

BERGEN KOMMUNE

TILTAKSPLAN FOR FORURENSET SJØBUNN I STORE LUNGEGÅRDSVANN, BERGEN

FAGRAPPORT



Dokumentinformasjon

Tittel:	Tiltaksplan for forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann, Bergen		
COWI-kontor:	Bergen, Solheimsgaten 13, 5058 Bergen		
Oppdrag nr:	A040950-002	Rapportnummer	001
Utgivelsesdato:	01.09.2016	Antall sider:	51
Tilgjengelighet:		Antall vedlegg:	1
Utarbeidet:	Aud Sundal	Sign.	<i>Aud Sundal</i>
Kontrollert:	Arve Misund	Sign.	<i>Arve Misund</i>
Godkjent:	Oddmund Soldal	Sign.	<i>Oddmund Soldal</i>
Oppdragsgiver:	Bergen kommune	Oppdragsgivers kontaktperson:	Per Vikse
Kontaktinformasjon saksbehandler:	Aud Sundal, avsu@cowi.com		
Forsidefoto	COWI AS		
Stikkord:	Store Lungegårdsvann, sedimenter, miljøgifter, tiltaksplan		

INNHold

Sammendrag	5
1 Innledning	7
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Formål	8
1.3 Lokalitet	9
2 Rammebetingelser	10
3 Områdebeskrivelse	11
3.1 Topografi og bunnforhold	11
3.2 Geotekniske undersøkelser	12
3.3 Strømforhold og vannutskiftning	14
3.4 Arealbruk og planer	15
3.5 Forurensningskilder	17
3.6 Kostholdsråd	17
3.7 Naturforhold	18
3.8 Vannforskriften	18
3.9 Kulturminner	19
3.10 Installasjoner	20
4 Forurensningstilstand	21
4.1 Datagrunnlag	21
4.2 Miljøgifter i sediment	22
4.3 Miljøgifter i kjerneprøver	27
4.4 Risikovurdering	28
5 Miljømål	29
5.1 Overordnede miljømål for Renere Havn Bergen	29
5.2 Miljømål for Puddefjorden	29
5.3 Anbefalte miljømål for Store Lungegårdsvann	30
5.4 Tiltaksmål for Store Lungegårdsvann	30
5.5 Bruk og tilstand etter tiltak	31
5.6 GAP – forskjell mellom før og etter tiltak	31
6 Tiltaksvurdering	31
6.1 Null-alternativet	32
6.2 Alternativ 1: Fjerning av forurensede masser	32
6.3 Alternativ 2: Isolering av forurensning – tildekking	33
7 Anbefalt tiltaksløsning	37
7.1 Stabiliserende tiltak	38
7.2 Mengde miljøgifter som fjernes fra biologisk omløp	39
7.3 Disponeringsløsning tildekkingsmasser	40
7.4 Sjøbunnsdybde før og etter tiltak	40

7.5	Koordinering mot andre tiltak	41
7.6	Risiko for nytilført forurensning etter tiltak	41
7.7	Hensyn til naturmangfold	41
8	Tiltaksrettede undersøkelser	42
8.1	Ledninger/kabler	42
8.2	Marine kulturminner	42
8.3	Småbåthavner	42
8.4	Skrot på sjøbunnen	43
8.5	Ueksploderte objekter (UXO) på sjøbunnen	43
8.6	Geotekniske undersøkelser	43
8.7	Detaljvurderinger av tildekkingsløsning	43
8.8	Vurdering av behov for mudring	44
8.9	Erosjonssikring	44
8.10	Støy og støv	45
9	Kontroll, overvåking og avbøtende tiltak	45
9.1	Kontroll av tildekkingsmasser	45
9.2	Overvåking under tiltak	45
9.3	Avbøtende tiltak	46
9.4	Støv og støy i forbindelse med anleggsarbeidet	46
9.5	Sluttkontroll	47
10	Kostnader og fremdriftsplan	48
10.1	Kostnader	48
10.2	Finansiering av tiltaket	48
10.3	Fremdriftsplan	49
11	Totalvurdering og anbefaling	49
12	Referanser	50
	Vedlegg	51

Sammendrag

Bergen havn er et av 17 kyst- og fjordområder i Norge som er prioritert med tanke på opprydding i forurenset sjøbunn. I regi av prosjektet "Renere Havn Bergen" er det utført kartlegginger som har påvist at sjøbunnen i Store Lungegårdsvann er sterkt forurenset av tungmetaller og organiske miljøgifter som PCB, PAH og TBT. En risikovurdering konkluderte med at det er en uakseptabel risiko for spredning av forurensning, opptak av forurensning i biota og helserisiko for mennesker ved dagens miljøtilstand.

Denne rapporten beskriver en plan for tiltak mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann. Tiltaksområdet utgjør ca. 400 dekar. Det er ikke kjent at det er behov for mudring for å opprettholde dagens seilingsdyp, og som hovedmetode foreslås derfor tildekking. Det foreslås følgende tiltak for etablering av ny, ren sjøbunn i Store Lungegårdsvann:

- › I områdene med bløtest sjøbunn (ca. 350 dekar) anbefales enten tynnsjiktstildekking med en lagvis blanding av aktive materialer nederst og sand/skjellsand over eller tildekking med sand/skjellsand med total tykkelse på ca. 40 cm. Nødvendig tykkelse på tildekkingslaget og utleggingsmetode må nærmere avklares i detaljprosjekteringen. Det må vurderes om det er nødvendig å gjennomføre mudring i et mindre område i den vestlige delen av tiltaksområdet.
- › I området med fastere sjøbunn i de vestlige delene av Store Lungegårdsvann (ca. 50 dekar) anbefales tildekking med enten Tunell-Bore-Maskin-masser (TBM-masser) fra Nye Ulrikstunnel eller sand/skjellsand med total tykkelse på ca. 40 cm. Nødvendig tykkelse på tildekkingslaget og utleggingsmetode må nærmere avklares i detaljprosjekteringen. Det må vurderes/undersøkes om det er nødvendig å gjennomføre tildekking i de grunne områdene med fastere sedimenter rett utenfor strandlinjen.
- › De groveste fraksjonene av TBM-masser eller andre grovkornede masser som nedknust sprengstein anbefales til bruk som erosjonssikring i områdene der sterk strøm eller båttrafikk kan medføre erosjon av tildekkingslaget.

Gjennom å etablere et varig tildekkingslag som isolerer/binder miljøgiftene i eksisterende sjøbunn, skal man oppnå følgende forslag til miljømål for Store Lungegårdsvann:

- › Innhold av PCB₇, PAH₁₆ og tungmetaller (As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn) i de øverste 10 cm av sjøbunnen skal ikke overskride tilstandsklasse III i henhold til TA-2229/2007 (SFT, 2007).
- › Forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann skal ikke utgjøre en helsefare for mennesker.
- › Forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann skal ikke gi negativ påvirkning på økosystemet i Puddefjorden og resten av Byfjorden.

Det er foreslått følgende tiltaksmål for tiltaket som er rettet mot utførende entreprenør og danner grunnlag for kontroll med tiltaksgjennomføringen:

- › I inntil fire uker etter at tiltaket er gjennomført skal innholdet av PCB₇, PAH₁₆ og tungmetaller (As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn) i de øverste 10 cm av sjøbunnen være i tilstandsklasse II eller lavere i henhold til TA-2229/2007 (SFT, 2007).

- › Tiltaket skal ikke medføre spredning av forurensede partikler til Puddefjorden

Det må gjennomføres tiltaksforberedende undersøkelser/vurderinger som blant annet uttesting av tildekkingsløsninger i de bløteste delene av sjøbunnen, avklaringer om hvordan kulturminner og ledninger/kabler på sjøbunnen skal beskyttes ved gjennomføring av tiltak, avklaringer med hensyn på eventuell midlertidig flytting av båthavner, samt utarbeidelse av detaljert kontroll- og overvåkningsplan for tiltaket.

Kostnadene ved tiltaket er beregnet å være ca. 138 millioner kr eks. mva. Finansieringen av tiltaket er ikke avklart, og tidspunkt for gjennomføring av tiltaket er dermed ikke fastlagt. I forbindelse med etablering av ny bybanetrasé planlegges det en utfylling langs Store Lungegårdsvanns østlige bredde. Det er viktig fra et miljømessig hensyn at trinn 1 av bybaneprosjektets tiltak som omfatter en utfylling opp til kote -4, ferdigstilles før tiltak mot forurenset sjøbunn igangsettes for å forhindre rekontaminering av tildekkingslaget. Dette medfører at tiltaket mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann tidligst kan starte i 2019.

Miljøgiftbudsjettet viser at totalt 55 kg kvikksølv, 5400 kg bly, 4 kg PCB og 400 kg PAH vil isoleres ved gjennomføring av tiltaket i Store Lungegårdsvann.

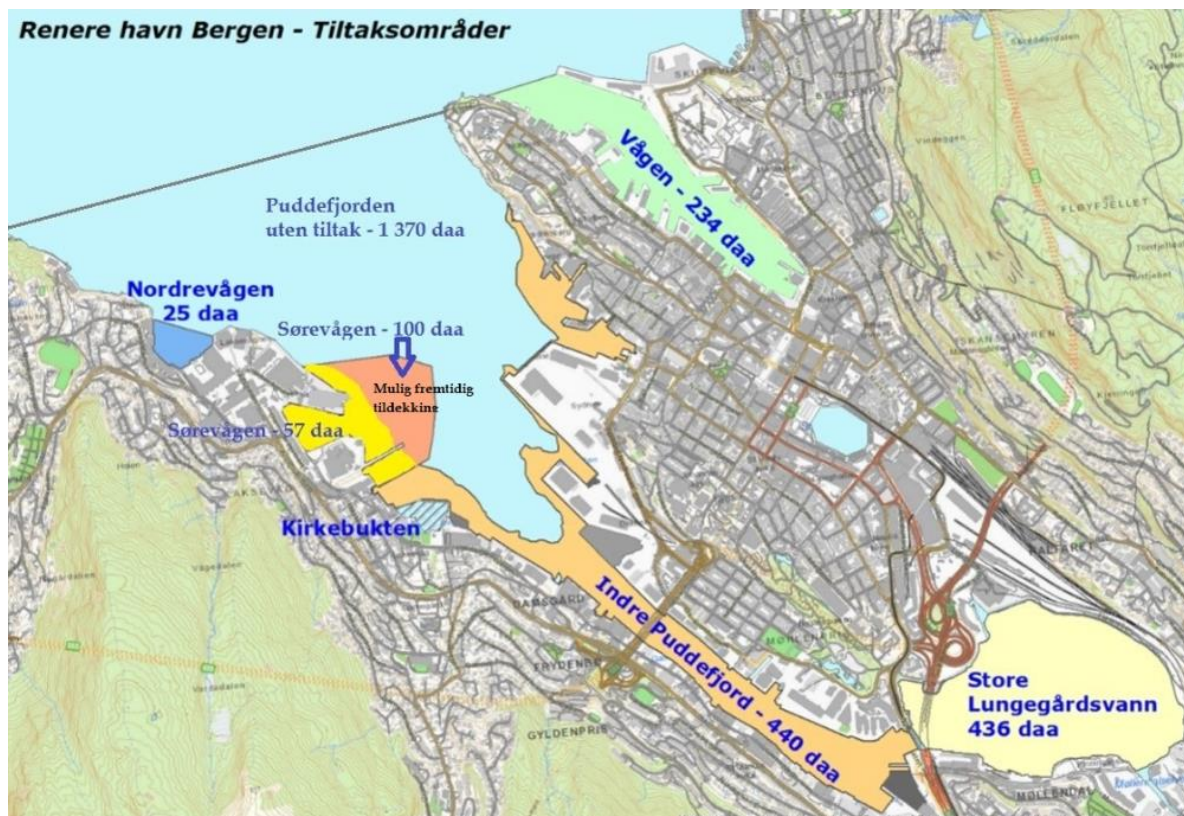
1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Bergen havn er et av 17 kyst- og fjordområder i Norge som er prioritert med tanke på opprydding i forurenset sjøbunn (Stortingsmelding nr. 14, 2006-2007). Som del av prosjektet "Renere Havn Bergen", et samarbeidsprosjekt mellom Bergen kommune og Bergen og Omland havnevesen, er det utført kartlegginger av forurensningssituasjonen i Bergen havn. Kartleggingen viser at sjøbunnen i både Vågen, Puddefjorden og Store Lungegårdsvann er svært forurenset av tungmetaller og organiske miljøgifter, og risikovurderinger av alle områdene har påvist risiko for spredning av miljøgifter og negative effekter på økologi og human helse (COWI, 2013) (COWI, 2015) (COWI, 2016). På bakgrunn av dette har Bergen bystyre vedtatt at det må gjennomføres tiltak mot forurenset sjøbunn i havneområdet.

Det er gitt tillatelse til tiltak mot forurenset sjøbunn i indre Puddefjorden (Fylkesmannen i Hordaland, 2016), og planlagt oppstart for tiltaksarbeidet i dette området er februar 2017. Store Lungegårdsvann grenser mot Puddefjorden og er utpekt som neste delområde der tiltak mot forurenset sjøbunn vil bli iverksatt (Figur 1). Denne rapporten beskriver de planlagte oppryddingstiltakene i Store Lungegårdsvann og utgjør en del av søknad etter Forurensningsloven til Fylkesmannen om tillatelse til tiltak mot forurenset sjøbunn i dette området. Tiltaksplan og søknad om tillatelse til tiltak i Vågen vil utarbeides på et senere tidspunkt. Utenom havneområdene der det skal gjøres tiltak i regi av Renere Havn Bergen, er det gitt tillatelse til tiltak mot forurenset sjøbunn i Nordrevågen og Sørrevågen i regi av henholdsvis Forsvarsbygg og Marin eiendomsutvikling AS (Figur 1).

I tillegg til det planlagte tiltaket mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann, er det i dette området igangsatt eller planlagt to utfyllingstiltak. Statens vegvesen har igangsatt utfylling ved Nygårdstangen i den nordlige delen av vannet i forbindelse med etablering av ny gangbro, og det planlegges en utfylling langs Store Lungegårdsvanns østlige bredde i forbindelse med etablering av ny bybanetrasé med Bybanen utvikling som tiltakshaver. Utfyllingsaktiviteten vil medføre at deler av nåværende sjøbunn i Store Lungegårdsvann vil bli dekket til, og tiltak mot forurenset sjøbunn planlegges derfor i de områdene som ikke dekkes av utfyllingsmassene.



Figur 1 Oversikt over områder der tiltak mot forurenset sjøbunn er planlagt. Prosjektet Renere Havn Bergen er ansvarlig for områdene Indre Puddefjord, Store Lungegårdsvann og Vågen. I tillegg er det utført uttesting av ulike tildekkingsmasser i Kirkebukten i regi av dette prosjektet. Forsvarsbygg og Marin Eiendomsutvikling AS er ansvarlig for henholdsvis Nordrevågen og Søreågen.

1.2 Formål

I denne tiltaksplanen beskrives løsninger for tiltak mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann. Det blir gitt en vurdering av egnethet for ulike tiltaksløsninger basert på effekt og kostnader, og det foreslås en løsning som i størst mulig grad ivaretar miljø- og samfunnsmessige hensyn. Rapporten inkluderer også en oppsummering av forurensningstilstanden i sjøsedimentene i området og gir en oversikt over anbefalte tiltaksrettede undersøkelser. Tiltaksplanen er utarbeidet i henhold til retningslinjer gitt i Miljødirektoratets veileder M-350/2015 "Håndtering av sedimenter" (Miljødirektoratet, 2015).

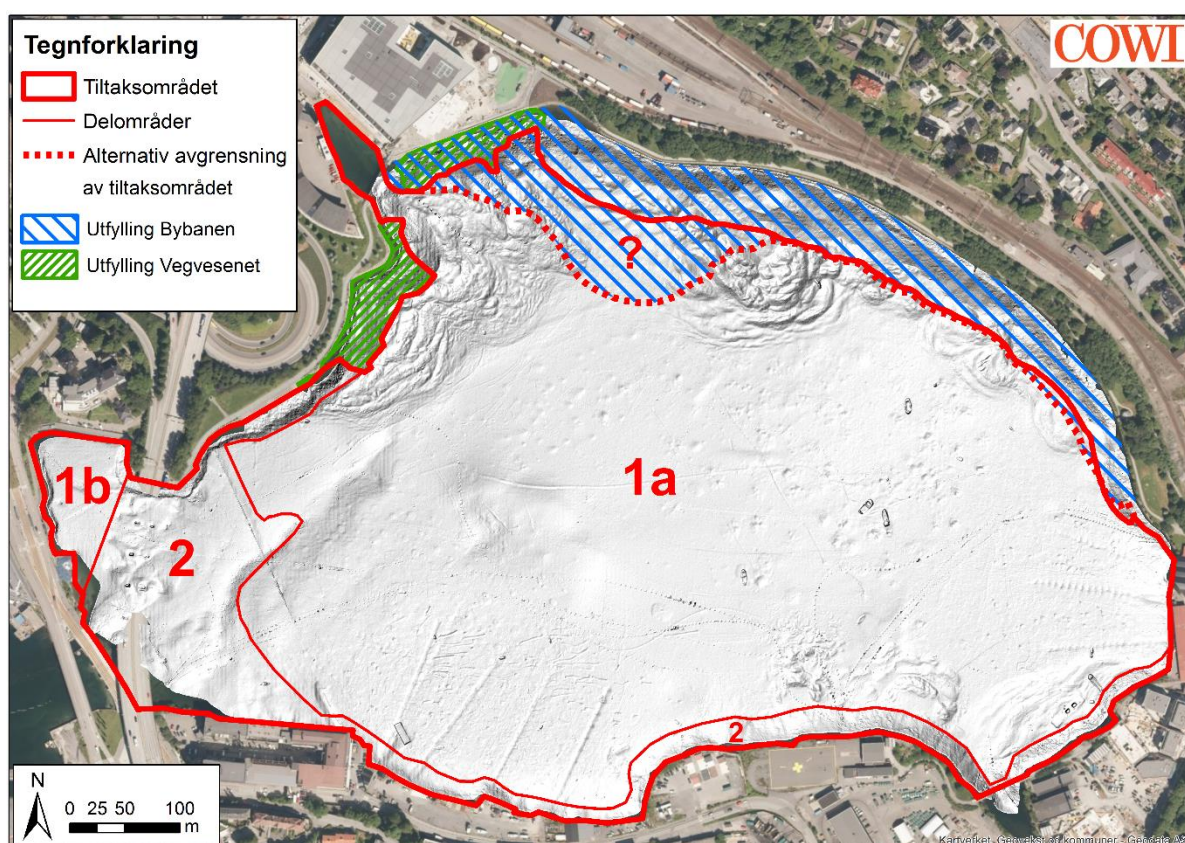
1.3 Lokaltet

Det søkes gjennomført tiltak mot forurenset sjøbunn i de områdene av Store Lungegårdsvann som ikke dekkes av utfyllingene til Statens vegvesen og Bybanen utbygging. I planleggingen av bybaneutfyllingen opereres det med to alternativer for utfyllingsareal, og dette gir dermed to alternativer for totalt tiltaksareal for opprydning i forurenset sjøbunn:

- › Alternativ I gir et tiltaksareal på ca. 400 dekar (markert med tykk, rød, heltrukket linje i Figur 2).
- › Alternativ II gir et tiltaksareal på ca. 380 dekar (rød, stiplet linje i Figur 2 utgjør yttergrensen).

Tiltaksområdet er delt inn i delområder hovedsakelig basert på geotekniske vurderinger av sjøbunnens stabilitet og bæreevne (Figur 2). Delområdene 1a og 1b har et areal på til sammen ca. 350 dekar – eventuelt 330 dekar i tilfelle yttergrensen av tiltaksområdet følger stiplet linje i Figur 2 (alternativ II for totalt tiltaksareal). Delområde 2 har et areal på ca. 50 dekar.

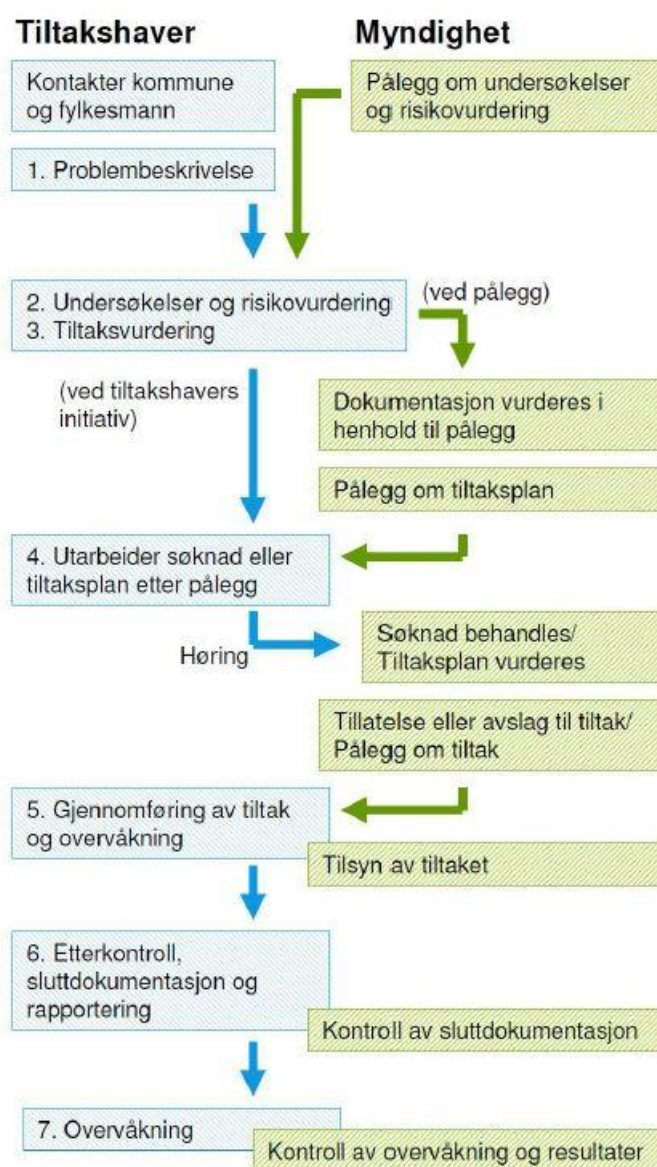
Tiltaksområdet berører sjødyp mellom 0 og 26 m.



Figur 2 Skyggerelieffkart med tiltaksområdet markert med tykk rød linje. Stiplet rød linje viser et alternativ for yttergrensen til tiltaksområdet. Tynn rød linje markerer inndeling av tiltaksområdet i mindre delområder. Arealene som dekkes av utfyllingene til Statens vegvesen og Bybanen utvikling er markert med henholdsvis grønn og blå skravur.

2 Rammebetingelser

Miljødirektoratets veileder M-350 beskriver saksgang for tiltakshaver ved tiltak i sediment (Miljødirektoratet, 2015) (Figur 3). Det skal søkes om godkjenning av tiltaket gjennom bruk av "Søknadsskjema for tiltak i sjø og vassdrag" som sendes Fylkesmannen i Hordaland. Tiltaket mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann faller inn under kategorien "Store tiltak" i henhold til veileder M-350 (Miljødirektoratet, 2015) da arealet overstiger 30 000 m².



Figur 3 Generell saksgang for tiltakshaver og forurensningsmyndighet ved tiltak i sediment, med tiltakshavers og myndighetens oppgaver i henholdsvis blått og grønt.

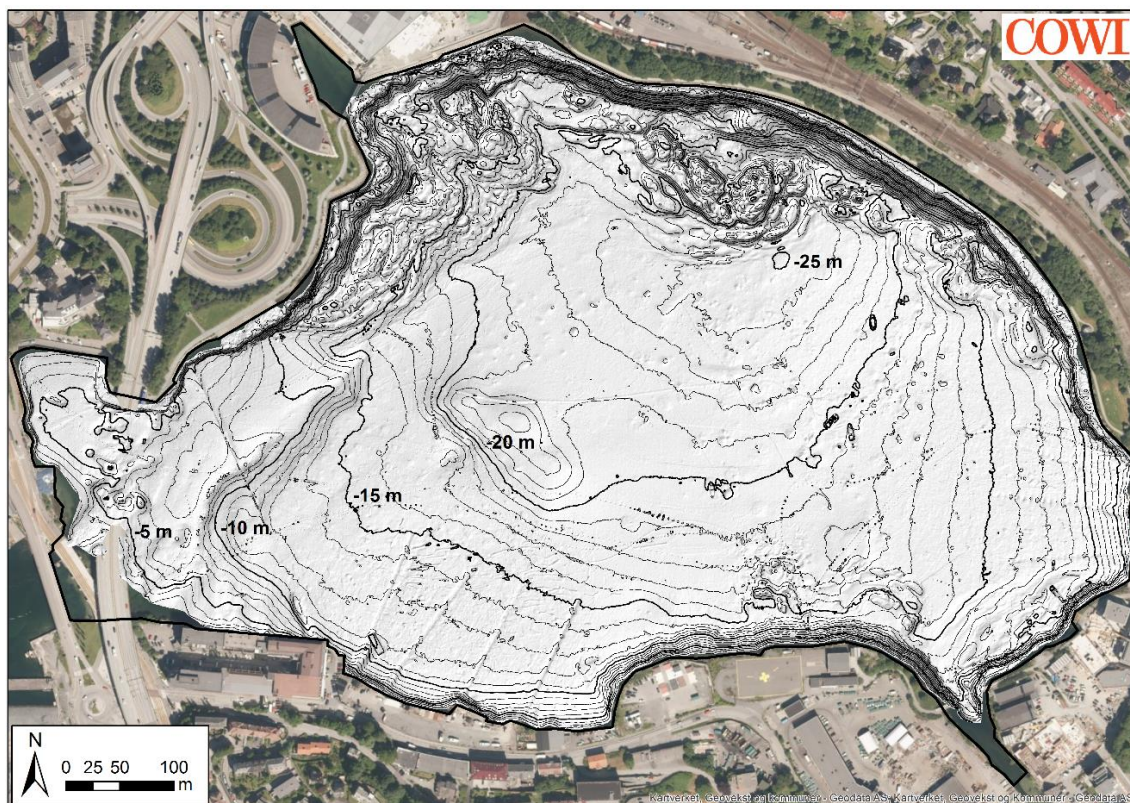
3 Områdebeskrivelse

3.1 Topografi og bunnforhold

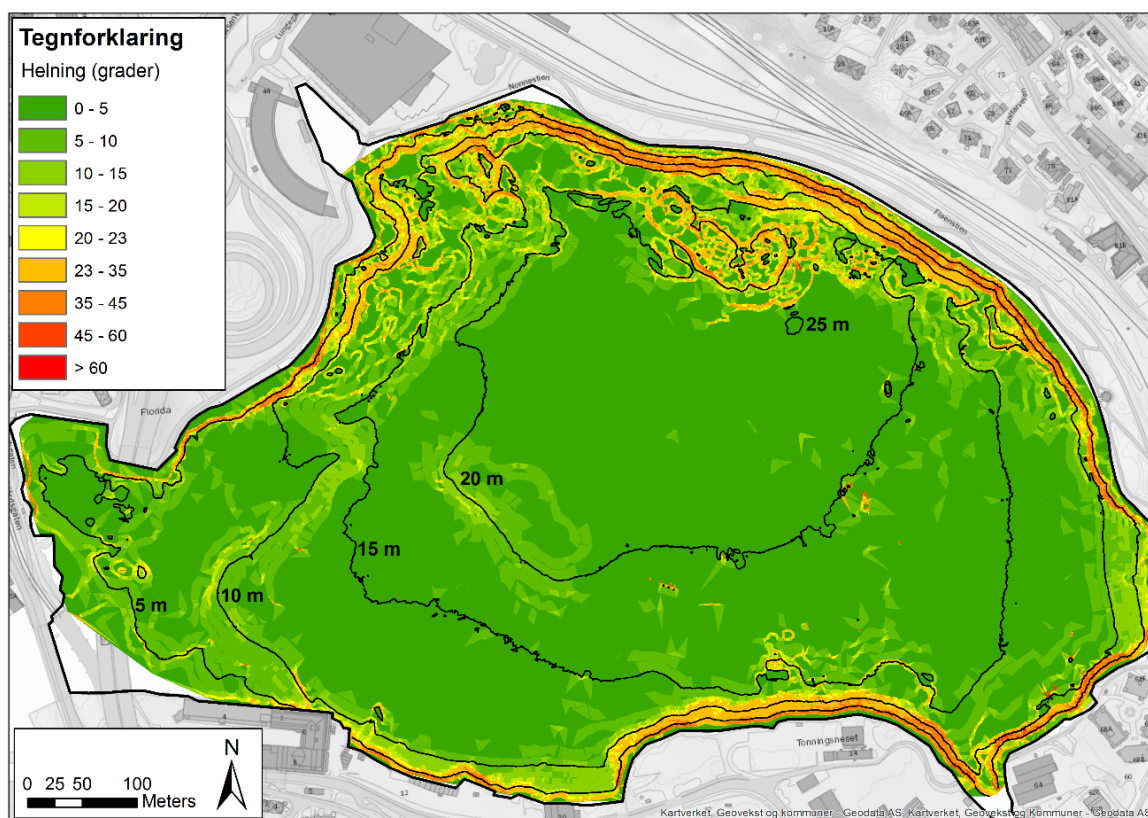
Store Lungegårdsvann er et avgrenset fjordbasseng som står i forbindelse med Puddefjorden i vest gjennom en smal åpning i Strømmen (Figur 1 og Figur 4). Med avgrensning mot gamle Nygårdsbro har Store Lungegårdsvann i dag et areal på ca. 440 000 m² og en maksimal dybde på 26 m. Terskelen ved Nygårdsbroen ved munningen av Store Lungegårdsvann ligger på ca. 3,7 m dyp.

I løpet av de siste 150 årene er Store Lungegårdsvann blitt sterkt modifisert blant annet ved at masser har blitt fylt inn langs marginene og ved at terskelen mot Puddefjorden har blitt grunnere på grunn av bygging og utvidelse av Nygårdsbroen i flere etapper (1851, 1882, 1919). Sundet som forbandt Store Lungegårdsvann og Lille Lungegårdsvann ble gjenfylt i 1926, og Store og Lille Lungegårdsvann står i dag i forbindelse gjennom en underjordisk kanal. Store Lungegårdsvann får tilført ferskvann fra Møllendalselven i sørøst samt fra en del mindre bekker.

Bunntopografien er karakterisert av at det har vært utfyllingsaktivitet langs store deler av dagens strandlinje. Bunnkartlegging som ble utført i 2013 (Parker, 2013) viser tydelige spor etter deformasjon i sedimentene på grunn av masseutfyllingen som har foregått særlig i den nordlige og nordvestlige delen av vannet (Figur 4). Mellom 1994 og 1997 ble det i dette området gjennomført utfylling av 550 000 m³ sprengstein som gav en landvinning på ca. 18 000 m². Helningskart over sjøbunnen viser at det er relativt flatt med helning < 5° i de sentrale delene av vannet. Mellom 0 og 10 m er det en helning på 20 – 60° langs det meste av vannet, med unntak av et flatere område i den vestlige delen (Figur 5).



Figur 4 Skyggerelieffkart som viser bunntopografien i Store Lungegårdsvann med 1 m koter



Figur 5 Helningskart over sjøbunnen i Store Lungegårdsvann

3.2 Geotekniske undersøkelser

Norconsult AS har utført geotekniske vurderinger av sjøbunnen i Store Lungegårdsvann i forbindelse med tiltaksvurderingen mot forurensset sjøbunn (Norconsult, 2016). Vurderingene er basert på de undersøkelsene som Norconsult utførte for Jernbaneverket i forbindelse med planer om å deponere TBM-masser fra Nye Ulrikstunnel i vannet (Norconsult, 2014).

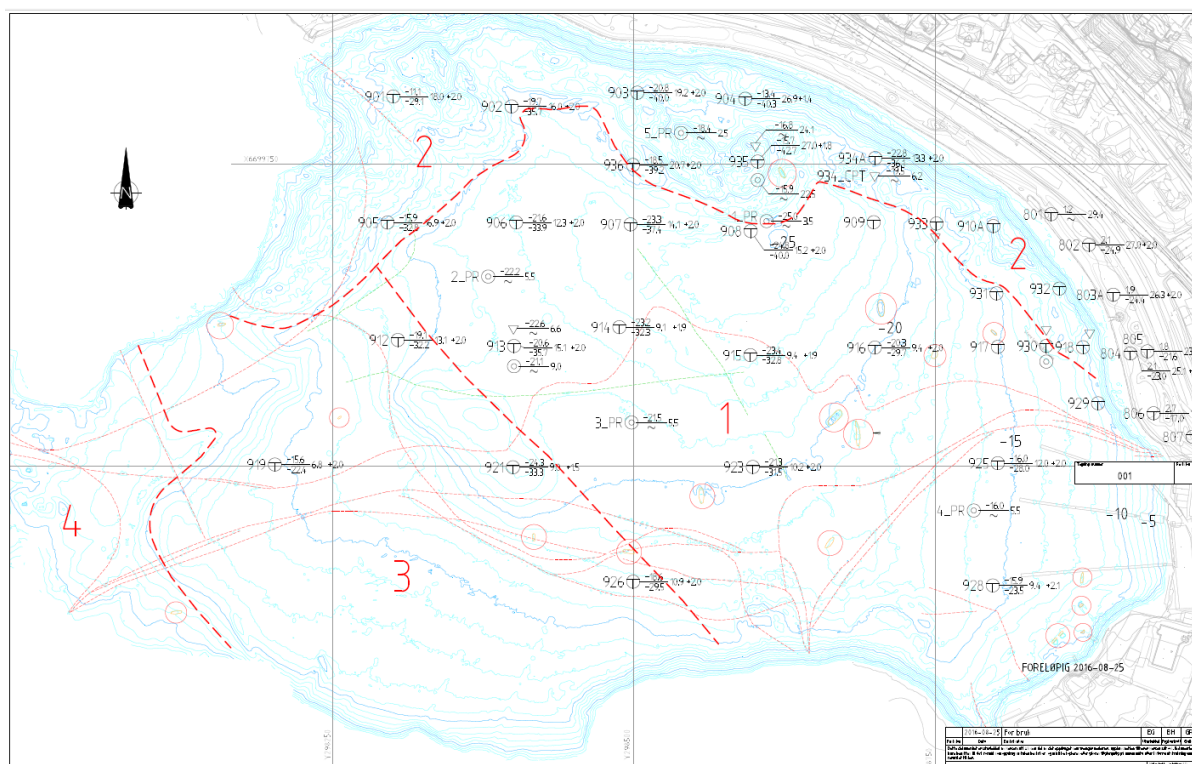
De naturlige løsmassene i Store Lungegårdsvann består generelt av silt- og sandholdig gytje over sand/grus og morene. Det øvre laget på anslagsvis 0,5 m tykkelse er meget bløtt, nærmest flytende og inneholder nesten ikke sand. Disse massene inneholder mye organisk materiale og avgir sterk lukt. Videre finnes det bløte, gytjige masser med sterk lukt i en tykkelse på omtrent 8-10 m over store deler av Store Lungegårdsvann. Sonderinger viser at de fleste steder er det en brå overgang til meget harde masser. Under gytjelaget er det antatt leire, sand og grusmasser over morene (trolig en overkonsolidert bunnmorene). Påviste dybder til fjellgrunn i Store Lungegårdsvann variere mellom 6,8 m og 27 m.

Figur 6 viser sjøbunnen i Store Lungegårdsvann inndelt etter de geotekniske forholdene (Norconsult, 2016):

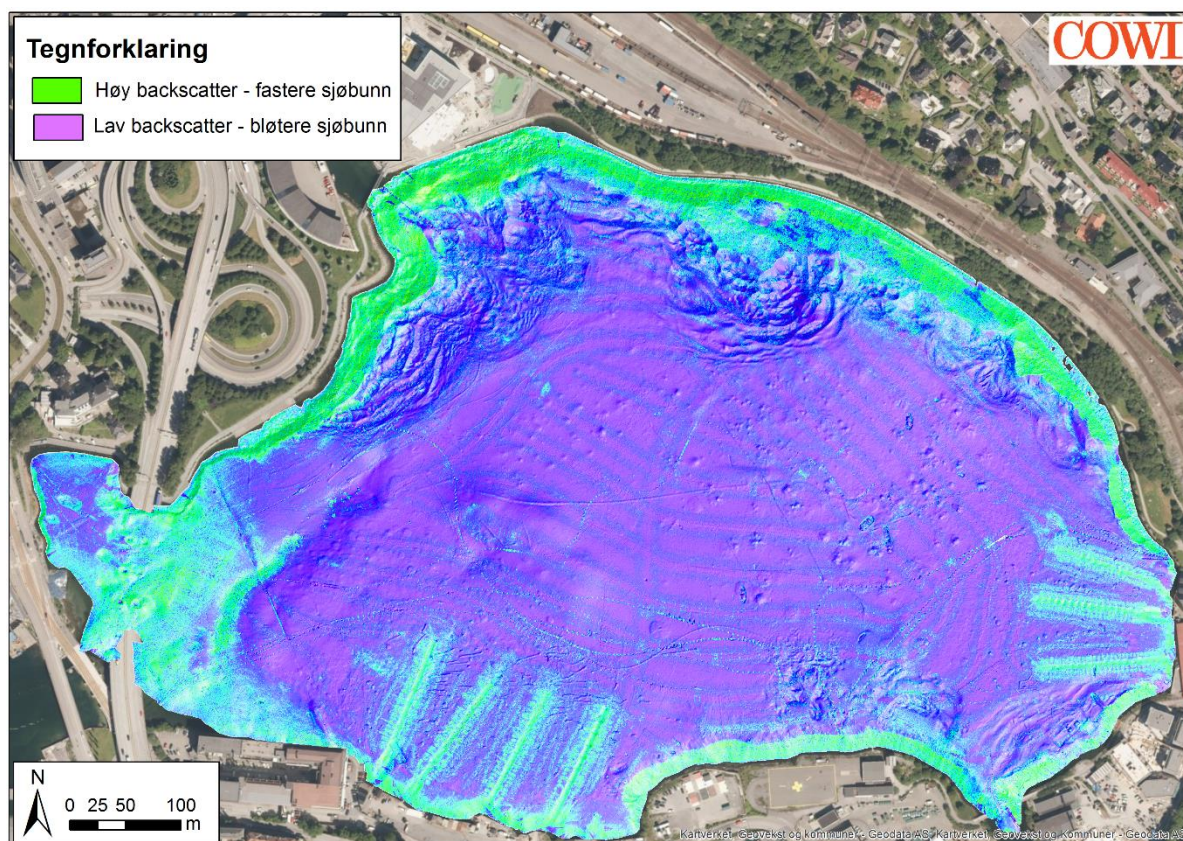
- Område 1 som omfatter de sentrale og østre delene fremstår som upåvirket av utfyllingsarbeider og karakteriseres ved at det øvre, bløte laget som ikke gir utslag på

matekraften ved totalsonderinger er tykt (6-14 m). Toppsedimentet (8-18 cm) er svært flyktig, bløtt og rikt på organisk materiale. Under dette laget er det noe fastere sediment (Norconsult, 2016).

- › Område 2 som omfatter de nordre områdene er svært påvirket av utfyllingsarbeider ved at bunnen er til dels meget ujevn inntil nesten 200 m fra dagens strandlinje. Innenfor tiltaksområdet til Renere Havn Bergen finnes det store tykkelser med meget bløte masser. Det er påvist inntil 19 m med løsmasser her som ikke gir utslag på matekraften ved totalsonderinger. De øverste lagene kan stedvis være noe hardere her enn i område 1.
- › Område 3 dekker det sydvestre delene av Store Lungegårdsvann. Her er det bløte topplaget tynnere enn i område 1 og 2 med mektighet på 0,5 – 5,5 m. Under dette laget finnes det svært faste masser (trolig morene). Dybden til fjellgrunn ser ut til å avta mot vest, og den er målt til kun 6,8 m nær grensen til område 4.
- › I område 4 som omfatter de grunnere områdene mot utløpet av Store Lungegårdsvann finnes det ikke data fra geotekniske undersøkelser. Sedimentbeskrivelser og kornfordelingsdata viser sedimenter bestående primært av sand og grus. Bunnhardhetsdata basert på ekkostyrke fra multistråle ekkolodd tyder på at det for det meste finnes middels faste og faste sedimenter på bunnens overflate med unntak av området helt i vest ved Florida der resultatene indikerer en noe bløtere overflate (Figur 7).



Figur 6 Inndeling av sjøbunnen i Store Lungegårdsvann i område 1-4 (stiplet, rød linje) etter geotekniske forhold (Norconsult, 2016).



Figur 7 Bunnhardhetsdata basert på ekkostyrke fra multistråle ekkolodd (backscatter). De høye backscatter-verdiene i sør og øst er relatert til pileene i de to båthavnene.

3.3 Strømforhold og vannutskiftning

Det er tidligere gjort modellering av strømforholdene i Puddefjorden og Store Lungegårdsvann som viser at terskelen mellom Store Lungegårdsvann og Puddefjorden i de fleste tilfeller har de sterkeste strømforholdene (NIVA, 2008). Ved fløende sjø presses vannet gjennom Strømmen under Nygårdsbroen, mens det ved fjærende sjø er en roligere strøm ut fra bassenget. Det er utført strømmålinger i Store Lungegårdsvann i forbindelse med miljøvurderinger av en utfylling i den nordvestre delen av vannet i 1998. Strømmålinger ved to lokaliteter i dette området viste snittverdier på noen få cm/s og maksimumsverdier på rundt 30 cm/s. Måleområdet ligger et godt stykke innenfor terskelen der det er forventet at strømhastighetene er mye høyere.

Vannvolumet i Store Lungegårdsvann er beregnet til ca. 6 455 000 m³. Det er vurdert at vannutskiftningen av Store Lungegårdsvann teoretisk er 2 dager, men at virkningsgraden til utskiftningen fører til en faktisk oppholdstid på ca. 1 uke (McClimans, 1992). Tidevannsforskjellene er ca. 120 cm mellom høyvann og lavvann.

Det er rapportert anoksiske forhold i bunnvannet i de dypere liggende delene av Store Lungegårdsvann (Uni Miljø, 2015), og det er tidvis registrert luktproblemer i området rundt vannet knyttet til utvikling av hydrogensulfid (H₂S) i bunnvann og bunnsediment. Ved sedimentprøvetaking i

2016 ble det registrert tydelig H₂S lukt fra sedimentprøvene fra de dypereliggende delene av Store Lungegårdsvann (COWI, 2016).

3.4 Arealbruk og planer

Store Lungegårdsvann omfattes av to kommunedelplaner; kommunedelplan "Sentrum" (vedtatt 2001) og kommunedelplan "Store Lungegårdsvann, søndre del" (vedtatt 2007). Et utsnitt av kommunedelplan "Store Lungegårdsvann, søndre del" er vist i Figur 8. Plankartet viser den planlagte bybanetraséen langs nordsiden av vannet med parkområde utenfor. Områdene langs Møllendalselven i sørøst er regulert til bolig og offentlig bebyggelse, samt friområde og allmenninger. Disse områdene er omfattet av de mer detaljerte reguleringsplanene "Møllendal vest omformingsområde" (vedtatt 2012) og "Møllendal øst" (vedtatt 2010).

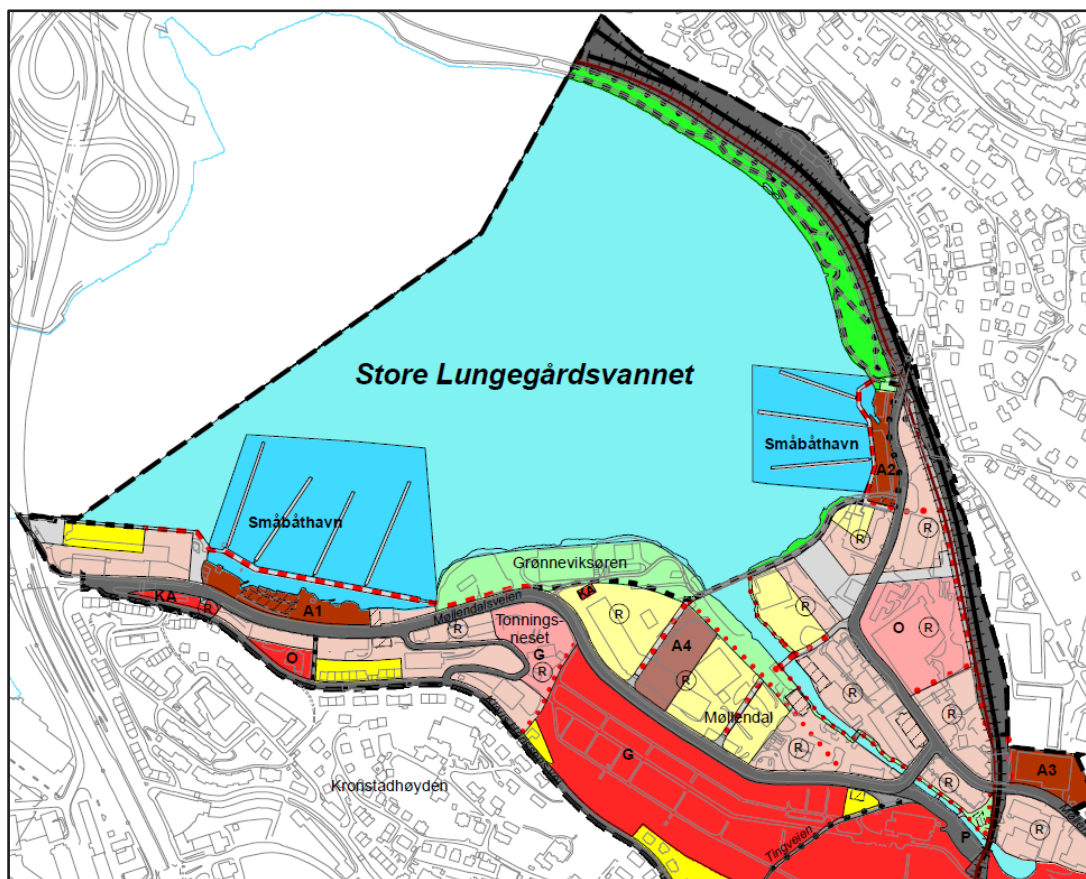
Plankartet i Figur 8 viser lokaliseringen av de to småbåthavner i Store Lungegårdsvann. Draugen og Neptun småbåtforening har i dag henholdsvis 170 og 250 båter, dvs. totalt 420 båter. Basert på kommunikasjon med båtforeningene, er det estimert at det er omkring 6000 anløp i løpet av sesongen. Størrelsen på båtene er begrenset av seilingshøyden under Nygårdsbroen på ca. 4,5 m. Utenom småbåthavnene er vannet i begge kommunedelplanene markert som "vannareal for allmenn flerbruk". Det er i dag lagt til rette for bruk av Store Lungegårdsvann til vannsport gjennom etablering av vannscooter-bane utenfor ADO arena ved Nygårdstangen og en vannpolo-bane ved Florida.

Nordvest for Store Lungegårdsvann er det igangsatt reguleringsendring for det meste av arealet som omfattes av gjeldende reguleringsplan "Nygårdstangen" (vedtatt 1999). I det nye planforslaget er det lagt inn en helikopterplass sør for brannstasjonen, men utover dette medfører ikke den nye planen endringer av betydning for Store Lungegårdsvann.

Bergen kommune er i gang med reguleringsplanarbeidet for ny bybanetrasé til Fyllingsdalen. Den planlagte utfyllingen i Store Lungegårdsvann i forbindelse med den nye bybanetraséen skal gi plass til blant annet parkområde, gang- og sykkelsti og trolig en badestrand. Det er dermed lagt opp til at området skal kunne benyttes i enda større grad til rekreasjonsformål enn i dag.

I 2014 ble det igangsatt områderegulering for Store Lungegårdsvann. Planområdet omfatter hele Store Lungegårdsvann, samt noe landareal på nord- og sørsiden av vannet (Bergen kommune, 2013). Hensikten med planarbeidet er å:

- › Tilrettelegge for utfylling av masser
- › Avklare arealbruk ved de to båtforeningene og eksisterende bilverksted ved Møllendalsvegen
- › Vurdere løsninger for sammenhengende strandpromenade.



Nåværende/ regulert	Fremtidig	TEGNFORKLARING
		§20-4.1. LEDD NR.1 BYGGEOMRÅDER Boligområde Næring Offentlig bebyggelse Kommunalteknisk anlegg Grav- og umelund Allmennyttig formål Annet byggeområde Friområde §20-4.1. LEDD NR.5 OMRÅDER FOR SÆRSKILT BRUK ELLER VERN AV SJØ OG VASSDRAG Småbåthavn Vannareal for allmenn friluftsliv Vannareal for allmenn flerbruk §20-4.1. LEDD NR. 6 VIKTIGE LEDD I KOMMUNIKASJONSSYSTEMET Vegareal Parkering Annet trafikkareal Plass, allmenning og områder der fotgjengere skal gies prioritet Jembaneareal Planlagt bybanetrase Planlagt bybanetrase, tunnel Jembane Jembane, tunnel Strandpromenade Gang/sykkelveg Gangveg Gangveg, bru Gang/sykkelveg, bru

Figur 8

Utsnitt av kommunedelplan Store Lungegårdsvann, søndre del (arealplan-ID 16850000).

3.5 Forurensningskilder

Fra 1970 og frem til i dag har det pågått en større sanering av kloaknettet som førte kloakk ut i Store Lungegårdsvann, og det meste av kloakken føres nå til Holen renseanlegg og utslipp i sjø (Bergen kommune, 2013). Det er etablert overvannsutslipp til Store Lungegårdsvann på 15 m dyp. Dette fører avrenning fra nedbør fra byareal ut i vannet. Overvann kan inneholde mindre mengder partikler og miljøgifter fra blant annet veier og jernbanevirksomhet. Det finnes også en rekke bygg rundt Store Lungegårdsvannet som ble oppført eller kan ha blitt rehabilitert i perioden 1940-1980 da PCB ble brukt i maling og andre bygningsmaterialer. Ved mye nedbør vil avløpsvann kunne gå i overløp sammen med overvannet.

Møllendalselven ga tidlig grunnlag for å utvikle området sørøst for Store Lungegårdsvann til ulike virksomheter knyttet til mølledrift, og senere ble også virksomheter som ikke var avhengig av møllekraft plassert i dette området. Industrivirksomheten har sannsynligvis vært en kilde til forurensningen i sedimentene i Store Lungegårdsvann. I dag er det lite industrivirksomhet igjen i området. I henhold til Miljøstatus.no er det registrert tre lokaliteter med kjent forurensset grunn i nedslagsfeltet til Store Lungegårdsvann. Lokalitetene har nummer 1201018, 1201042 og 1201041 og har status "kan brukes med restriksjoner". Et av disse er det gamle kommunale deponiet på Grønneviksøren rett sør for vannet.

I tillegg til industrivirksomhet kan de to småbåthavnene i Store Lungegårdsvann være kilde til noe av forurensningen i sedimentene. Skipsvrak kan også være en forurensningskilde (Norconsult, 2009).

3.6 Kostholdsråd

Kostholdsrådundersøkelsen for Bergen havn (NIFES, 2007) fant at leverprøver fra torsk i Store Lungegårdsvann var markert kvikksølvforurensset, mens området ellers var moderat forurensset av kvikksølv. Det var også høye konsentrasjoner av PCB₇ i torskelever fra Store Lungegårdsvann sammenlignet med andre steder. PCB₇ i lever fra ål (*Anguilla anguilla*) fanget i Store Lungegårdsvann hadde konsentrasjoner lik andre bukter i Bergen havn, men betraktelig mer enn ål fra Byfjorden. Store Lungegårdsvann regnes som moderat forurensset av PCB₇ basert på forurensing i blåskjell, og det ble registrert en nedgang i PCB₇-innhold fra en tidligere undersøkelse i 1993 til de siste målingene i 2007. Store Lungegårdsvann hadde den høyeste registrerte PAH-konsentrasjonen i ål sammenlignet med andre steder i Bergen havn.

Basert på kostholdsrådundersøkelsen fra Bergen Byfjord (NIFES, 2007) er det omsetningsforbud og Mattilsynet har gitt råd om å unngå konsum av ål og fiskelever på grunn av PCB-forurensning, brunmat i krabbe på grunn av dioksin og PCB-lignende dioksiner, samt dypvannsfisk på grunn av høyt innhold av kvikksølv i filet av brosme og lange. Gravide og ammende frarådes inntak av all magerfisk fra området på grunn av forhøyede konsentrasjoner av kvikksølv i torskefilet.

3.7 Naturforhold

I 2014 ble det gjennomført en kartlegging av marin flora og fauna i Store Lungegårdsvann og en vurdering av konsekvenser for marint biomangfold i forbindelse med planer om utvidelse av landarealet i øst ved Lungegårdsparken, samt tildekking av forurensede sedimenter i Store Lungegårdsvann (NNI, 2014). Artene som ble registrert i kartleggingen er typiske og til dels vanlige arter i regionen. Det ble registrert en rødlistet art ("Nær truet") – sukkertare - ved tre lokaliteter. Sukkertare er rødlistet grunnet nedgang i populasjoner på Sørlandet og på den sørlige delen av Vestlandet, men sukkertaren er fremdeles en vanlig art i det marine miljøet i Hordaland (NNI, 2014).

I kartleggingen av marint naturmangfold i 2014 (NNI, 2014) ble samlet naturverdi for de undersøkte områdene i Store Lungegårdsvann satt til nivået *liten til middels verdi*, mens verdien av dagens artsmangfold i bløtbunnsmiljøet i den dypere delen av Store Lungegårdsvann ble vurdert til *ubetydelig til liten verdi*. Tildekking av forurensede sedimenter i Store Lungegårdsvann ble vurdert til å ha en liten negativ konsekvens på kort sikt med tanke på at habitatet til sjøbunnsfaunaen vil bli ødelagt. En tildekking vil imidlertid medføre dannelse av ny sjøbunn der nivået av miljøgifter er vesentlig mindre enn i dag, så på lengre sikt vurderes et slikt tiltak til å ha en positiv konsekvens (NNI, 2014).

I tillegg til kartleggingen utført i 2014 finnes det informasjon om at det går opp sjørørret, laks, røye og stingsild i Møllendalselva (Uni Miljø, 2011). I kostholdsrådsundersøkelsen for Bergen havn i 2007 ble det fanget torsk, ål, krabbe og blåskjell fra Store Lungegårdsvann (NIFES, 2007). Ål (*Anguilla anguilla*) er klassifisert som en rødlisteart.

Søk i databasen Artsdatabanken 09.08.16 viser at det er observert flere rødlistede fuglearter i området. De registrerte rødlisteartene er lomvi ("Kritisk truet"), makrellterne og alke ("Sterkt truet"), dvergdykker, sothøne, hettemåke, sivhøne, bergand og sanglerke ("Sårbar"), fiskemåke, stær, tyrkerdue, kornkråke, hønsehauk, ærfugl og havelle ("Nær truet"). Søk i databasen Naturbase 09.08.16 viste at artene alke, hettemåke, dvergmåke, makrellterne, dvergdykker, sothøne, bergand, lomvi, sivhøne og sanglerke er listet som truede arter. Søk i Naturbase gav ingen treff for prioriterte arter og vernede områder. Artene registrert i databasene er mobile og de fleste er utbredt i Hordaland. Det er ikke ventet at selve tiltaket vil ha negativ innvirkning på fugleartene.

3.8 Vannforskriften

Store Lungegårdsvann er del av vannforekomsten Byfjorden Indre del (ID 0261010800-4-C) i vannområde Vest i vannregion Hordaland. Vannforekomsten er oppgitt å ha moderat økologisk tilstand og god kjemisk tilstand (vann-nett.no/saksbehandler/).

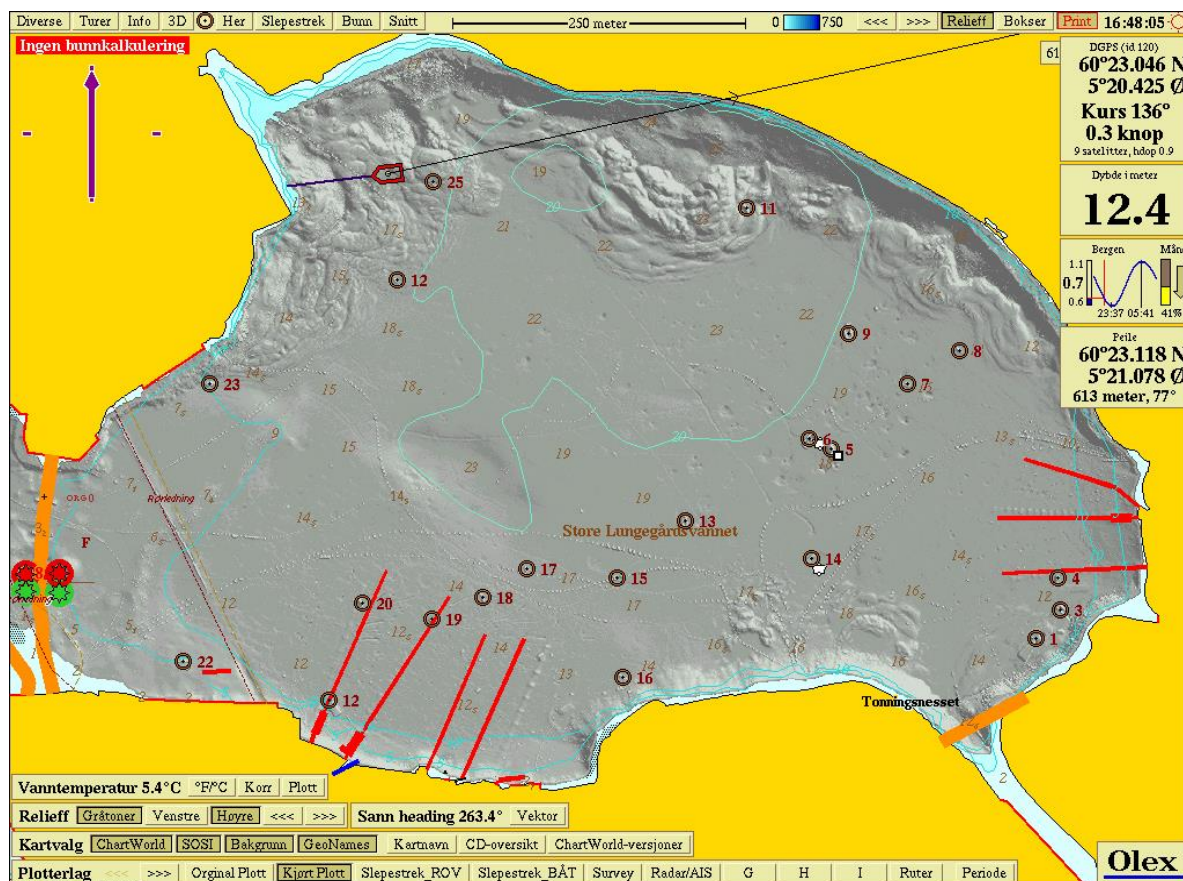
Et generelt miljømål i Vannforskriften er at alle vannforekomster skal ha god økologisk og kjemisk tilstand. I nasjonale forslag benyttes forurensningsgrad i biota, vannmasser og sedimenter som indikator for økologisk potensial i kystforekomster. Gjennomføring av opprydningstiltak i Store Lungegårdsvann som bedrer miljøtilstanden i sedimentene vil være et viktig bidrag til å nå Vannforskriftens miljømål for vannforekomsten.

3.9 Kulturminner

I november 2013 gjennomførte stiftelsen Bergens Sjøfartsmuseum en marin arkeologiske registrering i Store Lungegårdsvann (Bergen Sjøfartsmuseum, 2014). Undersøkelsen ble gjennomført med ROV (fjernstyrt undervannsfartøy) siden Store Lungegårdsvann har ugunstige forhold for dykkerundersøkelser på grunn av dårlige siktforhold og fare for dannelse av giftgassen hydrogensulfid.

Det ble registrert 22 større eller mindre fartøy i undersøkelsen (Figur 9). Av de 22 fartøyene er det et tidligere registrert kulturminne, D/S Topdal, med avklart vernestatus etter § 14 (Skipsfunn) i Kulturminneloven og plassering i Riksantikvarens database Askeladden med ID 89382 (objekt nr. 5 i Figur 9). D/S Topdal er bygget av jern og er et av Vestlandets eldste dampfartøy med byggeår 1874. Verneverdien til fartøyet er vurdert til å være stor på grunn av den tilsynelatende relativt gode tilstanden, den alderdommelige teknikken og fartøyetets lange historie som rutebartøy (Bergen Sjøfartsmuseum, 2014).

I tillegg til D/S Topdal finnes det 4 andre fartøyer som er vurdert til å ha et byggetidspunkt eldre enn 100 år og som antas å inneha vernestatus (objekt 9, 13, 14 og 15 i Figur 9). Disse fartøyene er identifiserte som flakeskuter av tre. Flakeskutene var vanlige arbeidende lektere som ble faset ut av havnedriften i Bergen i løpet av det tjuende århundre.



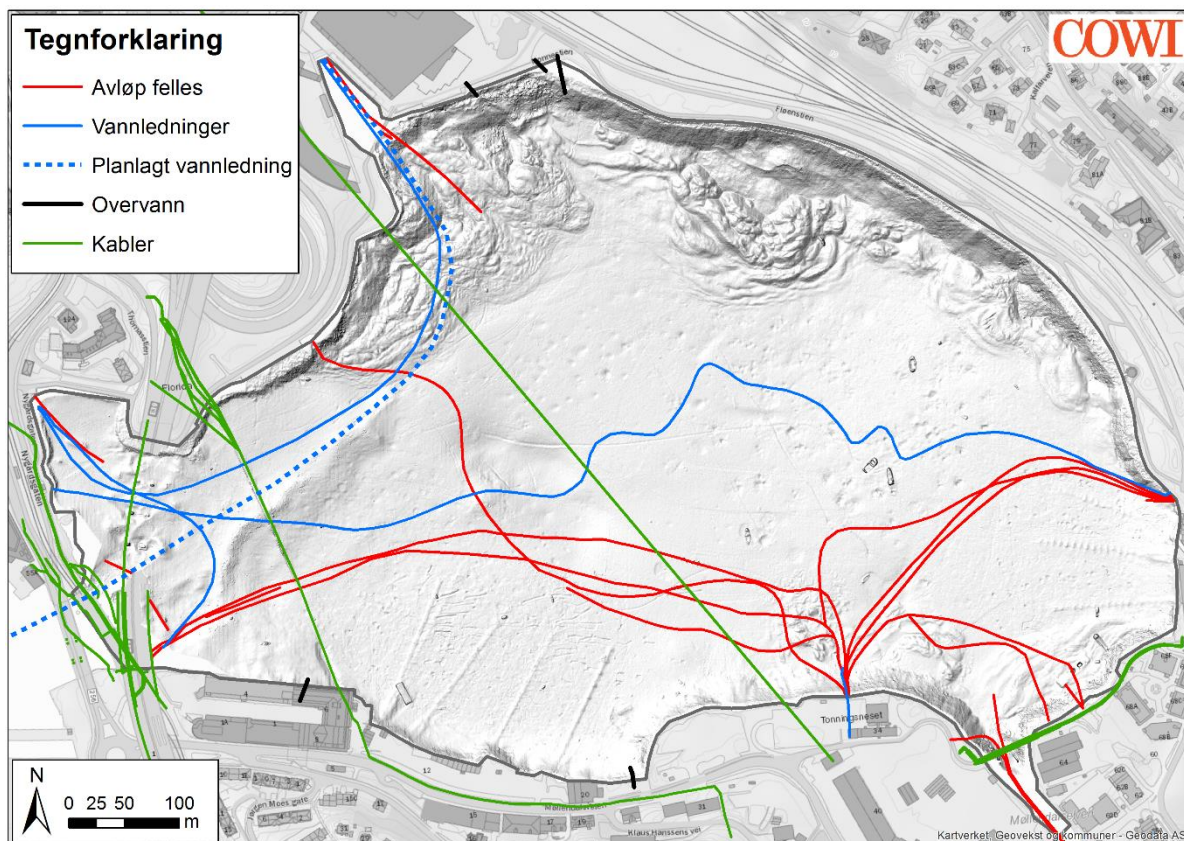
Figur 9 Oversikt over registrerte funn i Store Lungegårdsvann. Objekt nr. 5 er D/S Topdal. Objekt 9, 13, 14 og 15 (markert med grønt) antas å være eldre enn 100 år og dermed å ha vernestatus etter Kulturminneloven § 14 (Bergen Sjøfartsmuseum, 2014).

3.10 Installasjoner

Det ligger en rekke vann- og avløpsledninger (VA) og kabler på sjøbunnen i Store Lungegårdsvann. Figur 10 viser en oversikt over disse basert på data innhentet i august 2016. Tre av VA-ledningene er vannledninger (markert med blått i Figur 10), hvorav to er eid av Bergen kommune. Den lengste vannledningen som krysser Store Lungegårdsvann i øst-vest retning er eid av Universitetet i Bergen (UiB) og er brukt av Stiftelsen Industrielaboratoriet (ILAB) som er lokalisert ved Marineholmen og driver forskning innen akvakultur. Den stiplede, blå linjen viser traséen til en sjøvannsledning som UiB og BKK har planer om å etablere for å forsyne bygninger med energi basert på sjøvann. Det er antatt at arbeidet med utleggelsen er ferdigstilt innen våren 2017, og vannledningen vil dermed være utlagt før tiltaket mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann starter opp.

De andre ledningene er enten overvannsledninger (markert med svart) eller avløpsledninger (fellessystem) (markert med rødt). De større avløpsledningene som krysser sjøbunnen er eid av kommunen, mens enkelte av overløpsledningene nær land er eid av private aktører. Enkelte av ledningene markert som avløpsledninger er trolig ikke i bruk.

En rekke kabler krysser Store Lungegårdsvann (Figur 10). Kablene tilhører BKK, Telenor og Broadnet. Det er opplyst fra BKK at kablene som er markert ved Nygårdbroen ligger inne i broene og berører således ikke sjøbunnen.

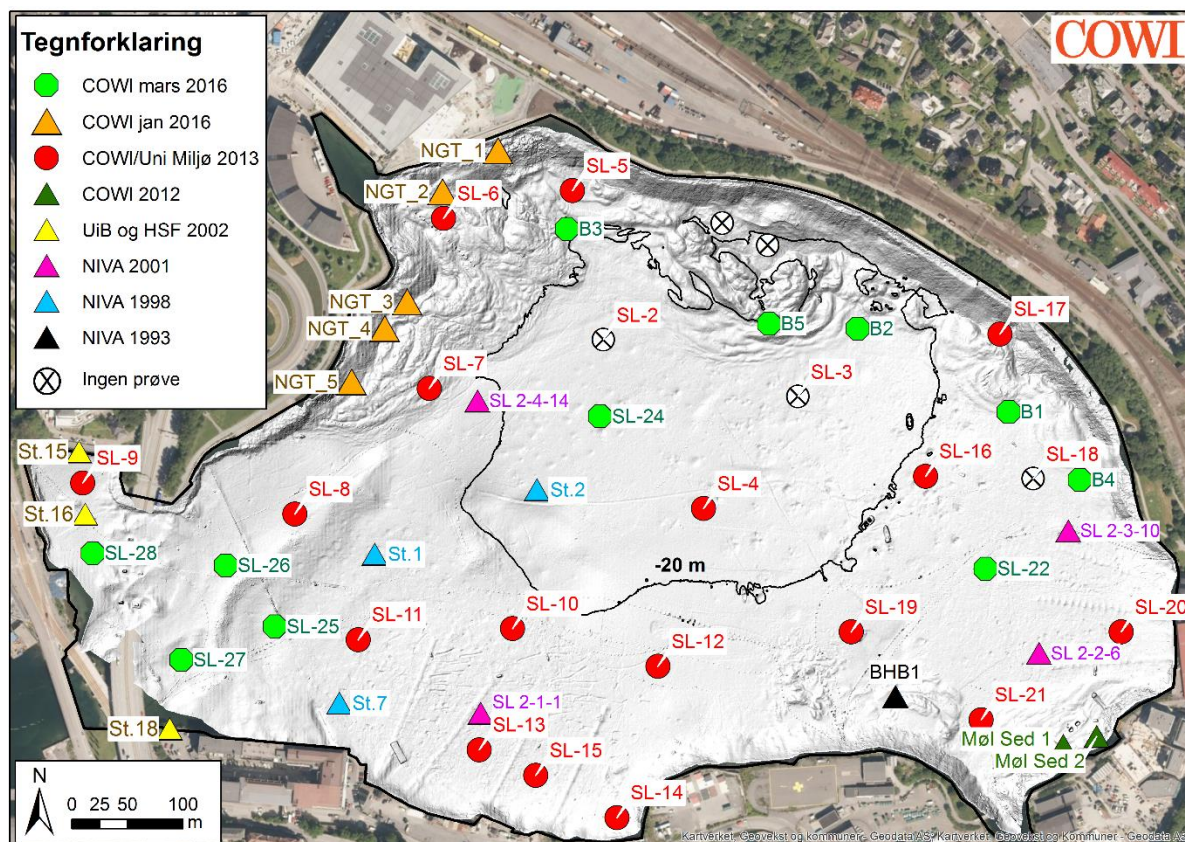


Figur 10 Oversikt over vann- og avløpsledninger og kabler i Store Lungegårdsvann basert på data innhentet i august 2016.

4 Forurensningstilstand

4.1 Datagrunnlag

Det er utført en rekke miljøundersøkelser av sediment i Store Lungegårdsvann siden begynnelsen av 1990-tallet (NIVA, 1993) (NIVA, 1998) (UiB og HSF, 2002) (COWI, 2012) (COWI, 2014) (COWI, 2016) (COWI, 2016). I 2016 ble det utført en oppdatert risikovurdering av forurensset sediment i Store Lungegårdsvann basert på en sammenstilling av datasettene fra de ulike miljøundersøkelsene (COWI, 2016). Det samlede datasettet inkluderer analyser av miljøgifter i overflatesedimenter (0-10 cm) ved 46 lokaliteter, analyser av miljøgifter i porevann ved 5 lokaliteter, toksisitetstestene DR Calux og *Skeletonema costatum* og helsesedimenttesten *Corphium volutator* ved 4 lokaliteter, samt målinger av TOC og kornfordeling. Resultater fra analyser av miljøgifter i lokalt fanget fisk og skaldyr ble også benyttet i risikovurderingen (NIFES, 2007). En oversikt over prøvelokalitetene er vist i Figur 11. Et sirkel med et kryss indikerer at det ikke var mulig å hente opp sedimentprøver med grabb til miljøgiftanalyser.



Figur 11 Kart over prøvelokaliteter. En sirkel med kryss indikerer at det ikke var mulig å hente opp sedimentprøver med grabb til miljøgiftanalyse.

4.2 Miljøgifter i sediment

Veileder TA-2229/2007 "Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter" (SFT, 2007) oppgir tilstandsklasser for sjøsedimenter med klassegrensar som representerer en forventet økende grad av skade på organismesamfunn i sedimentene (Tabell 1). Tabell 2 viser analyseresultatene av alle overflateprøvene inkludert i risikovurderingen fargelagt etter tilstandsklassene. Alle sedimentprøver fra og med 2012 er analysert for 8 metaller (As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn), PCB₇, PAH₁₆ og TBT. Kun et fåtall av prøvene innsamlet i de eldre undersøkelsene er analysert for TBT og PAH-forbindelser.

Tabell 1 Tilstandsklasser for sedimenter (SFT, 2007)

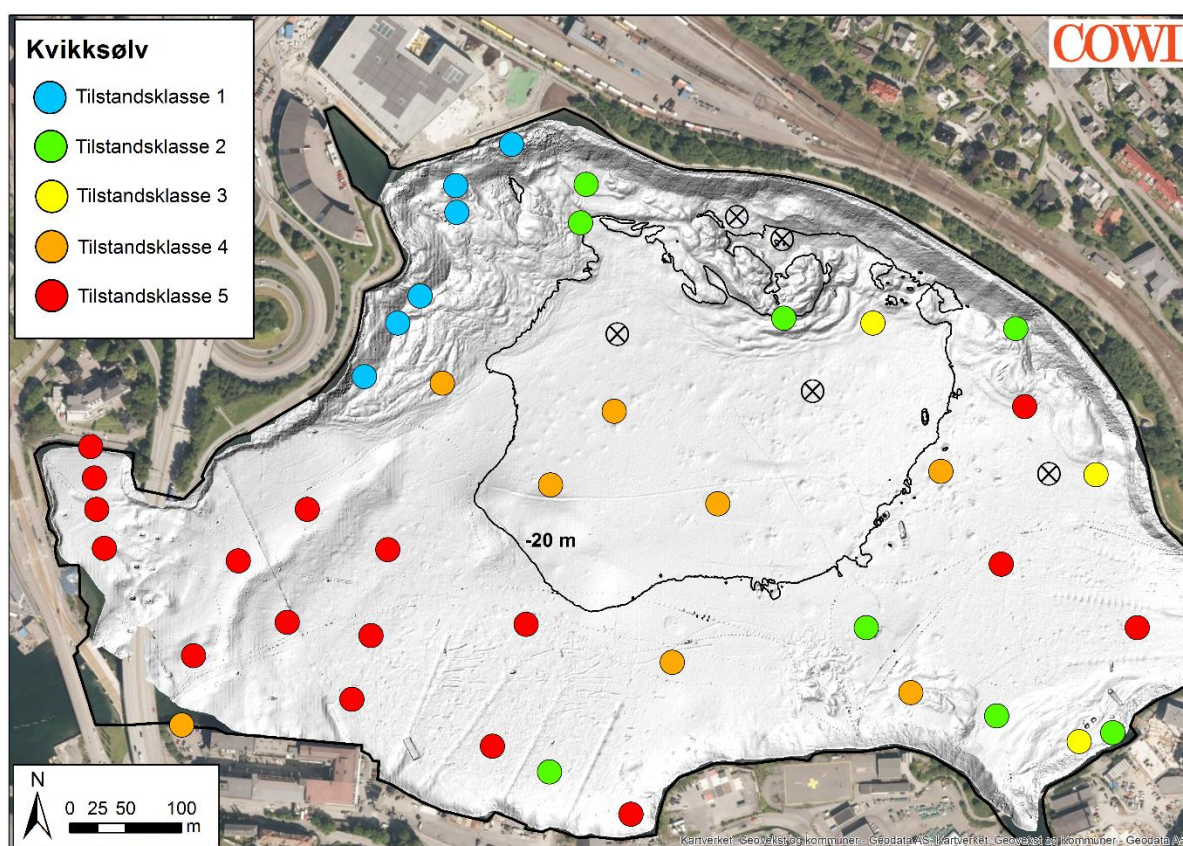
I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Bakgrunnsnivå	Ingen toksisk effekt	Kroniske effekter ved langtidseksponering	Akutt toksisk effekt ved korttidseksponering	Omfattende akutt-toksiske effekter

Tabell 2 Analyseresultater av sedimentprøver fra overflaten (0-10 cm) fargelagt etter tilstandsklasser oppgitt i TA-2229/2007 (SFT, 2007). Ingen verdi betyr at prøven ikke er analysert for gitt stoff.

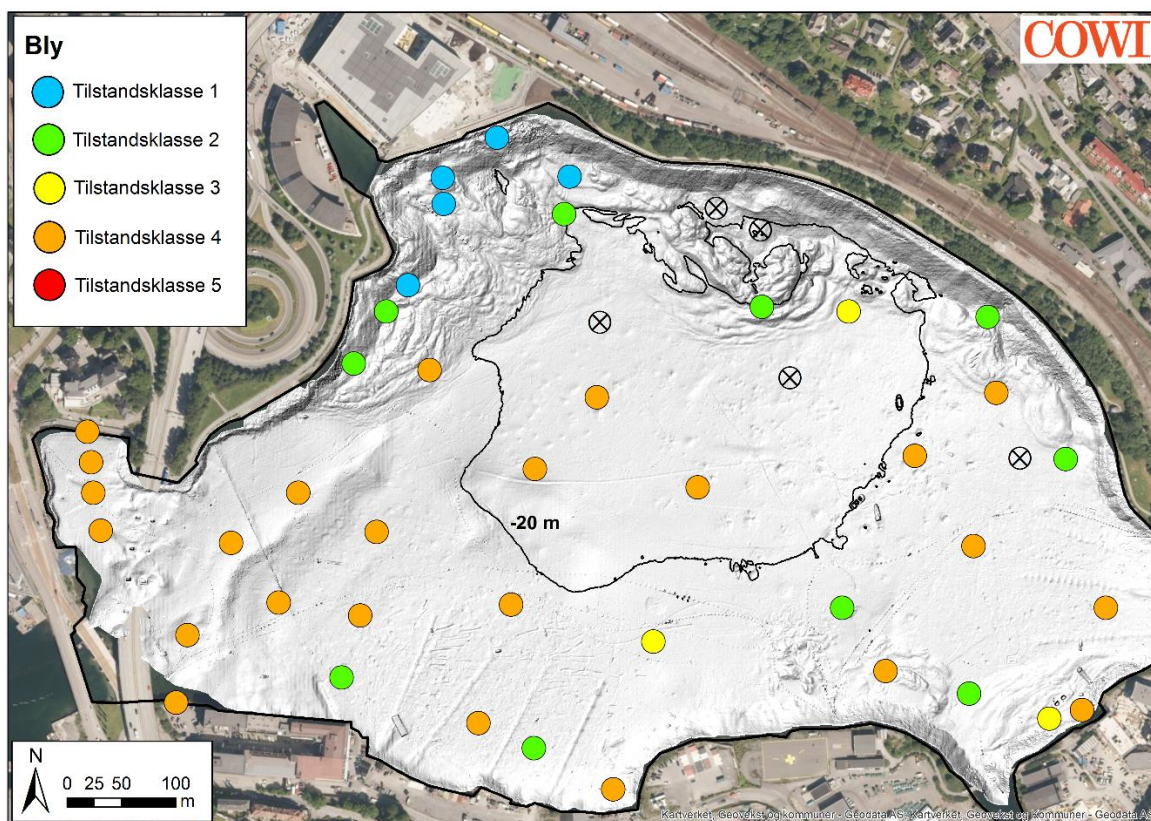
Lok	Utført	Dyp	Arsen	Bly	Kadmium	Kobber	Krom	Kvikksølv	Nikkel	Sink	Sum PAH ₍₁₆₎	Sum PCB ₍₇₎	TBT
		cm	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	µg/kg
SL-22	COWI 2016	0-10	11	240	1,9	270	59	1,64	34	670	11	0,095	1700
SL-24	COWI 2016	0-10	9	210	1,4	250	61	1,34	39	620	11	0,08	2100
SL-25	COWI 2016	0-10	15	260	2,7	320	110	2,61	51	660	15	0,19	2200
SL-26	COWI 2016	0-10	9,5	120	3,8	130	39	1,86	11	270	6,6	0,13	320
SL-27	COWI 2016	0-10	9	120	2,2	140	42	3,41	12	280	6,4	0,13	400
SL-28	COWI 2016	0-10	16	210	2,8	270	80	4,03	27	520	12	0,19	1400
B1	COWI 2016	0-10	10	160	1,5	260	79	1,62	44	620	11	0,085	1600
B2	COWI 2016	0-10	7,3	94	1,2	110	50	0,719	31	340	8,1	0,05	930
B3	COWI 2016	0-10	6,6	55	0,52	85	52	0,352	36	250	3,9	0,018	1200
B4	COWI 2016	0-10	7,6	43	0,48	82	32	0,718	21	270	3,2	0,031	480
B5	COWI 2016	0-10	7,9	46	1,1	37	24	0,413	17	200	2,8	0,011	130
NGT-1	COWI 2016	0-10	0,98	7,2	0,05	13,6	15,8	0,1	13	43	1,2	0,0097	65,3
NGT-2	COWI 2016	0-10	1,3	14	0,05	28,1	24,1	0,1	15,3	69,8	1,1	0,014	156
NGT-3	COWI 2016	0-10	7,1	6,9	2,69	43,5	44	0,1	29,6	54,4	1,2	0,0073	66,9
NGT-4	COWI 2016	0-10	8,38	55,4	0,45	114	53,1	0,1	35,1	206	2,2	0,024	665
NGT-5	COWI 2016	0-10	9	57,6	0,26	127	65,5	0,1	43,8	218	2,2	0,024	786
SL-4	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	10	180	1,1	190	60	1,53	29	520	15,2	0,123	3300
SL-5	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	8,3	29	0,17	41	40	0,189	25	170	2,8	0,0228	610
SL-6	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	7,7	24	0,29	38	30	0,131	21	130	0,628	0,00841	200
SL-7	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	12	160	1,3	130	100	1,52	53	360	17,1	0,0709	1300
SL-8	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	13	110	0,48	180	85	1,65	38	300	7,14	0,153	2800
SL-9	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	13	130	1,1	190	69	2,49	26	380	11	0,2	1200
SL-10	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	10	190	1,8	230	63	1,67	26	570	9,92	0,115	4500
SL-11	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	9,7	120	1,2	170	62	1,97	27	390	21,7	0,547	2700
SL-12	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	6	83	0,18	71	26	0,897	18	200	3,19	0,0289	650
SL-13	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	11	240	1,8	260	74	1,69	29	660	17,4	0,2	2300
SL-14	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	14	170	1,4	210	65	2,93	23	480	8,91	0,279	1300
SL-15	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	6,3	55	0,29	65	29	0,294	18	230	6,86	0,0907	1000
SL-16	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	4,7	150	1	80	28	0,866	14	250	10,8	0,197	720
SL-17	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	5,4	48	0,69	32	21	0,29	12	100	2,27	0,0213	990
SL-19	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	5	63	0,16	47	22	0,42	16	170	2,4	0,0122	770
SL-20	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	14	200	1,7	300	83	2,19	39	660	15,4	0,136	3500
SL-21	COWI/Uni Miljø 2013	0-10	6,3	82	0,31	78	31	0,449	20	250	6,29	0,0345	1400
Møl Sed 1	COWI 2012	0-10	8,1	93	0,8	100	75	0,78	37	300	6,8	0,11	1200
Møl Sed 2	COWI 2012	0-10	6	230	1	130	92	0,53	27	530	5,1	0,05	210
St.15	UiB/HSF 2002	0-2	19	237	3	462	105	4,37	40	610		0,07	
St.16	UiB/HSF 2002	0-2	11	504	2	507	64	2,59	37	540		0,03	
St.18	UiB/HSF 2002	0-2	12	118		283	91	1,14	46	331		0,08	
SL 2-4-14	NIVA 2001	0-4										0,07	
SL 2-1-1	NIVA 2001	0-4										0,18	
SL 2-3-10	NIVA 2001	0-4										0,44	
SL 2-2-6	NIVA 2001	0-4										0,02	
ST.1	NIVA 1998	0-2		180	2	330	80	2,12	30	650	3,2	0,06	2668
ST.1	NIVA 1998	5-7						1,67			47,5		
ST.2	NIVA 1998	0-2		220	3	240	90	1,49	40	610	18,7	0,1	778
ST.7	NIVA 1998	0-2		30	2	130	200	0,44	120	300	4,5	0,01	1330
ST.7	NIVA 1998	5-7						1,92			26,5		
BHB1	NIVA 1993	0-2		120	0,8	174		0,31			18,3	0,05	

Analyseresultatene viser at det er påvist miljøgifter i tilstandsklasse IV eller V i alle sedimentprøvene, med unntak av prøvene fra 2001 som kun er analysert for PCB. Sedimentanalysene viser gjennomsnittlige konsentrasjoner av TBT i tilstandsklasse V, bly, kobber, kvikksølv og PAH₁₆ i tilstandsklasse IV og PCB₇ og sink i tilstandsklasse III. De andre miljøgiftene har gjennomsnittskonsentrasjoner tilsvarende tilstandsklasse II eller I.

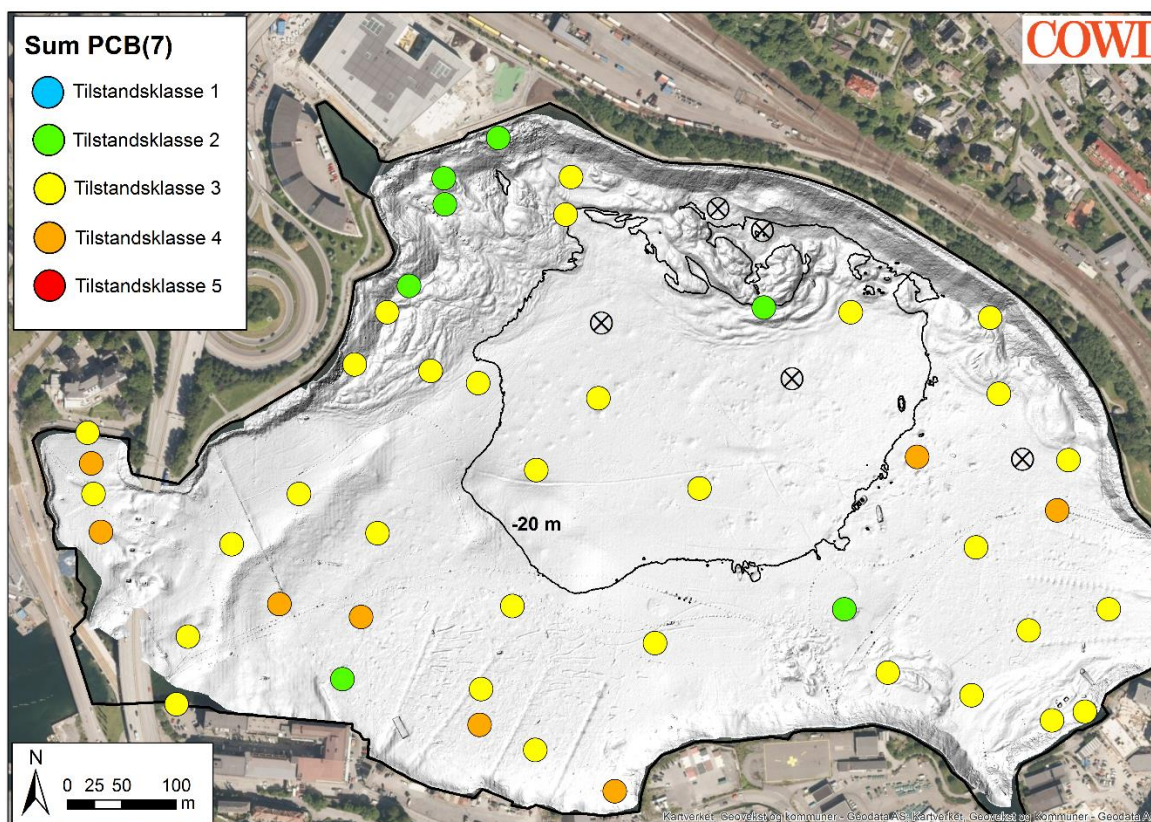
Fordelingen av miljøgifter i sedimentprøvene i Store Lungegårdsvann er vist i Figur 12 - Figur 16. Området i vest nær Nygårdsbroen samt et område i den østlige delen av vannet er gjennomgående mest forurensert, mens det generelt er målt lavere verdier av miljøgifter over de tidligere utfyllingsområdene i nord-nordvest.



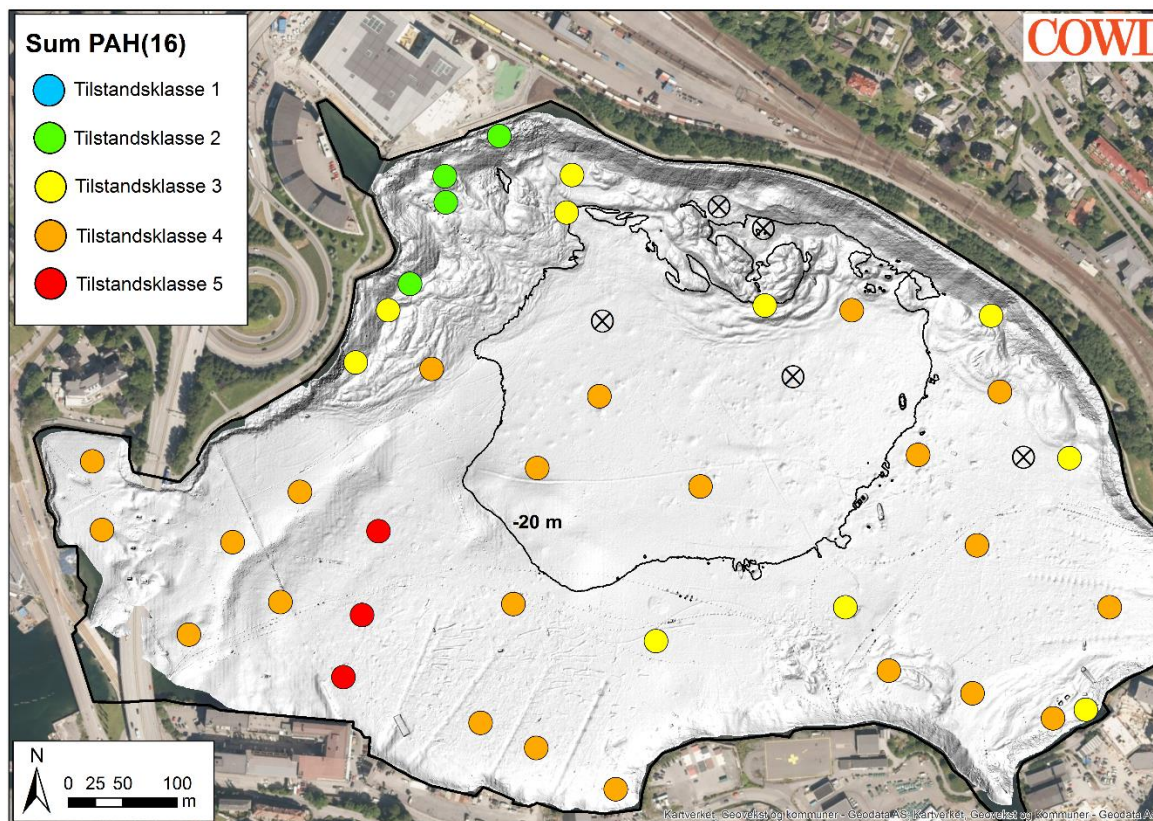
Figur 12 Kartet viser innhold av kvikksølv i sedimentprøver fargelagt etter tilstandsklasser (SFT, 2007). Lokalteter markert med x indikerer at det ikke var mulig å få hentet opp sedimenter med grabb.



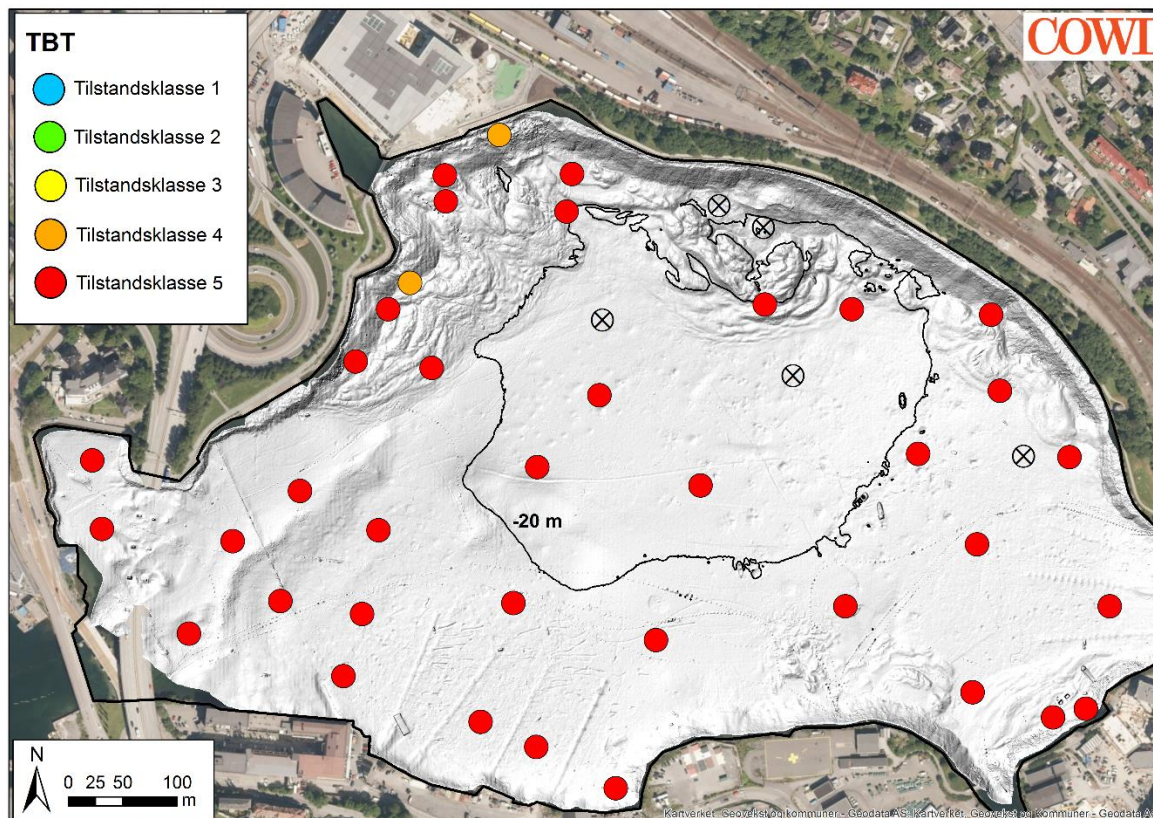
Figur 13 Kartet viser innhold av bly i sedimentprøver fargelagt etter tilstandsklasser (SFT, 2007). Lokalteter markert med x indikerer at det ikke var mulig å få hentet opp sedimenter med grabb.



Figur 14 Kartet viser innhold av PCB₇ i sedimentprøver fargelagt etter tilstandsklasser (SFT, 2007). Lokalteter markert med x indikerer at det ikke var mulig å få hentet opp sedimenter med grabb.



Figur 15 Kartet viser innhold av PAH₁₆ i sedimentprøver fargelagt etter tilstandsklasser (SFT, 2007). Lokalteter markert med x indikerer at det ikke var mulig å få hentet opp sedimenter med grabb.



Figur 16 Kartet viser innhold av TBT i sedimentprøver fargelagt etter tilstandsklasser (SFT, 2007). Lokalteter markert med x indikerer at det ikke var mulig å få hentet opp sedimenter med grabb.

4.3 Miljøgifter i kjerneprøver

I tillegg til prøver av overflatesedimenter er det blitt tatt kjerneprøver ved lokalitetene B1, B2 og B3 for å kartlegge forurensningsgraden i dypere sedimentlag (Figur 11). Tabell 3 viser analyseresultater av kjerneprøvene fargelagt etter grenseverdier gitt i veileder TA-2229/2007 (SFT, 2007). Resultatene viser at forurensningen ikke er begrenset til overflatelaget, men at konsentrasjonen av miljøgifter er høy ned til minst 1 m dybde ved disse lokalitetene. De høyeste konsentrasjonene av miljøgifter er påvist i kjernen fra lokalitet B1 med bly, kobber, kvikksølv, sink, PAH₁₆ og TBT i tilstandsklasse IV eller V (Tabell 3). I prøven fra intervallet 110-140 cm i denne kjernen er forurensningsnivået markert lavere enn i prøvene fra de grunnere intervallene, men prøven viser likevel konsentrasjoner av bly, kobber og to PAH-forbindelser i tilstandsklasse IV.

Kjernene ble tatt i et område dominert av bløte sedimenter der det ikke kan utelukkes at sedimentene er påvirket av tidligere utfyllingsaktiviteter. Særlig ved lokalitet B2 der prøven fra intervallet 70-90 cm har høyest miljøgiftkonsentrasjoner, kan de ha skjedd noe omrøring i sedimentene. De utførte sedimentundersøkelsene har vist at området ved Strømmen skiller seg ut med fastere sjøbunn dominert av mer grovkornede sedimenter enn i de sentrale delene av vannet. Resultatene fra de tre kjerneprøvene er derfor ikke nødvendigvis representative for sjøbunnen i hele Store Lungegårdsvann.

Paetzel & Schrader (2003) undersøkte lagdelingen i sedimentkjerner fra to lokaliteter i Store Lungegårdsvann (en lokalitet i de sentrale, dypereliggende delene av vannet og en lokalitet utenfor småbåthavnen i sør). Resultatene indikerer at 30-50 cm med sedimenter har blitt avsatt siden begynnelsen av 1900-tallet, og dette er antatt å representere minimumstykkelsen til sedimentlaget som er forurensset ved disse lokalitetene (Paetzel & Schrader, 2003).

Tabell 3 Resultater av analysene av kjerneprøvene fargelagt etter grenseverdier gitt i TA-2229/2007 (SFT, 2007). B1, B2 og B3 er overflateprøver (0-10 cm) som også er vist i Tabell 2.

Stoff		B1	B1B	B1C	B1D	B2	B2B	B2C	B2D	B3	B3B	B3C	B3D
		0-10 cm	10-30 cm	30-50 cm	110-140 cm	0-10 cm	10-30 cm	30-50 cm	70-90 cm	0-10 cm	10-30 cm	30-50 cm	50-70 cm
Arsen, As	mg/kg	10	17	22	11	7,3	4,6	6,2	12	6,6	4,7	4,9	4,5
Bly, Pb	mg/kg	160	360	400	130	94	23	56	190	55	51	100	73
Kadmium, Cd	mg/kg	1,5	4,3	2,5	0,69	1,2	0,4	0,4	5,7	0,52	0,31	0,39	0,25
Kobber, Cu	mg/kg	260	420	310	85	110	35	51	150	85	54	84	76
Krom, Cr	mg/kg	79	100	89	42	50	43	33	47	52	28	35	22
Kvikksølv, Hg	mg/kg	1,62	30,1	2,33	0,538	0,719	0,316	0,298	1,32	0,352	0,256	0,261	0,328
Nikkel, Ni	mg/kg	44	40	61	25	31	29	24	28	36	20	25	16
Sink, Zn	mg/kg	620	1100	750	110	340	140	230	470	250	240	280	230
Naftalen	mg/kg	0,077	0,18	0,21	0,005	0,068	0,005	0,026	0,18	0,024	0,018	0,081	0,074
Acenaftilen	mg/kg	0,041	0,1	0,095	0,005	0,028	0,005	0,02	0,057	0,017	0,012	0,035	0,028
Acenaften	mg/kg	0,042	0,17	0,12	0,005	0,031	0,005	0,016	0,34	0,02	0,011	0,032	0,051
Fluoren	mg/kg	0,051	0,22	0,2	0,005	0,03	0,01	0,023	0,35	0,021	0,013	0,044	0,083
Fenantren	mg/kg	0,36	1,4	1,1	0,022	0,28	0,074	0,12	1,5	0,19	0,14	0,23	0,49
Antracen	mg/kg	0,13	0,7	0,42	0,005	0,09	0,024	0,056	0,82	0,061	0,048	0,093	0,11
Fluoranten	mg/kg	1,7	13	4,6	0,069	0,85	0,24	0,63	5,4	0,56	0,45	1	1
Pyren	mg/kg	1,9	11	4,5	0,071	1,4	0,29	0,61	4,3	0,63	0,49	0,97	0,94
Benzo(a)antracen	mg/kg	0,79	5	2	0,036	0,63	0,11	0,29	2,1	0,27	0,22	0,46	0,45
Krysen	mg/kg	0,87	5	2,1	0,038	0,68	0,11	0,32	2,6	0,31	0,23	0,5	0,53
Benzo(b)fluoranten	mg/kg	1,9	9,3	4,5	0,099	1,5	0,18	0,58	3	0,62	0,41	0,98	0,78
Benzo(k)fluoranten	mg/kg	0,63	3,3	1,5	0,03	0,47	0,061	0,2	0,94	0,22	0,15	0,35	0,27
Benzo(a)pyren	mg/kg	1,2	6,4	2,8	0,074	0,91	0,17	0,4	1,9	0,41	0,29	0,68	0,58
Indeno(1,2,3,cd)pyren	mg/kg	0,62	3	1,6	0,074	0,48	0,092	0,23	1	0,22	0,15	0,36	0,34
Dibenzo(a,h)antracen	mg/kg	0,16	0,78	0,39	0,014	0,14	0,024	0,055	0,27	0,058	0,039	0,09	0,083
Benzo(g,h,i)perylene	mg/kg	0,65	2,9	1,5	0,068	0,49	0,089	0,23	1	0,23	0,16	0,36	0,33
Sum PAH(16)	mg/kg	11	62	28	0,6	8,1	1,5	3,8	26	3,9	2,8	6,3	6,1
Sum PCB 7	mg/kg	0,085	0,18	0,1	i.p.	0,05	0,077	0,016	0,15	0,018	0,015	0,04	0,01
Tributyltinn	µg/kg	1600	1100	690	1	930	260	310	320	1200	800	1200	110

4.4 Risikovurdering

Det er gjennomført en oppdatert risikovurdering av sedimentene i Store Lungegårdsvann i Bergen kommune (COWI, 2016). Metoden som er benyttet er Miljødirektoratets veileder for risikovurdering av forurenset sediment TA-2802/2011 med tilhørende regnearkverktøy (Klif, 2011).

I risikovurderingen beregnes tre risikoforhold hver for seg; risiko for spredning av forurensning, risiko for human helse og risiko for effekt på økosystemet. Ved sammenligning av beregnet spredning av forurensning med den spredningen som ville foregått dersom miljøgiftnivåene i sedimentene var i tilstandsklasse II eller lavere, viser risikovurderingen overskridelse for metallene bly, kobber, kvikksølv og sink, samt de tyngre PAH-forbindelsene. Spredning som følge av propelloppvirvling er den dominerende spredningsmekanismen for de fleste metaller, TBT og lette PAH-forbindelser, mens opptak i organismer er den dominerende mekanismen for de tyngre PAH-forbindelsene.

Risikovurderingen for Store Lungegårdsvann viser at det er knyttet helserisiko til eksponering for PCB og kvikksølv. Den viktigste eksponeringsveien for mennesker er gjennom inntak av lokalt fanget fisk og skalldyr.

Risikovurderingen viser at grenseverdiene for negativ effekt på økosystemet overskrides for en eller flere miljøgifter både i sediment, porevann og sjøvann. Alle toksisitetstestene viser overskridelser i forhold til grenseverdi på mellom 2 til 6 ganger. Det er særlig TBT og enkelte av de tyngre PAH-forbindelser som utgjør en risiko for økosystemet.

Et langsiktig miljømål for Bergen havn er å bidra til redusert innhold av miljøgifter i fisk og sjømat, og anbefalte miljømål for Store Lungegårdsvann er at den forurensede sjøbunnen ikke skal utgjøre en helsefare for mennesker, samt at den ikke skal gi negativ påvirkning på økosystemet i Puddefjorden og resten av Byfjorden. Spredning av forurensning fra Store Lungegårdsvann til utenforliggende fjordsystem kan bidra til økt opptak i næringskjeden og på den måten bidra til økt risiko for human helse. Miljøtilstanden i i Puddefjorden ble kartlagt i 2014 og 2015, og resultatene viser tilsvarende eller høyere nivåer av miljøgifter og risiko sammenlignet med resultatene for Store Lungegårdsvann. Det er planlagt tiltak for etablering av ny, ren sjøbunn i Puddefjorden med oppstart i februar 2017. Ved at nærliggende sjøområder renses, vil det bli potensielt mindre risiko for spredning av forurensning inn i Store Lungegårdsvann, men risikoen for rekontaminering av ren sjøbunn i Puddefjorden ved tilførsel fra Store Lungegårdsvann vil derimot øke.

Sammenliknet med miljømålene er den beregnede risikoen ikke akseptabel, og det ble anbefalt å gjennomføre en tiltaksvurdering.

5 Miljømål

For alle opprydningstiltak må det defineres hva som er målsettingen for tiltaket, både i form av langsiktige miljømål og konkrete tiltaksmål (Miljødirektoratet, 2015).

5.1 Overordnede miljømål for Renere Havn Bergen

Følgende overordnede miljømål for Renere Havn Bergen ble vedtatt av Bergen bystyret 28.05.15, sak 131-15:

- › Tilstanden i sedimentene skal ikke være til hinder for bruk av sjø- og havneområdene til nærings- og fritidsaktiviteter.
- › Tiltak skal bidra til å redusere innholdet av miljøgifter i fisk og sjømat fra Byfjorden.

5.2 Miljømål for Puddefjorden

I Puddefjorden er det planlagt tildekking og mudring av forurenset sjøbunn i 2016-17, og følgende miljømål er vedtatt for Puddefjorden:

- › Spredning av forurensning fra forurenset sjøbunn i Puddefjorden skal reduseres med 80 %.
- › Forurenset sjøbunn i Puddefjorden skal ikke utgjøre en helsefare for mennesker.
- › Forurenset sjøbunn i Puddefjorden skal ikke gi negativ påvirkning på økosystemet i resten av Byfjorden.

5.3 Anbefalte miljømål for Store Lungegårdsvann

For Store Lungegårdsvann er det ikke vedtatt miljømål, men på bakgrunn av "Oppdatert risikovurdering av forurenset sjøbunn" og vilkår gitt av Fylkesmannen i Hordaland i forbindelse med "Tillatelse til mudring og tildekking av forurenset sjøbunn i indre Puddefjord i Bergen kommune" (Fylkesmannen i Hordaland, 2016) foreslås det følgende miljømål:

- › Innhold av PCB₇, PAH₁₆ og tungmetaller (As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn) i de øverste 10 cm av sjøbunnen skal ikke overskride tilstandsklasse III i henhold til TA-2229/2007 (SFT, 2007).
- › Forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann skal ikke utgjøre en helsefare for mennesker.
- › Forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann skal ikke gi negativ påvirkning på økosystemet i Puddefjorden og resten av Byfjorden.

Valget av tilstandsklasse III som den tilstandsklasse innholdet av miljøgifter ikke skal overskride (punkt 1) er i tråd med anbefalingene gitt i veileder M-350 (Miljødirektoratet, 2015) for områder der landbaserte kilder ikke er stoppet.

5.4 Tiltaksmål for Store Lungegårdsvann

I veileder "Håndtering av sedimenter" M-350/2015 (Miljødirektoratet, 2015) gis følgende definisjon av tiltaksmål:

"Et tiltaksmål er en konkret målsetting for gjennomføringen av et tiltak og må oppfylles ved gjennomføring av det tiltaket det er satt for. Tiltaksmålene må være i tråd med lokale forvaltningsmål (langsiktige miljømål) for området. Tiltaksmålene er rettet mot utførende entreprenør og danner grunnlag for kontroll med tiltaksgjennomføringen (sluttkontroll)".

På bakgrunn av denne informasjonen foreslås følgende tiltaksmål for Store Lungegårdsvann:

- › I inntil fire uker etter at tiltaket er gjennomført skal innholdet av PCB₇, PAH₁₆ og tungmetaller (As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn) i de øverste 10 cm av sjøbunnen være i tilstandsklasse II eller lavere i henhold til TA-2229/2007 (SFT, 2007).
- › Tiltaket skal ikke medføre spredning av forurensede partikler til Puddefjorden

I Puddefjorden er det vedtatt at det skal gjennomføres tiltak mot forurensede sedimenter med oppstart i februar 2017. Tiltak mot forurensede sedimenter i Store Lungegårdsvann vil dermed bli gjennomført etter at hele eller deler av tiltaksarbeidet i den utenforliggende Puddefjorden er avsluttet. Det er derfor viktig å påse at tiltaket i Store Lungegårdsvann ikke medfører spredning av forurensing til områder der det allerede er etablert ny, ren sjøbunn.

5.5 Bruk og tilstand etter tiltak

Dersom det dokumenteres at tiltaksmålene i Store Lungegårdsvann er oppnådd med en forbedret miljøtilstand som resultat, er det forventet at området i større grad kan benyttes til rekreasjonsformål som for eksempel bading og vannsport. Det er allerede etablert en vannscooter-bane og en vannpolo-bane i Store Lungegårdsvann, og det er planer om etablering av badestrand ved bybaneutfyllingen og ved Grønneviksøren. Tiltak mot forurensede sedimenter vil dermed kunne bidra til at det i fremtidige planer legges til rette for en bedre utvikling av arealene mot sjøen langs tiltaksområdet som da kan brukes til rekreasjon. Ved etablering/reetablering av ny bunnfauna vil innholdet av miljøgifter i fisk og bunndyr i Store Lungegårdsvann også reduseres, slik at en på sikt kan nå målene om fjerning av kostholdsråd mot fiskemat i Byfjorden og Bergen havn.

5.6 GAP – forskjell mellom før og etter tiltak

Forskjellene mellom dagens tilstand og foreslåtte miljømål er store, og naturlig sedimentasjon er ikke tilstrekkelig for å oppnå foreslåtte miljømål i nær fremtid. Gjennom tiltak skissert i kapittel 7, vil det på sikt være mulig å oppnå foreslåtte miljømål for Store Lungegårdsvann. En oppnåelse av miljømålene for Store Lungegårdsvann vil i kombinasjon med andre miljøtiltak i Bergen havn sikre at det vil være mulig å nå de langsiktige miljømålene for Bergen havn.

6 Tiltaksvurdering

Alternativene for tiltak i forurensede sedimenter kan grovt inndeles i to kategorier; **mudring** for å fjerne de forurensede massene og isolering av sedimentene på stedet gjennom **tildekking** (Miljødirektoratet, 2015). Ved mudring finnes det flere alternativer for disponering/deponering av massene, mens tildekking kan utføres ved bruk av flere ulike typer masser som kan ha forskjellige egenskaper og tykkelse. Ved alle metoder fins det fordeler og ulemper som blant annet avhenger av eksisterende og planlagt arealbruk, miljømål og sjøbunnens stabilitet og bæreevne.

I dette kapittelet blir det gjort en generell vurdering av tiltak som kan være aktuelle for sjøbunnen i Store Lungegårdsvann. I tiltaksområdet er det valgt å inkludere hele sjøbunnsarealet i Store Lungegårdsvann som ikke tildekkes av utfyllingsprosjektene – også de dypereliggende delene av sjøbunnen som ligger mellom 20 og 26 m. Lite oksygentilgang i de dypereliggende delene av vannet medfører dårlige forhold for organismer, noe som igjen medfører lavere risiko for spredning av miljøgiftene i sedimentene fra disse områdene sammenlignet med grunnere områder. Noe bedring i oksygenforholdene kan imidlertid forventes som resultat av saneringen av avløpssystemet i området. Området er lokalisert innerst i en fjordarm der det etter hvert vil bli etablert ny, ren sjøbunn, og Store Lungegårdsvann er i enda større grad enn Puddefjorden og Vågen lagt til rette for rekreasjonsformål med bading og vannsportsaktiviteter. Man har i dag lite data på potensialet for oppvirvling av sjøbunn fra vannjeter som blir benyttet i vannsportsaktivitetene i området. Basert på en helhetsvurdering er det derfor valgt å gjennomføre tiltaksvurdering også for de dypereliggende delene av Store Lungegårdsvann.

6.1 Null-alternativet

Null-alternativet innebærer at det ikke utføres noen inngrep i sedimentene på sjøbunnen for å bedre miljøtilstanden. Det er mulig å iverksette tiltak på land for å bedre kontrollen på landkildene eller minske oppvirvling av sedimenter ved å endre arealbruken i området, for eksempel ved å legge restriksjoner på båttrafikk og vannscooter-aktiviteter.

Et null-alternativ kan være akseptabelt dersom en naturlig forbedring av forurensningstilstanden skjer gjennom tilførsel av rene sedimenter. Selv om industrinedleggelse i området har ført til mindre tilførsel av forurensning til Store Lungegårdsvann, vil det imidlertid ta lang tid før en vil oppnå tilfredsstillende kjemisk og økologisk tilstand (COWI, 2016). Planer om å utvide bruken av området til rekreasjon gjør det ikke ønskelig å legge restriksjoner på båttrafikk og vannsport-aktiviteter. Politiske beslutninger om opprydding og foreslåtte miljømål gir heller ikke rom for null-alternativet.

Konklusjon: Null-alternativet ansees som et uakseptabelt alternativ for Store Lungegårdsvann.

6.2 Alternativ 1: Fjerning av forurensede masser

Fjerning av masser fra sjøbunnen (mudring) er først og fremst en tiltaksløsning for å fjerne lokale "hot-spots" med særlig høy forurensning eller for å opprettholde seilingsdyp (Miljødirektoratet, 2015). Særlig langs kaier kan det i enkelte tilfeller bli for grunt dersom man ønsker å tildekke forurensede sedimenter, og i slike tilfeller må man mudre i forkant av tildekkingen for å opprettholde ønsket dybde.

I Store Lungegårdsvann er størrelsen på båter begrenset av seilingshøyden under Nygårdsbroen, noe som medfører at det kun er småbåter som trafikkerer området. Det finnes ingen kaianlegg utenom de to småbåthavnene, og dybden til sjøbunnen under småbåthavnene varierer mellom 3 m i de indre delene til 15 m under de ytre delene av piren. Det vil derfor være mulig å dekke til de forurensede sedimentene i småbåthavnene uten å mudre i forkant.

Kart over bunntopografien i Store Lungegårdsvann (Figur 4) viser at det er også dypt nok i resten av Store Lungegårdsvann til at forurenset sjøbunn kan tildekkes uten å skape problemer for båttrafikken. Et unntak er området i Strømmen under Nygårdsbroen der dagens seilingsdyp må opprettholdes. På grunn av den sterke strømmen i dette området består imidlertid sjøbunnen her kun av grovkornede masser, og det er generelt i områder med relativt finkornede sedimenter (leire/silt/sand) man kan finne forurensning. Det er derfor ikke nødvendig å gjennomføre tiltak i området under Nygårdsbroen.

Kartleggingen av forurensning i sedimenter i Store Lungegårdsvann (Figur 12 - Figur 16) viser at det ikke er påvist lokale "hot-spots" med betydelig høyere forurensningsnivåer enn andre steder. Det er påvist større områder som er mer forurenset enn andre deler av sjøbunnen, men disse områdene er for store til at det blir vurdert som hensiktsmessig å fjerne massene.

Det er etablert en vannsport-bane ved Florida i et område med ca. 3 – 4 m vanddybde. Dette er trolig dypt nok til at det ikke er behov for å mudre, men det kan ikke utelukkes at sedimenter må fjernes i et mindre areal for å kunne opprettholde aktiviteten.

Konklusjon: Det ansees ikke som trolig at det er behov for mudring i Store Lungegårdsvann, men det kan ikke utelukkes i mindre områder

6.3 Alternativ 2: Isolering av forurensning – tildekking

Tildekking av forurensede sedimenter er en tiltaksløsning der rene masser legges ut på sjøbunnen for å hindre spredning av forurensning fra sedimentene og for å redusere eksponering av bunnfauna for forurensningen (Miljødirektoratet, 2016). Tykkelsen på tildekkingslagene kan variere, og tykkelser under ca. 15 cm blir referert til som **tynnsjiktstildekking**. Valg av tildekkingsmaterialer avhenger av faktorer som strømforhold, behov for seilingsdyp, potensialet for erosjon og sjøbunnens egenskaper, og vanligvis består tildekkingslaget av mineralske masser eller aktivt materiale eller en kombinasjon av disse.

Formålet med tildekking er at den skal hindre:

- › Diffusjon av forurensning gjennom tildekkingen
- › Partikulær transport av forurensning gjennom tildekkingslaget
- › Oppvirvling av forurenset sediment og av tildekkingsmasse
- › Kontakt med gravende organismer og spredning til næringskjeden

Tildekkingsmassenes egnethet må vurderes i forhold til en rekke faktorer som er beskrevet i veileder TA-2143/2005 (SFT, 2005). I dette ligger det vurderinger av massenes permeabilitet, filteregenskaper, egenvekt, konsolideringsegenskaper, mm. Det må også utføres en vurdering av geoteknisk stabilitet i tildekkingsområdet mot tildekkingsmaterialets egenskaper (sedimentets bæreevne og konsolideringsegenskaper).

For tildekking av relativt finkornige sedimenter (silt/leire), bør tildekkingsmassene ha noe høyere permeabilitet enn de forurensede sedimentene for å redusere økningen i poretrykk som vil oppstå ved sammenpressing av disse sedimentene (Tabell 4). Samtidig må tildekkingsmassene ikke være så grovkornige at en risikerer utvasking av finstoff fra de forurensede sedimentene gjennom tildekkingen. Generelt er det anbefalt at tildekkingsmassene bør være $>2 \times d_{15\text{sediment}}$ (sikrer tilstrekkelig permeabilitet) og $<5 \times d_{85\text{ sediment}}$ (hindrer utvasking av finstoff).

¹ d_x sediment gir % av massen som har gått gjennom en sikt med en viss åpning. $d_{15\text{sediment}}$ viser kornstørrelsen hvor 15 % av massen gikk gjennom sikten.

Tabell 4 Typiske kornstørrelser for aktuelle materialer i forbindelse med tildekking av forurenset sediment (Tabell 4 i veileder TA-2143/2005 (SFT, 2005)).

Forurenset sediment				Egnet tildekkingsmateriale	
Forurenset sediment	Kornstørrelse d_{15} , (mm)	Permeabilitet k m/s	Kornstørrelse d_{85} , (mm)	Kornstørrelse d_{15} , (mm)	Beskrivelse, i tilfelle bruk av ensgradert materiale
Siltig leire	< 0.002	$10^{-8} - 10^{-11}$	0.006	< 0.004 – 0.03	Middels til grov silt
Ensgradert silt	0.004	Ca. 10^{-7}	0.02	0.008 – 0.1	Middels silt til fin sand
Velgradert silt	0.006	Ca. 10^{-6}	0.1	0.012 – 0.5	Grov silt til middels sand
Ensgradert sand	0.08	Ca. 10^{-5}	0.2	0.08 – 1	Middels til grov sand
Velgradert sand	0.08	Ca. 10^{-5}	6	0.08 – 30	Middels sand til grov grus

Tildeckingsmaterialets barriereegenskaper og beregning av diffusjon av forurensning og nødvendig tildekkingsmektighet kan utføres i forbindelse med detaljprosjektering av tiltaket (SFT, 2005). Dimensjonering av total tykkelse og antall utleggingslag kan også gjøres samtidig med en vurdering av sedimentets bæreevne under detaljprosjekteringen. Det må også dokumenteres at tildekkingsmassene har vært testet etter testprogram for masser til bruk i tildekking av forurensede sedimenter (SFT, 2005).

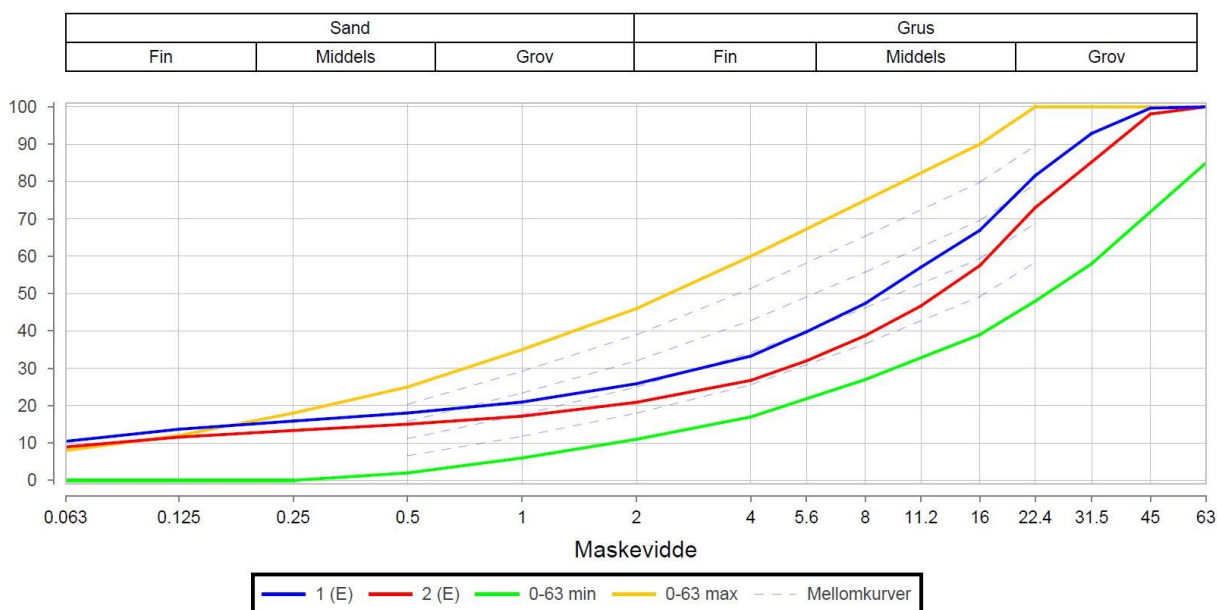
6.3.1 Tildekking med TBM-masser

Jernbaneverket er i gang med å lage en ny jernbanetunnel gjennom Ulriken ved bruk av Tunnel-Bore-Maskin (TBM) som totalt vil gi ca. 900 000 lm^3 (løse kubikk) masser. Analyser av TBM-massene viser at de kan være godt egnet til tildekking av forurenset sjøbunn, og det er besluttet at Bergen kommune skal bruke deler av massene til å dekke til forurenset sjøbunn i Puddefjorden og tidligere søppeldeponi i Kollevågen på Askøy (COWI, 2015). Tunellen blir drevet fra Arna, og TBM-massene vil bli fraktet til Puddefjorden og Kollevågen med båt fra et mellomlager på Steinestø

TBM-masser har tidligere blitt vurdert benyttet til tildekking av forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann da Jernbaneverket først planla å drive tunellen gjennom Ulriken fra Bergenssiden med innslag ved Fløen rett ved Store Lungegårdsvann (Norconsult, 2013). Ved å benytte massene i Store Lungegårdsvann ville man da kunne redusere massetransporten betydelig. Søknad til Fylkesmannen fra Jernbaneverket om tildekking av forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann med TBM-masser ble godkjent i april 2014 (Fylkesmannen i Hordaland, 2014). Jernbaneverket konkluderte imidlertid i juni 2014 med at de ønsket å drive tunnelen fra Arna, og det var dermed ikke lenger aktuelt med tildekking av forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann ved å frakte massene direkte fra tunnelåpningen ned til Store Lungegårdsvann.

Ulrikstunnelen blir drevet gjennom forskjellige bergartstyper, og det er så langt utført seks kornfordelingsanalyser av massene. Kornfordelingen påvirkes av blant annet type bergart, matekraft og størrelsen på kutterhodene i tunnelboremaskinen. Snittet for de 6 prøvene viser at d_{15} -verdien til TBM-massene ligger mellom 63 og 125 μm og d_{85} -verdien ligger mellom 20 og 35 mm. Figur 17 viser siktekurven for to av prøvene.

Egenvekten til kornene i TBM-massene er avhengig av mineralene i berget som blir boret og vil typisk ligge mellom 18 og 28 kN/m³.



Figur 17 Siktekurve for 2 av 6 prøver av TBM-masser fra Ulrikstunellen. Prøveresultatene er vist med blå og rød kurve (prøve 1 og 2). Grønn og gul kurve viser verdiene kurvene bør ligge innenfor for å egne seg som tildekkingsmasser i Puddefjorden.

En målsetting er at overskuddsmasser fra tunnelprosjektet bør brukes til samfunnsnyttige tiltak. Innholdet av silt i TBM-massene fra Ulriken gjør at materialet generelt er bedre egnet til tildekking enn til bruk som utfyllingsmasse på land. Et annet alternativ for bruk av TBM-masser er å utnytte de groveste fraksjonene av massene til å erosjonssikre tildekkingslaget.

Konklusjon: Tildekking av forurenset sjøbunn med TBM-masser er et aktuelt tiltak i Store Lungegårdsvann.

6.3.2 Tildekking med sand/skjellsand

Tildekking av forurenset sjøbunn med sand er blitt utført flere steder i Norge (Miljødirektoratet, 2016). Slike masser er ofte lett tilgjengelige. Mineralske masser som sand har som regel liten evne til å binde forurensningen og fungere derfor kun som en isolering av de forurensede sedimentene. Tildekkingslaget må derfor være vesentlig tykkere enn bioturbasjonsdypet (laget som blandes av aktiviteten til sedimentlevende dyr), og typisk tildekkingstykkelse er 20-50 cm.

Egenvekten til hvert enkelt sandkorn avhenger av mineralogien og ligger typisk mellom 18 og 28 kN/m³ men kan i større grad velges enn for TBM-masser (Norconsult, 2016). Skjellsand har generelt en lavere egenvekt (korndensitet $1,40 \pm 0,2$ kg/dm³) enn sand hentet fra sandtak eller fra nedknust sprengstein, noe som kan være gunstig i områder med bløt sjøbunn som i Store Lungegårdsvann. Tildekking vil utgjøre en last på den eksisterende sjøbunnen, og hvis denne lasten overskrider

bæreevnen i de underliggende sedimentene, vil tildekkingsmassene synke inn i de forurensede sedimentene. Som en følge av dette kan massene blandes slik at tildekkingen ikke lenger dekker de forurensede sedimentene. Ved bruk av skjellsand er det viktig at sanden er stedegen for ikke å innføre fremmede arter til tiltaksområder, dvs. at man ikke kan basere seg på import av sand fra for eksempel Færøyene eller Danmark.

Både skjellsand og annen sand vil være utsatt for erosjon i områder med sterk strøm eller skipstrafikk. Det er derfor viktig å sørge for tilstrekkelig erosjonssikring med grovere materiale på toppen av tildekkingslaget i områder som er utsatt for erosjon. I Store Lungegårdsvann er dette mest aktuelt i områdene nærmest Strømmen der det kan være sterk strøm, eller i de grunneste områdene der det er mest båttrafikk.

Konklusjon: Tildekking av forurensset sjøbunn med sand/skjellsand er et aktuelt tiltak i Store Lungegårdsvann.

6.3.3 Tynnsjiktstildekking med reaktive masser

Tynnsjiktstildekking (tildekking <15 cm tykkelse) er blant annet velegnet for store områder og for områder hvor det er bløte sedimenter med fare for innsynkning av tildekkingslaget. Tynnsjiktstildekking med kun passivt materiale har vist seg å gi liten eller ingen positiv effekt (Miljødirektoratet, 2014), og det er derfor nødvendig at tynnsjiktstildekkingen inneholder aktive materialer som for eksempel aktivt kull for at spredningen og biotilgjengeligheten av miljøgiftene skal reduseres (Miljødirektoratet, 2016).

Reaktive masser kan konstrueres for å tilpasses sedimentet som skal tildekkes. Reaktive masser består ofte av aktivt kull og har en lav egenvekt, typisk rundt 15 kN/m³ (Norconsult, 2016). Aktive materialer har blitt brukt som tildekking i lag på kun noen få cm (Miljødirektoratet, 2016). En slik tildekking vil være tynnere eller om lag like tykt som bioturbasjonsdypet, men fungerer ved at de aktive materialene binder miljøgiftene. Aktive materialer kan også kombineres med andre typer masse, som for eksempel sand, for å øke isolasjonseffekten. Dette kan gjøres enten ved å blande de aktive materialene inn i andre masser, eller man kan legge separate lag med aktivt materiale og annen masse.

Konklusjon: Tynnsjiktstildekking med reaktive masser er et aktuelt tiltak i Store Lungegårdsvann.

7 Anbefalt tiltaksløsning

Det er skissert ulike løsninger for tiltak mot forurensset sjøbunn i Store Lungegårdsvann. Den anbefalte tiltaksløsningen er hovedsakelig basert på vurderinger av sjøbunnens stabilitet og bæreevne sett i forhold til de forskjellige tildekkingsalternativene.

På bakgrunn av de geotekniske vurderingene ansees det som mest gunstig å benytte tynnsjiktstildekking med reaktive masser eller et noe tykkere, rent sandlag i de bløtere delene av sjøbunnen i tiltaksområdet. Sanden må være uten stein, helst uten materiale over 3000 μm , og anbefalt maksimal d_{15} -verdi er 300 μm (Norconsult, 2016). Sanden bør også ha lav egenvekt for at massene skal bli liggende uten for stor nedtrenging i sjøbunnen. En duk under sandlaget kan vurderes, men det antas at dette vil være vanskelig å få tett uten at sedimentene blir fortrent opp mellom dukene.

Selv om de geotekniske vurderingene ikke utelukker bruk av TBM-masser som tildekkingsalternativ i de bløtere delene av sjøbunnen, vil det være stor fare for oppvirvling av forurensede sedimenter ved utlegging av slike masser. Det forventes også at TBM-masser vil synke et stykke ned i de forurensede sedimentene, og det vil derfor være behov for å legge ut massene i flere lag. Det er knyttet stor usikkerhet til hvor mange lag som må til for å oppnå en ren overflate, og det vil trolig være behov for en total tildekkingsstykkelse på minimum 1 m. Også ved bruk av sand/skjellsand eller reaktive masser vil det trolig være nødvendig å legge ut massene i flere lag, og det bør gjennomføres testforsøk i detaljprosjekteringsfasen for å bestemme nødvendig mengde tildekkingsmasse og optimalisere utleggingsmetodene.

I området med fastere, mer grovkornet sjøbunn i de vestlige delene av Store Lungegårdsvann kan det stabilitetsmessig være mulig å benytte alle tildekkingsalternativene omtalt i kapittel 6 (Norconsult, 2016). Kornfordelingsdata indikerer en d_{15} -verdi på 8 til 16 μm og en d_{85} -verdi på mer enn 2000 μm for de eksisterende sedimentene i dette området. Anbefalt d_{15} -verdi for tildekkingslaget i dette området er mellom 63 og 6000 μm (Norconsult, 2016). I denne delen av Store Lungegårdsvann vil det imidlertid være fare for erosjon på grunn av strøm og båttrafikk, og det er dermed viktig at tildekkingslaget er tilpasset disse forholdene og at tilstrekkelig erosjonssikring blir gjennomført.

Uansett valg av tildekkingsmasse, er det viktig at man begynner utleggingen i de dype delene av området og arbeider seg mot grunnere vann (Norconsult, 2016).

På bakgrunn av disse vurderingen foreslås det følgende valg av metode for opprydning av forurensset sjøbunn i Store Lungegårdsvann:

- I delområde 1a og 1b av tiltaksområdet (Figur 1) (ca. 330-350 dekar) anbefales enten tynnsjiktstildekking med en lagvis blanding av aktive materialer nederst og sand/skjellsand over eller tildekkning med sand/skjellsand med total tykkelse på ca. 40 cm. Nødvendig tykkelse på tildekkingslaget og utleggingsmetode må nærmere avklares i detaljprosjekteringen. Det må vurderes om det er nødvendig å gjennomføre mudring i et mindre område i vest ved Florida.
- I delområde 2 av tiltaksområdet (Figur 1) (ca. 50 dekar) anbefales tildekkning med enten TBM-masser eller sand/skjellsand med total tykkelse på ca. 40 cm. Nødvendig tykkelse på tildekkingslaget og utleggingsmetode må nærmere avklares i detaljprosjekteringen. Det må

vurderes/undersøkes om det er nødvendig å gjennomføre tildekking i de grunne områdene med fastere sedimenter rett utenfor strandlinjen.

- › De groveste fraksjonene av TMB-masser eller andre grovkornede masser som nedknust sprengstein anbefales til bruk som erosjonssikring i områdene der sterk strøm eller båttrafikk kan medføre erosjon av tildekkingslaget.

Tabell 5 viser et overslag over nødvendig mengde tildekkingsmasse ved valg av ulike tildekkingsalternativer. Ved bruk av tildekking med reaktive masser i kombinasjon med sand/skjellsand i delområde 1 med total tykkelse på ca. 20 cm, beregnes total mengde tildekkingsmasse for tiltaksområdet å være ca. 90 000 m³ (alternativ A). Dersom det benyttes sand/skjellsand med tykkelse på ca. 40 cm i delområde 1, beregnes total mengde tildekkingsmasse for tiltaksområdet å være ca. 160 000 m³ (alternativ B). Tildekkingstykkelse i delområde 2 er satt til ca. 40 cm for både TBM-masser og sand/skjellsand. Masser til erosjonssikring kommer i tillegg til estimatene vist i Tabell 5.

Tabell 5 Estimert over mengde tildekkingsmasser

Delområde	Areal (m ²)	Tildekkingstykkelse (m)	Mengde (m ³)
<i>Alternativ A: Tildekking med reaktive materialer i delområde 1</i>			
1	350 000	0,2	70 000
2	50 000	0,4	20 000
Totalt tiltaksområde	400 000		90 000
<i>Alternativ B: Tildekking med sand/skjellsand i delområde 1</i>			
1	350 000	0,4	140 000
2	50 000	0,4	20 000
Totalt tiltaksområde	400 000		160 000

7.1 Stabiliserende tiltak

Tiltaket mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann må sees i sammenheng med andre planlagte og eventuelle fremtidige tiltak i området. De dypereliggende delene av Store Lungegårdsvann er dominert av bløte, løse masser med liten bæreevne og stabilitet. Det kan derfor bli aktuelt å gjennomføre stabiliserende tiltak i disse sentrale, dypereliggende delene av vannet ved å fylle områdene med grovere masser. Denne muligheten er foreløpig ikke utredet med nødvendige geotekniske vurderinger, etc., og det er heller ikke gjort vurderinger av hvilke masser som kunne være aktuelle. Det er imidlertid viktig at et eventuelt stabiliserende tiltak i de dypereliggende delen av vannet blir utført i forkant av tildekkingsarbeidet for å hindre rekontaminering av ny, ren sjøbunn. Et slikt stabiliserende tiltak vil gjøre det lettere å utføre tildekkingsarbeidet og vil også være gunstig med tanke på stabilitetsforhold for andre planlagte eller eventuelle fremtidige tiltak i området.

7.2 Mengde miljøgifter som fjernes fra biologisk omløp

En nasjonal nøkkelindikator for oppnådde resultater av opprydding i forurensset sjøbunn er; *Mengde utvalgte helse- og miljøfarlige stoffer som håndteres ved tiltaket - slik at de ikke lenger utgjør kilde til alvorlige forurensningsproblemer.* Etter tiltak skal indikatoren for hvert utvalgt prioritert stoff inngå i sluttrapporteringen til Miljødirektoratet. De utvalgte miljøgiftene er bly, kadmium, kvikksølv, PAH, PCB, og TBT, og eventuelt andre miljøgifter der disse er årsak til oppryddingen (Klif, 2011).

Det er gjennomført en beregning av mengde miljøgifter som vil bli fjernet fra omløp ved gjennomføring av tildekking i Store Lungegårdsvann. Ved tildekking som tiltaksmetode er det det øverste laget av sedimentene som blir håndtert. Det er dette laget som i størst grad bidrar til spredning av forurensning, både via oppvirvling, diffusjon og opptak i biomasse. Beregningen er utført i henhold til Miljødirektoratets veileder TA-2817/2011 *Nøkkelindikator for det nasjonale arbeidet med forurensset sjøbunn* og ved hjelp av det regnearkbaserte beregningsverktøyet (ta2817_beregningsverktoy.xlsm).

Mengden miljøgifter som håndteres av tiltaket er beregnet for hvert stoff med utgangspunkt i følgende formel:

$$\text{Mengde stoff fjernet (kg)} = C_n * A * d * (\rho / (1 + w/100)) * k$$

C_n = Konsentrasjon av den aktuelle miljøgiften i sedimentprøver fra 0-0,1 m i tiltaksområdet (mg /kg TS)

A = Areal av tiltaksområdet (m²). Det er benyttet planlagt tiltaksareal = 400 000 m²

d = Tiltaksdybde tildekking (m). Det er benyttet standard tiltaksdybde for tildekking = 0,2 m

ρ = Våt densitet (kg/m³) Det er benyttet erfaringsdata fra TA-2817

w = Naturlig vanninnhold (%) (vekt vann/vekt faststoff) *100%. w er beregnet fra målt tørrstoff i sediment

k = korreksjonsfaktor for å få rett benevnning (0,000001 kg/mg)

Inngangsdata for våt densitet er satt til 1400 kg/m³ basert på erfaringsdata for ulike sedimenttyper i TA-2817 og observasjoner av sedimentet i tiltaksområdet. Sedimentet i Store Lungegårdsvann er bløtt og siltig, med unntak av i et mindre område nært strømmen og langs strandsonen i vest der sedimentet er grovere med mer sand og grus.

Beregningene er forbundet med noe usikkerhet og må ansees som et estimat. Naturlig vanninnhold er beregnet ut fra gjennomsnittlig tørrstoff i analyserte sedimentprøver. Tørrstoffet er nødvendigvis ikke målt på vannmettede prøver, og dette kan bidra til usikkerhet i resultatet. En annen usikkerhetsfaktor er noe inhomogenitet i bunnforholdene. Det er også noe mindre prøvetetthet på de dypeste områdene og inhomogenitet i forurensningsgrad for enkelte stoffer. Datasettet er likevel homogent nok til at det er gjort en samlet beregning for tiltaksområdet, og resultatene som er vist i Tabell 6 synliggjør miljøgevinsten som forventes av tiltaket.

Tabell 6 *Beregnet mengde miljøgifter som håndteres ved tildekking i Store Lungegårdsvann slik at de ikke lenger vil utgjøre en kilde til forurensningsproblemer. Beregningene er utført i beregningsverktøyet til TA-2817 (Klif, 2011). De prioriterte nøkkelindikatorene er markert med rødt.*

Stoff	Beregnet mengde fjernet (kg)
Arsen	380
Bly	5 400
Kadmium	55
Kobber	6 900
Krom totalt (III + VI)	2 600
Kvikksølv	55
Nikkel	1 300
Sink	15 200
Sum PAH16	400
Sum PCB7	4
Tributyltinn (TBT-ion)	55

7.3 Disponeringsløsning tildekkingsmasser

Ved tildekking med sand/skjellsand er det mest aktuelt å frakte massene med båt til tiltaksområdet. Et mulig alternativ er å utføre tildekkingen ved bruk av slange fra et større fartøy som ligger forankret utenfor Nygårdsbroen slik at man ikke trenger å benytte mellomager på land. Dette kan også være et alternativ ved bruk av en blanding av reaktive materialer og sand. Hvilken løsning som er mest aktuell må avklares nærmere i detaljprosjekteringsfasen.

For tiltaket i Puddefjorden er det valgt å frakte TBM-masser med båt fra et mellomager på Steinestø og laste massene over på lekter for utlegging. I detaljprosjekteringsfasen må det utredes nærmere hvordan man best kan løse utfordringene relatert til den begrensede tilkomsten sjøveien under Nygårdsbroen til Store Lungegårdsvann. Alternativet med frakt av tildekkingsmasser med jernbane eller lastebiler må også utredes. Utfordringene med dette alternativet ligger i kapasitetsproblemer på bane og veiene inn mot Bergen og begrensede arealer rundt Store Lungegårdsvann som er aktuelle for mellomager/lasteområde. Slike forhold må også utredes for massene som blir valgt til erosjonssikring av tildekkingslaget.

7.4 Sjøbunnsdybde før og etter tiltak

Store Lungegårdsvann har vanndybder på 0 – 26 m og brukes kun av småbåter. Sjøbunnen under Nygårdsbroen vil ikke bli tildekket, og en tildekking med masser i lag <1 m i resten av Store Lungegårdsvann vil ikke bety praktiske endringer i bruken av området. Et unntak kan være i området ved Florida der det foregår vannsportsaktiviteter, men dette må nærmere avklares i detaljprosjekteringsfasen.

Det ble utført en detaljert bunnkartlegging av Store Lungegårdsvann i 2013 med en nøyaktighet på $\pm$ 5-10 cm (Parker, 2013). Nøyaktigheten til disse dataene er vurdert som tilstrekkelig til å kontrollere tildekkingstykkelsen i tiltaksområdet etter tiltak. Fastsettelse av krav om kontroll gis av Fylkesmannen i Hordaland i forbindelse med søknaden om tiltak i Store Lungegårdsvann.

7.5 Koordinering mot andre tiltak

Parallelt med søknaden om tillatelse til tiltak mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann, søker Bybanen utvikling om tillatelse til utfyllingen ved Store Lungegårdsvanns østbredde. Bybaneprosjektet har valgt å dele utfyllingsarbeidet inn i to trinn, der trinn 1 er en utfylling under vann til kote ca. -4 og trinn 2 er videre utfylling til byggeplan på ca. kote +2,5. Trinn 1 av bybaneprosjektets utfylling vil ferdigstilles før det blir aktuelt å gjennomføre tiltak mot forurensede sedimenter for å hindre rekontaminering av nyetablert, ren sjøbunn. Statens vegvesens utfylling og tiltak mot forurenset sjøbunn i Puddefjorden vil også i være ferdigstilt i sin helhet før tiltaket mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann blir igangsatt.

7.6 Risiko for nytilført forurensning etter tiltak

Tiltakene mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann vil bli utført etter at det er utført tiltak i Puddefjorden og etter at trinn 1 av bybaneutfyllingen er gjennomført. Dette medfører at det ikke er fare for rekontaminering av den nyetablerte sjøbunnen i Store Lungegårdsvann med forurensede partikler fra disse tiltakene. Ved tildekking i Store Lungegårdsvann er det en mulighet for rekontaminering knyttet til oppvirvling av sedimenter under utlegging av tildekkingslaget. Ved å påføre massene skånsomt i flere lag, vil risikoen for oppvirvling reduseres.

Rekontaminering av sjøbunnen i tiltaksområdet fra landkilder kan ikke utelukkes. I et byområde som Bergen vil det blant annet være diffuse forurensningskilder fra land til sjø som for eksempel veiavrenning. I detaljprosjekteringsfasen bør det avklares om det bør utføres en mer detaljert kartlegging av landkilder rundt Store Lungegårdsvann.

7.7 Hensyn til naturmangfold

Tildekking av sjøbunnen med opptil 1 m rene masser vil ødelegge habitatet for de organismer som lever der i dag. Det er imidlertid få eller ingen organismer i de sentrale delene av Store Lungegårdsvann der oksygenforholdene er dårlige, og i kartleggingen av marint naturmangfold i 2014 (NNI, 2014) ble verdien av dagens arts mangfold i bløtbunnsmiljøet i denne delen av Store Lungegårdsvann vurdert til ubetydelig til liten verdi. I de grunne områdene nær Strømmen vil trolig bunndyrfaunaen reetableres etter få år, og det forventes en bedring i leveforholdene siden bunndyrfaunaen ikke vil komme i kontakt med dagens forurensede sjøbunn etter tiltaket.

Det anbefales å unngå å gjennomføre tildekkingsarbeid nær Møllendalselvens munning i perioden september til november grunnet gytesesong for sjørret og laks.

Dersom det er mulig å finne avbøtende tiltak for å verne om rødlistearten ål (*anguilla anguilla*), så bør dette vurderes.

8 Tiltaksrettede undersøkelser

Denne tiltaksplanen har gått gjennom ulike alternativer for tiltak i forurensede sedimenter og gitt en anbefalt tiltaksløsning, men den har ikke til hensikt å presentere en fullstendig detaljprosjektering. Ved en eventuell godkjenning av søknad for tiltak mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann, må detaljprosjektering utføres før gjennomføring av tiltak. Planer for den praktiske gjennomføringen av tiltaket må utarbeides i detalj i samarbeid med interessenter, småbåthavner, eiendomshavere og relevante myndigheter. I dette kapitlet skisseres det diverse aspekter som må vurderes i detaljprosjekteringsfasen.

8.1 Ledninger/kabler

Hvilke beskyttelsestiltak som må gjennomføres ved tiltak mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann med tanke på ledninger/kabler på sjøbunnen må avklares i detaljprosjekteringen. Erfaringsmessig tåler vann- og avløpsledninger å tildekkes med inntil 0,5 m sand og grus, men dette må avklares nærmere i samarbeid med eierne av ledningene. Det må blant annet undersøkes om utslippspunktene for overløp har tilstrekkelig avstand fra bunnen eller om ledningene bør forlenges for å kompensere for hevet sjøbunn. Det kan også være aktuelt å midlertidig heve eller flytte ledninger under utlegging av tildekkingsmasser.

8.2 Marine kulturminner

Den marinarkeologiske undersøkelsen som ble utført i Store Lungegårdsvann i 2013 påviste 22 større eller mindre fartøy hvorav et fartøy har avklart vernestatus og ytterligere 4 fartøyer har antatt vernestatus (Bergen Sjøfartsmuseum, 2014). I detaljprosjekteringsfasen må det avklares i samarbeid med Bergens sjøfartsmuseum hvordan kulturminnene skal beskyttes ved gjennomføring av tiltak mot forurenset sjøbunn. Både med tanke på ledninger/kabler og kulturminner vil tynnsjiktstildekking (<15 cm) være et bedre alternativ enn tildekking med tykkere lag. Alternativt kan tildekkingsmassene legges rundt disse objektene på en skånsom måte uten å dekke dem.

8.3 Småbåthavner

Det kan bli aktuelt å midlertidig flytte pirene i småbåthavnene mens tiltakene pågår. Dette må planlegges i detaljprosjekteringsfasen i samarbeid med båtforeningene, og det må avklares om det må skaffes midlertidige båtplasser for båteiere utenfor Store Lungegårdsvann mens tiltakene utføres. Dybden til sjøbunnen under de to småbåthavnene varierer mellom 3 m i de indre delene til 15 m under de ytre delene av pirene. I de grunneste områdene vil småbåter kunne virvle opp

tildekkingsmassene, og det bør derfor gjøres vurderinger av spesielle tiltak for å hindre erosjon i masser fra båtpropeller.

8.4 Skrot på sjøbunnen

For å bidra til et heldekkende tildekkingslag, er det viktig å fjerne fremmedelementer og søppel fra sjøbunnen. Gamle sjøbunnskabler (EE-avfall) kan inneholde olje eller andre miljøfarlige stoff mens større objekter vil hindre en effektiv tildekking. Omfanget av nødvendig skrotrydding må kartlegges i detaljprosjekteringsfasen.

8.5 Ueksploderte objekter (UXO) på sjøbunnen

Ubåtbunkeren ved Nordrevågen i Puddefjorden ble bombet ved flere anledninger under krigen, og i forbindelse med tiltak mot forurensset sjøbunn i Puddefjorden er det planlagt gjennomføring av UXO-kartlegging på sjøbunnen i dette området. Det er mindre sjanse for å finne UXO i Store Lungegårdsvann, men det må gjøres en vurdering av behovet for en slik undersøkelse i løpet av detaljprosjekteringen.

8.6 Geotekniske undersøkelser

Det må vurderes om det er nødvendig å gjøre videre geotekniske vurderinger/undersøkelser av sjøbunnens stabilitet og bæreevne. Det kan bli nødvendig å gjøre justeringer i tiltaksplanen for områdene som for eksempel har størst helning eller bløtest sjøbunn.

8.7 Detaljvurderinger av tildekkingsløsning

Det bør gjøres en detaljert vurdering av nødvendig tildekkingstykkelse og tildekkingsmassenes egnethet i de forskjellige delene av tiltaksområdet. I områdene med bløtest sjøbunn anbefales det å gjennomføre uttesting av tildekking i et mindre område med aktuelle tildekkingsalternativer for å studere potensialet for oppvirvling og innsynkning av tildekkingsmassene i den bløte sjøbunnen. På bakgrunn av testforsøkene kan nødvendig mengde tildekkingsmasse bestemmes og utleggingsmetodene optimaliseres.

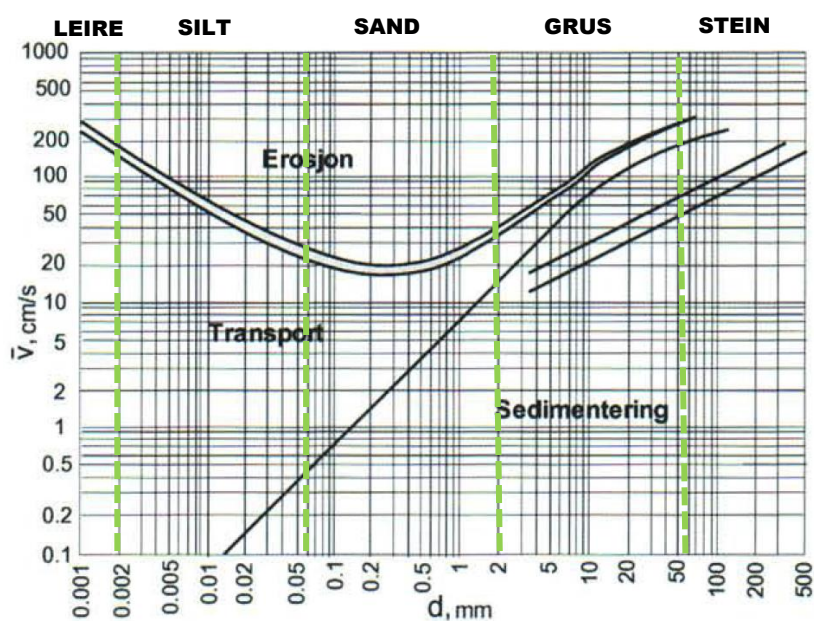
8.8 Vurdering av behov for mudring

Det må gjøres en vurdering av om det er behov for å mudre enkelte mindre, avgrensede områder innenfor tiltaksområdet. Dette er mest aktuelt i området ved vannsportbanen ved Florida. Dersom det blir avdekket områder der det er nødvendig å mudre, må det i detaljprosjekteringsfasen vurderes hvilken mudringsmetode som er bør brukes i det aktuelle området. De mest aktuelle metodene er mudring med grabb og sugemudring. Det må også utarbeides en plan for disponeringsløsninger for de mudrede massene.

8.9 Erosjonssikring

Erosjonssikring av tildekkingslaget skal dimensjoneres for å tåle ytre påvirkning fra båttrafikk og strømforhold. Det finnes lite informasjon om strømhastigheter i Store Lungegårdsvann, og det bør derfor vurderes å måle strømhastighet ved utvalgte lokaliteter i løpet av detaljprosjekteringsfasen. Informasjon om strømhastighet er viktig for å avgjøre i hvilke områder det er nødvendig å erosjonssikre, samt hvor tykk og grovkornet erosjonssikringen bør være i de forskjellige delene av tiltaksområdet.

Hjulstrøm diagrammet i Figur 18 beskriver forholdet mellom transport, erosjon og sedimentasjon av ulike kornstørrelser. Transport av en partikkel av en viss størrelse innebærer at partikkelen allerede er i suspensjon. Kohesive krefter virker sterkere på leir- og siltpartikler, og figuren viser at erosjon skjer raskest i partikler av fin/medium sand. Derfor er det ofte nødvendig å bruke grovere masser til erosjonssikring.



Figur 18 Hjulstrøm diagrammet viser strømhastighet og partikkelstørrelse og forholdet mellom transport, erosjon og avsetting. Grønne stiplede linjer viser overgangen mellom ulike kornstørrelsesfraksjoner.

8.10 Støy og støv

Det bør vurderes om det skal utføres målinger og modellering av støv og støy i forkant av oppstart av anleggsarbeidene.

9 Kontroll, overvåking og avbøtende tiltak

Alle arbeidene blir underlagt krav til overvåking og kontroll som defineres i en kontrollplan i forkant av oppstart. Entreprenøren skal beskrive metodevalg, rutiner og presisjon for de ulike oppgavene. Dette vil blant annet være kontrollprogrammer for måloppnåelse for tildekking og spredning under tiltak.

9.1 Kontroll av tildekkingsmasser

Det skal dokumenteres at tildekkingsmassene tilfredsstiller kravene i TA-2143/2005 (SFT, 2005) med hensyn på blant annet kjemisk innhold og kornfordeling, samt krav som vil bli beskrevet i detaljprosjekteringen.

9.2 Overvåking under tiltak

For overvåking ved tiltak brukes gjerne turbiditetsmålinger, vannprøver, sedimentfeller og passive prøvetakere. Turbiditetsmålinger gjennomføres kontinuerlig under tiltaksperioden. Det er ofte en fordel at man også har målere ved en upåvirket referansestasjon i nærheten siden turbiditet også kan endre seg naturlig. On-line turbiditetsmålere bør settes ut i oppankrede rigger i nærheten av tiltaksområdet eller på lekteren hvor utleggingen foregår. Målerne sender data til ansvarlig overvåker via mobilnettet og er tilknyttet en alarmfunksjon.

Det foreslås at det etableres en turbiditetsgrense på 10 NTU over bakgrunnsverdiene gjennom et 20 minutters tidsintervall og at målestasjonen er innen 100 m fra anleggsarbeidet. Dersom grensen overskrides, bør arbeidet stanses inntil turbiditetsverdiene er under tillatt nivå i et 20 minutters tidsintervall, og det bør da tas en vannprøve som analyseres for miljøgifter for å avdekke om spredningen er av oppvirket forurenset sjøbunn eller tildekkingsmasser. Dersom vannprøvene viser at det foregår spredning av tildekkingsmasser, kan det vurderes å heve turbiditetsgrensen. Dette gjelder særlig dersom det blir hyppige driftstans grunnet høye turbiditetsverdier. Dette bør likevel vurderes opp mot andre hensyn, som kan være fisk eller vanninntak. Visuell inspeksjon og manuelle turbiditetsmålinger bør benyttes ved vannprøvetaking for miljøgiftsanalyser og ved synlig blakking, slik at vannprøvene tas i området med høyest turbiditet. I følge Lewis' formel for konvertering mellom turbiditet og suspendert sedimentkonsentrasjon (Lewis, J., 1996) vil 10 NTU tilsvare ca. 8 mg/l. 25 mg/l suspendert stoff fra naturlig erodert materiale tilsvarer ca. 30 NTU og blir ifølge den europeiske innlandsfiskekommisjonen EIFACs regnet som ufarlig for fisk (Tabell 7). Tabellen er mindre relevant i forhold til at Store Lungegårdsvann er sjøvann og området benyttes lite til fiske, men det gir en indikator på effekten.

Tabell 7 EIFACs retningsgivende verdier for hvilke effekter ulike konsentrasjoner av partikler i form av naturlig erodert materiale kan ha på fisk.

Suspendert stoff(mg/l)	Effekter på fisket
< 25 mg/l	Ingen skadelig effekt
25-80 mg/l	Godt til middels godt fiske. Noe redusert avkastning
80-400 mg/l	Betydelig redusert fiske
> 400 mg/l	Meget dårlig fiske, sterkt redusert avkastning

Sedimentfeller er mest effektive der det er lite strøm og høy sedimentasjon. De må stå ute i flere uker for å få nok sediment til analyser av miljøgifter, men gir dermed også et bilde på tiltaket over tid. Resultatene fra analyser av sedimentert materiale vil hovedsakelig kunne benyttes til evaluering i ettertid, og i mindre grad til korrigeringer underveis.

Passive prøvetakere måler vannløselige miljøgifter og kan si noe om spredningen av slike forbindelser i tiltaksperioden. Ulike prøvetakere, som f.eks. SPMD (Semi Permeabel Membrane Devices) og DGT (Diffusive Gradients in Thin films), brukes for å måle henholdsvis organiske miljøgifter og metaller. Det bør også plasseres ut prøvetakere i forkant av tiltaket for å måle vannets bakgrunnsnivåer av miljøgifter.

Utplassering av blåskjell er en annen metode som kan benyttes til å detektere vannløste miljøgifter. Det er en fordel om de samme overvåkingsmetodene benyttes før og under tiltak for å få et godt sammenligningsgrunnlag.

9.3 Avbøtende tiltak

Utlekking av tildekkingsmassene vil kunne medføre oppvirvling av forurensede sedimenter, særlig i områder med bløtere sedimenter. Metodikken ved utlegging bør være så skånsom som mulig for å redusere oppvirvling og spredning. Det skal ved behov iverksettes tiltak for å hindre at forurensning spres til omkringliggende områder. I områder med tidevannsstrøm vil det generelt være problematisk å etablere partikkelsperrer, men det kan være aktuelt å bruke mindre, lokale partikkelsperrer rundt selve utleggingsfartøyet.

Det skal utarbeides en beredskapsplan med formål å oppdage og begrense virkningene av eventuell akutt forurensning som kan oppstå i forbindelse med uforutsette hendelser.

9.4 Støv og støy i forbindelse med anleggsarbeidet

Det forventes at entreprenører i forkant av tiltakene beskriver og utarbeider rutiner for redusere spredning av støv og minimere støy. I den grad det er mulig bør arbeidet gjennomføres slik at det ikke kommer i konflikt med andre interesser. De planlagte tiltakene ligger delvis innenfor rød støysone og nær Danmarks plass som har noen av de høyeste verdiene av svevestøv PM_{2,5} og PM₁₀.

samt NO_x og SO₂ i Bergensområdet. Normalt forsøker en å unngå virksomhet som kan øke forurensningsnivået i rød sone i arealplanlegging (KLIF, 2012). I detaljprosjekteringen bør det vurderes om det skal utføres målinger og modellering av støv og støy i forkant av oppstart av anleggsarbeidene.

I utgangspunktet antas det at det vil være mindre problemer knyttet til støy og støv i forbindelse med arbeidene, men detaljprosjektering kan beskrive avbøtende tiltak gjennom vanning av tildekkingsmasser, beskyttelse mot vind ved bruk av presenning eller ved bruk av lukkede systemer som avgir lite støy og støv.

Tabell 8 Grenseverdier for utendørs støy fra anleggsarbeider (Miljødirektoratet, 2014).

Bygningstype	Støykrav på dagtid (L _{pAeq12h} 07-19)	Støykrav på kveld (L _{pAeq4h} 19-23) eller søn- /helligdag (L _{pAeq16h} 07-23)	Støykrav på natt (L _{pAeq8h} 23-07)
Boliger, sykehus, pleieinstitusjoner	60	55	45
Skole, barnehage	55 i brukstid		

9.5 Sluttkontroll

Etter utlegging av tildekkingsmassene skal tykkelsen og utbredelse av tildekkingslaget dokumenteres. Sluttkontrollen av mektighet av tildekkingslaget skal dokumenteres ved at bunntopografien kartlegges med tilstrekkelig nøyaktighet til at det kan sammenlignes med kartleggingen utført i forkant av tiltak.

En oversikt over alle lokalitetene der det er tatt sedimentprøver i Store Lungegårdsvann er vist i Figur 11. Analyseresultatene av prøvene fra disse lokalitetene vil representere sjøbunnens "før-tilstand", og disse resultatene vil bli sammenlignet med resultatene av sedimentprøver fra de samme prøvestasjonene etter ferdig utført tiltak. Omfanget av prøvetakingen skal beskrives i kontrollplanen som utarbeides før tiltakene starter. Krav til sluttkontroll for å dokumentere effekten av tiltaket bestemmes i tillatelsen til tiltaket. Akseptkriteriet er at prøvene tilfredsstiller tiltaks målet som innebærer at miljøgiftkonsentrasjonen i toppsedimentene skal være i tilstandsklasse II i henhold til TA-2229/2007 (SFT, 2007).

Sluttkontrollen skal gjennomføres innen fire uker etter tiltaket er avsluttet. Sluttkontrollen vil gi en dokumentasjon på om utleggingen av massene har vært utført med minimal oppvirvling og spredning av miljøgifter fra dagens sjøbunn og gi grunnlag for eventuelt ytterligere tildekking av delområder hvor tiltaks målet ikke er oppfylt.

Det skal utarbeides et overvåkningsprogram som angir omfang, frekvens og metoder for overvåkning etter at tildekkingen er gjennomført.

Data fra prøvetaking i sedimenter, vann og biota som gjøres før og etter tiltak skal registreres i databasen Vannmiljø.

10 Kostnader og fremdriftsplan

10.1 Kostnader

Kostnadsestimatene er basert på erfaringer fra planleggingen av tiltak mot forurensset sjøbunn i Puddefjorden og på prising av tjenester fra entreprenører. Det er knyttet stor usikkerhet til flere faktorer som påvirker kostnadsestimatet, blant annet innsynkningsgraden av tildekkingsmassene i de bløtere delen av sjøbunnen som igjen vil avgjøre nødvendig tykkelse på tildekkingslaget og hvilke masser og utleggingsmetode som er best egnet, samt hvilken løsning som blir valgt med tanke på frakt av masser til Store Lungegårdsvann. Tidspunktet for utførelse av tiltaket vil også ha innvirkning på kostnadsestimatene med tanke på for eksempel mulig samordning med bybaneprosjektets infrastruktur eller om TBM-masser vil være tilgjengelig.

Kostnadsestimatet er basert på et tiltaksareal på 400 000 m² og utlegging av et tildekkingslag på ca. 40 cm ved bruk av TBM-masser og sand/skjellsand og ca. 20 cm ved bruk av en kombinasjon av reaktive masser og sand/skjellsand. Estimaten inkluderer ikke kostnader til prosjektledelse/byggeledelse.

- › Tildekking inkludert mellomlagring/transport: 122 000 000 kr
- › Erosjonssikring av ca. 30 dekar: 9 000 000 kr
- › Opprydning av skrot på sjøbunnen: 3 000 000 kr
- › Dykkerlag: 2 000 000 kr
- › Midlertidig flytting av båthavner: 2 000 000 kr

Det er estimert en gjennomsnittspris på 345 kr/m² for tiltaket i Store Lungegårdsvann.

Totalkostnader for tiltaket estimeres til 138 000 000 kr eks. mva. Estimaten inkluderer et usikkerhetspåslag på 20 %.

10.2 Finansiering av tiltaket

Kostnadene knyttet til tiltak mot forurensset sjøbunn i Store Lungegårdsvann er beregnet å være 138 000 000 kr eks. mva. Finansieringen av tiltaket er per i dag ikke avklart, men vil bli presentert i langtidsplan for behov for midler til Bergen Havn.

10.3 Fremdriftsplan

Finansieringen av tiltaket er per i dag ikke avklart, og tidspunkt for gjennomføring av tiltaket er dermed ikke fastlagt. Fra et miljømessig synspunkt er det viktig at trinn 1 av bybaneprosjektets utfylling ferdigstilles før det blir gjennomført tiltak mot forurensede sedimenter for å hindre rekontaminering av nyetablert, ren sjøbunn. Tiltaket mot forurenset sjøbunn i Puddefjorden skal også ferdigstilles før oppstart av tiltaket i Store Lungegårdsvann. Dette medfører at tiltaket mot forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann tidligst kan starte i 2019.

11 Totalvurdering og anbefaling

Det er gjennomført en tiltaksvurdering av forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann hvor alternativer av mudring og tildekking er vurdert. Risikovurderingen av forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann identifiserte at det er en uakseptabel risiko for spredning av forurensning, opptak av forurensning i biota og helserisiko for mennesker ved dagens miljøtilstand. Sjøbunnen i Store Lungegårdsvann er sterkt forurenset, og det vil ta lang tid før naturlig sedimentasjon vil bidra til en betydelig bedring i toppsedimentene.

På bakgrunn av tiltaksvurderingen foreslås det følgende valg av metode for opprydning av forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann:

- › I delområde 1a og 1b av tiltaksområdet (Figur 1) (ca. 330-350 dekar) anbefales enten tynnsjiktstildekking med en lagvis blanding av aktive materialer nederst og sand/skjellsand over eller tildekking med sand/skjellsand med total tykkelse på ca. 40 cm. Nødvendig tykkelse på tildekkingslaget og utleggingsmetode må nærmere avklares i detaljprosjekteringen. Det må vurderes om det er nødvendig å gjennomføre mudring i et mindre område i vest ved Florida.
- › I delområde 2 av tiltaksområdet (Figur 1) (ca. 50 dekar) anbefales tildekking med enten TBM-masser eller sand/skjellsand med total tykkelse på ca. 40 cm. Nødvendig tykkelse på tildekkingslaget og utleggingsmetode må nærmere avklares i detaljprosjekteringen. Det må vurderes/undersøkes om det er nødvendig å gjennomføre tildekking i de grunne områdene med fastere sedimenter rett utenfor strandlinjen.
- › De groveste fraksjonene av TMB-masser eller andre grovkornede masser som nedknust sprengstein anbefales til bruk som erosjonssikring i områdene der sterk strøm eller båttrafikk kan medføre erosjon av tildekkingslaget.

Gjennom å etablere et varig tildekkingslag som isolerer/binder miljøgiftene i eksisterende sjøbunn, skal man oppnå følgende forslag til miljømål for Store Lungegårdsvann:

- › Innhold av PCB₇, PAH₁₆ og tungmetaller (As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn) i de øverste 10 cm av sjøbunnen skal ikke overskride tilstandsklasse III i henhold til TA-2229/2007 (SFT, 2007).
- › Forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann skal ikke utgjøre en helsefare for mennesker.

- › Forurensset sjøbunn i Store Lungegårdsvann skal ikke gi negativ påvirkning på økosystemet i Puddefjorden og resten av Byfjorden.

Følgende tiltaksmål for tiltaket er foreslått:

- › I inntil fire uker etter at tiltaket er gjennomført skal innholdet av PCB₇, PAH₁₆ og tungmetaller (As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni, Zn) i de øverste 10 cm av sjøbunnen være i tilstandsklasse II eller lavere i henhold til TA-2229/2007 (SFT, 2007).
- › Tiltaket skal ikke medføre spredning av forurensede partikler til Puddefjorden

Miljøgiftbudsjettet viser at totalt 55 kg kvikksølv, 5400 kg bly, 4 kg PCB og 400 kg PAH vil isoleres ved gjennomføring av tiltaket i Store Lungegårdsvann.

12 Referanser

Bergen kommune. 2013. *Områderegulering for Store Lungegårdsvann - PLANPROGRAM.* November . 2013.

Bergen Sjøfartsmuseum. 2014. *Marinarkeologiske registreringer Store Lungegårdsvann.* 2014.

COWI. 2015. *Forurensset sjøbunn i Puddefjorden - Risikovurdering. A040950-2015-01.* 2015.

—. **2013.** *Forurensset sjøbunn i Vågen. Oppdatert risikovurdering.* . 2013.

—. **2012.** *Møllendal allmenning.* 2012.

—. **2016.** *Oppdatert risikovurdering av forurensset sediment i Store Lungegårdsvann. Trinn 1-3.* 2016.

—. **2015.** *RAP-A040950-2015-02. Tiltaksplan for forurensset sjøbunn i Puddefjorden, Bergen.* 2015.

—. **2014.** *Risikovurdering av forurensset sediment i Store Lungegårdsvann, Bergen. Rapportnr A040950-2014-01.* 2014.

—. **2016.** *Utfylling i Store Lungegårdsvann - miljøundersøkelse av sedimenter.* 2016.

—. **2016.** *Utfylling Nygårdstangen - Miljøundersøkelse av sediment, bonitering og overvåkingsplan for tiltak.* 2016.

Fylkesmannen i Hordaland. 2016. *Tillatelse til mudring og tildekking av forurensset sjøbunn i indre Puddefjord i Bergen kommune.* 2016.

—. **2014.** *Tillatelse til tildekking av forurensset sjøbunn i Store Lungegårdsvann.* 2014.

KLIF. 2012. *T-1520. Retningslinjer for behandling av luftkvalitet i arealplaner.* 2012.

Klif. 2011. *TA2802/2011 - Risikovurdering for forurensset sediment.* 2011.

—. **2011.** *TA-2817/2011. Nøkkellindikator for det nasjonale arbeidet med forurensset sjøbunn. Retningslinjer for bruk av beregningsverktøy.* 2011.

Lewis, J. 1996. *Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation. Water Resources Research, 06 1996, vol. 32, ss 2299-2310.* 1996.

McClimans, T.A. 1992. *Dykket ferskvannsutslipp til Store Lungegårdsvann. SINTEF-rapport STF60 F922055. 14. s. Fortrolig.* 1992.

Miljødirektoratet. 2014. *M-128 - 2014. Veileder til retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging. T-1442/2012.* . 2014.

—. **2015.** *M-350. Håndtering av sedimenter.* 2015.

—. **2015.** *M-350. Håndtering av sedimenter. Veileder.* 2015.

- . **2016.** Oppsummering av erfaring med tildekking av forurenset sjøbunn. 2016.
- . **2014.** Tynntildekking av forurensede sedimenter. Overvåkning av fire testfelt i Grenlandsfjordene. 2014.
- NIFES. 2007.** Kostholdsrådsundersøkelse, Bergen Byfjord 2007. 2007.
- NIVA. 1998.** Miljøvurderinger av utfylling av sprengstein i Store Lungegårdsvann. 1998.
- . **2008.** RAPPORT LNR 5530-2008 Kirkebukten. 2008.
- . **1993.** Tiltaksplan Bergen havn fase 1. 1993.
- NNI. 2014.** Utfylling i Store Lungegårdsvann, Bergen kommune. Kartlegging av marin flora og fauna og vurdering av konsekvenser for marint biomangfold. Rapport 387. 2014.
- Norconsult. 2009.** Miljøgifter i Skipsvrak. Rapport Kystverket. 2009.
- . **2014.** Store Lungegårdsvann Geoteknisk datarapport, Arna - Bergen, UUT21. 2014.
- . **2016.** Store Lungegårdsvann. Geotekniske forhold i forbindelse med tildekking. 2016.
- . **2013.** Tiltaksplan for miljørisikovurdering for tildekking av sjøbunnen i Store Lungegårdsvann, Bergen. 2013.
- Paetzel & Schrader. 2003.** Natural vs. human-induced facies changes in recent, shallow fjord sediments of the Store Lungegårdsvannet in Bergen (western Norway). *Environmental Geology*, 43:484-492. 2003.
- Parker. 2013.** Dybdekartlegging i Store Lungegårdsvann - Bergen. 2013.
- SFT. 2005.** TA-2143/2005. Veiledende testprogram for masser til bruk for tildekking av forurensede sedimenter (Tildeckingsveileder). 2005.
- . **2007.** TA2229/2007 - Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. 2007.
- UiB og HSF. 2002.** Tiltaksplan Bergen havn fase 1. 2002.
- Uni Miljø. 2015.** Resipientovervåking av fjordsystemene rundt Bergen 2011-2015. Årsrapport 2014. SAM e-rapport nr: 4-2015. 2015.
- . **2011.** Sjøaurebekker i Bergen og omegn. LFI-rapport nr. 181. . 2011.

Vedlegg

Norconsult (2016). Store Lungegårdsvann. Geotekniske forhold i forbindelse med tildekking. Rapport, 2016.