NGI (2013).
Kartlegging av forurenset sjøbunn i Stavanger. Risikovurdering trinn 1 og 2. Prosjektnr.
A042676, Dok. Rap001, Versjon 0, datert: 2013-12-20

Ecofact (2105).
Kartlegging av ålegrasenger I Bangarvågen, Hundvåg. Ecofact rapport 477, datert
oktober 2015.

Eidem, B. (2012)
Spredning av forurensning fra land til havnebasseng i Stavanger havn. Masteroppgave
NTNU. Trondheim, Januar 2012

Fuchsman, P. C., et al. (2014).
Monitored Natural Recovery. Processes, Assessment and Remediation of Contaminated
Sediments. D. D. Reibel. New York, Springer: 227-262.

Palermo, M. and D. F. Hayes (2014).
Sediment Dredging, Treatment and Disposal. Processes, Assessment and Remediation
of Contaminated Sediments. D. D. Reible. New York, Springer: 365-391.

Patmont, C. (2006).
Contaminated sediment dredging residuals: Recent monitoring data and management
implications. Presented to the National Research Council Committee on Sediment
Dredging and Superfund Megasites.

Clayton R Patmont, Upal Ghosh, Paul LaRosa, Charles A Menzie, Richard G Luthy, Marc S Greenberg, Gerard Cornelissen, Espen Eek, John Collins, John Hull, Tore Hjørtland, Edward Glaza, John Bleiler, and James Quadrini. (2015).
 In Situ Sediment Treatment Using Activated Carbon: A Demonstrated Sediment Cleanup Technology. Integrated Environmental Assessment and Management — Volume 11, Number 2—pp. 195–207 Published 2014 SETAC.

Miljødirektoratet (2014).

Tynntildekking av forurensede sedimenter. Overvåkning av fire testfelt i Grenlandsfjordene. 219/2014.

Bilotta and Brazier, (2008)

Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota, Water Res, 42 (2008), pp. 2849–2861

Amy M. P. Oen, Elisabeth M. L. Janssen, Gerard Cornelissen, Gijs D. Breedveld, Espen Eek, and Richard G. Luthy (2011).

In Situ Measurement of PCB Pore Water Concentration Profiles in Activated Carbon-Amended Sediment Using Passive Samplers. Environ. Sci. Technol., 2011, 45 (9), pp 4053–4059. DOI: 10.1021/es200174v

Schwarzenbach et. al. (2003) Environmental Chemistry, 2nd edition

Miljødirektoratet/NGI (2010)

Prosjekt småbåthavner - utredning av miljøfarlige utslipp som følge av drift. Kartlegging av forurensing i utvalgte småbåthavner i Norge. TA-2751/2010. 15. desember 2010. Rev.: 01, 22. februar 2011.

Miljødirektoratet (2015)

Veileder for håndtering av sedimenter. M-350, 2015

NGI (2014)

Oslo Havn KF - Overvåking av forurensning ved mudring og deponering. Endelig oppsummering 2014. NGI-rapport 20140442-03-R datert 15. november 2014. Rev. nr.: 3, 16. november 2015

NGI (2014b)

Trondheim kommune. Renere havn – Prosjektering av tiltak. Prosjektering av mudring og tildekking i Kanalen, Brattørbassenget og Nyhavna. Forprosjekt. NGI rapport 20130339-02-R, datert 31. januar 2014.

NGI (2016)

Modellberegninger av tiltaksscenarioer. NGI-teknisk notat 20150658, datert 2. februar 2016

NGI (2016b)
Helhetlig tiltaksplan for forurensede sedimenter i Horten indre Havn. Rapport
20150201-01-R. Datert 27. april 2016

Vedlegg A

TABELLER FORURENSNINGSTILSTAND FRA COWI (2015)

Innhold

A1	Område 1 Bangarvågen	2
A2	Område 2 Indre Galeivågen	4
A3	Område 3 Ytre Galeivågen	6
A4	Område 4 Området rundt Jadarholmen	8

A1 Område 1 Bangarvågen

Tabellene gitt i dette vedlegget er hentet fra COWIs rapport fra 2015.

Tabell A1 Statisk sammendrag for sedimentprøver fra område 1 (økning i konsentrasjon siden 2001-2004 er angitt med positive tall, mens reduksjon i konsentrasjon siden 2001-2004 er angitt med negative tall. Økning i konsentrasjon over ett standardavvik er vist med **rød skrift**, mens reduksjon i konsentrasjon over ett standardavvik er vist med **grønn skrift**.) Hentet fra COWI, 2014.

Område 1 Bangarvågen	Enhet	Antall	Høyeste	Gjennomsnitt	Stdev	Stdev %	Median	90 percentil	Endring i konsentrasjon sammenlignet med perioden 2001-2004
Stasjon									
Tørrestoff (%)		7	56,6	46,643	9,02	19 %		55,880	
Vanninnhold (%)		7	67,1	53,357	9,02	17 %		63,260	
Kornstørrelse >63 µm (%)		7	86,2	70,771	12,65	18 %		83,680	
Kornstørrelse <2 µm (%)		7	0,8	0,471	0,21	44 %		0,680	
TDC (totalt organisk karbon) (% TS)		7	5,2	4,574	0,48	11 %		5,080	
Tungmetaller									
Arsen, As	mg/kg TS	8	9,6	7,445	1,49	20 %	7,425	9,355	6,4 %
Bly, Pb	mg/kg TS	8	290	95,700	80,04	84 %	71,550	154,200	16 %
Kobber, Cu	mg/kg TS	8	82	64,600	15,28	24 %	64,400	80,460	-6,1 %
Krom, Cr	mg/kg TS	8	22	16,259	3,79	23 %	16,100	19,690	-9,1 %
Kadmium, Cd	mg/kg TS	8	0,64	0,481	0,12	25 %	0,535	0,584	-19 %
Nikkel, Ni	mg/kg TS	8	13,8	11,075	2,49	22 %	11,450	13,450	-14 %
Sink, Zn	mg/kg TS	8	175	119,675	31,45	26 %	114,500	160,300	-23 %
Kvikksølv, Hg	mg/kg TS	8	1,0	0,733	0,21	28 %	0,805	0,916	-41 %
Metylkvikksølv topp	µg/kg TS	3	8,63	6,843	2,73	40 %	8,200	8,544	
Metylkvikksølv overgang	µg/kg TS	3	6,4	3,057	2,91	95 %	1,720	5,464	
PAH forbindelser									
Benso(a)pyren	mg/kg TS	8	1,2	0,501	0,28	57 %	0,402	0,666	-32 %
Sum PAH16	mg/kg TS	8	12,97	5,095	3,19	63 %	4,040	6,971	-40 %
Andre stoffer									
Sum PCB7	mg/kg TS	8	0,0826	0,039	0,02	56 %	0,031	0,064	67 %
Tributyltinnkation (TBT)	µg/kg TS	7	181	106,957	50,34	47 %	103,000	161,200	

Tabell A2 Konsentrasjoner av tungmetaller i sandfangskummer, sjøbunn og sedimentfeller i indre Bangarvågen, hentet fra Cowi 2014

Prøvegrunnlag	Enhet	Område 1 Indre Bangarvågen						
		Sandfangskummer (Eidem, 2012, 6, 12-21, 41)			Sjøbunn (COWI, 2013: 1-10, Skadsheim 2012: BAN-3, IRIS, 2012: 217)			Sedimentfelle
Parameter		Gjennomsnitt	Minimum	Maksimum	Gjennomsnitt	Minimum	Maksimum	PP1
Total tørrvekt	g	i a.	i a.	i a.	i a.	i a.	i a.	55
Totalt organisk karbon (TOC)	%	i a.	i a.	i a.	4,0	2,4	5,2	4,7
Tungmetaller								
Arsen, As	mg/kg TS	3,7	0,6	15,0	6,5	2,5	9,6	27
Bly, Pb	mg/kg TS	121	6	940	76	22	290	69
Kadmium, Cd	mg/kg TS	0,40	0,04	1,30	0,46	0,31	0,64	0,50
Kobber, Cu	mg/kg TS	1590	11	18000	58	20	82	86
Krom, Cr	mg/kg TS	82	7	620	15	7	22	52
Kvikksølv, Hg	mg/kg TS	0,05	0,01	0,13	0,84	0,43	1,90	1,3
Metylkvikksølv (me-Hg)	µg/kg TS	i a.	i a.	i a.	6,8	3,7	8,6	i a.
Nikkel, Ni	mg/kg TS	49,0	3,0	360,0	11	6	14	57
Sink, Zn	mg/kg TS	891	35	5200	105	38	175	182
Polycyklisk aromatiske hydrokarboner (PAH)								
Naftalen	mg/kg TS	0,26	0,05	2,50	0,01	0,01	0,02	0,03
Acenaftilen	mg/kg TS	0,05	0,05	0,05	0,008	0,005	0,014	0,02
Acenaften	mg/kg TS	0,4675	0,05	5	0,017	0,005	0,044	0,01
Fluoren	mg/kg TS	0,33	0,05	3,40	0,019	0,01	0,04	0,073
Fenantren	mg/kg TS	0,52	0,05	4,90	0,28	0,07	0,79	0,34
Antracen	mg/kg TS	0,17	0,05	1,10	0,07	0,02	0,21	0,08
Fluoranten	mg/kg TS	0,79	0,05	7,60	0,62	0,13	2,30	0,7
Pyren	mg/kg TS	0,6	0,1	5,4	0,6	0,1	1,9	0,7
Benzo(a)antracen	mg/kg TS	0,32	0,05	3,10	0,29	0,09	1,10	0,4
Krysten	mg/kg TS	0,46	0,05	3,60	0,38	0,12	1,10	0,5
Benso(b)fluoranten	mg/kg TS	0,30	0,05	2,55	0,41	0,11	1,10	0,6
Benzo(k)fluoranten	mg/kg TS	0,30	0,05	2,55	0,32	0,11	1,10	0,31
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	0,28	0,05	2,60	0,41	0,13	1,20	0,5
Indeno(1,2,3,cd)pyren	mg/kg TS	0,18	0,05	1,50	0,32	0,09	0,98	0,38
Dibenzo(a,h)antracen	mg/kg TS	0,08	0,05	0,42	0,06	0,02	0,23	0,10
Benzo(g,h,i)perylene	mg/kg TS	0,20	0,05	1,50	0,33	0,11	0,96	0,27
Sum PAH(16)	mg/kg TS	5,3	0,8	47,8	4,1	1,1	13,0	5
Polyklorerte bifenyler (PCB)								
PCB28	mg/kg TS	0,0015	<0,003	0,0015	0,0007	0,0004	0,0015	<0,001
PCB52	mg/kg TS	0,001683333	<0,003	0,0037	0,0032	0,0015	0,0058	<0,001
PCB101	mg/kg TS	0,004	<0,003	0,025	0,0052	0,0023	0,0098	0,002
PCB118	mg/kg TS	0,002	<0,003	0,011	0,0054	0,0030	0,0085	0,001
PCB138	mg/kg TS	0,009	<0,003	0,068	0,0107	0,0038	0,0268	0,003
PCB153	mg/kg TS	0,011	<0,003	0,090	0,0095	0,0027	0,0234	0,004
PCB180	mg/kg TS	0,006	<0,003	0,049	0,0045	0,0013	0,0142	0,003
Sum PCB_7	mg/kg TS	0,04	<0,02	0,25	0,033	0,0099	0,083	0,013
Tinnorganiske forbindelser								
Tributyltinn	µg/kg TS	i a.	i a.	i a.	111	34	347	120

A2 Område 2 Indre Galeivågen

Tabell A3 Statistisk sammendrag av sedimentdata for område 2 (økning i konsentrasjon siden 2001-2004 er angitt med positive tall, mens reduksjon i konsentrasjon siden 2001-2004 er angitt med negative tall.) Hentet fra COWI, 2014.

Område 2 Indre Galeivågen	Enhet	Antall	Høyeste	Gjennomsnitt	Stdev	Stdev %	Median	90 percentil	Endring i konsentrasjon sammenlignet med perioden 2001-2004
									Område 2
Tørrestoff (%)		10	80	48,540	20,02	41 %	51,400	77,300	
Vanninnhold (%)		10	75,9	51,460	20,02	39 %	48,600	75,360	
Kornstørrelse >63 µm (%)		10	97,7	69,680	23,38	34 %	79,150	95,270	
Kornstørrelse <2 µm (%)		10	0,8	0,380	0,28	73 %	0,300	0,710	
TOC (totalt organisk karbon) (% TS)		10	8,64	6,380	1,32	21 %	6,285	7,524	
Tungmetaller									
Arsen, As	mg/kg TS	10	33,8	17,287	8,92	52 %	14,600	28,580	-35 %
Bly, Pb	mg/kg TS	10	428	205,810	129,28	63 %	170,500	396,500	-19 %
Kobber, Cu	mg/kg TS	10	1030	456,800	332,18	73 %	303,500	1012,000	-4,2 %
Krom, Cr	mg/kg TS	10	44,9	26,650	11,19	42 %	23,950	41,750	-25 %
Kadmium, Cd	mg/kg TS	10	1,46	0,567	0,50	89 %	0,410	1,370	-29 %
Nikkel, Ni	mg/kg TS	10	24,1	15,480	5,29	34 %	14,150	22,750	-17 %
Sink, Zn	mg/kg TS	10	845	397,600	254,40	64 %	268,500	792,800	-44 %
Kvikksølv, Hg	mg/kg TS	10	10,7	3,945	3,18	81 %	3,115	8,711	-15 %
Metylkvikksølv topp	µg/kg TS	4	7,09	3,305	2,61	79 %	2,495	5,767	
Metylkvikksølv overgang	µg/kg TS	4	3,53	1,605	1,32	82 %	1,170	2,828	
PAH forbindelser									
Benso(a)pyren	mg/kg TS	10	2,64	1,039	0,91	88 %	0,653	2,316	15 %
Sum PAH16	mg/kg TS	10	24,4	10,075	8,36	83 %	7,385	21,970	12 %
Andre stoffer									
Sum PCB7	mg/kg TS	10	0,258	0,096	0,09	92 %	0,058	0,242	49 %
Tributyltinnkation (TBT)	µg/kg TS	10	32200	5039,600	9630,95	191 %	1760,000	8107,000	-8,3 %

Tabell A4 Konsentrasjoner av tungmetaller og miljøgifter i sandfangskummer, sjøbunn og sedimentfeller i indre Galeivågen, hentet fra COWI 2014

Provegrunnlag	Enhet	Område 2 Indre Galeivågen							
		Sandfangskummer (Eidem, 2012, 37-40)			Sjøbunn (COWI, 2013: 11-20, IRIS, 2012: 216)			Sedimentfeller	
Parameter		Gjennomsnitt	Minimum	Maksimum	Gjennomsnitt	Minimum	Maksimum	PP5	PP6
Total tørrvekt	g	i a.	i a.	i a.	i a.	i a.	i a.	55	55
Totalt organisk karbon (TOC)	%	i a.	i a.	i a.	6,5	4,1	8,6	16,7	17,9
Tungmetaller									
Arsen, As	mg/kg TS	19	2,5	66	18,8	6,4	33,8	85	90
Bly, Pb	mg/kg TS	575	33	1900	230	75	477	338	341
Kadmium, Cd	mg/kg TS	1,2	0,12	4,2	0,77	0,11	2,07	1,60	0,90
Kobber, Cu	mg/kg TS	2399	86	7600	497	166	1030	745	798
Krom, Cr	mg/kg TS	120	24	320	30	14	61	79	197
Kvikksølv, Hg	mg/kg TS	1,1	<0,025	4,3	4,3	0,84	10,7	6,1	4,5
Metylkvikksølv (me-Hg)	µg/kg TS				3,3	1,1	7,1		
Nikkel, Ni	mg/kg TS	69	15	180	17	9	33	30	37
Sink, Zn	mg/kg TS	3453	190	12000	460	182	1087	808	915
Polysyklisk aromatiske hydrokarboner (PAH)									
Naftalen	mg/kg TS	0,23	0,05	0,75	0,06	<0,01	0,14	0,16	0,06
Acenaften	mg/kg TS	0,05	0,05	0,05	0,021	<0,01	0,101	0,05	0,05
Acenaften	mg/kg TS	0,5625	0,05	2,1	0,071	<0,01	0,181	0,132	0,1
Fluoren	mg/kg TS	0,28	0,05	0,96	0,087	<0,01	0,23	0,276	0,116
Fenanten	mg/kg TS	1,00	0,05	3,70	1,01	0,03	2,44	1,89	0,71
Antracen	mg/kg TS	0,18	0,05	0,57	0,25	<0,01	0,54	0,70	0,20
Fluoranten	mg/kg TS	1,42	0,05	5,30	1,26	0,06	2,84	2,8	1,1
Pyren	mg/kg TS	1,3	0,1	4,6	1,2	0,1	2,8	2,5	1,1
Benzo(a)antracen	mg/kg TS	0,73	0,05	2,70	0,89	0,05	2,02	1,6	0,6
Kryslen	mg/kg TS	1,09	0,05	4,00	0,93	0,06	2,08	2,0	0,8
Benzo(b)fluoranten	mg/kg TS	1,07	0,05	4,05	1,25	0,08	3,25	1,9	1,4
Benzo(k)fluoranten	mg/kg TS	1,07	0,05	4,05	0,88	0,05	2,28	1,01	0,57
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	1,04	0,05	4,00	1,11	0,07	2,64	1,7	0,7
Indeno(1,2,3,cd)pyren	mg/kg TS	0,94	0,05	3,60	0,71	0,06	1,54	1,10	0,68
Dibenzo(a,h)antracen	mg/kg TS	0,26	0,05	0,89	0,15	<0,01	0,39	0,43	0,19
Benzo(g,h,i)perylene	mg/kg TS	0,81	0,05	3,10	0,81	0,07	1,77	0,93	0,53
Sum PAH(16)	mg/kg TS	12,0	0,8	44,4	10,7	0,6	24,4	19	9
Polyklorete bifenyler (PCB)									
PCB28	mg/kg TS	0,0051	<0,003	0,0159	0,0041	<0,0007	0,0112	0,003	0,003
PCB52	mg/kg TS	0,0078	<0,003	0,0268	0,0195	0,0015	0,0457	0,007	0,004
PCB101	mg/kg TS	0,0067	<0,003	0,022	0,0206	0,0012	0,0553	0,012	0,006
PCB118	mg/kg TS	0,0048	<0,003	0,015	0,0223	0,0015	0,0566	0,011	0,007
PCB138	mg/kg TS	0,0105	<0,003	0,037	0,0193	0,0015	0,0442	0,015	0,009
PCB153	mg/kg TS	0,0079	<0,003	0,027	0,0146	0,0013	0,0335	0,015	0,008
PCB180	mg/kg TS	0,0035	<0,003	0,009	0,0075	<0,0007	0,0170	0,01	0,005
Sum PCB 7	mg/kg TS	0,046	<0,02	0,15	0,108	0,0069	0,258	0,073	0,042
Tinnorganiske forbindelser									
Tributyltinn	µg/kg TS	i a.	i a.	i a.	8042	766	32200	4000	18000

A3 Område 3 Ytre Galeivågen

Tabell A5 Statistisk sammendrag av sedimentdata fra område 3 (økning i konsentrasjon siden 2001-2004 er angitt med positive tall, mens reduksjon i konsentrasjon siden 2001-2004 er angitt med negative tall. Økning i konsentrasjon over ett standardavvik er vist med *rød skrift*, mens reduksjon i konsentrasjon over ett standardavvik er vist med *grønn skrift*.) Hentet fra COWI, 2014.

Område 3 Ytre Galeivågen	Enhet	Antall	Høyeste	Gjennomsnitt	Stdev	Stdev %	Median	90 percentil	Endring i konsentrasjon sammenlignet med perioden 2001-2004
		11	61	28,727	11,08	39 %	26,000	30,000	Område 3
Tørrestoff (%)		11	75,8	33,445	19,96	60 %	26,300	58,900	
Vanninnhold (%)		11	86,8	66,536	19,95	30 %	73,600	80,900	
Kornstørrelse >63 µm (%)		11	92,4	40,991	23,76	58 %	32,200	73,500	
Kornstørrelse <2 µm (%)		11	1,7	0,909	0,41	45 %	0,900	1,200	
TOC (totalt organisk karbon) (% TS)		11	11,6	6,812	2,44	36 %	5,980	10,700	
Tungmetaller									
Arsen, As	mg/kg TS	11	45,3	27,982	12,44	44 %	30,300	42,800	-
Bly, Pb	mg/kg TS	11	1290	594,809	399,93	67 %	645,000	1020,000	-23 %
Kobber, Cu	mg/kg TS	11	731	427,945	220,40	52 %	433,000	725,000	9,3 %
Krom, Cr	mg/kg TS	11	57,3	41,391	13,13	32 %	44,800	53,000	11 %
Kadmium, Cd	mg/kg TS	11	6,19	2,198	1,55	70 %	2,020	2,860	-29 %
Nikkel, Ni	mg/kg TS	11	39,9	24,409	8,79	36 %	23,200	32,300	-11 %
Sink, Zn	mg/kg TS	11	5040	1247,336	1378,78	111 %	991,000	1930,000	15 %
Kvikksølv, Hg	mg/kg TS	11	7,62	4,025	2,32	58 %	3,740	7,160	-53 %
Metylkvikksølv topp	µg/kg TS	6	8,34	5,138	2,47	48 %	4,660	7,995	
Metylkvikksølv overgang	µg/kg TS	6	4,04	2,358	1,03	44 %	2,370	3,415	
PAH forbindelser									
Benz(a)pyren	mg/kg TS	11	3,68	1,689	1,10	65 %	1,580	3,130	-4,0 %
Sum PAH16	mg/kg TS	11	28,4	15,610	8,42	54 %	15,100	27,100	-17 %
Andre stoffer									
Sum PCB7	mg/kg TS	11	0,267	0,104	0,08	76 %	0,111	0,165	391 %
Tributyltinnkation (TBT)	µg/kg TS	11	2940	1161,091	863,27	74 %	1040,000	2510,000	-

Tabell A6 Konsentrasjoner av tungmetaller og miljøgifter i sandfangskummer, sjøbunn og sedimentfeller i ytre Galeivågen, hentet fra COWI 2014

Provegrunnlag	Enhet	Område 3 Ytre Galeivågen							
		Sandfangskummer (Eidem, 2012, 37-40)			Sjøbunn (COWI, 2013: 21-30+61)			Sedimentfeller	
Parameter		Gjennomsnitt	Minimum	Maksimum	Gjennomsnitt	Minimum	Maksimum	PP7	PP9
Total tørrvekt	g	i a.	i a.	i a.	i a.	i a.	i a.	55	55
Totalt organisk karbon (TOC)	%	i a.	i a.	i a.	6,8	3,7	11,6	17,6	13,4
Tungmetaller									
Arsen, As	mg/kg TS	19	2,5	66	28,0	5,7	45,3	91	98
Bly, Pb	mg/kg TS	575	33	1900	595	62	1290	307	440
Kadmium, Cd	mg/kg TS	1,2	0,12	4,2	2,41	0,78	6,19	0,50	0,80
Kobber, Cu	mg/kg TS	2399	86	7600	428	66	731	435	392
Krom, Cr	mg/kg TS	120	24	320	41	12	57	114	35
Kvikksølv, Hg	mg/kg TS	1,1	<0,025	4,3	4,4	1,35	7,6	3,9	3,2
Metylkvikksølv (me-Hg)	µg/kg TS				5,1	2,0	8,3		
Nikkel, Ni	mg/kg TS	69	15	180	24	7	40	31	37
Sink, Zn	mg/kg TS	3453	190	12000	1247	93	5040	503	1230
Polysyklisk aromatiske hydrokarboner (PAH)									
Naftalen	mg/kg TS	0,23	0,05	0,75	0,07	0,02	0,12	0,05	0,07
Acenaftalen	mg/kg TS	0,05	0,05	0,05	0,024	<0,010	0,086	0,04	0,07
Acenaften	mg/kg TS	0,5625	0,05	2,1	0,073	0,025	0,169	0,06	0,022
Fluoren	mg/kg TS	0,28	0,05	0,96	0,086	0,03	0,18	0,080	0,109
Fenaften	mg/kg TS	1,00	0,05	3,70	1,25	0,31	2,25	0,65	0,88
Antracen	mg/kg TS	0,18	0,05	0,57	0,39	0,09	0,67	0,18	0,27
Fluoranten	mg/kg TS	1,42	0,05	5,30	1,85	0,32	3,09	1,3	1,8
Pyren	mg/kg TS	1,3	0,1	4,6	1,8	0,3	3,1	1,2	1,5
Benzo(a)antracen	mg/kg TS	0,73	0,05	2,70	1,31	0,23	2,07	0,7	0,9
Krysen	mg/kg TS	1,09	0,05	4,00	1,43	0,22	2,75	0,8	1,3
Benzo(b)fluoranten	mg/kg TS	1,07	0,05	4,05	1,84	0,25	3,65	1,0	1,3
Benzo(k)fluoranten	mg/kg TS	1,07	0,05	4,05	1,20	0,18	2,44	0,55	0,74
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	1,04	0,05	4,00	1,69	0,21	3,68	0,8	1,1
Indeno(1,2,3,cd)pyren	mg/kg TS	0,94	0,05	3,60	1,08	0,11	2,18	0,64	0,79
Dibenzo(a,h)antracen	mg/kg TS	0,26	0,05	0,89	0,17	0,02	0,34	0,18	0,25
Benzo(g,h,i)perylene	mg/kg TS	0,81	0,05	3,10	1,31	0,12	3,12	0,52	0,72
Sum PAH(16)	mg/kg TS	12,0	0,8	44,4	15,6	2,5	28,4	9	12
Polyklorete bifenyler (PCB)									
PCB28	mg/kg TS	0,0051	<0,003	0,0159	0,0054	<0,0007	0,0149	0,002	0,002
PCB52	mg/kg TS	0,0078	<0,003	0,0268	0,0156	<0,0007	0,0450	0,003	0,003
PCB101	mg/kg TS	0,0067	<0,003	0,022	0,0170	0,0009	0,0457	0,005	0,005
PCB118	mg/kg TS	0,0048	<0,003	0,015	0,0177	0,0008	0,0422	0,005	0,005
PCB138	mg/kg TS	0,0105	<0,003	0,037	0,0219	0,0009	0,0549	0,009	0,008
PCB153	mg/kg TS	0,0079	<0,003	0,027	0,0175	0,0008	0,0427	0,009	0,008
PCB180	mg/kg TS	0,0035	<0,003	0,009	0,0096	<0,0007	0,0251	0,006	0,005
Sum PCB_7	mg/kg TS	0,046	<0,02	0,15	0,104	0,0033	0,267	0,039	0,036
Tinnorganiske forbindelser									
Tributyltin	µg/kg TS	i a.	i a.	i a.	1161	185	2940	1100	660

A4 Område 4 Området rundt Jadarholmen

Tabell A7 Statistisk sammendrag av sedimentdata fra område 4 (økning i konsentrasjon siden 2001-2004 er angitt med positive tall, mens reduksjon i konsentrasjon siden 2001-2004 er angitt med negative tall. Økning i konsentrasjon over ett standardavvik er vist med **rød skrift**, mens reduksjon i konsentrasjon over ett standardavvik er vist med **grønn skrift**.) Hentet fra COWI, 2014.

Område 4 Jadarholm	Enhet	Antall	Høyeste	Gjennomsnitt	Stdev	Stdev %	Median	90 percentil	Endring i konsentrasjon sammenlignet med perioden 2001-2004
		9	43	35,444	3,64	10 %	35,000	39,000	
Tørrestoff (%)		9	76,1	57,556	15,58	27 %	59,800	72,500	
Vanninnhold (%)		9	72,2	42,444	15,58	37 %	40,200	56,760	
Kornstørrelse >63 µm (%)		9	95	73,556	22,26	30 %	80,100	91,640	
Kornstørrelse <2 µm (%)		9	2	0,667	0,60	90 %	0,400	1,360	
TOC (totalt organisk karbon) (% TS)		9	7,06	3,906	1,82	47 %	3,630	6,260	
Tungmetaller									
Arsen, As	mg/kg TS	9	43,3	18,729	11,56	62 %	17,800	28,740	-
Bly, Pb	mg/kg TS	9	2080	511,200	626,84	123 %	351,000	944,800	2 %
Kobber, Cu	mg/kg TS	9	925	274,100	272,83	100 %	210,000	532,200	15 %
Krom, Cr	mg/kg TS	9	98	33,391	27,85	83 %	25,000	56,880	0,3 %
Kadmium, Cd	mg/kg TS	9	2	0,601	0,67	111 %	0,350	1,376	45 %
Nikkel, Ni	mg/kg TS	9	246	48,489	76,86	159 %	21,300	108,560	47 %
Sink, Zn	mg/kg TS	9	2150	536,011	657,64	123 %	345,000	1144,400	10 %
Kvikksølv, Hg	mg/kg TS	9	6,26	2,302	1,78	77 %	1,400	4,396	-21 %
Metylkvikksølv topp	µg/kg TS	4	4,28	2,408	1,71	71 %	2,605	3,818	
Metylkvikksølv overgang	µg/kg TS	4	3,37	2,540	1,32	52 %	3,105	3,352	
PAH forbindelser									
Benso(a)pyren	mg/kg TS	9	4,6	1,459	1,44	99 %	0,919	3,288	-19 %
Sum PAH16	mg/kg TS	9	36,6	13,024	11,99	92 %	9,080	29,560	-39 %
Andre stoffer									
Sum PCB7	mg/kg TS	9	1,58	0,359	0,55	152 %	0,130	1,095	85 %
Tributyltinnkation (TBT)	µg/kg TS	9	2590	577,600	784,59	136 %	299,000	1178,000	-

Tabell A8 Konsentrasjoner av tungmetaller og miljøgifter i sjøbunn og sedimentfeller ved Jadarholm, hentet fra COWI 2014

		Område 4 Jadarholm						
Prøvegrunnlag		Sedimentfeller (PP11, PP12, PP14)			Sjøbunn (COWI, 2013)			
Parameter	Enhet	PP11	PP12	PP14	35	34	38	43
Total tørrvekt	g	5,3	5,9	6,3	i a.	i a.	i a.	i a.
Totalt organisk karbon (TOC)	%	10,7	9,6	12,0	2,5	4,1	3,6	7,1
Tungmetaller								
Arsen, As	mg/kg TS	58	64	147	7,92	43,3	21,7	25,1
Bly, Pb	mg/kg TS	225	427	431	81,8	2080	634	351
Kadmium, Cd	mg/kg TS	0,40	0,50	0,50	<0,1	2,00	0,40	0,98
Kobber, Cu	mg/kg TS	214	261	210	82,6	925	314	210
Krom, Cr	mg/kg TS	65	85	68	9,22	98	38,1	41
Kvikksølv, Hg	mg/kg TS	2,0	2,7	2,7	0,7	6,3	2,4	2,4
Nikkel, Ni	mg/kg TS	44	47	33	6,8	74,2	29,2	26,1
Sink, Zn	mg/kg TS	352	487	344	89,1	2150	552	345
Polysyklisk aromatiske hydrokarboner (PAH)								
Naftalen	mg/kg TS	0,08	0,18	0,07	0,01	0,16	0,05	0,06
Acenaftylen	mg/kg TS	0,04	0,04	0,05	0,03	0,08	0,02	0,02
Acenaften	mg/kg TS	0,101	0,068	0,037	<0,010	0,211	0,054	0,037
Fuoren	mg/kg TS	0,193	0,157	0,100	0,029	0,247	0,060	0,046
Fenantren	mg/kg TS	0,67	1,01	0,66	0,38	3,08	0,87	0,63
Antracen	mg/kg TS	0,18	0,44	0,21	0,07	1,08	0,25	0,21
Fluoranten	mg/kg TS	0,9	1,6	1,2	0,4	4,1	1,1	1,0
Pyren	mg/kg TS	0,8	1,4	1,3	0,3	3,8	0,9	1,2
Benzo(a)antracen	mg/kg TS	0,5	1,0	0,8	0,2	4,0	0,9	1,1
Krysen	mg/kg TS	0,7	1,1	1,1	0,2	3,0	0,9	1,2
Benzo(b)fluoranten	mg/kg TS	0,6	1,1	1,3	0,3	4,2	0,9	1,0
Benzo(k)fluoranten	mg/kg TS	0,42	0,62	0,71	0,19	2,46	0,69	0,76
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	0,7	1,0	1,1	0,3	4,6	0,9	1,2
Indeno(1,2,3,cd)pyren	mg/kg TS	0,43	0,65	0,85	0,20	2,18	0,61	1,01
Dibenzo(a,h)antracen	mg/kg TS	0,12	0,23	0,24	0,04	0,49	0,14	0,17
Benzo(g,h,i)perylene	mg/kg TS	0,35	0,56	0,74	0,21	2,82	0,74	1,46
Sum PAH(16)	mg/kg TS	7	11	10	3	37	9	11
Polyklorete bifenyler (PCB)								
PCB28	mg/kg TS	0,002	0,005	0,013	0,00035	0,0508	0,0139	0,00765
PCB52	mg/kg TS	0,002	0,007	0,006	0,00153	0,179	0,024	0,0159
PCB101	mg/kg TS	0,003	0,01	0,007	0,00175	0,256	0,0253	0,0208
PCB118	mg/kg TS	0,003	0,009	0,007	0,00194	0,158	0,021	0,0225
PCB138	mg/kg TS	0,005	0,015	0,012	0,00207	0,391	0,0291	0,0272
PCB153	mg/kg TS	0,005	0,015	0,013	0,00174	0,313	0,0254	0,0221
PCB180	mg/kg TS	0,003	0,011	0,009	0,00096	0,235	0,0155	0,0134
Sum PCB 7	mg/kg TS	0,023	0,072	0,067	0,010	1,580	0,154	0,130
Tinnorganiske forbindelser								
Tributyltinn	µg/kg TS	290	210	210	332	435	184	268

Vedlegg B

GRUNNLAGSDOKUMENTER FOR
TILTAKSPLANEN

Tabell B1 Tidligere miljøundersøkelser av Stavanger havn, nyeste først

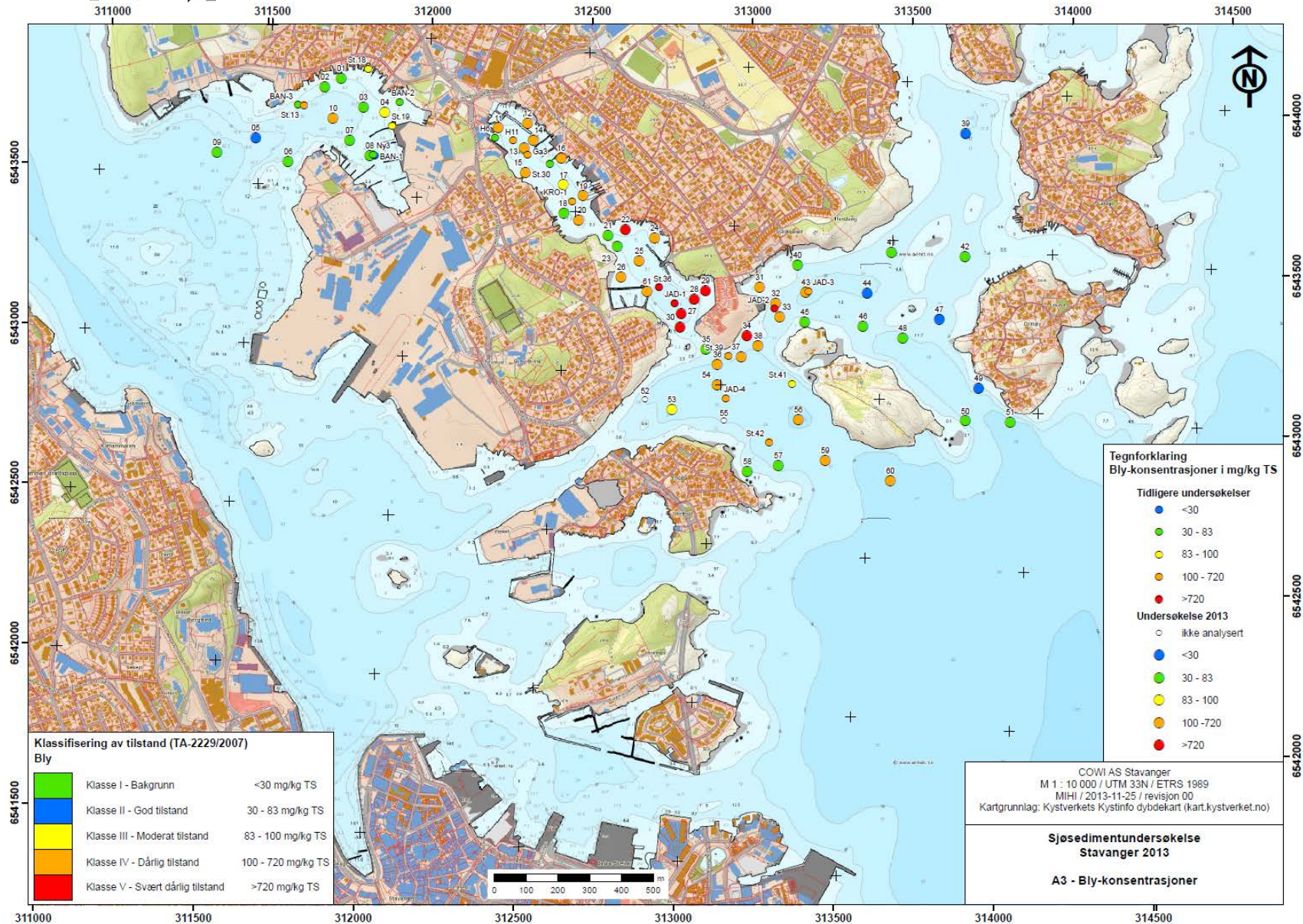
År	Dataeier	Data- forvalter Konsulent	Rapporttittel
2014	Stavanger kommune	COWI	Kartlegging av forurenset sjøbunn i Stavanger. Risikovurdering trinn 3
2014	Stavanger kommune	Multi-consult	Strømningsmodellering Byfjorden
2014	Haflidi Halidason, UiB		Kjerneprøvetaking og XRF analysering av forurensete sedimenter i Stavanger havn, juni 2014
2013	Stavanger kommune	COWI, NGI	Kartlegging av forurenset sjøbunn i Stavanger. Risikovurdering trinn 1 og 2
2013	?	Multi-consult	Graveinstruks
2013	Pynteneset Eiendom AS og Johan Stangeland Eiendom AS	asplan viak	Supplerende sedimentundersøkelser Klasaskjær
2013	Buøy invest AS	Nor-consult	Risikovurdering forurensete sedimenter. Utenfor Rosenberg Buøy, Stavanger havn
2012	Masteroppgave Ann-Mari Pettersen NTNU		Geokjemisk kartlegging av overflatejord i Sandnes og Stavanger
2012	Stavangerregionen Havn IKS	Stavanger kommune	Undersøkelser av forurenset sjøbunn rundt Stavanger havneområde i 2011
2012	Buoy Invest AS	Nor-consult	Miljøundersøkelse av sediment i forbindelse med utfylling, Buøy med tiltaksplan
2012	Fylkesmannen i Rogaland	IRIS	Resipientundersøkelser Stavangerhalvøya, 2011-2012
2012	Masteroppgave NTNU, Bjørn Eidem		Spredning av forurensning fra land til havnebasseng i Stavanger havn
2011	Stavangerregionen Havn IKS	DNV	Undersøkelser, risiko- og tiltaksvurdering av Vågen og Mekjarvika
2011	Statens Vegvesen	Nor-consult	Miljøundersøkelse av sediment i forbindelse med utfylling, Buøy med tiltaksplan. Rv 13 Ryfast.
2011	Det Stavangerske Dampskibsselskab AS	asplan viak	Tiltaksplan Klasaskjær
2010	Jadarholm AS	Multi-consult	Resultater av supplerende undersøkelser i grunnvann og sjø

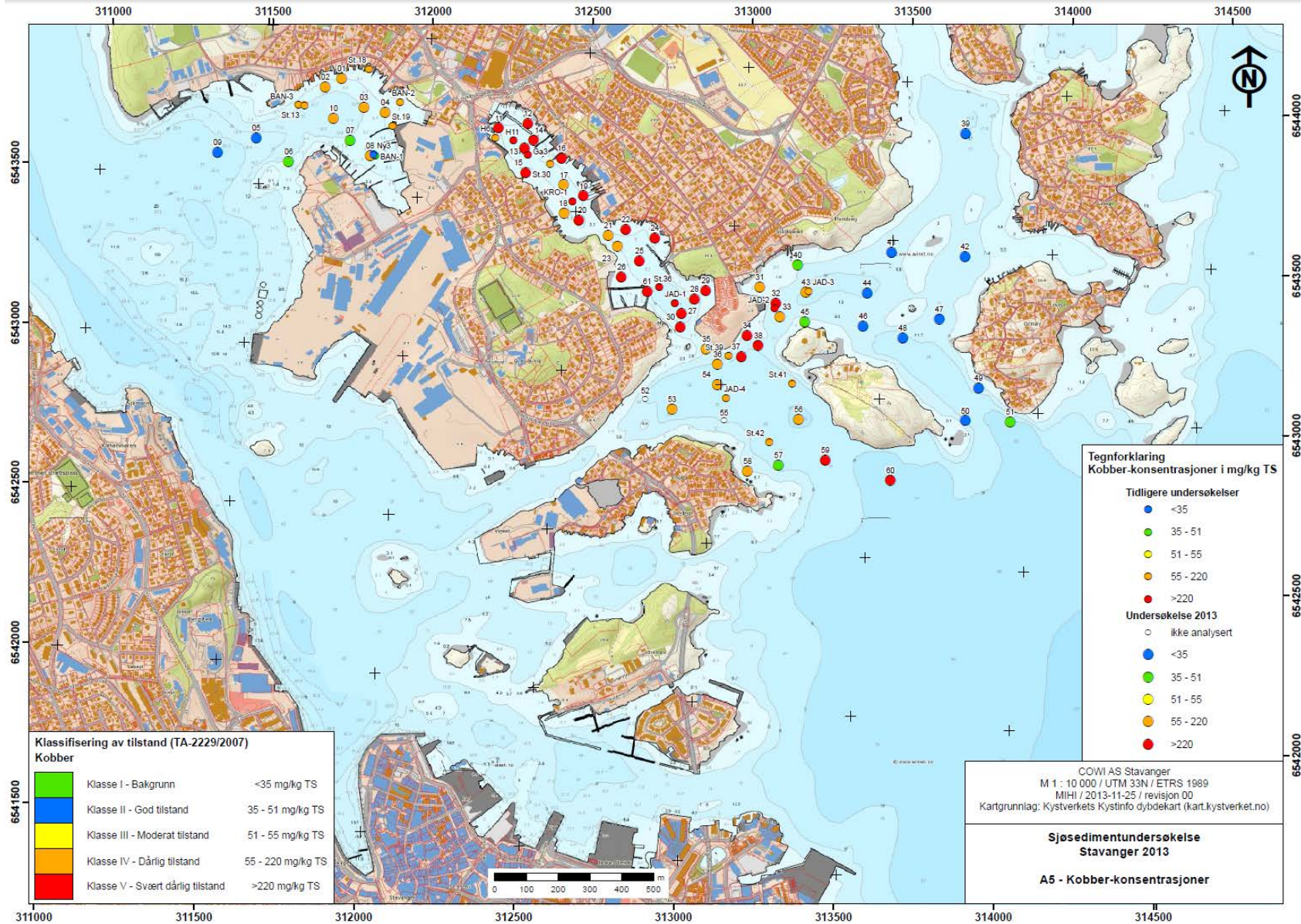
År	Dataeier	Data- forvalter Konsulent	Rapporttittel
2008	Det Stavangerske Dampskibsselskab AS	asplan viak	Miljøundersøkelser Klasaskjæret og Kulltomta
2008	Stavangerregionen Havn IKS	DNV	Risiko og tiltaksvurdering. Stavanger havneområde (kommentarer vedrørende pålegg fra SFT)
2006	Stavanger Interkommunale Havn IKs og Stavanger kommune	DNV	Miljøstatus og risikovurdering. Stavanger havn 2006
2004	Stavanger kommune	Rogaland Forskning	Analyse av miljøgifter i sediment i Galeivågen
2004	Fylkesmannen i Rogaland	DNV	Miljøgiftsundersøkelse i Vågen. Sedimenter, aktive landbaserte kilder og oppvirvling av sediment
2004	Fylkesmannen i Rogaland	Fylkesmannen i Rogaland	Stavanger Havn. Oppsummerende rapport. Forslag til videre arbeid
2004	Kruse Smith AS	Rogaland-forskning	Analyse av miljøgifter i sediment i Galeivågen
2003	IVAR (Interkommunal vann-, avløps og renovasjonsselskap)	Rogaland-forskning	Miljøundersøkelse av marine resipienter rundt Stavangerhalvøya 2001-02
2003	Norconsult	Rogaland-forskning	Analyse av miljøgifter i Bangarvåg
2003	Stavanger kommune	Rogaland-forskning	Miljøundersøkelse av marine resipienter i Stavanger kommune, 2001-02
2003	Fylkesmannen i Rogaland	DNV	Kartlegging av miljøgifter i Bangarvågen og Vågen i Stavanger havn
2002	Fylkesmannen i Rogaland	DNV	Tiltaksplan for opprydding av sediment i Stavanger havn
2002	Fylkesmannen i Rogaland	Fylkesmannen i Rogaland	Tiltaksplan for opprydding av forurensede sedimenter i Stavanger. Miljørapport nr. 1. 2002.
2001	Stavanger Havn, Fylkesmannen i Rogaland, Høgskolen i Rogaland		Undersøkelse av forurensningen av sedimentene i Stavanger interkommunale Havn

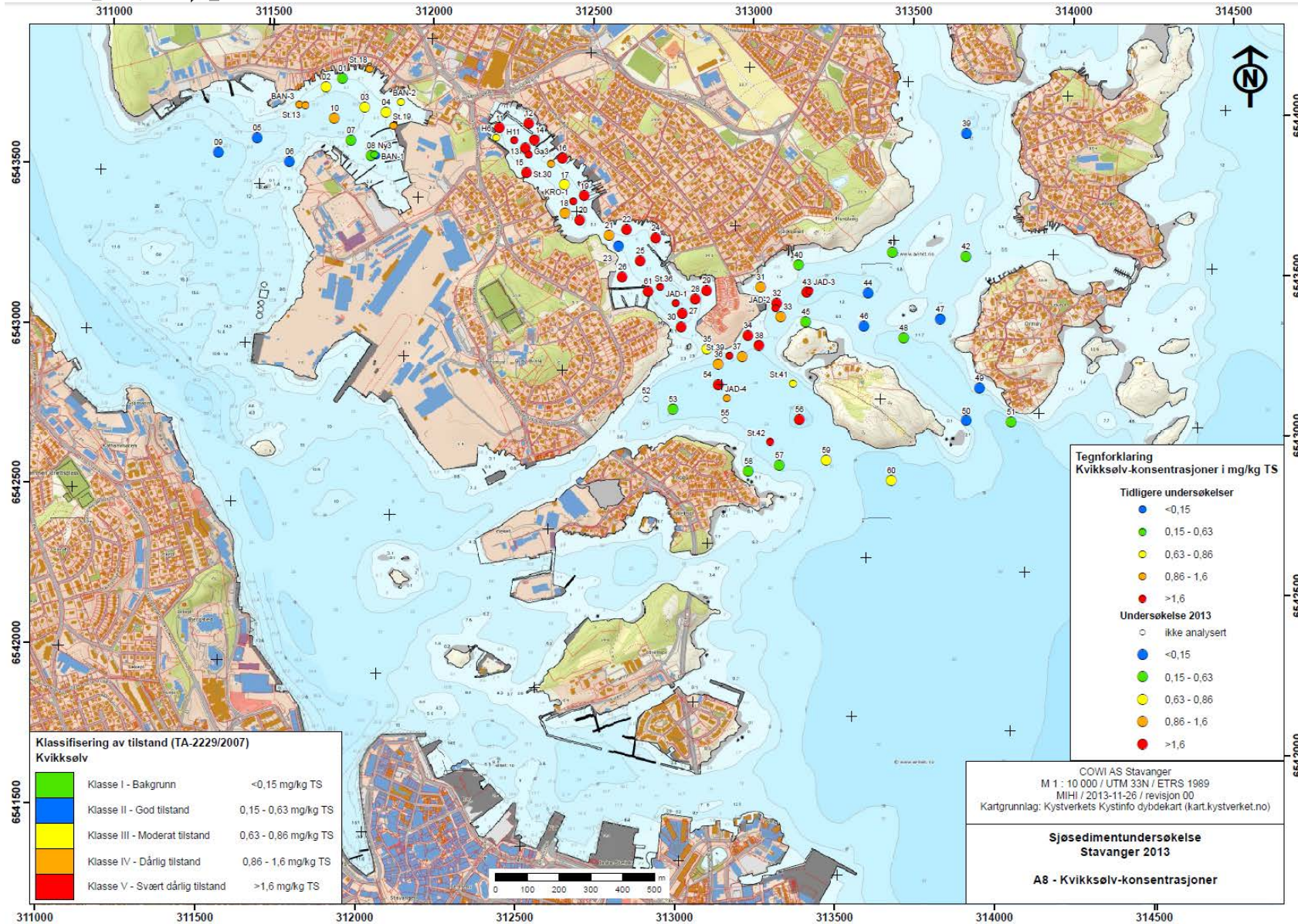
Vedlegg C

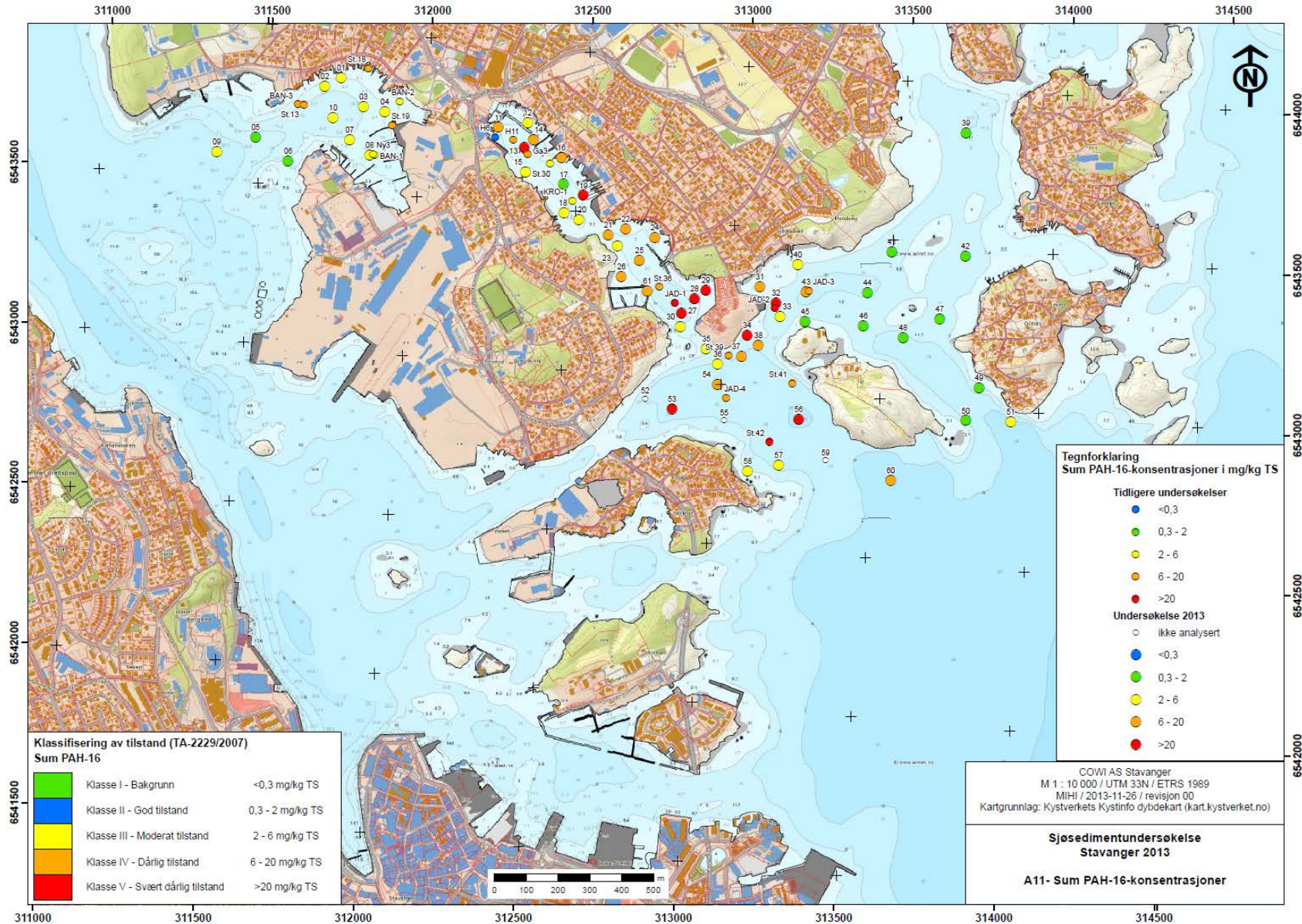
KONSENTRASJONER AV MILJØGIFTER I SEDIMENT I STAVANGER KOMMUNE

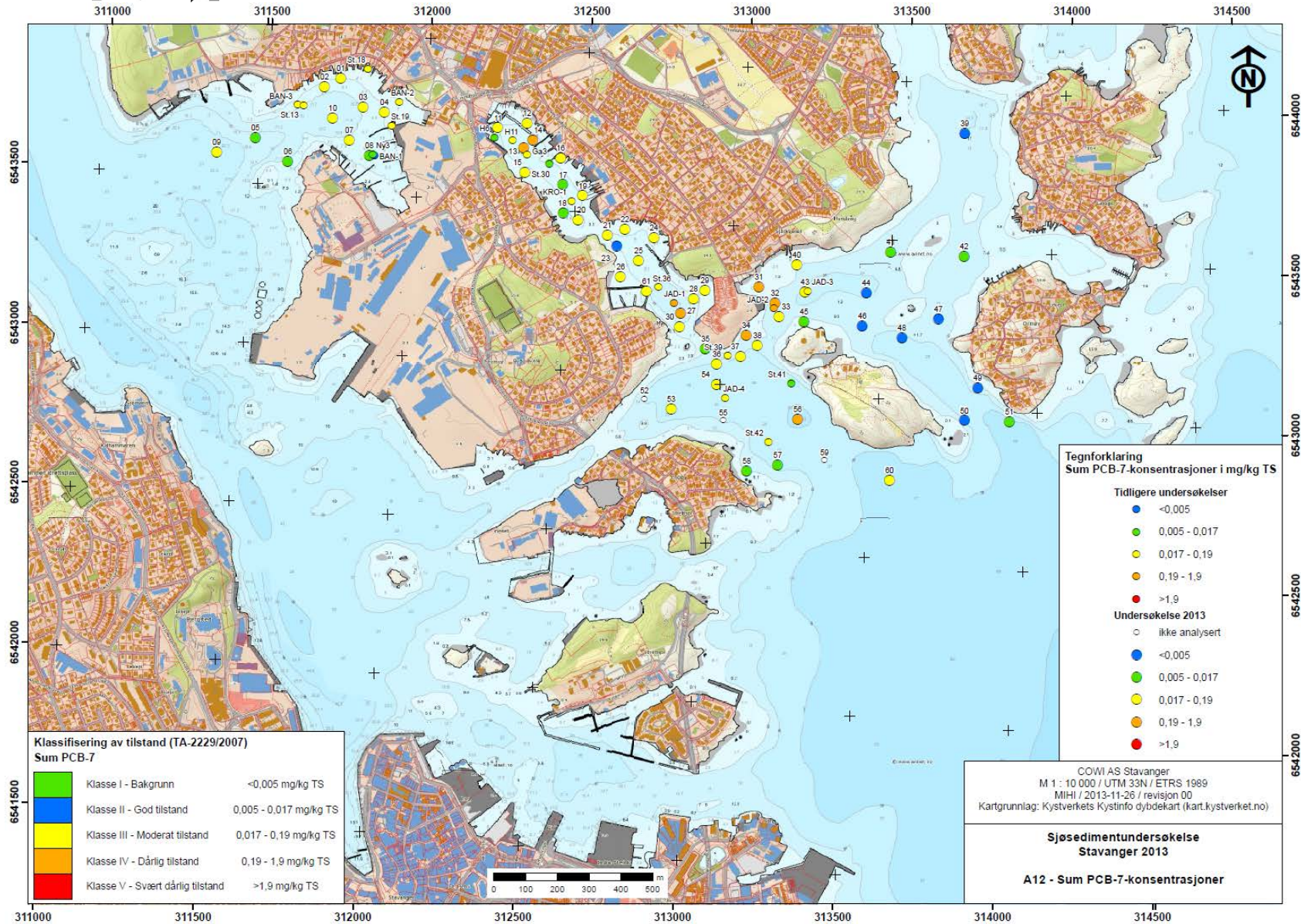
Kartene som viser konsentrasjonen av miljøgiftene Bly, kobber, kvikksølv, PAH-16, PCB-7 og TBT i sedimentet i Stavanger kommune er laget av COWI og hentet fra rapporten: Kartlegging av forurenset sjøbunn i Stavanger. Risikovurdering trinn 1 og 2. Prosjektnr. A042676, Dok. Rap001, Versjon 0, datert: 2013-12-20 (COWI/NGI (2013)). Kartene er gjengitt med tillatelse fra COWI 13. juni 2016.

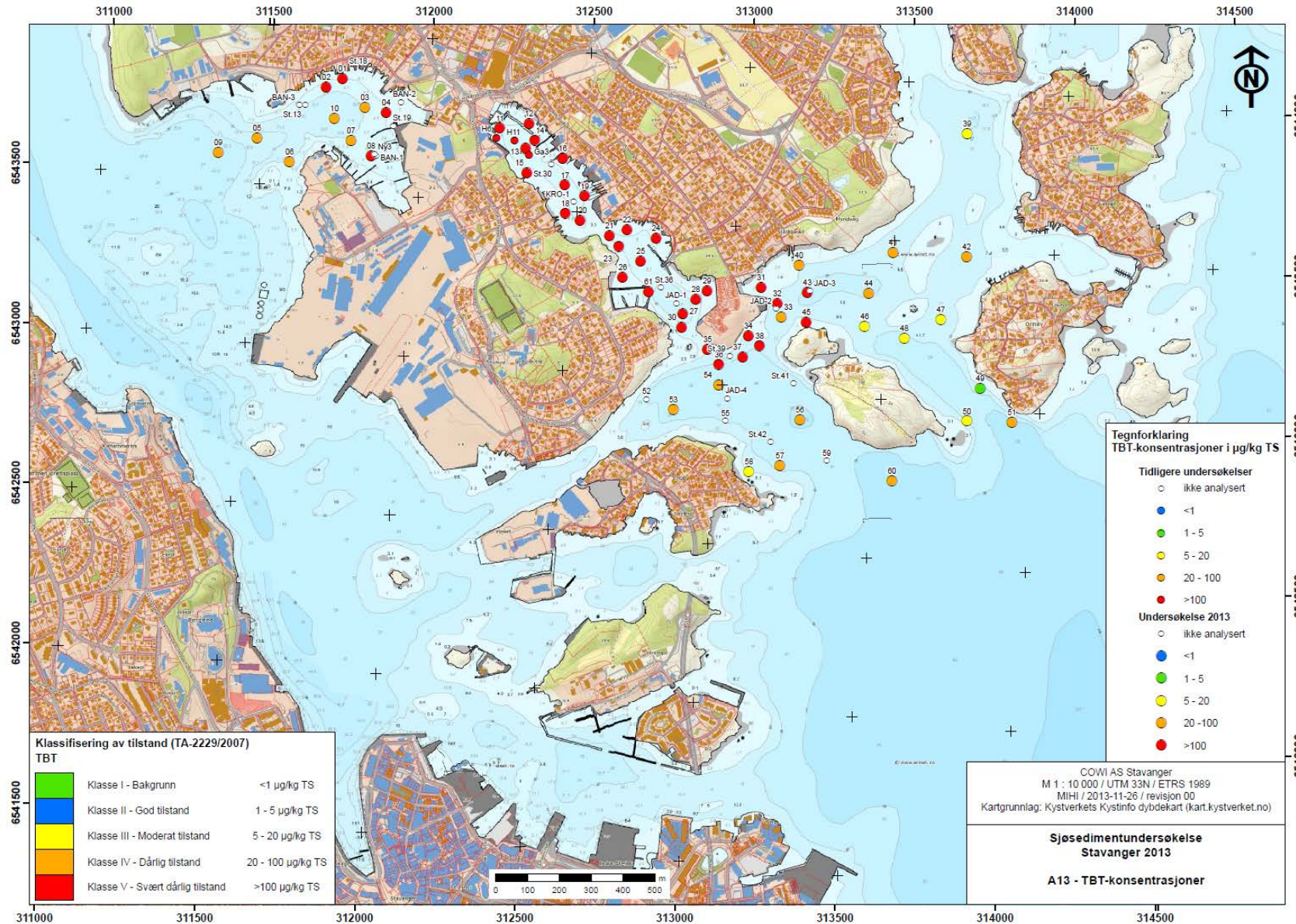












Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Tiltaksplan for forurenset sjøbunn		Dokumentnr./Document no. 20150658-01-R
Dokumenttype/Type of document Rapport / Report	Distribusjon/Distribution Begrenset/Limited	Dato/Date 2016-02-12
		Rev.nr.&dato/Rev.no.&date 2 2016-06-21
Oppdragsgiver/Client Stavanger kommune		
Emneord/Keywords Forurenset sediment, tiltaksplan		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country Norge, Rogaland	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality Stavanger	Felt navn/Field name
Sted/Location Stavanger	Sted/Location
Kartblad/Map	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: Øst: Nord:	

Dokumentkontroll/Document control Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/Self review by:	Sidemanns-kontroll av/Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/Inter-disciplinary review by:
0	Originaldokument	2016-02-12 Espen Eek	2016-02-12 Breedveld		
1	Tekstlige opprettinger	2016-06-13 Espen Eek	2016-06-13 Arne Pettersen		
2	Justering av tekst	2016-06-21 Espen Eek	2016-06-21 Arne Pettersen		

Dokument godkjent for utsendelse/Document approved for release	Dato/Date 21. juni 2016	Prosjektleder/Project Manager Espen Eek
---	-----------------------------------	---

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

