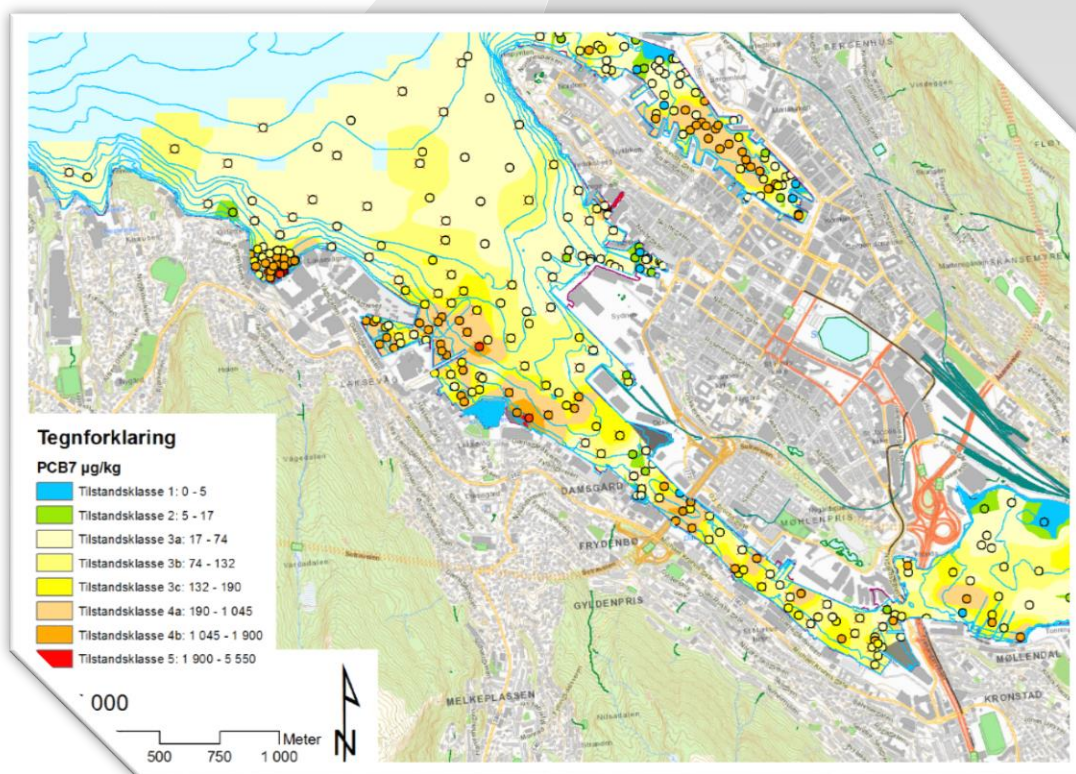


06 2015

BERGEN KOMMUNE

# TILTAKSPLAN FOR FORURENSET SJØBUNN I PUDDEFJORDEN, BERGEN



06 2015  
BERGEN KOMMUNE

# RAP-A040950-2015-02

## TILTAKSPLAN FOR FORURENSET SJØBUNN I PUDDEFJORDEN, BERGEN

OPPDRAGSNR. A040950  
DOKUMENTNR. RAP-A040950-2015-02  
VERSJON 003  
UTGIVELSESDATO 05.06.15  
UTARBEIDET Bjørn Christian Kvisvik  
KONTROLLERT Arve Misund  
GODKJENT Oddmund Soldal

Tittel:	RAP-A040950-2015-02 Tiltaksplan for forurenset sjøbunn i Puddefjorden, Bergen		
Oppdrag nr:	A040950	Rapportnummer	A040950-002
Utgivelsesdato:	05.06.15	Antall sider:	56
Tilgjengelighet:	Åpen	Antall vedlegg:	0
Utarbeidet:	Bjørn Kvisvik	Sign.	<i>Bjørn Kvisvik</i>
Kontrollert:	Arve Misund	Sign.	<i>Arve Misund</i>
Godkjent:	Oddmund Soldal	Sign.	<i>Oddmund Soldal</i>
Oppdragsgiver:	Bergen Kommune	Oppdragsgivers kontaktperson:	Per Vikse
Stikkord:	Tiltaksvurdering, Puddefjorden, TBM-masser, tildekking, tiltaksplan		
Foto på forside:	Kartutsnitt av Puddefjorden med karakterisering av PCB7.		

Rapport versjon:	Dato:	Signatur:
01 - UTKAST	06.05.2015	<i>Bjørn Kvisvik</i>
02 - REVISJON	15.05.2015	<i>Bjørn Kvisvik</i>
03 - ENDELIG	05.06.2015	<i>Bjørn Kvisvik</i>

## SAMMENDRAG

Puddefjorden er sterkt forurenset av tungmetaller og organiske miljøgifter som PCB, PAH og TBT. Det eksisterer kostholdsråd for sjømat i Bergen havn og Byfjorden, og det foreligger miljømål for Bergen havn for å redusere innholdet av miljøgifter i fisk og sjømat fra Byfjorden. Rapporten "Risikovurderingen av forurenset sjøbunn i Puddefjorden" som ble ferdigstilt i februar 2015 (1) konkluderte med at det er uakseptabel risiko knyttet til spredning av forurensning, opptak av forurensning i biota og human helse hovedsakelig knyttet til opptak gjennom sjømat.

For Puddefjorden er det foreslått følgende miljømål:

- › 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.*

Tiltaksvurderingen går gjennom aktuelle metoder for sanering av forurenset sjøbunn som i hovedsak er fjerning av sedimenter ved ulike metoder for mudring eller tildekking med rene masser som isolerer forurensningen på stedet. Jernbaneverket lager en ny jernbanetunnel gjennom Ulriken ved bruk av Tunnel-Bore-Maskin (TBM), som gir ca. 900 000 m<sup>3</sup> løse (lm<sup>3</sup>) steinmasser som i utgangspunktet er velegnet til tildekking. Dette vil kunne gi en samfunnsmessig gevinst samtidig som bruk av TBM-masser er økonomisk fordelaktig.

Anbefalt tiltaksløsning for forurenset sjøbunn i tiltaksområdet indre Puddefjord er å bruke TBM-masser som tildekkingsmateriale. Tiltaksområdet dekker ca. 440 dekar fra Kirkebukten og Dikkedokken i vest, til Solheimsviken i øst. Tykkelsen på nødvendig tildekkingslag for å isolere forurensningen vil kunne variere, men tilsvarer et estimert behov på ca. 220 000 lm<sup>3</sup> TBM-masser. Tildekking av forurenset sjøbunn ved bruk av TBM-masser vil på sikt bidra til å innfri miljømålene for Puddefjorden, og for prosjektet Renere Havn Bergen.

Miljøgiftbudsjettet viser at totalt 940 kg kvikksølv, 30 kg PCB og 64 000 kg bly vil isoleres ved tildekking av tiltaksområdet. Beregningene er basert på et gjennomsnittlig forurensningsdyp på 50 cm og at prøver fra tre særlig forurensete områder er utelatt.

Følgende tiltaksmål foreslås for tiltaksområdet indre Puddefjord:

- › ***I de øverste 10 cm av sedimentene skal innholdet av organiske miljøgifter og tungmetaller være i tilstandsklasse II eller lavere i henhold TA-2229/2007 (2), i inntil 4 uker etter avsluttet tiltak.***

Dette tiltaks målet brukes for å styre den praktiske gjennomføringen og kontroll av tiltak. Det skal utføres målinger av turbiditet i forkant av tiltak for å etablere bakgrunnsverdier. Turbiditetsverdier under tiltak er foreslått å være 10 NTU over bakgrunnsverdier målt i et 20 minutts gjennomsnitt, opptil 100 m fra utleggingsstedet. I tillegg bør det settes ut sedimentfeller i kombinasjon med strømmålere før, under og etter tiltak for å måle partikkelspredning og spredning av forurensning.

Det må gjennomføres tiltaksforberedende tiltak så som fjerning av skrot og søppel, vurdering av kulturminner i sjø, kontakt mot eiendomshavere og båthavner, og informasjon mot beboere.

Detaljprosjektering av tiltaket anbefales startet opp så raskt som mulig etter en beslutning om tiltak. Detaljprosjekteringen må avklare forhold knyttet til om det eventuelt bør mudres i områder med særlig sterk forurensning, i områder med bløte sedimenter og ved kaier hvor tildekking kan legge begrensninger på seilingsdyp. Det må også avklares forhold til installasjoner på sjøbunnen og vurderes tildekkingstykkelse på TBM-masser i enkelte områder.

Kostnadene ved tiltaket er beregnet å være ca. 97 millioner kr eks. mva. Det forutsettes at Miljødirektoratet dekker 75 % av utgiftene til tiltaket, og 50 % av utredningsutgifter knyttet til miljøtiltaket. 25 % av utgiftene til tiltaket forutsettes finansiert av Bergen kommune og Bergen og Omland Havnevesen.

Detaljprosjektering og forundersøkelser må starte i løpet av høsten 2015 og ferdigstilles i løpet av første halvdel av 2016. Utlegging av TBM-masser og ferdigstilling av tiltak bør ta til i løpet av sommeren 2016 og være ferdig i løpet av sommeren 2017.

# INNHOOLD

1	Innledning	8
1.1	Bakgrunn	9
1.2	Formål	9
1.3	Lokaliteter	9
2	Rammebetingelser	11
2.1	Områdebeskrivelse Puddefjorden	12
2.2	Forurensningstilstand og risikovurdering	17
2.3	Naturforhold	20
2.4	Geoteknisk undersøkelser	22
2.5	Kulturminner	23
2.6	Planer, aktiviteter og installasjoner i området	23
3	Miljømål	27
3.1	Overordnede miljømål Renere Havn Bergen	27
3.2	Miljømål Puddefjorden	28
3.3	Tiltaksmål indre Puddefjord	28
3.4	Bruk og tilstand etter tiltak	29
3.5	GAP – forskjell mellom tilstand før- og etter tiltak	29
4	Tiltaksvurdering	30
4.1	Null-alternativet	30
4.2	Alternativ 1: Fjerning av forurensede masser	31
4.3	Alternativ 2: Isolering av forurensning -tildekking	34
5	Anbefalt tiltaksløsning	40
5.1	Miljøgevinst ved tildekking - miljøgiftbudsjett	41
5.2	Disponeringsløsning tildekkingsmasser	42
5.3	Dybde sjøbunn, før og etter tiltak	43
5.4	Risiko for nytilført forurensning (rekontaminering) etter tiltak	43
5.5	Hensyn til naturmangfold	43
6	Tiltaksrettede undersøkelser	45
6.1	Tiltaksrettede tiltak	45
6.2	Prioritert rekkefølge av tildekking	45

6.3	Detaljprosjektering	47
7	Kontroll og overvåking av utførelse	48
7.1	Kontroll av tildekkingsmasser	48
7.2	Overvåking under tiltak	49
7.3	Avbøtende tiltak	50
7.4	Støv og støy i forbindelse med anleggsarbeidet	51
8	Kostnader og fremdriftsplan	52
8.1	Kostnader knyttet til forberedelser og tiltak	52
8.2	Finansiering av tiltakene	53
9	Totalvurdering og anbefaling	54
10	Referanser	55

# 1 Innledning

17 havneområder i Norge er prioritert med tanke på forurensningstilstand. Bakgrunnen for arbeidet med sjøsediment finnes i Stortingsmelding nr. 12 (2001-2002) *Rent og Rikt hav*, Stortingsmelding nr. 14 (2006-2007) *Sammen for et giftfritt miljø – forutsetninger for en tryggere fremtid*, og i *Forskrift om rammer for vannforvaltningen (Vannforskriften)* (FOR 2006-12-15-1446). Bergen havn er en av disse, og det har siden 1992 blitt utført kartlegging og utredning av forurensningssituasjonen (3; 4; 5; 6; 7; 1). Bergen Bystyre har vedtatt at Puddefjorden og Vågen må ryddes for å begrense og stanse spredning av miljøgifter i Bergen havn (8).

I forbindelse med at det ble bestemt å bruke tunnelboremaskin (TBM) for å lage dobbeltspor for jernbanetunnel gjennom Ulriken, ble det et alternativ å bruke TBM-masser for å dekke til forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann. Søknad til Fylkesmannen i Hordaland fra Jernbaneverket (9) om tildekking av forurenset sjøbunn ble godkjent i april 2014 etter [forurensningsloven § 11](#) jf. 16, og tillatelse for dumping av masser på det tildekkede laget ble gitt i medhold av [forurensningsforskriften § 22-6](#) (10; 11). Det ble forutsatt i tillatelsen at steinmassene tilfredsstillt kravene i tildekkingsveilederen TA-2143/2005 (12). Det ble utført analyser av steinprøver fra Ulriken som viser at de tilfredsstillt Trinn 1 av materialets generelle egnethet som tildekkingsmasse (kjemiske og fysisk basiskarakterisering) (13; 14; 12), samt utarbeidet en geoteknisk datarapport om grunnforholdene i Store Lungegårdsvann (15). Jernbaneverket konkluderte 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 ved bruk av transportbånd (16).

Bergen kommune fikk gjennom samtaler med Jernbaneverket i 2014/2015 skissert muligheter for å benytte TBM-masser til tildekking av Kollevågen på Askøy (17). Det er skissert at ca. 900 000 lm<sup>3</sup> (løse kubikk) steinmasser er tilgjengelig mellom oppstart av anleggsarbeidet i januar 2016 til juni 2017. TBM-masser har tidligere vist seg å ha gode barriere egenskaper og kan være godt egnet for tildekking av forurenset sjøbunn.

Tiltaksplanen for forurenset sjøbunn i Puddefjorden vurderer ulike tiltak for opprydning i forurenset sjøbunn med spesielt fokus på bruk av TBM-masser. Bergen kommune ved Etat for utbyggingsavtaler vil være tiltakshaver for omsøkte prosjekt om tiltak i Puddefjorden.

Den generelle saksgangen for tiltakshaver ved tiltak i sedimenter er illustrert i Figur 2. Trinnene omhandler; problembeskrivelse, forundersøkelser og risikovurdering, tiltaksvurdering, søknad,



tiltaksplan, tillatelse og pålegg, gjennomføring av tiltak og overvåking, sluttkontroll og sluttrapport og overvåking etter tiltak.

Mudring og dumping er regulert i [forurensningsforskriftens kapittel 22](#) og vil uansett forurensningsgrad utløse krav om tillatelse. En søknad om tiltak i Puddefjorden vil bli sendt Fylkesmannen i Hordaland som har fått delegert ansvaret fra Miljødirektoratet. Søknaden vil blant annet inneholde tiltaksplan og rapport om naturforhold i Puddefjorden (18).

## 1.1 Bakgrunn

Sedimentene i Bergen havn er sterkt forurenset. Risikovurdering av forurenset sjøbunn har vist at det risiko for human helse, økologi og spredning i hele Puddefjorden (7; 1) og Vågen (5). De grunne områdene innerst i Puddefjorden, delområdene Solheimsviken og Damsgård, samt Sørrevågen og Indre Puddefjord, hadde størst risiko for spredning. Delområdet som inkluderer Hurtigrute-Nøstekai-Dikkedokken har størst risiko for økologi.

TBM-masser fra Ulriken tas ut i Arna i forbindelse med bygging av dobbeltspor til jernbane gjennom Ulriken. TBM-masser i tildekkingsformål fungerer som en fysisk barriere og isolerer det underliggende forurensede sedimentet, og kommer ofte fordelaktig ut i kost-nytte analyser. TBM-massene skal etter planen drives fra januar 2016 til juni 2017, en driftsperiode på 18 måneder.

Søknaden til Fylkesmannen i Hordaland om tiltak i Puddefjorden leveres uten utført detaljprosjektering, men det forutsettes at detaljprosjekteringen starter snarlig etter at en eventuell tillatelse foreligger.

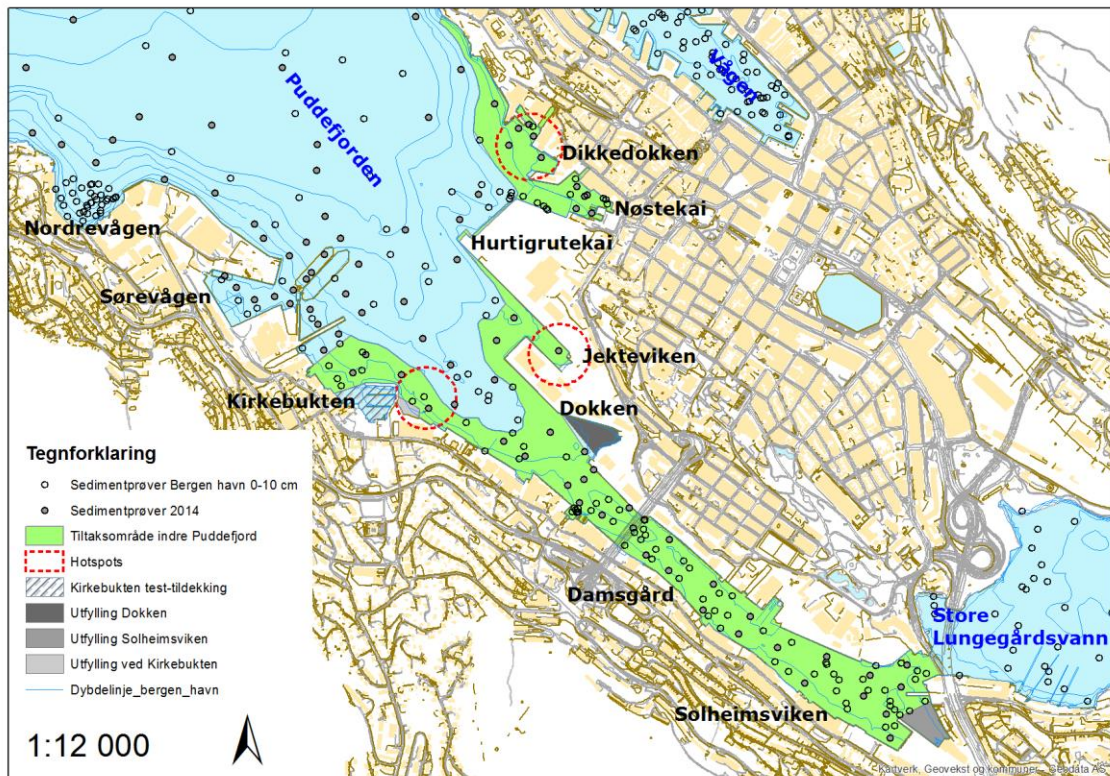
## 1.2 Formål

"Tiltaksplan for forurenset sjøbunn i Puddefjorden" beskriver først ulike løsninger for tiltak mot forurenset sjøbunn (tiltaksvurdering). Det gjøres 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.

## 1.3 Lokalteter

Området hvor det søkes gjennomført tiltak er **indre Puddefjord** (Figur 1). Tiltaksområdet inkluderer delområdene "Solheimsviken, Damsgårdssundet, indre Puddefjord vest, indre Puddefjord øst og Hurtigrute-Nøstekai-Dikkedokken" fra Risikovurdering av Puddefjorden (1) (Figur 3 og Figur 4). Tiltaksområdet som helhet omtales i denne rapporten som **indre Puddefjord**. Detaljprosjekteringen hvor konkrete tiltak, tilpasninger, forutsetninger og hensyn

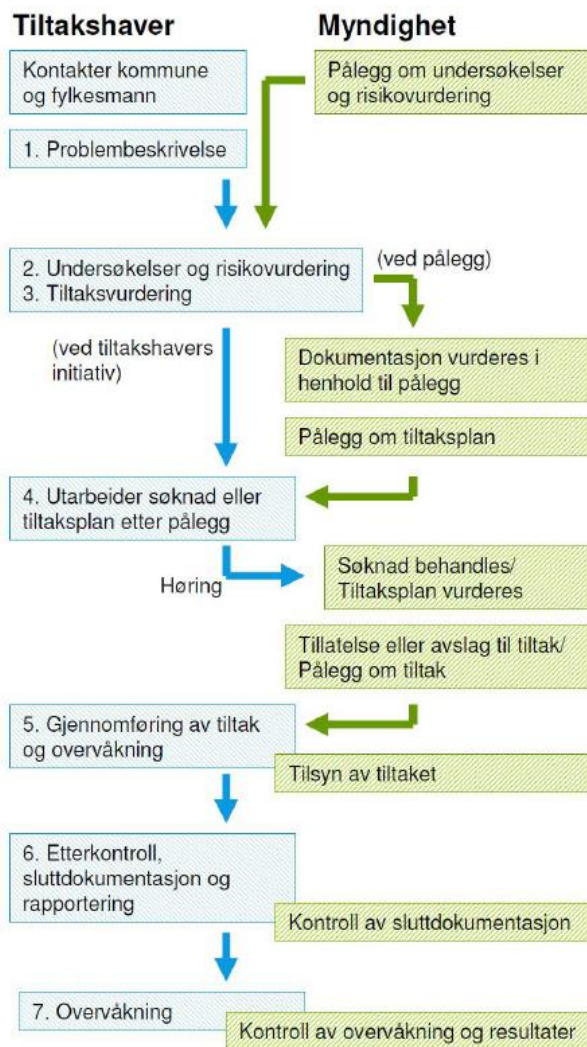
for hvert enkelt delområde vil gjennomgå, vil starte ved en eventuell godkjenning av søknaden om tiltak. Tiltaksområdet dekker til sammen ca. **440 dekar** mellom 0-20 m dyp, fordelt på 130 dekar for Solheimsviken, 80 dekar for Damsgård, 80 dekar for indre Puddefjord vest og 60 dekar for indre Puddefjord øst, 90 dekar for Hurtigrutekaien, Nøstekai og Dikkedokken.



Figur 1. Tiltaksområde **indre Puddefjord** med prøvestasjoner for Bergen havn og Puddefjorden markert. Hotspots identifisert i risikovurdering av forurenset sjøbunn i Puddefjorden er vist i rødt.

## 2 Rammebetingelser

TA-2960/2012 beskriver saksgang for tiltakshaver ved tiltak i sediment (19) (Figur 2). Som første ledd i prosessen må tiltakshaver kontakte kommunen for å avklare forholdet til gjeldende planer og til plan- og bygningsloven. I dette tilfellet er tiltakshaver Bergen kommune som har avklart forholdet mot gjeldende planer for indre Puddefjord. Det er vurdert at det er ingen hinder for å gjøre tiltak i indre Puddefjord, men at det må tas hensyn til blant annet installasjoner, kulturminner og beboere. Det skal søkes om godkjenning av tiltak i Puddefjorden gjennom bruk av "Søknadsskjema for tiltak i sjø og vassdrag" som sendes Fylkesmannen i Hordaland.

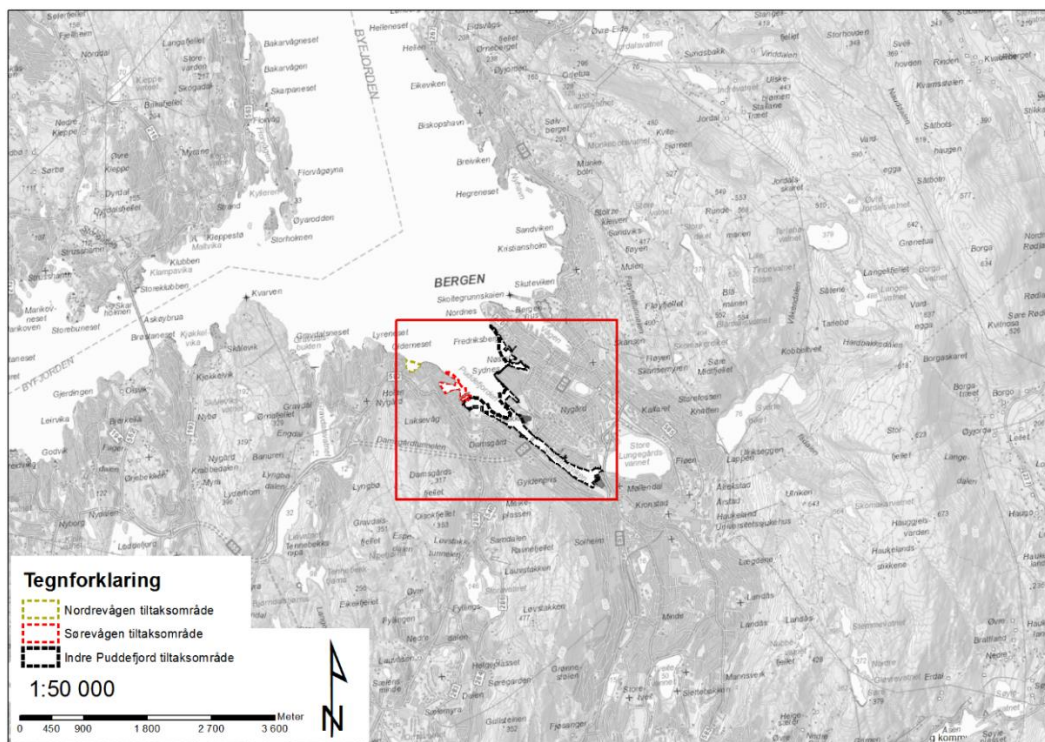


Figur 2. Generell saksgang for tiltakshaver og forurensningsmyndighet ved tiltak i sediment, med tiltakshavers og myndighetens oppgaver i henholdsvis blått og grønt (19).



## 2.1 Områdebeskrivelse Puddefjorden

Puddefjorden dekker ca. 2 km<sup>2</sup> og er ca. 1700 m bred i de ytre delene, og kun ca. 100 m bred i Damsgårdssundet (Figur 3 og Figur 4). Innerst i Puddefjorden er det en terskel som markerer overgangen til Store Lungegårdsvann ved gamle Nygårdsbro. I ytre del av Puddefjorden er det opp mot 200 m vandndyp, mens områdene innenfor Puddefjordsbroen, Damsgård og Solheimsviken har under 20 m vandndyp (Figur 4). Tiltaksområdet dekker totalt 440 000 m<sup>2</sup> hvor hele området er under 20 m dyp. Nordrevågen og Sørrevågen er ansvarsområdene til henholdsvis Forsvarsbygg og Marin Eiendomsutvikling og er ikke inkludert i denne tiltaksplanen (Figur 3). Det utarbeides tiltaksplaner for disse to områdene som ferdigstilles i løpet av juni 2015.



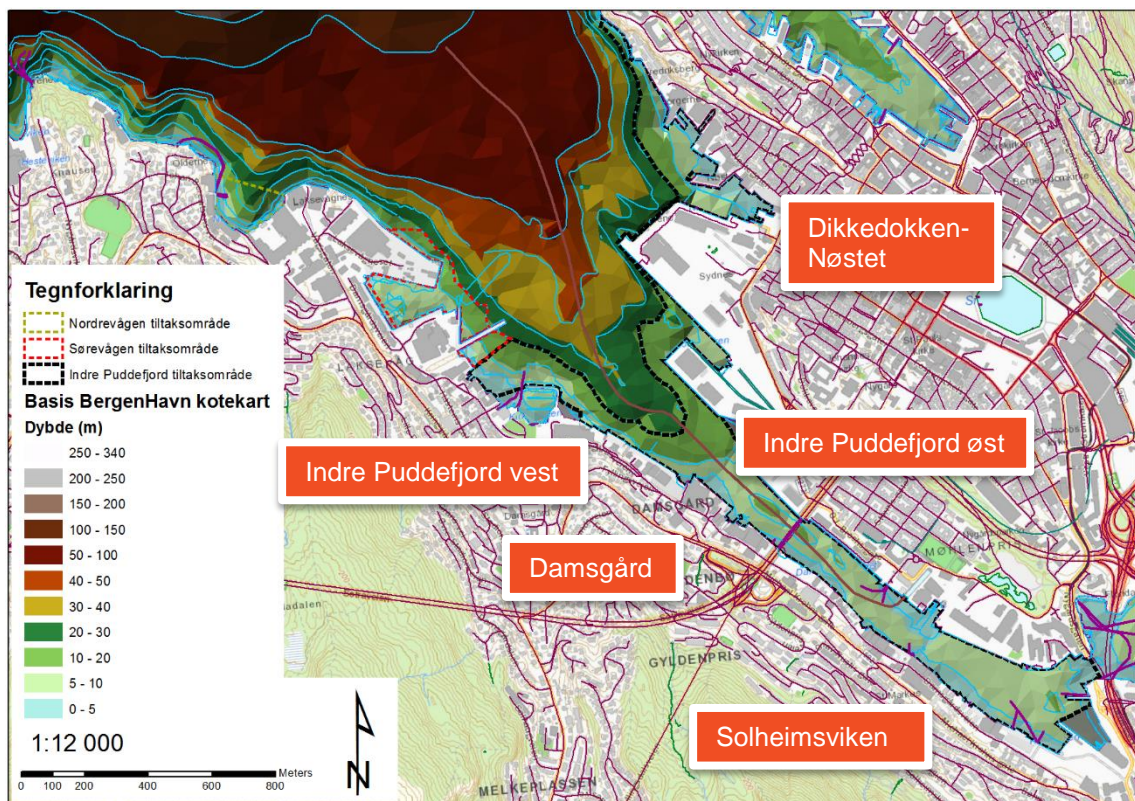
Figur 3. Oversiktskartet viser tiltaksområdet Indre Puddefjord liggende sentralt i Bergen. Tiltaksområdet dekker sjøbunn mellom 0-20 m dyp. Nordrevågen (stiplet grønn linje) og Sørrevågen (stiplet rød linje) som er ansvarsområdene til henholdsvis Forsvarsbygg og Marin Eiendomsutvikling, er ikke inkludert i denne tiltaksplanen.

### 2.1.1 Bunnforhold

Puddefjorden er under 20 m dyp i de indre delene og 100-200 m i de sentrale og ytre delene av fjorden. Helningsgradientene er små i de grunne vikene og i de indre delene av fjorden, mens det går brattere ned ved enkelte av havnene og langs land i de ytre delene av fjorden (Figur 5). Fjorden er sterkt modifisert i form av utfyllinger og etablering av havneområder, og overgangen

fra land til vann er som følge av dette ofte bratt. Strandlinjen i Puddefjorden er også sterkt påvirket av tidligere og pågående inngrep knyttet til utbygging av boliger og industri. De ytre delene av Puddefjorden er mindre påvirket av menneskelig aktivitet, og har naturlig bratte kanter ned mot den sentrale dypere delen (Figur 4 og Figur 5). Solheimsviken har et dypere basseng på ca. 13 m, som avtar til ca. 8 meter utover mot Damsgård.

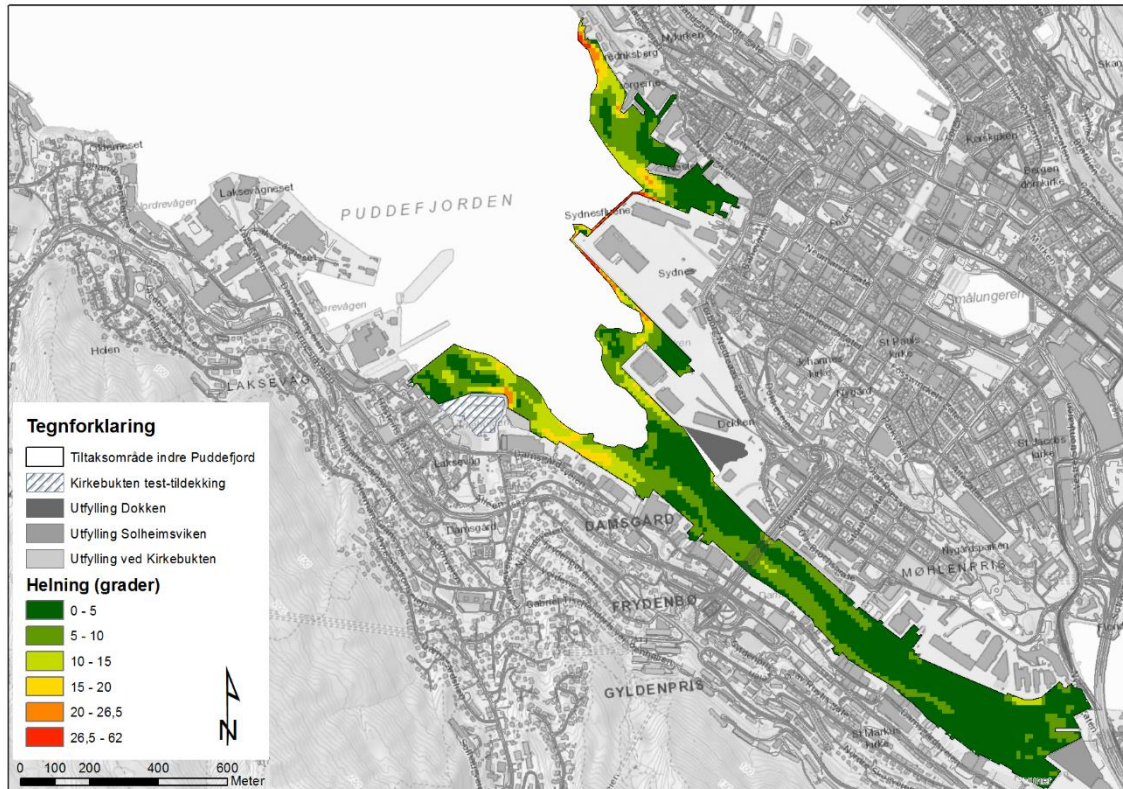
Frem til 1997 var det store utslipp av kloakk i Solheimsviken som tilsvarte 37000 personekvivalenter (pe), noe som igjen medførte høy grad av sedimentering og dårlig forhold i fjorden (3). Etter etableringen av kloakkrensaneanlegg i 1997, er det mindre utslipp til Puddefjorden, men det er fortsatt enkelte husstander som ikke er koblet opp mot kommunale kloakkrensaneanlegg.



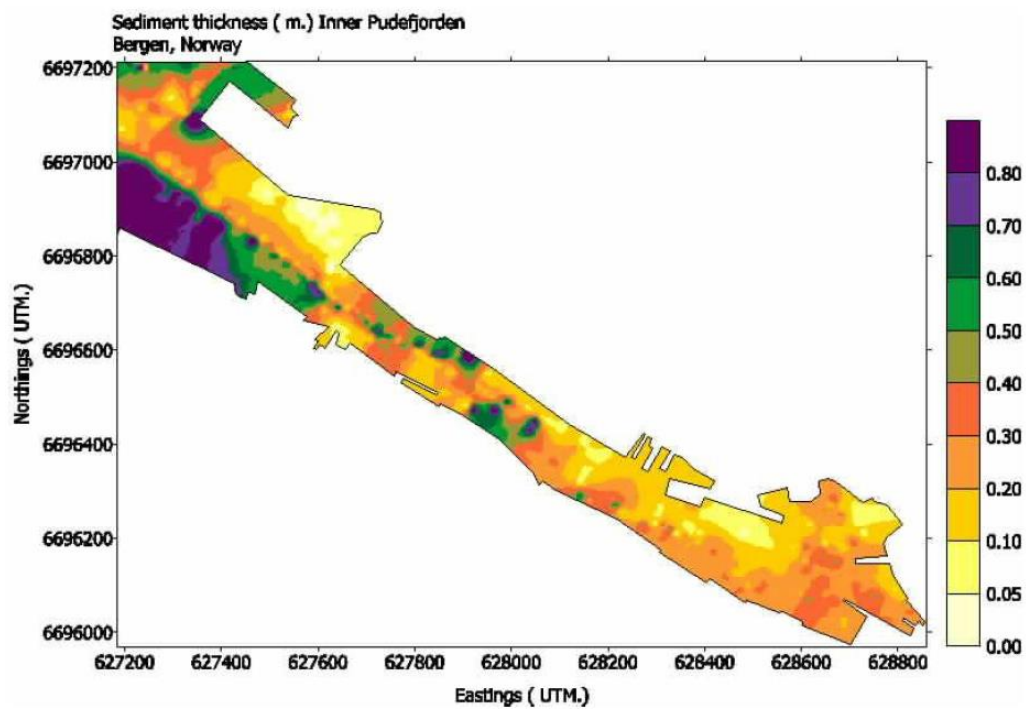
Figur 4. Dybdeforholdene i Puddefjorden med markert tiltaksområde (svart stiplet linje). Tiltaksområdene for Søreivågen og Nordrevågen er også vist i henholdsvis rød og grønn stiplet linje. Navn på delområder fra risikovurderingen er vist

En analyse av sedimenttykkelse i Puddefjorden på bakgrunn av seismiske data utført av GeoCom v/Taco Wever (Figur 6), antyder at sediment tykkelsen er begrenset (<1 m). Sivertsen (2000) (20) konkluderer med at det er generelt lite sedimenter i Puddefjorden på grunn av strømningsforhold bestemt av vind, tidevann og topografi. Sedimentkjerner som er tatt i Puddefjorden er stort sett kortere enn 0,5 m, og indikerer også en begrenset mengde forurensede sedimenter. Kornstørrelsen i sedimentene varierer mye fra område til område og må vurderes i forhold til potensielle tiltak detaljprosjekteringen (Figur 7 og Figur 8).

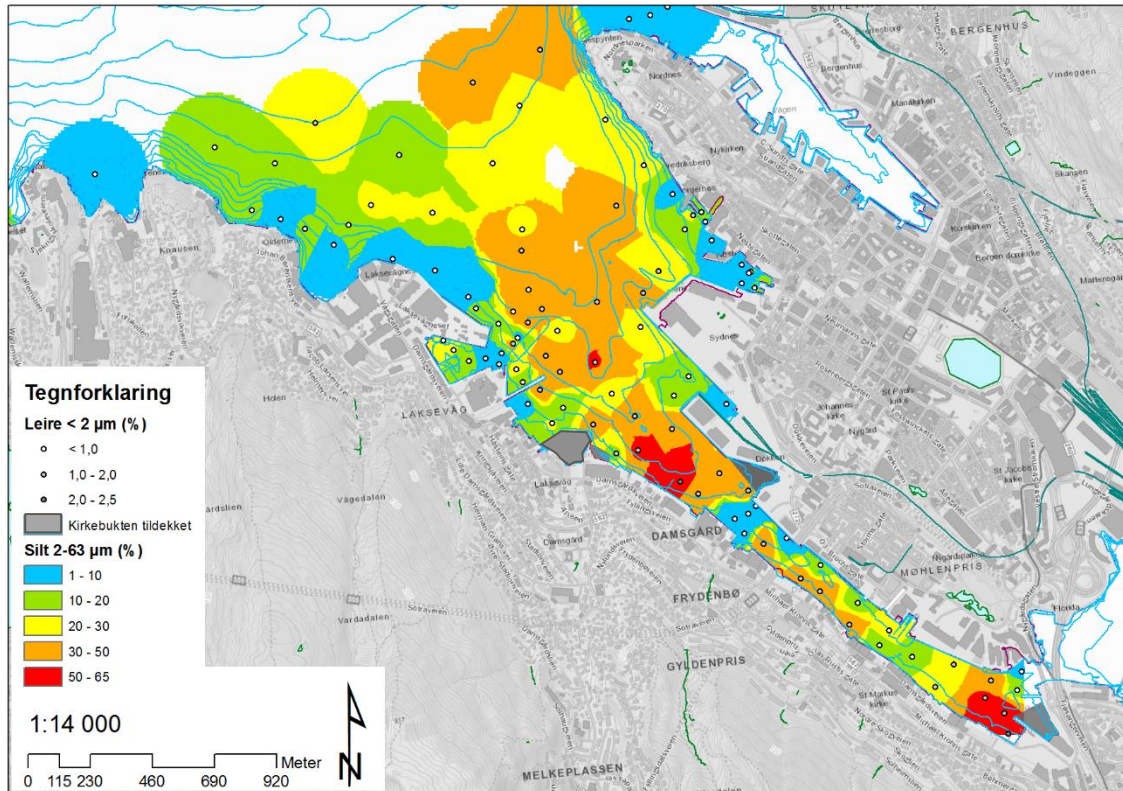




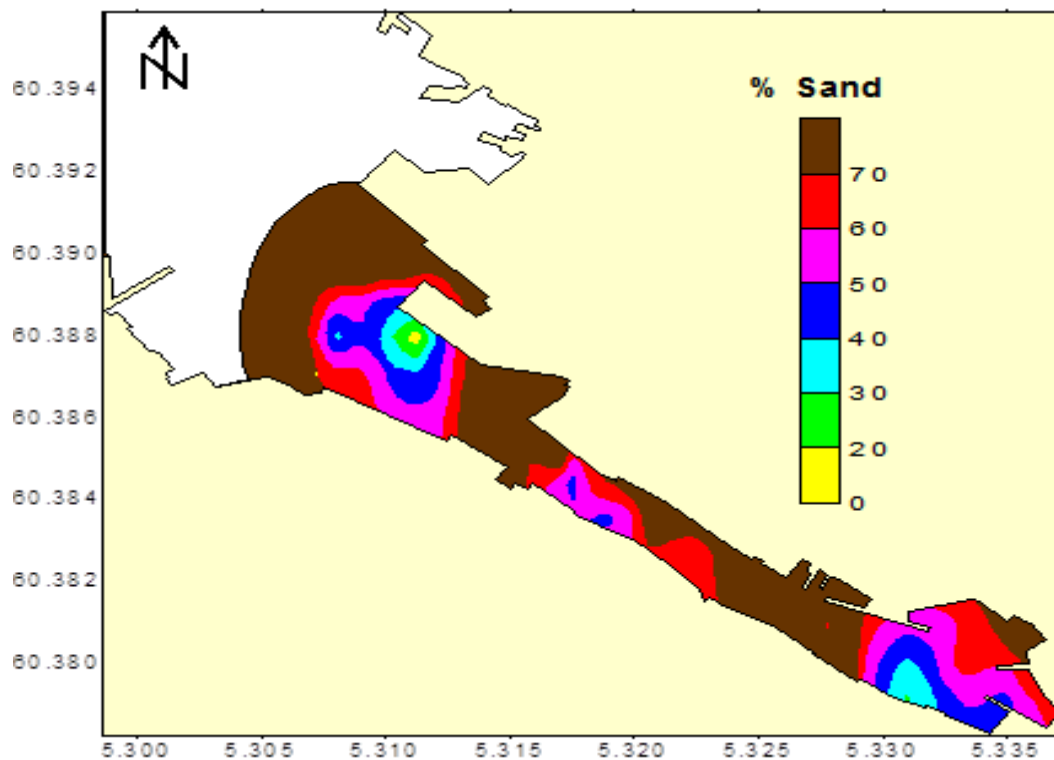
Figur 5. Helningskart for tiltaksområdet indre Puddefjord basert på 1-m koter. Området er forholdsvis flatt med enkelte unntak ved kaiområder. Områder under 26,5 ° i helningsvinkel kan regnes som stabile for tynnere sjikt av tildekkingsmateriale, men det bør gjøres en vurdering i forhold til TBM-masser i detaljprosjekteringen.



Figur 6. Beregnet sediment mektighet for de indre deler av Puddefjorden. Figuren er laget av GeoCom v/Taco Wever på bakgrunn av seismiske data tatt under et tokt i februar 1998 (3).



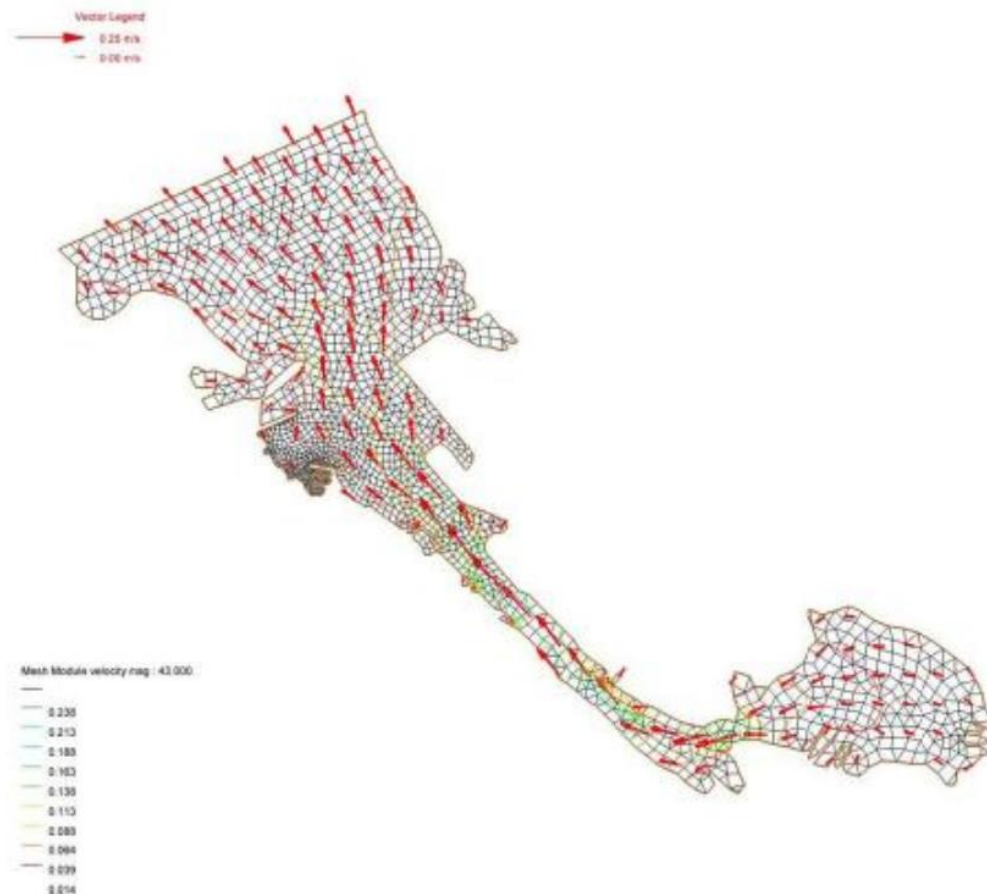
Figur 7. Kornfordeling i Puddefjorden med andel silt karakterisert etter farge i %. De fleste prøvene er tatt i forbindelse med prøvetaking for kjemiske sediment analyser hvor steiner og grus fjernes fra prøven og bidrar dermed til et bias i resultatet. Det er dermed sannsynlig at det er en høyere andel grus og stein i prøvene.



Figur 8. Kornfordeling i indre Puddefjord i 0-2,5 cm sediment dyp fra 2000 (20).

## 2.1.2 Strømforhold

Strømforholdene i Puddefjorden er påvirket av tidevann og vind. NIVA utførte en modellering av strømforholdene i Kirkebukten og Puddefjorden (21), og fant at de sterkeste strømmene var i de ytre delene av fjorden (opp mot  $1,5 \text{ ms}^{-1}$ ), men at det i kanalen (Damsgårdssundet, Solheimsviken) mellom Store Lungegårdsvann og indre Puddefjorden kan opptre strømhastigheter opp mot  $0,25 \text{ ms}^{-1}$ . I det nordvestlige hjørnet av Store Lungegårdsvann ble det registrert strømhastigheter i forkant av utfylling i 1998, hvor maksimal middelværdi var  $0,027 \text{ ms}^{-1}$  for den grunneste målingen (1,5 m dyp). Maksimal verdi for innstrømmende vann var på  $0,22 \text{ ms}^{-1}$  på 1,5 m vanddyb, og  $0,20 \text{ ms}^{-1}$  på 5,5 m vanddyb. Strømmålinger utført i Nordrevågen i den ytre delen av Puddefjorden viser en maks hastighet på  $0,18 \text{ ms}^{-1}$  på 2 m vanddyb, og  $0,13 \text{ ms}^{-1}$  på 24 m dyp (22). Modelldataene antas dermed å vise et realistisk bilde av strømningsforholdene i Puddefjorden (21), men det er sannsynlig at enkelte områder har sterkere strømmer som eksempelvis langs land ved Marineholmen. Detaljprosjekteringen bør vurdere å etablere strømmålere i Puddefjorden for å ha oppdaterte data på strømhastigheter.



Figur 9. Øyeblikksbilde av sirkulasjonsmønsteret i Puddefjorden (Figur 8d) (21). I denne modellen er det sterkeste strøm gjennom Solheimsviken og Damsgårdssundet ( $0,25 \text{ ms}^{-1}$ ).



## 2.2 Forurensningstilstand og risikovurdering

Det ble utført en supplerende sedimentundersøkelse og risikovurdering av forurenset sjøbunn i Puddefjorden i perioden mai 2014 til februar 2015 (1). Grabbprøvene fra sedimentundersøkelsen (0-10 cm) ble analysert for metaller (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Zn), organiske miljøgifter (PCB<sup>7</sup>, PAH<sup>16</sup>, TBT), organisk innhold (TOC) og kornfordeling. I tillegg ble det utført toksisitetstester for porevann med *Crassostrea gigas* (østerslarver), *Skeletonema costatum* (marin alge), *Tisbe battaglia* (hoppekreps) og DR CALUX, samt en helsedimenttest med krepsdyret *Corophium volutator*.

Resultatene fra sedimentundersøkelsen i 2014 gav sammen med tidligere undersøkelser et tilstrekkelig grunnlag for risikovurderingen som ble utført i 2015 (1). Trinn 1 av risikovurderingen gav overskridelser for mange parametere i samtlige delområder. De indre delene av Puddefjorden som inkluderer Solheimsviken (SV), Damsgård (DS), indre Puddefjord vest (IPV), indre Puddefjord øst (IPØ), Søreivågen (SØ) og Hurtigrute-Nøstekai (HN) er alle sterkt forurenset med blant annet kvikksølv, PAH forbindelser, PCB og TBT (Tabell 1).

Tabell 1. Gjennomsnittsverdier i sedimentene i delområdene (SV=Solheimsviken; DS=Damsgård; IPV=indre Puddefjord vest; IPØ=indre Puddefjord øst; HN=Hurtigrute-Nøstekai-Dikkedokken) som er inkludert i tiltaksområdet karakterisert i henhold til TA-2229/2007 (1). Søreivågen (SØ), Nordrevågen (Nor), Store Lungegårdsvann (StL) og Vågen er inkludert for å gi et sammenligningsgrunnlag. Samtlige delområder i indre Puddefjord er forurenset tilsvarende tilstandsklasse V for kvikksølv og TBT.

		SV	DS	IPV	IPØ	HN	SØ	Nor	StL	Vågen
Arsen, As	mg/kg TS	15,2	17,3	18,3	13,3	11,0	27,0	18,0	9,3	16,0
Bly, Pb	mg/kg TS	170	224	224	154	193	405	110	131	371
Kadmium, Cd	mg/kg TS	0,81	0,98	0,50	0,64	0,96	0,05	0,80	0,91	2,03
Kobber, Cu	mg/kg TS	311	318	269	177	203	590	152	145	257
Krom, Cr	mg/kg TS	42	59	94	75	32	105	732	54	71,8
Kvikksølv, Hg	mg/kg TS	2,06	2,97	4,58	2,90	2,57	5,80	1,78	1,29	6,1
Nikkel, Ni	mg/kg TS	19,3	16,9	74,4	26,3	15,8	41,7	25,4	26,3	25,9
Sink, Zn	mg/kg TS	490	441	402	282	229	804	342	374	633
Naftalen	mg/kg TS	0,06	0,42	0,17	0,19	0,14	0,20	0,24	0,06	0,75
Acenaftalen	mg/kg TS	0,01	0,07	0,05	0,63	0,33	0,11	0,15	0,02	
Acenaften	mg/kg TS	0,06	0,12	0,25	0,29	0,52	0,35	0,19	0,03	
Fluoren	mg/kg TS	0,08	0,23	0,31	1,13	1,07	0,56	0,16	0,05	
Fenantren	mg/kg TS	0,66	1,46	2,25	4,70	8,05	3,05	1,15	0,36	
Antracen	mg/kg TS	0,21	0,40	0,57	1,70	2,89	0,89	0,33	0,15	
Fluoranten	mg/kg TS	1,41	1,89	3,79	7,27	12,60	3,97	2,46	1,17	
Pyren	mg/kg TS	1,29	1,73	3,26	6,09	11,78	3,47	2,09	1,52	
Benzo(a)antracen	mg/kg TS	0,59	0,80	1,58	3,13	5,71	1,61	1,23	0,90	
Krysen	mg/kg TS	0,97	1,19	1,77	3,04	5,28	1,25	1,43	0,69	
Benso(b)fluoranten	mg/kg TS	0,98	1,40	2,32	4,92	6,65	2,38	2,54	1,08	
Benzo(k)fluoranten	mg/kg TS	0,50	0,71	1,21	2,52	3,73	1,11	2,54	0,48	
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	0,92	1,25	2,20	4,30	6,98	2,25	1,48	1,15	
Indeno(1,2,3,c,d)pyren	mg/kg TS	0,69	1,00	1,94	3,17	3,77	1,46	1,09	0,84	
Dibenzo(a,h)antracen	mg/kg TS	0,13	0,14	0,26	0,63	0,87	0,29	0,28	0,15	
Benzo(g,h,i)perylen	mg/kg TS	0,66	0,91	1,40	2,28	3,64	1,05	1,07	0,70	
Sum PAH(16)	mg/kg TS	9,2	13,7	23,3	46,0	74,0	24,0	15,5	9,4	
Sum PCB_7	mg/kg TS	0,07	0,12	0,45	0,07	0,04	0,34	0,44	0,13	0,17
Tributyltinn	µg/kg TS	2810	2575	1480	1125	221	7041	1247	2018	481

I trinn 2 av risikovurderingen av forurenset sjøbunn i Puddefjorden ble det funnet at de grunne områdene innerst i Puddefjorden, delområdene Solheimsviken, Damsgård, Indre Puddefjord vest samt Sørøvågen hadde størst risiko for spredning av forurensning (1).

Skipsverftindustrien har tidligere bidratt til forurensning av vann og sedimenter ved utslipp av antibegreingsmidler (TBT), malingrester, kjemikalier med mere. Ved Fylkesmannen i Hordalands gjennomgang av skipsverft i Puddefjorden i oktober 2014, ble det gitt pålegg om blant annet oppfølging av utslippskontroll ved verftene Noryards BMV (23) og Skjøndal verft (24). Situasjonen er i dag bedre enn tidligere med hensyn til kildekontroll, og det er generelt få og små utslipp fra verftsindustrien. Det er derfor viktig at sjøbunn i nærheten av verftsområdene saneres samtidig med andre områder i Puddefjorden for å hindre spredning av forurenset sjøbunn mellom områdene.

Sammenligning av resultater fra sedimentundersøkelser i hele Puddefjorden mellom 1992-2003 og 2005-2014, viser at det er en nedgang i konsentrasjon av de fleste stoffene i den siste perioden, men det er usikkert om dette er knyttet til at det ble valgt sannsynlige forurensede lokaliteter i den første perioden, eller om det skyldes en kombinasjon av bedre utslippskontroll, naturlig sedimentasjon og andre faktorer. Det er sannsynlig at nedgangen i PCB til dels skyldes at prøvetakingen i den siste perioden også dekker de dypere fjordområdet, samt at blant annet utslippskontroll og sanering av forurenset grunn har bidratt til å minke ny tilførsel av PCB fra land.

*Tabell 2. Data brukt i risikovurderingen fordelt på perioder (2005-2014 og 1992-2003) og antall prøver (n). Tabellen viser kun stoff som er analysert i begge periodene.*

stoff	n	2005-2014	n	1992-2003
As_ppm	116	18	65	21
Pb_ppm	122	242	105	298
Cd_ppm	121	0,3	69	2,0
Cu_ppm	122	299	82	414
Cr_ppm	122	75	77	106
Hg_ppm	122	3,3	105	6,2
Ni_ppm	122	31	76	39
Zn_ppm	122	479	76	734
TBT_ppb	115	3150	3	225
BaP_ppm	117	0,7	7	0,8
ANFT_ppm	119	2,1	16	2,3
PAH_ppm	110	7,4	11	15,4
KPAH_ppb	109	25,9	22	30,6
CB28_ppb	108	12,9	21	11,3
CB52_ppb	110	14,2	32	57,3
CB101_ppb	110	23,7	33	90,8
CB118_ppb	110	29,2	33	47,8
CB138_ppb	110	27,8	33	53,6
CB153_ppb	110	28,5	33	46,4
CB180_ppb	110	17,7	33	35,4
PCB7_ppb	110	69	40	248

## 2.2.1 Forurensningsdyp

I Tiltaksplan for Bergen havn Fase II (4) beskrives det at mektigheten til det forurensede laget i Puddefjorden varierer mellom 20-70 cm (Figur 6). I Solheimsviken er overgangen mellom sterkt forurensede masser og rene masser på mellom 20-40 cm dyp, mens det er noe dypere på sørvest siden av Puddefjorden. Det kan være at overgangen i dag ligger noe dypere siden beregnet gjennomsnittlig sedimentasjonshastighet er på ca. 0.5 cm i året (20).

## 2.2.2 Aktive landkilder

De fleste utslipp av kloakk til Puddefjorden er i dag stanset. Det er antatt at det fortsatt er noe tilførsel av PCB, PAH og tungmetaller fra veitrafikk, eldre industritomter og husmaling via overvann (4). I tillegg kan det være noe partikulær tilførsel gjennom spredning av sedimenter fra Store Lungegårdsvann. Ved ubåtbunken på Laksevåg er det gjort en rekke undersøkelser og tiltak med formål å stanse utslipp av PCB til Nordrevågen. De siste tiltakene har foreløpig vist seg meget effektive (25). Det er fortsatt andre potensielle kilder rundt Puddefjorden, eksempelvis den gamle gassverktomten ved Dokken og verftsområder langs Puddefjorden. Puddefjordsbroen var tidligere en kilde til PCB gjennom maling som ble brukt i en periode mellom 1950-1980, men nå antas det at det er kun mindre mengder gjenværende jord med malingrester som potensielt kan være en kilde. Jartun skisserer at ved et "worst case" scenario kan sandblåsing av PCB-holdig maling fra Puddefjordsbroen ha bidratt med så mye som 1000 kg PCB til omgivelsene (26).

Sammenligning av innhold av kvikksølv i sediment prøver i Puddefjorden fra før 2003 og etter 2005 viser at innholdet i den siste perioden er halvert fra et gjennomsnitt på 6,2 mg/kg til 3,3 mg/kg (1) (Tabell 2). Gjennomsnittlig kvikksølv innhold i sedimentene er likevel 2x grenseverdien for tilstandsklasse V (2). For PCB<sup>7</sup> er det for samme periode snakk om en reduksjon på ca. 72 %, en gjennomsnittlig nedgang fra tilstandsklasse IV til III, mens TBT har hatt en sterk økning i den samme perioden selv om utvalget her er begrenset for perioden 1992-2003. Sedimentasjon av (rene) sedimenter vil bidra til å senke innholdet av forurensede toppsedimenter over tid, men det vil ta lang tid før alt er isolert og ikke lenger spres til biota og vann. Dersom det ikke foretas tiltak i sedimentene er det også sannsynlig at det vil være episoder med sterk erosjon og mye spredning av forurensning fra sedimentene grunnet hendelser som sterke stormer eller propelloppvirvling.

## 2.2.3 Kostholdsråd

Basert på kostholdsundersøkelsen for Bergen Byfjord 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-liknende dioksiner og dypvannsfisk på grunn av høyt

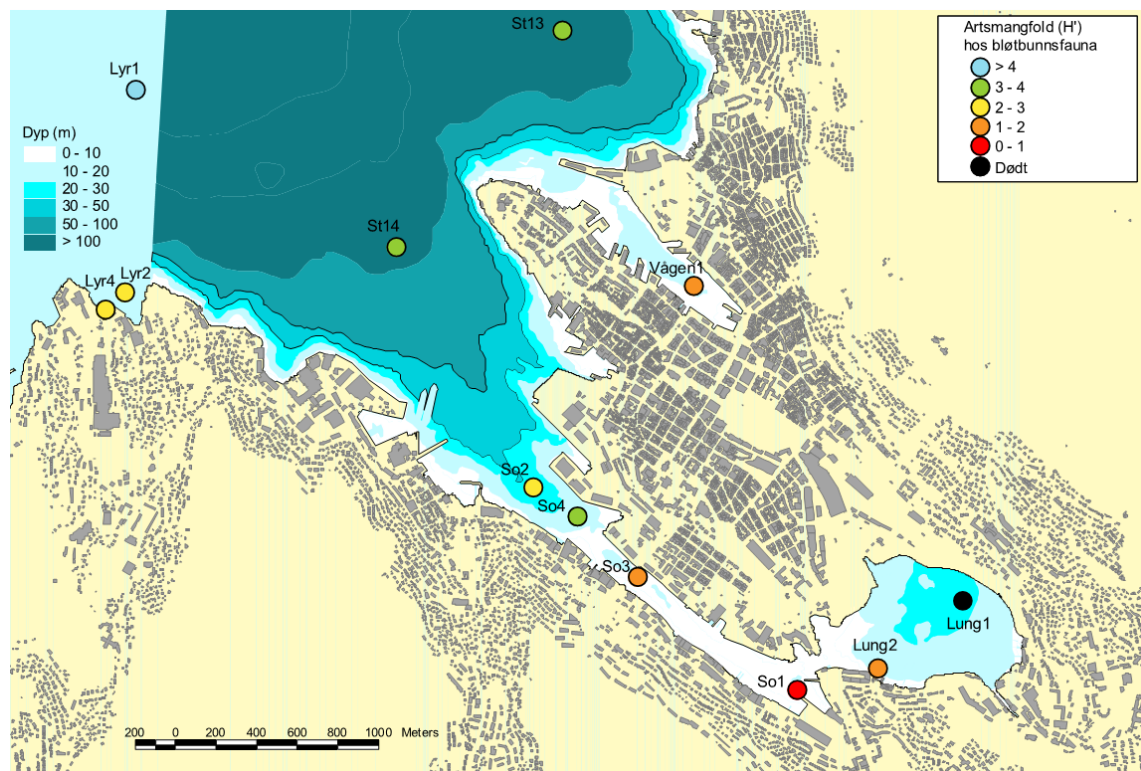
innhold av kvikksølv i brosme og langefilet (27). Gravide og ammende frarådes inntak av all magerfisk fra området på grunn av høye verdier av kvikksølv i torskefilet.

Analyser utført på bunndyr i Puddefjorden og forsøk gjennom bioakkumulering viste at det er betydelig opptak av PCB, kvikksølv og TBT i bunndyr fra Puddefjorden (1).

## 2.3 Naturforhold

Prinsippene for vektlegging av hensynet til natur er slått fast i [Naturmangfoldloven](#). Informasjon om naturforholdene i Puddefjorden er rapportert av Uni Miljø (18). Her er foreliggende kunnskap sammenstilt med data fra Byfjordsundersøkelsen (28) og tiltakets betydning for naturforholdene på stedet er vurdert, inklusiv vurderinger i forhold til rekolonisering av området etter utført tiltak.

I Vedlegg IV – Naturhensyn i TA-2960/2012 (19) anbefaler Miljødirektoratet som en hovedregel at tiltak i sjø ikke tillates i perioden 15. mai til 15. september. Det kan likevel gjøres en spesifikk vurdering i lys av naturforholdene på stedet. Forholdene i tiltaksområdet indre Puddefjord tilsier at det skal være få hinder for utførelse av tiltak i perioden 15. mai til 15. september.



Figur 10. Kartet viser artsmangfoldet i Bergen havn i 1992. Kartet er hentet fra Tiltaksplan Fase 1 (3) og viser at det er minst diversitet i bløtbunnsfauna i Store Lungegårdsvann og i de indre delene av Puddefjorden. Stasjonene So1 og SO<sub>2</sub> er også brukt i vurderingen av naturforhold i 2015 (18), og viser en liten naturlig forbedring i bunnforholdene.

### 2.3.1 Naturmangfold i Puddefjorden

Byfjordsundersøkelsen har blitt utført siden 1972 (28) og en har dermed et godt grunnlag for å se på endringer over tid. Kartlegging av naturtyper i Puddefjorden utført i april 2015 fant tre typer biologisk mangfold; 1) sterkt endret marin fastbunn; 2) oksygenfattig marin sedimentbunn; 3) sterkt endret marin sedimentbunn, hvor alle er karakterisert å ha liten verdi (18).

I littoralsonen fant de en normal fauna for kaier og brygger, mens artsmangfoldet for bunndyr er i tilstandsklasse IV – *Dårlig* for Solheimsviken (So1), og tilstandsklasse III – *Moderat* for Jekteviken (So2) (18). Sammenlignet med resultatet fra tilsvarende kartlegging utført i 1992, er det ingen endring. Dette tyder på at til tross for mange gode tiltak, blant annet med nye kommunale renseanlegg for kloakk, så har det medført små endringer på biomangfoldet (Figur 10). Av rødlistearter er det registrert en forekomst av ål (*Anguilla anguilla*) i Nygårdsparken og Store Lungegårdsvann. I tillegg er det registrerte flere arter av sårbare og nær truede fugler i Puddefjorden (Tabell 3). Det er tidligere også rapportert om ørret som går inn i Store Lungegårdsvann og opp Møllendalselven.

Konsekvensene ved tiltak i sedimentene i Puddefjorden er store for det eksisterende habitatet og vil i praksis bety at det ødelegges. Derimot vil en reetablering/etablering av bunnfauna skje forholdsvis raskt, og innen 2-5 år (18).

Tabell 3. Registrerte arter av sjøfugl i Puddefjorden. Kilde Artsdatabanken.no (18).

Vitenskaplig navn	Norsk navn	Rødlistekategori	Lokalitet	Kilde
<i>Aythya fuligula</i>	Toppand	LC Livskraftig	Sørevågen/ Solheimsviken	Artsdatabanken
<i>Somateria mollissima</i>	Ærfulg	LC Livskraftig	Puddefjorden	Artsdatabanken
<i>Haematopus ostralegus</i>	Tjeld	LC Livskraftig	Marineholmen/ Puddefjorden	Artsdatabanken
<i>Anas platyrhynchos</i>	Stokkand	LC Livskraftig	Puddefjorden	Artsdatabanken
<b>Larus hyperboreus</b>	<b>Polarmåke</b>	<b>VU Sårbar</b>	Kirkebukten	Artsdatabanken
<i>Larus marinus</i>	Svartbak	LC Livskraftig	solheimsviken	Artsdatabanken
<i>Larus argentatus</i>	Gråmåke	LC Livskraftig	Sørevågen	Artsdatabanken
<i>Larus fuscus</i>	Sildemåke	LC Livskraftig	Puddefjorden	Artsdatabanken
<b>Larus canus</b>	<b>Fiskemåke</b>	<b>NT Nært truet</b>	Møhlenpriskaien	Artsdatabanken
<i>Phalacrocorax carbo</i>	Storskarv	LC Livskraftig	Puddefjorden	Artsdatabanken
<i>Phalacrocorax carbo sinensis</i>	Mellomskarv	-	solheimsviken/ Puddefjorden/ Kirkebukten	Artsdatabanken
<i>Larus glaucooides</i>	Grønlandsmåke	-	solheimsviken/ Puddefjorden/ Kirkebukten	Artsdatabanken
<i>Fulica atra</i>	Sothøne	LC Livskraftig	Kirkebukten	Artsdatabanken
<b>Chroicocephalus ridibundus</b>	<b>Hettemåke</b>	<b>NT Nært truet</b>	Marineholmen/ Puddefjorden	Artsdatabanken
<b>Alca torda</b>	<b>Alke</b>	<b>VU Sårbar</b>	solheimsviken	Artsdatabanken
<i>Ardea cinerea</i>	Gråhegre	LC Livskraftig	Puddefjorden/ Kirkebukten	Artsdatabanken
<i>Anser anser</i>	Grågås	LC Livskraftig	Marineholmen/ Puddefjorden	Artsdatabanken
<b>Actitis hypoleucos</b>	<b>Strandsnipe</b>	<b>NT Nært truet</b>	Nygårdsbroen	Artsdatabanken

### 2.3.2 Vannforskriften

Et generelt miljømål i Vannforskriften (§4) er at alle vannforekomster skal ha god økologisk- og kjemisk tilstand. Enkelte vannforekomster kan utpekes som sterkt modifiserte (SMVF) (§5) og for disse er det satt krav om god kjemisk tilstand og godt økologisk potensiale. Forskriften gir også adgang til å utsette fristen for å nå miljømål (§9) og stille mindre strenge miljømål i områder der vannforekomsten er så påvirket av menneskelig virksomhet at det er umulig eller uforholdsmessig kostnadskrevenende å nå målene (§10).

Forvaltningsplan for vannregion Hordaland omfatter vannområde Vest som omfatter ni kommuner, deriblant Bergen. "Forvaltningsplan for vannregion Hordaland" (29) har vært på høringsrunde med frist 31. desember 2014, men det er enda ikke etablert miljømål for vannområde Vest. For Byfjorden indre del (id 0261010800-4-C) er det oppgitt at påvirkningsgraden av de forurensede sedimentene i havneområdet er stor for vannforekomsten og at aktuelle tiltak i Bergen havn indre kan være redusert overløpsdrift av avløpsvann samt mudring og tildekking av forurenset sediment.

Bergen havn er en travel trafikkhavn med store fysiske inngrep. Området er sterkt påvirket av menneskelig aktivitet, og kaianlegg utgjør mer enn 50 % av kystlinjen i Puddefjorden og Vågen. Sedimentene i Bergen havn er sterkt forurenset av flere miljøgifter, og den økologiske tilstanden i bunnsfaunaen er i tilstandsklasse IV – "Dårlig" i Solheimsviken (28). I nasjonale forslag benyttes forurensningsgrad i biota, vannmasser og sedimenter som indikator for godt økologisk potensial i kystforekomster.

Gjennomføring av opprydningstiltak i Puddefjorden som bedrer tilstanden i sedimentene, det være gjennom tildekking eller mudring, vil dermed være viktige bidrag til å nå Vannforskriftens mål om en bedre kjemisk tilstand.

## 2.4 Geoteknisk undersøkelser

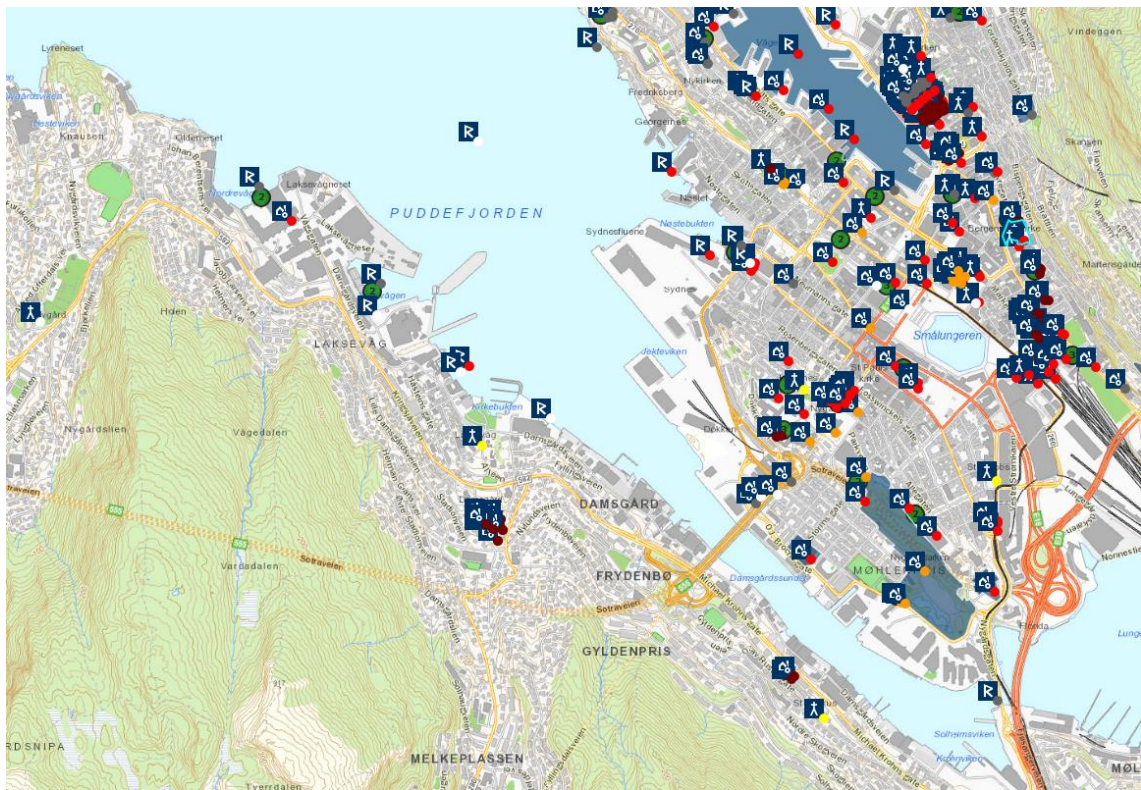
Det meste av indre Puddefjord er forholdsvis flat med helning opp til 15°, mens det er noe brattere ved Dikkedokken og enkelt kaiområder (Figur 5). Det er utført mange geotekniske undersøkelser i Puddefjorden og nærliggende landområder i forbindelse med landvinning og bygging av boliger, samt utført flere undersøkelser av sedimentene i Puddefjorden. De fleste steder er det "Bergensleire" som er et meget fast og velgradert morenelag som ligger på fast fjell. Videre viser sedimentundersøkelser at det er forholdsvis lite sedimenter i Puddefjorden (< 1 m). Indre del av Solheimsviken har en større andel silt og løsere sedimenter (1), men dette vil påvirke stabiliteten i mindre grad siden området er forholdsvis flatt. Tildekking av forurenset sjøbunn ansees derfor ikke å gi store utfordringer i forhold til stabilitet og geotekniske vurderinger, men vil i helhet gjennomgås i detaljprosjekteringen. En helning opp til 26,5° regnes som stabilt for tynnere tildekkingsjikt (30).



## 2.5 Kulturminner

Det ligger en del registrerte kulturminner i tiltaksområdet (Figur 11). Blant annet er det et admiralitetsanker trolig fra siste halvdel av 1800-tallet (lokalitets ID 148640), og en skipslast med blant annet kleberstein fra 1500-tallet som antakelig er nær Strømmen ved gamle Nygårdsbro (lokalitets ID 123053).

Det foreligger en uttalelse fra Bergen Sjøfartsmuseum om kulturminnegrunnlag i Puddefjorden hvor området ansees å ha varierende men moderat funnpotensiale (Vedlegg Marinarkeologisk notat i søknad til Fylkesmannen i Hordaland om tiltak i sjø). Det legges til grunn at anbefalinger i TA-2614/2009 (31) i størst mulig grad følges, og at Askeladden-registeret utnyttes aktivt i videre detaljprosjektering. I referat fra møte mellom Riksantikvaren, KLIF og prosjektgruppen i Renere Bergen havn 17.12.2012 ble det notert at "Puddefjorden er ikke en del av Middelalderbyen og det forventes ikke marinarkeologiske verneverdier i dette området".



Figur 11. Kulturminner i Puddefjorden registrert i Askeladden. Få kulturminner ligger innenfor tiltaksområdet, men i detaljprosjekteringen bør det vurderes i samråd med Sjøfartsmuseet om enkeltfunn skal tas opp i forkant av tiltak.

## 2.6 Planer, aktiviteter og installasjoner i området

Forurenset sjøbunn i Nordrevågen og Sørrevågen er ansvarsområdene til henholdsvis Forsvarsbygg og Marin Eiendomsutvikling og er ikke inkludert i denne tiltaksplanen. Det

utarbeides tiltaksplaner for disse to områdene i løpet av mai/juni 2015. For Puddefjorden som helhet er det en fordel at prosjektene koordineres i tid, slik at risikoen for rekontaminering mellom områdene minimeres.

## 2.6.1 Installasjoner

Det ligger flere sjøledninger sentralt i Puddefjorden som brukes til varming/kjøling av byggene til Rieber AS på Marineholmen og Solheimsviken (Figur 13). I tillegg krysser strømkabler Puddefjorden rett ved Puddefjordsbroen. Interessene og tiltak i forhold til disse installasjonene vil bli vurdert og ivarettatt i forbindelse med detaljprosjektering. På generell basis vil større sjøledninger kunne bidra til at det "lekker" forurensning fra sjøbunnen nær installasjonene ved at man ikke kan utføre tiltak, i særdeleshet gjelder dette for mudring. For sjøledninger som brukes til varmeutveksling kan tildekking være positivt ved at de isoleres, men det kan også gi utfordringer knyttet vedlikehold.

*Småpudden*, den nye gang- og sykkelbroen fra Løvstakken til Nygårdsparken er under bygging og skal være ferdigstilt til 30. juni 2016. I byggeperioden kan den representere utfordringer i forbindelse med tiltak i Solheimsviken/Damsgård. Broen vil ha en seilingshøyde på 4,5 m når den er lukket og 20 m seilingshøyde når den er åpen. Det kan være nødvendig at det må gjøres avtaler om at broen åpnes i lengre perioder når det jobbes med tiltak i Solheimsviken.

Det er inngått en utbyggingsavtale mellom Bergen kommune og Marineholmen Forskningspark AS for utbygging av tidligere Mjellem & Karlsen verft (12.02.2015). I planene ligger det inne en oppgradering av kaiområdene tilpasset gående og syklende. Det er viktig at det opprettholdes kontakt for eventuelt å kunne gjøre spesielle tiltak i sjøen som er tilpasset fremtidige planer og bruk av området.

Det planlegges å legge en ny sjøledning for UiB som går ut fra Jekteviken og følger eksisterende sjøledning ut til ca. 150 m dyp (Figur 13). I Jekteviken er det høye konsentrasjoner av PAH og det er en fordel å fjerne eller dekke til massene i dette området før ny sjøledning legges ned. Det anbefales at det gjøres tiltak i forkant av utlegging av ny sjøkabel.

## 2.6.2 Kommunedelplan Bergen indre havn

Ny kommunedelplan ble vedtatt i Bergen bystyre 14. mai 2012. Hovedpunkter fra planen er følgende:

- › Havnefunksjoner og annen sjørettet virksomhet er i dag spredd over et stort område i Bergen indre havn. Dette har bakgrunn i byens historie, men kan ofte være lite rasjonelt i forhold til dagens krav til havnedrift. Som en følge av dette prøver ny kommunedelplan å konsentrere og effektivisere like havneaktiviteter.



De viktigste momentene i planen, og deres mulige virkning på oppryddingsarbeidet i Puddefjorden (og Vågen) er følgende:

- › Vågen beholdes som havn for regional båttrafikk, gjestehavn og avlastningskaier.
- › Utenlandsferjene flyttes fra Skolten/Festningskaaien til Dokken/Nøstet. I tillegg skal det etableres en ny pir med direkte tilknytning til Hurtigruteterminalen.
- › Skolten og Festningskaaien videreutvikles som cruisehavn med kobling til kultur og turisme i bygninger på land.

Gjennom økt aktivitet ved Dokken/Nøstet/Hurtigruteterminalen vil områder som utsettes for erosjon gjennom propelloppvirvling kunne økes. Det er derfor en fordel om tiltak i Puddefjorden omfatter disse områdene slik at en er føre var og unngår rekontaminering og spredning av forurensning etter tiltak. Tiltak i disse områdene vil bli gjennomgått i detaljprosjektering, og må ha særlig fokus på kulturminner og aktive havneområder.

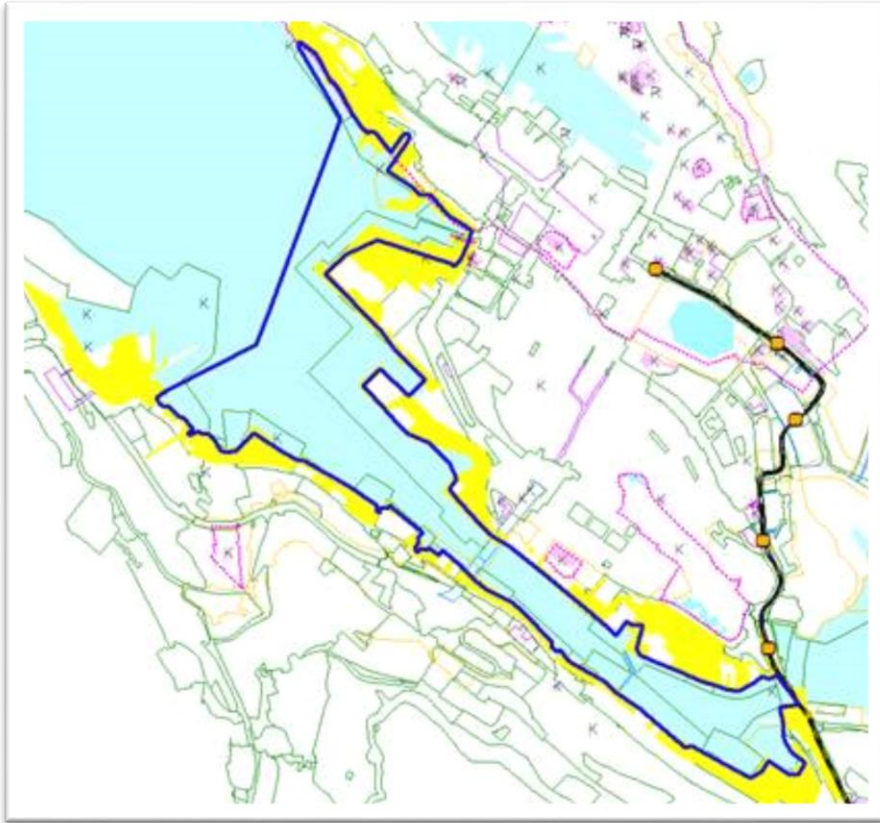
### 2.6.3 Virksomheter, naboer og interessegrupper

Det er mange som potensielt blir berørt av dette tiltaket i og med at det vil foregå over lengre tid og det er et bynært område med mange boliger. En oversikt fra Bergen kommune (Figur 12) viser at det er 380 eiendommer med et noe mindre antall eiendomshavere som vil være direkte i kontakt med tiltaksområdet. Bergen kommune og Bergen og Omland havnevesen (BOH) jobber med planer for hvordan informasjon om planlagte tiltak skal nå ut til beboerne i Bergen generelt og for de som er direkte berørt spesielt. Bergen kommune vil ha ansvaret for informasjonsplanen og kommunikasjon med de berørte parter.

Det er flere småbåthavner i indre Puddefjord som potensielt representerer utfordringer knyttet til tiltak. Detaljprosjekteringen vil avdekke om det er nødvendig å finne midlertidige båtplasser andre steder mens tiltakene i Puddefjorden utføres.

### 2.6.4 Bergen og omland havnevesen (BOH)

BOH har stor havneaktivitet langs kaiene fra Møhlenpriskaien i sør til Hurtigrutekaien i nord. Ved detaljprosjektering er det viktig at BOH har en aktiv rolle for å få avklart forhold som kan være til hinder for havnedriften. Det kan være aktuelt å samkjøre prosjekter knyttet til tiltak i forurenset sjøbunn, med eventuelle tiltak knyttet til drift av kaianlegg gjennom mudring for utdyping av havneområder og erosjonssikring.



Figur 12. Kartutsnitt som viser alle eiendomshavere rundt tiltaksområdet. Eiendommene er markert med gult og liste over eiere ligger vedlagt (Vedlegg 2 i søknad til Fylkesmannen i Hordaland om tiltak i sjø).



Figur 13. Bildet viser sjøledningen til Rieber som ligger sentralt i Puddefjorden. Dimensjonen på sjøledningen er 1200 mm.

## 3 Miljømål

De overordnede miljømålene for Renere Havn Bergen ble vedtatt av Bergen bystyre 28.05.2015, sak 131-15. Foreslåtte miljømål for Puddefjorden skal behandles av Bergen bystyre i løpet av sommeren 2015. Tiltaksmål ved tildekking av indre Puddefjord er også foreslått.

### 3.1 Overordnede miljømål Renere Havn Bergen

Prosjektgruppen for Renere Havn Bergen foreslo oppdaterte miljømål for hele Bergen havn og Vågen, og disse ble vedtatt i Bergen bystyre 28.05.2015 (32; 33). De overordnede miljømålene for Renere Havn Bergen gjelder også for Puddefjorden. Bergen bystyre vedtok i 2013 at det må utføres tiltak i hele Vågen og Puddefjorden for å begrense spredning av forurensning av miljøgifter i Bergen havn (Bergen kommune. Bystyre sak 53-13.2013).

De overordnede miljømålene for Renere Havn Bergen legger grunnlaget for miljømål og tiltaksmål som foreslås for Puddefjorden.

#### **Overordnede miljømål for Renere Havn Bergen:**

- *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.*

#### **Miljømål for tiltak i Vågen**

- *Spredning av miljøgifter fra sedimentene i Vågen skal reduseres med 80%.*
- *Ny tilførsel av miljøgifter fra land skal minimaliseres.*
- *Tiltak skal utføres skånsomt for å bidra til bevarelse av kulturminner i området.*
- *Tiltak skal planlegges og gjennomføres på en måte som er minst mulig til hinder for daglig havnedrift og til minst mulig sjenanse for nærmiljøet.*

## 3.2 Miljømål Puddefjorden

Forslag til miljømål for Puddefjorden bygger på det som er presentert for Bergen havn og Vågen, hvor endelige miljø- og tiltaksmål antas å foreligge i løpet av 2015. Det foreslås følgende miljømål 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.*

## 3.3 Tiltaksmål indre Puddefjord

I "Håndteringsveilederen" TA-2960/2012 (19) gis denne definisjonen av tiltaksmål:

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

På bakgrunn av denne informasjonen settes følgende tiltaksmål for indre Puddefjord:

- ***I de øverste 10 cm av sedimentene skal innholdet av organiske miljøgifter og tungmetaller være i tilstandsklasse II eller lavere i henhold TA-2229/2007, i inntil 4 uker etter avsluttet tiltak.***

Dette tiltaks målet er i tråd med anbefalingene i TA-2960/2012 hvor tilstandsklasse II i sedimentene gjelder i områder hvor kilder til forurensning er sanert, og hvor tilstandsklasse III representerer et lavere ambisjonsnivå i områder hvor landbaserte kilder ikke er stoppet.

Samtidig er det ved tiltak i forurenset sjøbunn risiko for oppvirvling og spredning i større eller mindre grad, som kan medføre høyere konsentrasjoner i sedimentene enkelte steder i tiltaksområdet. Dette vil være særlig relevant for TBT, som til tross for at det ikke er registrert utslipp av TBT siden 2003 ([www.miljostatus.no](http://www.miljostatus.no)), fortsatt finnes i store konsentrasjoner i Bergen havn som følge av tidligere utslipp fra skipsverk og småbåthavner. TBT er flyktig og spres lett, og kan dermed relativt raskt etter tiltak bidra til forhøyede verdier i sedimentene. Miljødirektoratet anser ikke TBT som tiltaksdrivende, men funn av TBT i sedimentene i tiltaksfasen vil kunne være en god indikator på spredning, og er dermed inkludert i tiltaks målet.

Ved funn av sedimenter i tilstandsklasse III eller høyere under anleggsarbeidet, kan en da gjøre tiltak med ekstra tildekking for å nå gitt tiltaksmål.

### 3.4 Bruk og tilstand etter tiltak

Dersom det dokumenteres at tiltaksmålene for Puddefjorden er oppnådd med en forbedret miljøtilstand som resultat, er det rimelig å anta at området også vil bli benyttet mer til bading og annet. Per i dag benyttes enkelte områder ved Marineholmen i Solheimsviken som har trapper ned mot sjøen til bading, men ved eventuell etablering av badeplasser ved Marineholmen kan området i større grad også benyttes av barn.

En opprydding i sjøbunnen 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 og bading. Ved etablering/reetablering av ny bunnfauna vil innholdet av miljøgifter i fisk og bunndyr i Puddefjorden også reduseres, slik at en på sikt kan nå målene om fjerning av kostholdsråd mot fiskemat i Byfjorden og Bergen havn.

### 3.5 GAP – forskjell mellom tilstand 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 4 og 5 vil det på sikt være mulig å oppnå foreslåtte miljømål for Puddefjorden. En oppnåelse av miljømålet for Puddefjorden vil i kombinasjon med andre miljøtiltak i Bergen havn sikre at det vil være mulig å nå de langsiktige miljømålene for Bergen havn.

## 4 Tiltaksvurdering

Det gjøres en generell vurdering av tiltak som kan være aktuelle for sjøbunn grunnere enn 20 m i tiltaksområdet indre Puddefjord. Områdene dekker til sammen ca. **440 dekar** fordelt på 130 dekar for Solheimsviken, 80 dekar for Damsgård, 80 dekar for indre Puddefjord vest, 60 dekar for indre Puddefjord øst, og 80 dekar for Hurtigrutekaien, Nøstekaien og Dikkedokken (se Figur 4). Et tiltaksområde på denne størrelsen kommer inn under kategorien "*Store tiltak*" i TA-2960/2012 (19) da arealet overstiger 30 dekar. *Store tiltak* utløser normalt undersøkelser som *kildekartlegging, sedimentundersøkelser, risikovurdering og naturkartlegging* for både mudrings- og tildekkingsalternativer.

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** (19). Ved mudring har en flere alternativer for disponering/deponering av massene, mens tildekking kan gjøres ved bruk av flere ulike typer masser som kan ha ulike egenskaper og tykkelse.

De ulike metodene for mudring, tildekking og deponering vil bli vurdert opp mot konkrete utfordringer en kan støte på i Puddefjorden, miljømål og kostnader knyttet til tiltakene. De forurensede sedimentene i Puddefjorden representerer en miljørisiko knyttet til spredning, human helse og opptak i organismer, og det er en fordel at det utføres tiltak i hele tiltaksområdet for å unngå rekontaminering. De presenterte metodene har som formål å fjerne forurensede sedimenter fra det naturlige kretsløpet gjennom at de mudres eller isoleres ved tildekking. Ved alle metoder er det fordeler og ulemper som avhenger av eksisterende og planlagt arealbruk, sedimenttype og miljømål.

### 4.1 Null-alternativet

Nullalternativet innebærer at det ikke utføres noen fysiske inngrep i sedimentene på sjøbunnen for å bedre miljøtilstanden. Det er mulig å iverksette tiltak på land for å bedre miljøtilstanden i sjøen ved å for eksempel forbedre kildekontrollen eller minske oppvirvling ved å endre arealbruken i et område, eksempelvis ved å gi restriksjoner på båttrafikk.

Dersom en naturlig forbedring av forurensningstilstanden skjer gjennom tilførsel av rene sedimenter, kan et null-alternativ være akseptabelt. Selv om det generelt er målt lavere innhold av miljøgifter de siste 20 årene sammenlignet med tidligere vil det ta lang tid før en vil oppnå en tilfredsstillende kjemisk og økologisk tilstand (1). Dette er på grunn av at det er få store elver og liten tilførsel av rene sedimenter i nedbørsfeltet til Puddefjorden. Endret arealbruk med en økt

andel boliger som erstatter industri bidrar til at risikoen for påvirkning på mennesker også øker. Politiske beslutninger om opprydding og foreslåtte miljømål gir heller ikke rom for nullalternativet.

**Konklusjon: Nullalternativet ansees derfor som et uakseptabelt alternativ for indre Puddefjord.**

## 4.2 Alternativ 1: Fjerning av forurensede masser

Fjerning av forurensede masser betyr at en må benytte en eller annen form for mudring. Tradisjonelt utføres dette ved bruk av grabb, gravemaskiner eller hydraulisk sugemudring.

### 4.2.1 Mekanisk-hydrauliske mudring

Mekanisk-hydraulisk mudring defineres her som metoder hvor massene løses opp mekanisk før de suges opp fra sjøbunnen til land. Sedimentene i Puddefjorden er i hovedsak løse og det er antakelig unødvendig å bruke mekanisk-hydraulisk mudring.

**Konklusjon: Bruk av mekanisk-hydraulisk mudring er mest sannsynlig uaktuelt i Puddefjorden.**

### 4.2.2 Mudring med grabb

Mudring av sedimenter med grabb til lekter er en av de vanligste metodene for å fjerne sedimenter fra et område. Mudring med grabb kan være en fordel sammenlignet med sugemudring når en jobber med grovere sedimenter. Grabbmudring tilfører mindre ekstra vann enn ved andre mudringsmetoder (10-20 % i tillegg til in-situ volum). Det viktigste momentet er likevel risikoen for spredning som kan være betydelig i et område påvirket av strøm som i tilfellet for Puddefjorden. Etablering av partikkelsperre (siltgardin) kan være utfordrende, og det kan bli gitt vilkår i tillatelsen knyttet til spredning som kan føre til at det blir nødvendig å stanse arbeidet i perioder med stor spredning. Vurdering av kostnader vises i kapittel 4.2.5.

**Konklusjon: Mudring med grabb kan være aktuelt tiltak i Puddefjorden dersom det gjøres avbøtende tiltak.**

### 4.2.3 Sugemudring

Med hydraulisk sugemudring kan en fjerne forurensede sedimenter fra områder med bedre kontroll på masser og spredning. Metoden er derimot mindre god på steder hvor det er grovere masser med steiner eller andre fremmedelementer som kan blokkere innløp. Det er utviklet



egne arbeidsplattformer som gir et tilnærmet vakuum mellom munnstykket og sjøbunnen, og som dermed bidrar til å minke risikoen for spredning av forurensning i vannsøylen. Hydraulisk sugemudring gir et høyt vanninnhold i mudringsmassene (90-95 %) som oftest gir behov for avvanning av sedimentene før de kan deponeres. Andre muligheter ligger i stabilisering og solidifisering (STS) av massene slik at de kan brukes i forbindelse med strandkantdeponi eller i annen landvinning.

Enkelte steder i Puddefjorden vil strømforhold kunne gjøre det vanskelig å kontrollere spredning av partikler gjennom bruk av partikkelsperre, og det er derfor en fordel med et mest mulig lukket mudringssystem. Det vil være noen særlige utfordringer med søppel og gjenstander i sjøen som bør fjernes før tiltak med sugemudring. I områder som grenser til bombemål under 2. Verdenskrig (ubåtbunkerer, indre Puddefjord vest), bør det vurderes å ta særlige hensyn til eventuelle funn av flybomber fra 1944/45. Det bør utarbeides SHA-plan (sikkerhet, helse og arbeidsmiljø) og gjennomføres SJA (sikker- jobb-analyse) ved funn av eksplosiver før tiltakene tar til. I tillegg bør Forsvaret kontaktes i forkant av tiltak slik at rutiner ved funn av eksplosiver er avklart. Det antas at det er generelt større risiko for detonasjon av sprenglegemer som følge av mudring enn tildekking. Vurdering av kostnader vises i kapittel 4.2.5.

***Konklusjon: Sugemudring i kombinasjon med avvanning kan være et aktuelt tiltak i Puddefjorden.***

#### 4.2.4 Avvanning

Det er ofte både nødvendig og hensiktsmessig å avvanne sedimenter før deponering. Det eksisterer flere aktuelle metoder for avvanning og disse kan grovt deles inn i:

- › **Avvanningsanlegg** (mekanisk sedimentasjon/avvanning)
- › **Avvanning med geotekstilposer** (bruk av lekter)
- › **Avrenning via filter til sjø** (strandkantdeponi)

Muligheten til å avvanne mudrede sedimenter er en viktig problemstilling siden det kan være begrensninger i tilgjengelig areal for å utføre avvanningen. Mudrede sedimenter kan ha et vanninnhold på 10-95% avhengig av mudringsmetode. Mudring med grabb gir generelt lavere vanninnhold mens hydraulisk sugemudring gir et høyt vanninnhold. Når det mudres med grabb kan massene derfor oppbevares og avvannes lokalt på lekter, mens det med sugemudring er nødvendig med et større tilgjengelig landområde for avvanning. Sugemudret masse kan derimot transporteres i rørledninger til et tilgjengelig område for avvanning, men om metoden faktisk kan benyttes avhenger blant annet av dybdeforhold.



Et grovt volum overslag for tiltaksområdet i Puddefjorden tilsier at det er ca. 220 000<sup>1</sup> m<sup>3</sup> masse som må fjernes ved en eventuell mudring. Sugemudret masse kan avvannes og lagres i geotekstilposer i dypere deler av Puddefjorden før massene tildekkes. Det kan være mulig å tildekke massene med betongelementer eller fyllmasser for å få landvinning, men dette er mindre aktuelt i Puddefjorden hvor strandlinjen allerede er kraftig utbygd. Lagring av geotekstilposer i dypere områder i Byfjorden ansees også som et tiltak som miljømessig kunne ha vært aktuelt, men som kan være vanskelig å gjennomføre av andre hensyn.

#### 4.2.5 Disponeringsløsninger for mudrede masser

Grunnlaget for å vurdere volum av mudringsmasser er som beskrevet tidligere noe begrenset, men det antas at dybden i gjennomsnitt er ca. 50 cm (20) (kapittel 2.2). Det er interne variasjoner i forurensningsdyptet noe som kan kreve at det tas flere kjerner for å kunne gi bedre volumberegninger før et eventuelt mudringstiltak. Et estimert mudringsvolum på ca. 220 000 m<sup>3</sup> masse dersom de øverste 50 cm fjernes vil gi utfordringer knyttet til kostnader ved deponering. I kapitlet under vurderes ulike alternativer til deponeringsløsninger knyttet til lokale forhold, vurdering av kostnader og miljørisiko.

##### Alternativ 1: Mudring, tildekking og deponering i godkjent deponi

Deponering av de forurensede massene i et godkjent deponi, vil være en god løsning ved at sedimentene er fjernet fra sjøbunnen og lagres slik at de ikke medfører risiko for miljøet. Dersom massene er fjernet ved mudring vil det være nødvendig å avvanne sedimentene før de kan leveres siden sedimentene kan ha mellom 10-90% vanninnhold. Dette krever oftest tilgjengelig landområder og kan være krevende tids- og kostnadmessig. Ved mudring vil det stort sett nødvendig å tildekke etterpå for å nå miljømålene (jmf. Renere Trondheim havn). Kostnadmessig for kun deponering av massene så opereres det med ca. 1100 kr/m<sup>3</sup> noe som kan tilsvare utgifter i størrelsesorden 100 millioner NOK for et område som indre Puddefjord dersom en antar et tørrstoff innhold på 50 % i sedimentene. I tillegg kommer det utgifter til mudring, transport og avvanning som gir utgifter i størrelsesorden 150-200 millioner NOK, og kostnader knyttet til tildekking av områdene etter mudring. Total vil dette kunne utgjøre kostnader i størrelsesorden 3-400 millioner NOK eks mva, tilsvarende ca. 1000 kr/m<sup>2</sup>.

**Konklusjon: Alternativet ansees som aktuelt men har høye kostnader.**

##### Alternativ 2: Lokalt strandkantdeponi Bergen havn (fyllingsfront)

Dersom det er ønskelig å øke landarealet i nærliggende områder (eksempelvis Store Lungegårdsvann, Dokken eller Festningskaaien), så kan det være en løsning å lage et strandkantdeponi. Denne løsningen innebærer at det foretas geotekniske undersøkelser. Deponering av forurensede masser vil være forholdsvis rimelig i et slikt deponi. For større

---

<sup>1</sup> Et grovt anslag basert på 440 dekar og gjennomsnittlig 50 cm forurensningsdyp.

deponi er det skissert med en kostnad på 150-300 kr/m<sup>3</sup> pluss kostnader knyttet til eventuelle bindemidler (100-200 kr/m<sup>3</sup>). Totale kostnader for deponering vil da være 250-500 kr/m<sup>3</sup>, tilsvarende 25-50 millioner kr for tiltaksområdet i indre Puddefjord. I tillegg kommer kostnader til mudring og tildekking (se alternativ 1).

***Konklusjon: Miljømessig og kostnadmessig kan det være en god løsning, men det må tilpasses behov for økt for landareal. Dette ansees ikke som aktuelt i Puddefjorden i dag.***

### Alternativ 3: Deponering i geotekstilposer

Håndtering av de mudrede forurensede massene i geotekstilposer som deponeres i sjø har vært fremgangsmåten flere steder. I Norge er dette utført blant annet i Kristiansund og Sandefjord (19). Geotekstilposer kan fylles på lekter eller liggende på sjøbunnen og kan når de ferdig avvannet, legges ut på dypt vann og senere sikres mot å bli ødelagt og utlekking ved at de dekkes til med sandige eller reaktive tildekkingsmasser. I Oslo havn ble mudrede sedimenter pumpet ned til et dypvannsdeponi og senere dekket til med rene sedimenter. I noen tilfeller hvor massene var grove ble massene sluppet direkte ned fra lekter, noe som har medført mye debatt, kritikk av prosjektet og rettsaker i ettertid.

***Konklusjon: Det antas at metoden er praktisk gjennomførbar, men at det er knyttet usikkerhet til om det er miljø- og omdømmemessig akseptabelt.***

## 4.3 Alternativ 2: Isolering av forurensning -tildekking

Tildekking er en permanent løsning med langtidseffekt. Tildekkingsmasser isolerer forurensning og reduserer transporten av miljøgifter ut av sedimentet og hindrer kontakt med bunnlevende organismer (34). Valg av tildekkingsmaterialer avhenger av strømforhold, behov for seilingsdyp og potensialet for erosjon. Reaktive materialer som f.eks. aktivt karbon har vist at de har gode egenskaper til å binde organiske miljøgifter med kun 1-2 cm tykke dekklag (35; 36), mens de mest vanlige dekkmaterialene har vært sand, grus og stein i større tykkelse. Eek et al. (2008) (34) målte en >99 % reduksjon i diffusjon av PCB og PAH ved bruk av et mineralsk tildekkingsmateriale på 10 cm tykkelse bestående av kalkstein og gneis.

Tynnsjikttildekking (tildekking <15 cm tykkelse) er særlig velegnet i områder hvor det er avgjørende at seilingsdypet opprettholdes, men det kan være sårbart for erosjon dersom det er båttrafikk eller strøm i området. Filterduk har blitt benyttet for å holde opprinnelig sjøbunn adskilt fra tildekkingslag og i kombinasjon med sand/stein-masser for å forhindre erosjon. Det er også mulig å bruke kombinasjoner av reaktive materialer og erosjonssikring (gabioner; nettingvolum fylt med stein i ulik kornstørrelser eller madrasser som består av reaktive materialer og grovere masser).

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

### 4.3.1 Tildekkingsmassenes egnethet

Tildekkingsmassenes egnethet må vurderes i forhold til mange forhold som er beskrevet i TA-2143/2005 (12). I dette ligger det vurderinger av massenes permeabilitet, filteregenskaper, egenvekt, konsolideringsegenskaper mm. Det bør unngås at det bygges opp et for stort porevannstrykk i det forurensete sedimentlaget idet dette kan føre til at det dannes gassbobler under tildekkingslaget. Teoretisk bør tildekkingsmassene være  $>2 \times d_{15\text{sediment}}^2$  (sikrer tilstrekkelig permeabilitet) og  $<5 \times d_{85\text{ sediment}}$  (hindrer utvasking av finstoff).

For noen typer tynnsjikttildekking med reaktive materialer vil bioturbasjon bidra til å frakte de reaktive materialene dypere og dermed binde mer forurensning. Tester med bruk av aktivt kull i tynnsjikttildekking har vist at det kan ha negative effekter på bunnfauna (35). I tilfeller hvor en ikke benytter seg av reaktive materialer bør tildekkingslaget være så tykt at bunnlevende dyr ikke graver seg ned til det forurensete laget ( $>15$  cm).

Tildekkingsveilederen (TA-2143/2005) gir anbefalinger til steds spesifikke vurderinger med hensyn til egnethet av tildekkingsmaterialet. For indre Puddefjord varierer innholdet av silt (0,063-0,002 mm) fra 1-60 % i sedimentene, mens det resterende er sand og grovere masser.

I følge veilederen bør tildekkingsmaterialet i Puddefjorden da bestå av kornstørrelse  $d_{15}$  0,08-30 mm (middels sand til grov grus) til  $d_{15}$  0,012-0,5 mm (grov silt til middels sand) (Tabell 4). I praksis betyr dette at en ikke bør dekke til massene med finere materiale enn det som allerede ligger på sjøbunnen. Et tildekkingsmateriale bestående av sand/grus vil fungere som en fysisk barriere og hindre bioturbasjon og opptak av miljøgifter i organismer. Tildekking kan føre til at porevann presses ut av sedimentene og dermed øke forurensning i vannmassene under tiltak. For Puddefjorden som ikke har grunnvann som trenger inn i sedimentene, vil utpressing av porevann være koblet til selve utleggingsprosessen. Dersom det legges på unødig store tykkelser av tildekkingsmaterialer kan en få unødvendig stor utpressing av forurenset porevann fra eksisterende sjøbunn. Det kan derfor være viktig å beregne nødvendig tildekkingstykkelse basert på sedimentdata. Dette kan gjøres i en detaljprosjektering.

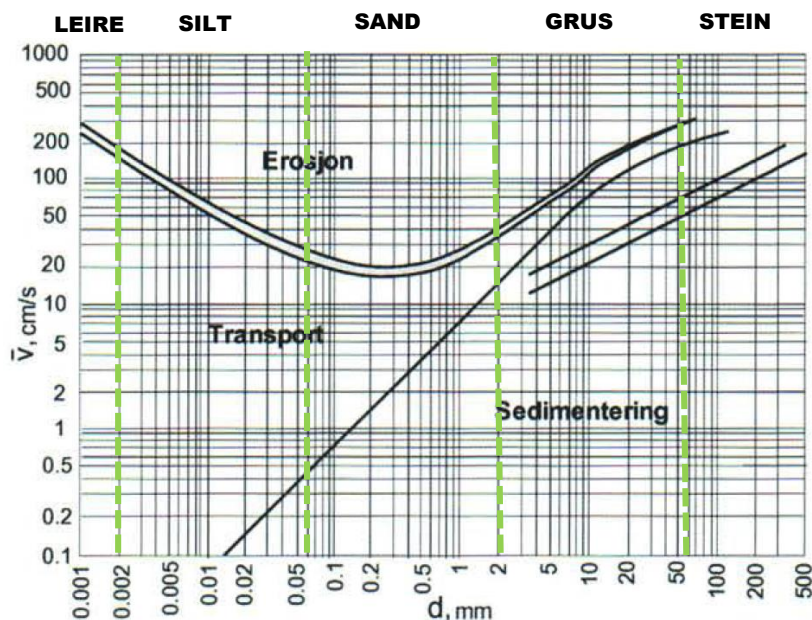
---

<sup>2</sup>  $d_x$  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 TA-2143/2005).

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

Strømmålinger og modellering av strømhastighet i Puddefjorden skisserer strømhastigheter på opptil 25 cm/s (se kapittel 2.1.2). Hjulstrøm diagrammet i Figur 14 beskriver forholdet mellom transport, erosjon og sedimentasjon av ulike kornstørrelser. En strømhastighet på 25 cm/s vil ut i fra denne kunne holde sand/gruspartikler opp til 3 mm i suspensjon. For å få erosjon i sedimenter ved tilsvarende hastighet vil partiklene være mindre enn ca. 1 mm størrelse (sand fraksjonen). De store forskjellene i kornstørrelse i indre Puddefjord kommer hovedsakelig av eksisterende forskjeller i strømhastighet på grunn av tidevannsstrømmer, batymetri, havneaktiviteter og utslipp eller kilde (20). De groveste massene ligger i Strømmen inn til Store Lungegårdsvann, ved terskelen utenfor Puddefjordsbroen og ved Frieleneskaien (Figur 7), på steder som naturlig har større strømhastighet.



Figur 14. Hjulstrøm diagrammet viser strømhastighet og partikkelstørrelse og forholdet mellom transport, erosjon og avsetning. Grønne stiplede linjer viser overgangen mellom ulike kornstørrelsesfraksjoner. Transport av en partikkel av en viss størrelse innebærer at partikkelen allerede er i suspensjon. Kohesive krefter virker sterkere på leir/silt partikler og figuren viser at erosjon skjer raskest i partikler av fin/medium sand. Derfor er det ofte nødvendig å bruke grovere masser til erosjonssikring.

Tildeckningsmaterialets barriereegenskaper og beregning av diffusjon av forurensning og nødvendig tildekkingsmektighet kan utføres i forbindelse med detaljprosjektering av tiltaket (12). Dimensjonering av total tykkelse og antall utleggingslag kan også gjøres samtidig med en vurdering av sedimentets bæreevne under detaljprosjekteringen. Massene må også ha dokumentasjon på at det har vært testet etter testprogram for masser til bruk i tildekking av forurensede sedimenter (TA-2143/2005) (12).

I den nåværende situasjon er det mye småbåttrafikk i Puddefjorden, og det legges til grunn at fremtidig arealbruk av området skal være rekreasjon eller bading. Derfor anbefales det å være konservativ i valg av tildekkingsmateriale og tykkelse med hensyn til sikring mot diffusjon og erosjon. Detaljprosjekteringen må vurdere om eventuelle tildekkingsmasser skal sorteres før bruk slik at en kan bruke den groveste andelen til erosjonssikring.

Ved tildekking på grunt vann (<15 m) er det ønskelig å fordele massene kontrollert i ønsket mektighet ved å bruke en horisontal massefordeler. På dypere vann (>15m) er det også mulig å bruke splittlekter, utpumpingsutstyr, eller fallbunnslekter. Disse metodene vil kunne bidra til mer oppvirvling av sedimentene og dårligere fordeling. Tildekking av reaktivt materiale med 2-3 cm tykkelse på dypt vann har vist seg effektivt (35; 36). Ofte vil 30 cm tildekking med sand være tilstrekkelig for å hindre utlekking og bioturbasjon (34).

### 4.3.2 Rørledninger og småbåthavner

Erfaringsmessig tåler VA-ledninger å tildekkes med inntil 0,5 m sand og grus. Hvilke beskyttelsestiltak som må gjennomføres ved eventuell utførelse må avklares med Bergen kommune. 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 ledninger under utlegging av masser. Det er antakelig ikke noe hinder for å tildekke sjøledningene som går til Solheimsviken og Marineholmen med <50 cm sandige masser, men dette må gås gjennom i detalj før tiltak.

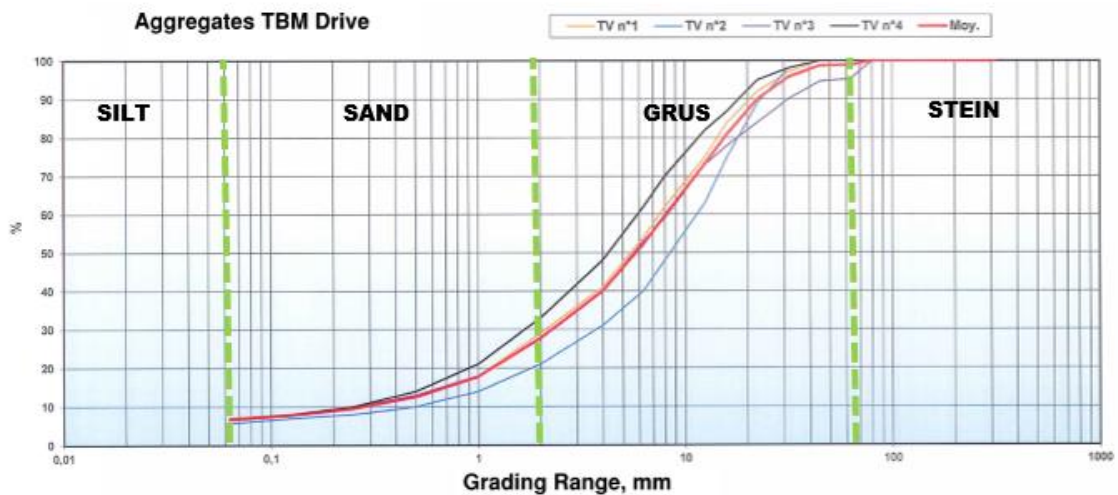
Det må tas spesielle hensyn ved enkelte av småbåthavnene i Puddefjorden. Ved vanddybder mindre enn 10 m vil småbåter kunne virvle opp sedimenter, og det bør derfor gjøres vurderinger av spesielle tiltak for å hindre erosjon i tildekkingsmasser i enkelte tilfeller som:

- Ved småbåthavner med 0-10 m vanddybde kan sedimentene utsettes for erosjon gjennom propelloppvirvling og det bør erosjonssikres med grovere masser.
- Ved Småpudden bro bør det vurderes egnede tiltak for å forhindre erosjon ved brokarene.
- Langs kaiene med trafikk av større båter som ved Møhlenpriskaien, Frieleneskaien og Dokken må det vurderes spesielle tiltak for å hindre erosjon av sediment og tildekkingsmasser fra båtpropeller.

I dag er det tilstrekkelig seilingsdyp for småbåter i Puddefjorden, siden det meste av trafikken er regulert av inngangen til Store Lungegårdsvann. Etableringen av Småpudden legger også begrensninger på seilingshøyde (max 20 m). Båttrafikk er dermed vurdert som mindre begrensende faktor for valg av tildekkingsstykkelser, selv om en også bør ta hensyn til propelloppvirvling fra småbåter.

### 4.3.3 TBM-masser fra Ulriken

Som beskrevet i kapittel 1.1 er, og har, TBM-masser fra Ulriken vært aktuelle til bruk som tildekkingsmateriale for forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann, i Kollevågen på Askøy og Puddefjorden. Kornfordelingen i TBM-masser fra ulike typer bergarter (37) presentert i Figur 15, antyder at det er noe mer finstoff i massene enn det som ble presentert i søknad til Fylkesmannen i Hordaland (9) i forbindelse med søknad om tildekking av Store Lungegårdsvann. Siktekurven for TBM-massene i dag viser at  $d_{15}$  er på ca. 0,6 mm,  $d_{25}$  er på 2 mm (+/-1),  $d_{50}$  er på 6 mm (+/-2) og  $d_{75}$  på 12 mm (+/-3) (Figur 15).



Figur 15. Siktekurve av TBM-masser fra gneis og kalkstein, men det er uklart hvilke  $n^{\circ}$  som representerer de ulike bergartene (37). Grønne stiplede linjer viser overgangen mellom kornfraksjoner fra silt, sand og grus. Kornfordelingen påvirkes av blant annet type bergart, matekraft og størrelsen på kutterhodene i tunnelboremaskinen. Figuren er modifisert fra (37).

Å bruke TBM-masser som tildekking er et rimelig alternativ til andre kommersielle produkter eller nedknust sprengstein. Det er gjort et kostnads estimat som skisserer kostnader på ca. 245 kr pr/m<sup>2</sup> som inkluderer frakt og utlegging av masser. Det er usikkerhet knyttet til innholdet av silt i TBM-massene, men det antas at denne ligger på ca. 5-10 % som vist i Figur 15. Innholdet av silt vil bidra til at materialet er bedre egnet til tildekking enn til bruk som utfyllingsmasse på land.



#### 4.3.4 Nedknust sprengstein

Bruk av nedknust sprengstein som tildekkingsmateriale har vært brukt flere steder i Norge og utlandet. I Norge er det en jevn tilgang til sprengstein gjennom samferdselsprosjekter, noe som kan være en fordel med hensyn til planlegging av tiltak i forurensede sedimenter. Pukk kan også brukes som erosjonssikring. Negative aspekter kan være økonomiske hensyn og frakt av massene som gir utfordringer knyttet til støy og luft forurensning. Kostnadene vil avhenge av fraktavstander.

***Konklusjon: Tildekking av forurensede masser med nedknust sprengstein er et aktuelt tiltak.***

## 5 Anbefalt tiltaksløsning

Det er skissert ulike tiltaksløsninger for forurenset sjøbunn i indre Puddefjord. Den anbefalte tiltaksløsningen for indre Puddefjord er hovedsakelig basert på at det er mye tilgjengelig TBM-masser fra Ulriken. Det sentrale er at TBM-massene vil fungere godt som tildekkingsmateriale og virke som en fysisk barriere mellom forurenset sediment og vannet, og vil dermed hindre utlekking og spredning av forurensning i Puddefjorden. Bergprøver fra den eksisterende Ulrikstunellen er analysert i henhold til TA-2143/2005 Trinn 1 (12), og disse viser gode kjemiske egenskaper i bergarten (13; 14). Siktekurven for TBM-masser tilsier at massene vil være godt egnet for tildekking (kapittel 4.3.3) (37). Tildekking med TBM-masser fremstår som et godt alternativ økonomisk sammenlignet med andre metoder, og samfunnsmessig positivt med tanke på at TBM-massene er mindre egnet til andre formål. Tidsmessig vil TBM-massene være tilgjengelig i ca. 18 måneder fra januar 2016 til juni 2017, hvor det er planlagt kontinuerlig tunneldrift noe som dermed stiller krav til gode mottakrutiner og alternativer ved stans i utlegging av tildekkingsmasser eller ved stans av tunneldriving. Det kan være et alternativ å vaske TBM-massene før utlegging siden dette vil redusere innholdet av finstoff og dermed redusere blakking av vannet, noe som igjen vil gi bedre muligheter til å overvåke utleggingen under tildekkingen. Alternativt kan blakking/spredning av partikler reduseres f.eks ved bruk partikkelsperre. Stedsspesifikke vurderinger som skal tas hensyn til ved bruk av TBM-massene i tildekkingsformål i henhold til TA-2143/2005, er vurdering av naturtilstand, miljømål, risikovurdering osv. De fleste av disse vurderingene er allerede gjennomgått, men ytterlige krav og behov vil bli vurdert og avklart i detaljprosjekteringen.

JBV har opplyst at boringen skal skje med en Gripper TBM Maskin S-935 fra Herrenknecht med en diameter på 9,33 m. Kornfordelingen i TBM-massene vil avhenge av avstand mellom kutterhodene, bergarten og drivehastighet, og vil sannsynligvis derfor også kunne variere gjennom driveperioden på 18 måneder.

### **Som følge av disse faktorene foreslås det følgende valg av metode for opprydding av forurenset sjøbunn i indre Puddefjord:**

- › TBM-masser fra Ulriken brukes til tildekking av forurenset sjøbunn mellom 0-20 m dyp i tiltaksområdet indre Puddefjord (440 dekar).
- › Det anbefales at TBM-massene fordeles slik at sjøbunnen dekkes på en best mulig dekning. Tykkelsen bør være minimum 45 cm umiddelbart etter at massene er anbrakt på stedet, mens den øvre tykkelse ikke bør overskride 60 cm. Statens Vegvesen bruker en omregningsfaktor på 0.88 fra løse masser til anbrakte masser for "morene, sand, grus" og



"øvrig sprengstein" (38). Det vil si at det i gjennomsnitt vil være et 44 cm tykt tildekkingslag av "anbrakte masser" i tiltaksområdet med utgangspunkt i 50 cm løse masser. Vurderinger om nødvendig tildekningstykkelse vil avklares for de ulike delområdene i detaljprosjekteringen.

- › De groveste fragmentene av TBM-massene (>20 mm), alternativt andre grove masser, brukes som erosjonssikring av strandsonen/bryggekannten og ved småbåthavnene. Disse områdene er mest eksponert for strøm og bølgeerosjon. Erosjonssikring bør gjøres med større stein, steinfylte gabioner eller betongmadrasser i de mest utsatte områdene. Dette er mest aktuelt foran BOHs kaianlegg, og vil vurderes i detaljprosjekteringen.
  
- › I områder med høyest forurensning (en "hotspot") kan det være aktuelt å dekke til med reaktive materialer, alternativt mudre mindre områder, i forkant av utlegging av TBM-masser for å minske risikoen for spredning av forurenset sediment under tiltak. Dette kan gjelde mindre områder ved "hotspot" områder utenfor Kirkebukten, ved Dikkedokken og i Jekteviken, og ved enkelte kaianlegg hvor det kan være nødvendig å utføre miljømudringstiltak i stedet for tildekking med TBM-masser, eller alternativt at det mudres til nødvendig dyp for å få plass til erosjonssikring, med formål å opprettholde seilingsdyp. Estimert mudringsvolum ved at 1000 m<sup>2</sup> fjernes rundt "hotspot" områdene ved Kirkebukten og Jekteviken, og 3000 m<sup>2</sup> fjernes i Dikkedokken (totalt 5000 m<sup>2</sup> eller 2500 m<sup>3</sup>), gir ifølge utregningene i kapittel 4.2.5, en kostnadsramme på 5 mill. NOK. Tildekking med reaktive materialer for det tilsvarende området vil ha en kostnadsramme på ca. 2.5 mill. NOK. Tilpassede tiltak ved "hotspot" områder bør vurderes i detaljprosjekteringen.

## 5.1 Miljøgevinst ved tildekking - miljøgiftbudsjett

Det er utarbeidet et miljøgiftbudsjett for tiltaket. Budsjettberegningene har som hensikt å vise hvor mange kg miljøgifter som tas ut av sirkulasjon etter tiltak (TA-2817/2011) (39). Beregning av mengde miljøgifter som fjernes ved tiltaket er utført i henhold til Miljødirektoratets veileder "Nøkkellindikator for det nasjonale arbeidet med forurenset sjøbunn. Retningslinjer for bruk av beregningsverktøy" ved bruk av medfølgende regneverktøy (ta2817\_beregningsverktoy.xlsm).

Ved å legge inn tildekkingsareal, informasjon om antatt forurensningsdyp og stedspecifikke verdier for forurensning i beregningsverktøyet til TA-2817/2011, kan det beregnes hvor mye forurensning som totalt blir fjernet etter at tiltaket i indre Puddefjord er ferdigstilt (39). Resultatene fra denne beregningen er vist i Tabell 5. I beregningsverktøyet legges det til grunn at 50 cm av sedimentene er forurenset, og at de tre områdene med hotspots er fjernet fra beregningsgrunnlaget. Den totale mengde av miljøgifter som isoleres ved et gitt forurensningsdyp på 50 cm i tiltaksområdet er vist i Tabell 5.

Miljøgevinster ved bruk av ulike tiltaksalternativer kan også beregnes ved å bruke TA-2804/2011 "Utredning av muligheter; Bruk av miljøgiftbudsjett ved gjennomføring av tiltak i forurenset sjøbunn" (40). Dette er et verktøy brukt for å føre regnskap over utvalgte parametere i gjennomføringsfasen og gi et totalregnskap ved sluttrapporteringen av oppryddingstiltaket. Bruk av dette beregningsverktøyet vil bli vurdert i detaljprosjekteringen og i dialog med Miljødirektoratet.

Tabell 5. Miljøgevinst ved tiltak beregnet ved bruk av TA-2817/2011. Grunnlaget for beregnet mengde som isoleres ved tiltak er 51 sediment prøver tatt i forkant av risikovurderingen av Puddefjorden (1). 4 prøver fra hotspot områder er utelatt fra beregningene i henhold til anbefalinger i TA-2817/2011.

Stoff	Beregnet mengde isolert [kg]
Arsen	5 184
Bly	64 259
Kadmium	181
Kobber	88 258
Krom totalt (III + VI)	21 320
Kvikksølv	939
Nikkel	9 503
Sink	128 500
Naftalen	60
Acenaftylene	62
Acenaften	55
Fluoren	142
Fenantren	779
Antracen	248
Fluoranten	1 220
Pyren	1 056
Benzo(a)antracen	503
Krysen	549
Benzo(b)fluoranten	775
Benzo(k)fluoranten	403
Benzo(a)pyren	726
Indeno(1,2,3-cd)pyren	531
Dibenzo(a,h)antracen	91
Benzo(ghi)perylene	420
Sum PAH-16	7 619
PCB 28	0
PCB 52	3
PCB 101	5
PCB 118	5
PCB 138	8
PCB 153	6
PCB 180	3
Sum PCB-7	30
Tributyltinn (TBT-ion)	634

## 5.2 Disponeringsløsning tildekkingsmasser

Bergen kommune arbeider med å finne alternativer med tanke på logistikk av TBM-masser fra Indre Arna til Kollevågen på Askøy og Puddefjorden. Det har blitt vurdert frakt med jernbane, lastebiler, båt og lekter, hvor de to første alternativene antakelig ikke er aktuelle på grunn av kapasitetsutfordringer på bane og veiene inn mot Bergen.

### 5.3 Dybde sjøbunn, før og etter tiltak

Indre Puddefjord har vanddybder mellom ~3-20 m og brukes i hovedsak av småbåter. En tildekking med TBM-masser <1 m vil ikke bety praktiske endringer i bruken av farleden inn til Store Lungegårdsvann. Mindre vanddyb kan føre til en endring av strømhastighet siden det ved flo og fjære vil være samme mengde vann som må gjennom et mindre tverrsnitt. Det er ikke utført modellering av endret strømhastighet men det antas at denne kan økes. Økt strømhastighet vil kunne påvirke sedimentasjonen i området ved at mindre silt avsettes i Puddefjorden. Overvåking av strømhastighet før, underveis og etter tiltak bør vurderes i detaljprosjekteringen.

Det ble utført en detaljert bunnkartlegging av Puddefjorden i 2012 med en nøyaktighet på ± 5-10 cm. Nøyaktighet er til disse dataene er vurdert tilstrekkelig til å kontrollere tildekkingstykkelse i hele arealet etter tiltak. Fastsettelse av krav om kontroll gis av Fylkesmannen i Hordaland i forbindelse med søknaden om tiltak i Puddefjorden.

### 5.4 Risiko for nytilført forurensning (rekontaminering) etter tiltak

Tiltaksområde indre Puddefjord inkluderer hele arealet som er grunnere enn 20 m dyp i Puddefjorden bortsett fra mindre områder i ytre Puddefjord hvor det er lite sedimenter, Sørrevågen og Nordrevågen (Figur 4). Ved en tildekking av hele tiltaksområdet vil dermed mesteparten av risikoen for rekontaminering innad i området være knyttet til at sedimenter har blitt virvlet opp under utlegging av tildekkingslaget. Ved å påføre massene skånsomt i flere lag vil risikoen for spredning kunne reduseres.

Langs kaianleggene til BOH har mye av finstoffet allerede blitt fjernet gjennom mudring for å opprettholde kai dybder eller oppvirvling fra store båter (1). Rekontaminering av sjøbunnen fra landkilder kan ikke utelukkes som en faktor, men det er ikke identifisert spesielle punkt kilder selv om det antas at det kan være bidrag fra gasstomten i Jekteviken. I et byområde som Bergen vil det være diffuse forurensningskilder fra land til sjø som på sikt lar seg stoppe ved at det tas hensyn til forurensende maling ved renovering av hus og ved at forurensede masser fjernes etc. Arbeid med kartlegging og reduksjon av transport fra landkilder pågår fortsatt i området rundt Puddefjorden.

### 5.5 Hensyn til naturmangfold

Rapporten om naturtypekartlegging i Puddefjorden (18) viser at området har lav verdi for naturtyper og arts mangfold. Det er heller ikke registrert en forbedring av forholdene fra 1992 til

2015 (se ellers kapittel 2.3). En tildekking med TBM-masser vil bety at bunnfaunaen blir begravet og ødelagt. Det vil derimot ta kort tid før en reetablering av tilsvarende arter tar til. På grunn av at leveforholdene vil endres ved at massene vil bli grovere og av en annen tekstur etter tiltak, så kan det også være at det vil bli en etablering av nye arter på stedet. Ved at forurenset sjøbunn er isolert vil bunndyrfaunaen ikke komme i kontakt med forurensningen, og det forventes at en umiddelbar bedring i leveforholdene. Reetablering/etablering vil skje innen 2-5 år etter tiltak.

Det er registrert forekomster av ål (*Anguilla anguilla*) i nærheten av Puddefjorden, og disse må nødvendigvis også ha vært i Puddefjorden. Det antas at fisk vil fjerne seg fra områder før de dekkes til, men dette finnes det lite dokumentasjon på. Dersom det er mulig å finne avbøtende tiltak for å verne om ål (*Anguilla anguilla*) så bør dette vurderes. Andre avbøtende tiltak for å verne om naturmangfoldet i Puddefjorden er ikke vurdert som nødvendig.

## 6 Tiltaksrettede undersøkelser

I utgangspunktet er TBM-masser tilgjengelig kun i en kortere periode fra januar 2016 til juni 2017. Dersom tildekking av indre Puddefjord skal utføres i denne perioden gis det stramme rammer og tidsfrister for å rekke å utføre tiltaksrettede undersøkelser.

### 6.1 Tiltaksrettede tiltak

For å bidra til et heldekkende sandlag så 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. Selv om det er få marinarkeologiske funn i området anbefales det å vurdere om enkeltfunn skal tas opp i forkant av tiltak. En tildekking av området vil ikke nødvendigvis ødelegge kulturminner, men ved eventuell senere fjerning vil en "punktere" tildekkingslaget noe som vil kunne bidra til spredning av forurensning. Detaljprosjekteringen bør starte så raskt som mulig etter en eventuell godkjennelse av søknaden om tiltak. Planen om informasjon og inkludering av eiendomshavere og interessenter rundt Puddefjorden må iverksettes så raskt det lar seg gjøre etter at det er tatt en politisk beslutning om tiltak. Etablering av referansestasjoner gjennom instrumentering av turbiditet og passive prøvetakere bør ta til i denne fasen.

Det anbefales at de tiltaksrettede tiltakene utføres i løpet av høsten 2015/våren 2016.

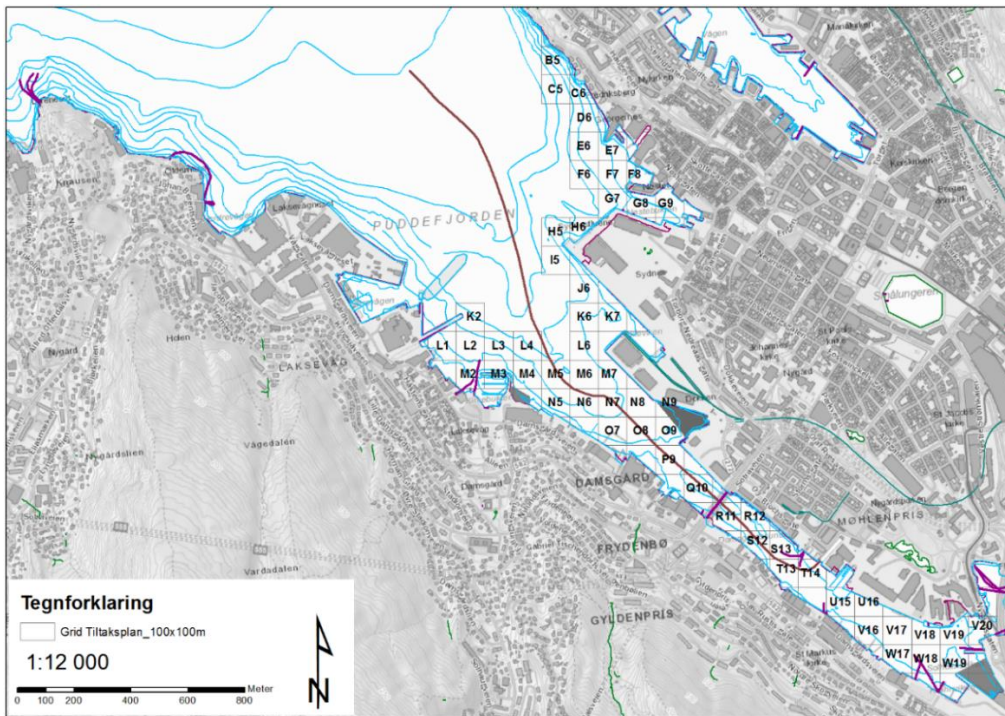
### 6.2 Prioritert rekkefølge av tildekking

Det anbefales at det fortrinnsvis utføres en tildekking av hele tiltaksområdet med ett tildekkingslag (10-15 cm tykt) før det neste laget påføres, men dette må avpasses til forholdene i delområdene og den praktiske gjennomføringen. Denne fremgangsmåten vil minske risikoen for rekontaminering av et nærliggende område gjennom oppvirvling av sedimenter. Siden de bløtteste sedimentene befinner seg i Solheimsviken og Damsgård anbefales det å starte i dette området og jobbe seg utover i Puddefjorden. Det er også en fordel at tiltak i Sørevågen og Nordrevågen utføres samtidig eller i kort tid i forbindelse med tiltak i Puddefjorden for å minske risikoen for rekontaminering.

Den praktiske gjennomføring må utarbeides i detalj i samarbeid med interessenter, småbåthavner, beboere og eiendomshavere i, og langs Puddefjorden. Videre må tiltakene planlegges slik at det kommer i minst mulig konflikt med BOHs bruk av havneområdene og pågående tiltak i Puddefjorden.

Tabell 6. Skissert fremdriftsplan for tiltaksområdet indre Puddefjord.

År	Periode	vår	sommer	høst/vinter
2015	Periode	vår	sommer	høst/vinter
	Tiltak	Tiltaksplan Politisk beslutning Avtale om TBM masse JBV/BK	Konkurransetsetting Søknad om tiltak i sjø (FIH) Høringsrunde Informasjon til eiendomshavere (BK) Kontakt mot eiendomshavere om opprydning	Forberedende tiltak Fjerning av skrot Tiltak for arkeologi Detaljprosjektering Etablering av referansestasjoner
2016	Periode	vinter/vår	sommer	høst/vinter
	Tiltak	Detaljprosjektering ferdigstilles Kontrakt med entreprenører	Tildekking igangsettes Overvåking av tiltak	Tildekking igangsettes Overvåking av tiltak
2017	Periode	vinter/vår	sommer	høst/vinter
	Tiltak	Tildekking ferdigstilles Overvåking av tiltak	Sluttkontroll av tiltak	Sluttkontroll av tiltak Rapportering til Mdir Oppdatering av database (Vannmiljø etc)



Figur 16. Oversiktskart som viser inndeling av tiltaksområdet i 10-dekar kvadranter. Detaljprosjektering vil vise konkrete tiltak innenfor mindre områder.

## 6.3 Detaljprosjektering

Denne tiltaksplanen har gått gjennom ulike alternativer for tiltak i forurensede sedimenter, hvor flere kan være aktuelle. Tiltaksplanen har anbefalt bruk av tilgjengelige TBM-masser for tildekking av forurenset sjøbunn i Puddefjorden, men har ikke til hensikt å presentere en fullstendig detaljprosjektering.

Ved en eventuell godkjenning av søknad for tiltak i Puddefjorden, bør detaljprosjekteringen starte så raskt som mulig på bakgrunn av en stram tidsplan (Tabell 6). Her skisseres opp diverse aspekter som bør vurderes i en eventuell detaljprosjektering:

- › Det bør vurderes å etablere strømmålere i Puddefjorden for å ha gode data på eksisterende strømhastigheter. Kornstørrelsen i sedimentene varierer mye mellom områdene og bør vurderes i forhold til tildekkingsmassens egenskaper.
- › Det bør avdekkes om det er nødvendig å finne midlertidige båtplasser for båtiere som har båtplass i Puddefjorden mens tiltakene utføres.
- › Det bør vurderes hvilke hensyn som skal tas til kulturminner.
- › Det bør avklares hvilke hensyn som må tas til installasjoner, rørledninger etc. på sjøbunnen under eller i forkant av tiltak.
- › Det bør gjøres en vurdering av tildekkingsmassens egnethet og eventuelt beskrive alternative tiltaksløsninger. Videre bør det gjøres stedsspesifikke tilpasninger med hensyn til tildekkingstykkelse, erosjonssikring, bruk av reaktive materialer eller mudring av "hotspot" områder, hensyn til finstoff i tildekkingsmassene etc.
- › Detaljprosjektering må vurdere om det er nødvendig å gjøre videre geotekniske vurdering om hvorvidt massene vil ligge stabilt eller om det er nødvendig å gjøre justeringer i tiltaksplanen for områdene som har størst helning eller har mest infrastruktur på sjøbunnen.
- › Detaljprosjekteringen bør vurdere om det skal utføres målinger og modellering av støv og støy i forkant av oppstart av anleggsarbeidene.



## 7 Kontroll og overvåking av utførelse

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.

### 7.1 Kontroll av tildekkingsmasser

Tildeckingsmassene skal dokumenteres før utlegging. Massene skal tilfredsstillere krav i TA-2143/2005 i forhold til kjemisk innhold og kornfordeling mm, og i forhold til krav som vil bli beskrevet i detaljprosjekteringen. Etter utlegging av tildekkingsmassene skal tykkelsen og utbredelse av tildekkingslaget dokumenteres. Sluttkontroll 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.

I forbindelse med risikovurdering av forurenset sjøbunn i Puddefjorden ble det tatt 51 sedimentprøver fra tiltaksområdet som representerer de siste analyserte prøvene fra området. Disse prøvene vil fungere som "før-tilstand" og vil sammenlignes med prøvestasjoner fra de samme lokalitetene etter ferdig utført tiltak. Omfang 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 (39). Det anbefales her at det tas minimum 35 prøver (1 prøve per 10 000 m<sup>2</sup>) av toppsedimentene (0-10 cm) som analyses for metaller, PAH16, PCB7 og TBT, for å vurdere effekten av tiltaket. Akseptkriteriet er at prøvene tilfredsstillende tiltaksålet som er at toppsedimentene skal være i tilstandsklasse 2 i henhold til TA-2229/2007 (2).

Referansestasjonene som ble etablert som del av tiltaksrettede tiltak vil fungere som kontrollstasjoner i forhold til eventuell spredning av forurensning under tiltak. Det kan være vanskelig å etablere partikkelsperrer i enkelte deler av tiltaksområdet på grunn av strømforhold, men det kan alternativt bli brukt partikkelsperrer som legges rundt utleggingslekteren som vist i Figur 17. Dette kan derimot også være vanskelig i områder eller perioder med sterk strøm. For en mer skånsom utlegging, som vil minske oppvirvling av sedimenter, bør utleggingen av tildekkingsmassene gjøres skånsomt nær sedimentoverflaten (~ 2 m).



Figur 17. Bildet viser hvordan lekteren har soner avgrenset av siltskjørt noe som bidrar til god kontroll på utleggingen av tildekkingsmaterialet.

## 7.2 Overvåking under tiltak

For overvåking ved tiltak brukes gjerne turbiditetsmålinger, vannprøver, sedimentfeller og passive prøvetakere. Turbiditetsmålinger gjøres 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 minuts 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 minuts 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 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 miljøgiftanalyser og ved synlig blakking, slik at vannprøvene tas i området med høyest turbiditet. I følge Lewis` formel for konvertering mellom turbiditet og suspendert sedimentkonsentrasjon (41), 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 fisket (Tabell 7). Tabellen er mindre relevant i forhold til at Puddefjorden er sjøvann og området benyttes lite

til fiske, men det gir en indikator på effekten. Det er også usikkerhet knyttet til om hvorvidt partikler fra TBM vil ha større negativt effekt på fisk enn partikler fra naturlig erosjon, og i hvor stor grad partikler i sjø vil påvirke saltvannsfisk.

En turbiditetsgrense på 10 NTU over et 20 minutt intervall innen 100 m fra utleggingsområdet vil i hovedsak ha til hensikt å kontrollere at det ikke oppvirvles forurenset sjøbunn under tildekning, men også at det tas hensyn til muligheten for at suspendert stoff kan føres til ulike vanninntak i Puddefjorden.

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

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 mange 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 overvåkingemetodene benyttes før og under tiltak for å få et godt sammenligningsgrunnlag.

### 7.3 Avbøtende tiltak

Utlekking av TBM-masser vil kunne medføre oppvirvling av forurensete sedimenter, særlig i områder med bløtere sedimenter. Metodikken ved utlegging bør være så skånsom som mulig for å redusere oppvirvling og spredning.

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 eller i områder som er mindre påvirket av strøm. Dette vil antakelig være tilfellet for Solheimsviken, som vil vurderes og avklares i detaljprosjekteringen.

## 7.4 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 støvsone og nær Danmarks plass som har noen av de høyeste verdiene av svevestøv PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> samt NO<sub>x</sub> og SO<sub>2</sub> i Bergensområdet. Normalt forsøker en å unngå virksomhet som kan øke forurensningsnivået i rød sone i arealplanlegging (42). Detaljprosjekteringen bør gå gjennom og vurdere om det skal utføres målinger og modellering av støv og støy i forkant av oppstart av anleggsarbeidene (Tabell 8).

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 støv og støy.

Tabell 8. Grenseverdier for utendørs støy fra anleggsarbeider (43).

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

## 8 Kostnader og fremdriftsplan

Kostnadsestimatene er delvis basert på NGIs beregninger for Kollevågen, Askøy (17), og på prising av tjenester fra entreprenører.

### 8.1 Kostnader knyttet til forberedelser og tiltak

Kostnadsestimatene er basert på NGIs beregninger for Kollevågen, Askøy (17), som dekker et mindre areal enn Puddefjorden, men som ellers er et sammenlignbart prosjekt med hensyn til transportavstand og massebehov.

Det legges til grunn en tildekkingsstykkelse på ca. 50 cm løse TBM-masser for Puddefjorden, og at massene mottas gratis fra Jernbaneverket. Videre legges det til grunn disse kostnadene:

- › Transport - Dagsrate 2 båter: 80 000 kr
- › Utlegging - Dagsrate 2 lektere: 13 000 kr
- › 160 arbeidstimer pr/dag til 700 kr/timen – dagspris personell: 112 000 kr
- › Tidsbehov: 158 dager basert på tildekking av 2400 m<sup>2</sup> per dag.
- › TBM-masser kr/m<sup>3</sup>: 0 kr
- › Totalt areal 440 000 m<sup>2</sup>, hvorav 60 000 m<sup>2</sup> erosjonssikres
- › Erosjonssikring, kr/m<sup>2</sup>: 300 kr
- › Håndtering/mellomlagring av TBM-masser: 5 000 000 kr
- › Opprydning av skrot på sjøbunnen: 5 000 000 kr
- › Dykkerlag, 100 dager: 2 400 000 kr

**Dette gir en gjennomsnittspris på 220 kr/m<sup>2</sup> for tiltakene i indre Puddefjord.**

**Totalkostnader for indre Puddefjord estimeres å være 97 mill. kr eks mva. Det er knyttet en usikkerhet på 20 % til totalkostnadene.**

## 8.2 Finansiering av tiltakene

Kostnadene knyttet til tiltak i indre Puddefjord er beregnet å være 97 mill NOK eks mva. Dette budsjettet er basert på at det er gratis masser. Det pågår forhandlinger med Jernbaneverket om eventuelt å få dekke noen utgifter, men tilgangen til gratis masser kan uansett sees på som et økonomisk bidrag.

Det forutsettes at Miljødirektoratet dekker 75 % av utgiftene til tiltaket, og 50 % av utredningsutgifter knyttet til miljøtiltaket. 25 % av utgiftene til tiltaket forutsettes finansiert av Bergen kommune og Bergen og Omland Havnevesen. Miljødirektoratet har i brev til Bergen kommune 26.05.2015 (Mdir. ref. 2013/4417), gitt beskjed om at det for Puddefjorden foreligger et grunnlag for en delfinansiering fra Miljødirektoratet tilsvarende 75 % av kostnadene av miljønyttene i tiltaket.



## 9 Totalvurdering og anbefaling

Det er gjennomført en tiltaksvurdering for forurenset sjøbunn i Puddefjorden, Bergen, hvor det er sett på alternativer av mudring og tildekking. Risikovurderingen av forurenset sjøbunn i Puddefjorden som ble utført i 2015, identifiserte at det er en uakseptabel risiko for spredning av forurensning, opptak av forurensning i biota og helserisiko for mennesker ved å la sedimentene ligge. Puddefjorden er sterkt forurenset og det vil ta lang tid før naturlig sedimentasjon vil bidra til en stor bedring i toppsedimentene (0-10 cm dyp).

Det er foreslått følgende miljømål 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.*

Anbefalt tiltaksløsning er å bruke TBM-masser for tildekking av 440 000 m<sup>2</sup> forurenset sjøbunn i Puddefjorden. Ved at Jernbaneverket skal lage ny jernbanetunnel gjennom Ulriken blir det tilgjengelig rundt 900 000 lm<sup>3</sup> masser. Tunnelen skal driver med Tunnel-Bore-Maskin (TBM), noe som fører til at massene er mer finkornige enn ved tradisjonell tunneldriving gjennom sprenging. TBM-massene representerer dermed en god mulighet for å slå sammen to samfunnsmessige gode prosjekter ved å dekke til forurenset sjøbunn med masser som ellers har få bruksområder. Det er behov for ca. 220 000 lm<sup>3</sup> TBM-masser for å tildekke tiltaksområdet indre Puddefjord (440 000 m<sup>2</sup>).

***Tiltaksmål er at i de øverste 10 cm av sedimentene skal innholdet av organiske miljøgifter og tungmetaller være i tilstandsklasse II eller lavere i henhold TA-2229/2007, i inntil 4 uker etter avsluttet tiltak.***

Miljøgiftbudsjettet viser at totalt 940 kg kvikksølv, 30 kg PCB og 64 000 kg bly vil isoleres ved tildekking av tiltaksområdet. Beregningene er basert på et gjennomsnittlig forurensningsdyp på 50 cm og at prøver fra tre særlig forurensede områder er utelatt

Ved godkjenning av tiltak bør detaljprosjektering starte så raskt som mulig og innen 1 måned etter godkjenning.

## 10 Referanser

1. **COWI.** *Forurenset sjøbunn i Puddefjorden - risikovurdering. Rapportnr. A040950-2015-01.* 2015.
2. **Statens forurensningstilsyn (SFT).** *TA-2229/2007. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter.* 2007.
3. **Fylkesmannen i Hordaland.** *Tiltaksplan for Bergen havn, fase I.* 2002.
4. —. *Tiltaksplan for Bergen havn, fase II.* 2005.
5. **COWI.** *Forurenset sjøbunn i Vågen. Oppdatert risikovurdering versjon 2.* 2014.
6. —. *Risikovurdering av forurenset sediment i Store Lungegårdsvann, Bergen. Rapportnr A040950-2014-01.* 2014.
7. —. *Risikovurdering av sjøsedimenter i Nordrevågen, Bergen. Rapport nr. A044959-002.* 2014.
8. **Bergen kommune, Bystyre saksnr 53-13, 2013.** Miljøgifter på havbunnen i Bergen havn, status og oppfølging. 2013.
9. **Jernbaneverket Utbygging/Norconsult.** *Søknad tildekking Store Lungegårdsvann.* 2013.
10. **Fylkesmannen i Hordaland.** *Tillatelse til tildekking av bunnen i Store Lungegårdsvann med steinmasser. Tillatelse nr. 799259592-5-201110387-81.* 2014.
11. —. *Tillatelse til tildekking av forurenset sjøbunn i Store Lungegårdsvann. Tillatelse nr. 799259592-4-201120387.* 2014.
12. **Statens forurensningstilsyn (SFT).** *TA-2143/2005. Veiledende testprogram for masser til bruk for tildekking av forurensete sedimenter (Tildeckingsveileder).* 2005.
13. **Jernbaneverket/SINTEF.** *Prøving av bergarter fra Ulriken tunnel. Laboratorierapport. Dokument nr. UUT-00-A-11621.* 2012.
14. —. *Undersøkelse av bergarter fra Ulriken tunnel for borbarhet og slitasjeegenskaper. Laboratorierapport. Dokument nr. UUT-00-A-11629.* 2013.
15. **Jernbaneverket/Norconsult.** *Arna-Bergen, UUT21. Store Lungegårdsvann Geoteknisk datarapport.* 2014.
16. **Jernbaneverket.** *Pressemelding. Tunnelboremaskin skal kjøres fra Arna. 17.06.2014.* 2014.
17. **Norges geotekniske institutt (NGI).** *Utarbeiding av tiltaksplan for Kollevågen nedlagte avfallsdeponi.* 2014.
18. **Uni Miljø.** *Naturtypekartlegging i Puddefjorden. SAM Notat nr: 12-2015.* 2015.
19. **Klima og forurensningsdirektoratet (KLIF).** *TA-2960/2012. Håndtering av sedimenter.* 2012.
20. **Siversten, Øyvind.** *Sediment characteristics and environmental conditions in Puddefjorden - Solheimsviken Bergen harbour (Norway).* s.l. : Cand.scient. thesis, Department of Geology, University of Bergen, 2000.
21. **NIVA.** *Kirkebukten - konsentrasjoner av metaller og organiske miljøgifter i sedimentene, avgrensning av tiltaksområde og vurdering av risiko for rekontaminering. Rapport LNR 5530-2008.* 2008.
22. **COWI.** *RAP-A044959-05\_Tiltaksplan Nordrevågen. Foreløpig utkast.* 2015.
23. **Fylkesmannen i Hordaland.** *Rapport fra inspeksjon hos Noryards BMV AS 24. oktober 2014. Rapportnr: 2014.023.I.FMHO.* 2014.
24. —. *Rapport fra inspeksjon ved Bergen Group Services AS Avd Skjøndal 15. oktober 2014. Rapportnr: 2014.135.I.FMHO.* 2014.
25. **COWI.** *Futura rapport 628/2014. Sluttrapport. Miljøtiltak på Ubåtbunkeren på Laksevåg.* 2014.
26. **Jartun, Morten.** *PCBs in urban environments, PhD thesis.* s.l. : NTNU, 2008.
27. **Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning (NIFES).** *Utvidet kostholdsrådsundersøkelse Bergen Byfjord.* 2009.
28. **Kvalø, Stian Ervik, et al.** *SAM e-Rapport nr. 27-2014. Resipientovervåking av fjordsystemene rundt Bergen 2011-2015.* 2014.
29. **Hordaland fylkeskommune.** *Regional plan for vassregion Hordaland 2016-2021. Høringsutgave.* 2014.

30. **Norges Geotekniske Institutt (NGI).** *Tiltaksbeskrivelse for søknad om tillatelse til tiltak i forurensede sedimenter i Trondheim havn. Dok.nr. 20130339-03-R.* 2014.
31. **Klima og forurensningsdirektoratet (KLIF).** *TA-2614/2009. Tiltak i forurensede sedimenter og funn av kulturminner.* 2009.
32. **COWI.** *Forslag til miljømål for Vågen. Rapport nr. A040950\_2014-002.* 2014.
33. **Bergen kommune.** *Renere Havn Bergen. Status, miljømål og finansiering av tiltak i Byfjorden.* 2015.
34. *Diffusion of PAH and PCB from contaminated sediments with and without mineral capping; measurement and modelling.* **Eek, Espen, et al.** 9, s.l. : Chemosphere, 2008, Vol. 71.
35. **Miljødirektoratet.** *M219/2014. Tynntildekking av forurensede sedimenter. Overvåking av fire testfelt i Grenlandsfjordene.* 2014.
36. *Remediation of Contaminated Marine Sediments Using Thin-Layer Capping with Activated Carbon - A Field Experiment in Trondheim Harbor, Norway.* **Cornelissen, Gerhard, et al.** 11, s.l. : Environmental Science Technology, 2011, Vol. 45.
37. **SKANSKA STRABAG.** *Grinding range aggregates TBM advance. Construction Site Klingenberg, Diameter 3,9 m, Gneiss, Spacing 80mm.* 2014.
38. **Statens vegvesen.** *R761. Prosesskode 1. Standard beskrivelse for vegkontrakter.* 2014.
39. **Klima og forurensningsdirektoratet (KLIF).** *TA-2817/2011. Nøkkellindikator for det nasjonale arbeidet med forurenset sjøbunn. Retningslinjer for bruk av beregningsverktøy.* 2011.
40. *TA-2804/2011. Bruk av miljøgiftsbudsjett ved gjennomføring av tiltak i forurenset sjøbunn.* **Klima og forurensningsdirektoratet (KLIF).** 2011.
41. *Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation.* **Lewis, Jack.** 7, s.l. : Water Resources Research, 06 1996, Vol. 32, ss. 2299-2310.
42. **KLIF.** *T-1520. Retningslinjer for behandling av luftkvalitet i arealplaner.* 2012.
43. **Miljødirektoratet.** *M-128 - 2014. Veileder til retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging. T-1442/2012.* . 2014.
44. **Bergen kommune.** *Kommunedelplan Bergen indre havn - Planprogram.* 2007.
45. **Alston, John F, Eggen, Ola A og Jartun, Morten.** *PCB i maling og sandfang fra området Kirkebukten, Bergen.* s.l. : NGU. Rapportnr: 2010.051, 2010.
46. **Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning (NIFES).** *Kvikksølv i sjømat. Artikkel. www.nifes.no.*