

## NOTAT

OPPDRAAG	<b>Innseiling Grenland</b>	DOKUMENTKODE	712391-RIGm-NOT-001
EMNE	Gamle Langesund – sammendrag og vurderinger bunnforhold og forurensning	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	<b>Kystverket – Senter for utbygging</b>	OPPDRAAGSLEDER	Nadja Andreassen
KONTAKTPERSON	Tore Fauske	SAKSBEH	Vigdis Askestad
KOPI	Fylkesmannen i Telemark	ANSVARLIG ENHET	2013 BVT Miljø og utredning

## SAMMENDRAG

Kystverket søker om utdyping av grunner ved sprengning og mudring i farled Gamle Langesund og deponering av masser i nærliggende deponi. Utdypingsområdet i Gamle Langesund består av fem delområder (del 1 – del 5).

Undersøkelser av bunnforhold viser at det i nordre del av del 1 og på del 5 er registrert ca. 2 meter med løsmasser (sand) over berg. Sedimentene i del 5 ligger i tilstandsklasse I og II, dvs god miljøtilstand. På del 1 er det én prøve (ST.7) som viser rene masser i nordre del av området, mens ST.8 som er tatt noe lenger sør viser forurensning av benso(a)antraceni i tilstandsklasse III og benso(ghi)perylene i tilstandsklasse IV. På platået sentralt i del 2 er det også større mektighet med løsmasse over fjell. Kjemisk analyse av prøve ST.11 fra dette området viser at massene her klassifiseres som rene. Det er også sediment i små mengder på hyller, i lommer og sprekker på del 2. Prøve ST.9, ST.10 og ST 2 viser at disse massene stedvis er rene og stedvis forurenset av enkeltforbindelsene, bly og PCB i tilstandsklasse III og benso(ghi)perylene i tilstandsklasse IV.

For å unngå betydelig partikkelspredning under sprengning vil løsmasser på grunnene mudres der det er praktisk mulig. Erfaringer fra sprengning i Oslofjorden viser at sprengsteinen blir liggende på samme sted og at det er lite oppvirvling av finstoff. Ut fra de begrensede mengder med løsmasser i utdypingsområdet etter mudring anses konsekvensene mht. spredning av forurensning på grunn av utdypingen som liten.

Ved mudring ved del 5 må det tas særlige hensyn for å påse at løsmasser innenfor utdypingsområdet er stabile, det vil si at helningen må være minimum 1:3. Det er registrert et lokalt viktig bløtbunnsområde ca 80 m fra dette utdypingsområdet. Etter metode er valgt bør det vurderes om det må tas spesielle hensyn for å redusere oppvirvling i disse områdene. Det er ikke forventet økt erosjon som følge av endrede strømforhold, men økt skipstrafikk kan føre til økt propellerrosjon ved del 5. Det er ikke gjort nærmere vurderinger om eventuell effekt av propellerrosjon eller eventuelle andre forhold som kan føre til økt erosjon.

Vurderinger omkring utvikling av gasser ved sprengning gjort av DNV i 2010 konkluderer med at sjøens bufferevne er så stor at de mengder syre som utvikles under sprengning ikke vil føre til redusert pH utover vannmassenes normale variasjon.

Det søkes om å deponere forurenset masse, antatt opptil 1 000 m<sup>3</sup>, som så dekkes over med minst 5 000 m<sup>3</sup> mudringsmasser i tilstandsklasse I og II fra utdypingsområdene. Da de stedege sedimentene i deponiområdet er forurenset med bl.a. dioksiner og furaner, anses deponering av mudringsmassene i deponiet å føre til en miljøgevinst i aktuelt område.

Beregninger tilsier at mudrede løsmasser i hovedsak vil falle innenfor de nærmeste 300 m fra utslippspunktet og mengden løsmasser som skal deponeres er liten (antatt 6 000 – 10 000 m<sup>3</sup>). Ved deponering av løsmasser er det viktig å tilpasse metode til strømforholdene.

Eventuell deponering av sprengstein i det lokale deponiområdet kan føre til oppvirvling av stedegent sediment fra bunnen. Konservative beregninger angir at ca 90 % av sedimentet ikke vil drive lenger enn 100-200 m fra dumpstedet. Det vil kun være de første steinene i et område som fører til oppvirvling og spredning. Påfølgende steiner vil lande på stein. Overvåking av dumping av sprengstein fra lignende tiltak i Oslofjorden har vist liten turbiditet ved dumping.

00	3/6-2016		V. Askestad	S. Røysland	N. Andreassen
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

## Innhold

1	Innledning .....	3
2	Lokalitet- og tiltaksbeskrivelse .....	3
2.1	Tiltaksbeskrivelse.....	5
2.1.1	Utdyping .....	5
2.1.2	Planlagt deponi/deponering.....	9
2.1.3	Alternativt deponi/deponering, og deponi for forurensede løsmasser .....	9
2.2	Utførte miljøgeologiske, geotekniske og geofysiske undersøkelser .....	10
2.3	Beskrivelse av fysiske bunn- og grunnforhold .....	12
2.3.1	Utdypingsområde .....	12
2.3.2	Deponiområde Gamle Langesund .....	14
2.4	Beskrivelse av forurensningssituasjonen.....	15
2.4.1	Utdypingsområde .....	15
2.4.2	Deponiområde Gamle Langesund .....	17
2.5	Strømningsforhold.....	19
3	Vurderinger.....	19
3.1	Vurdering av risiko for spredning av partikler og forurensing under utdypingstiltakene (mudring og sprengning) .....	19
3.1.1	Spesielle hensyn og risiko ved del 5 .....	20
3.2	Utvikling av gasser, nitrogenforbindelser og pH etter sprengning.....	21
3.3	Vurderinger av partikkelspredning ved deponering.....	22
3.3.1	Deponering av forurenset sediment.....	22
3.4	Vurderinger av endrede strømforhold som følge av tiltakene.....	23
3.5	Mulige avbøtende tiltak med hensyn på partikkelspredning.....	23
4	Konklusjon .....	24
5	Referanser.....	24

### Vedlegg

Vedlegg A	Tegning RIGm-05. Kart med angivelse av prøvepunkt og registrering av bunnforhold fra ROV-film
Vedlegg B	Multiconsult notat 712391-RIMT-NOT-001

## 1 Innledning

Kystverket ønsker å utdype farleden Kalvenløpet og etablere ny farled gjennom Gamle Langesund for å lede Skipstrafikken bort fra Kjørtingløpet. Farledene benyttes av fartøy som seiler til og fra Grenland havn, og flere sentrale havneanlegg i Bamble, Porsgrunn og Larvik kommune. Tiltakene vil blant annet føre til bedre trafiksikkerhet som igjen vil redusere risikoen for skader som følge av grunnstøtinger og kollisjoner, slik som for eksempel oljeutslipp (Kystverket, 2015). Etablering av det nye Gamle Langesund-løpet vil føre til redusert seilingsdistanse og derav reduserte CO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-utslipp.

Tiltaket omfatter utdyping av totalt fire grunner, hvorav grunnene ved Gamle Langesund utgjør det største tiltaksarealet.

Rene masser fra utdypingen er i hovedsak planlagt fraktet til Asdalstrand i Bamble kommune der massene vil brukes til et samfunnsnyttig formål. Som en sikkerhet er det også planlagt et mulig alternativt deponi på sjøbunnen like ved grunnen. For Gamle Langesund søkes det også om å først legge mindre mengder med lettere-moderat forurensede masser fra grunnene som deretter tildekkes med løsmasser i tilstandsklasse I og II fra grunnene i det lokale sjøbunnsdeponiet.

Det er i løpet av de siste årene gjort flere undersøkelser i de planlagte tiltaksområdene. Dette notatet gir en oppsummering av utførte undersøkelser for å kartlegge fysiske bunnforhold og forurensning i bunnsediment i og rundt Gamle Langesund. En oppsummering av resultatene fra strømningsmålinger utført i 2014 er også gitt. Videre er det gjort en vurdering av risiko for spredning av partikler og forurensning i forbindelse med tiltakene (mudring, sprengning og dumping), samt mulig avbøtende tiltak for å redusere partikkelspredning. Forhold som utvikling av gasser under sprengning og endringer i strømforhold som følge av tiltaket er også vurdert.

Beskrivelse av kartlagte og registrerte naturtyper og biologisk liv i området, vurderinger av tiltakenes konsekvenser på naturmiljø, fiskeri og havbruk og mulige tiltak for å redusere konsekvensene er gitt i Rådgivende Biologers rapport «Kartlegging og verdisetting av marint naturmangfold i Innseilingen Grenland – virkninger for naturmangfold, fiskeri og havbruk» (Rådgivende biologer, 2016).

Beskrivelse av tekniske forhold ved sprengning og vurdering av risiko som følge av trykk- og lydbølger ved sprengning er gitt i Multiconsult notat nr. 712391-RIGberg-NOT-001 (Multiconsult, 2016a).

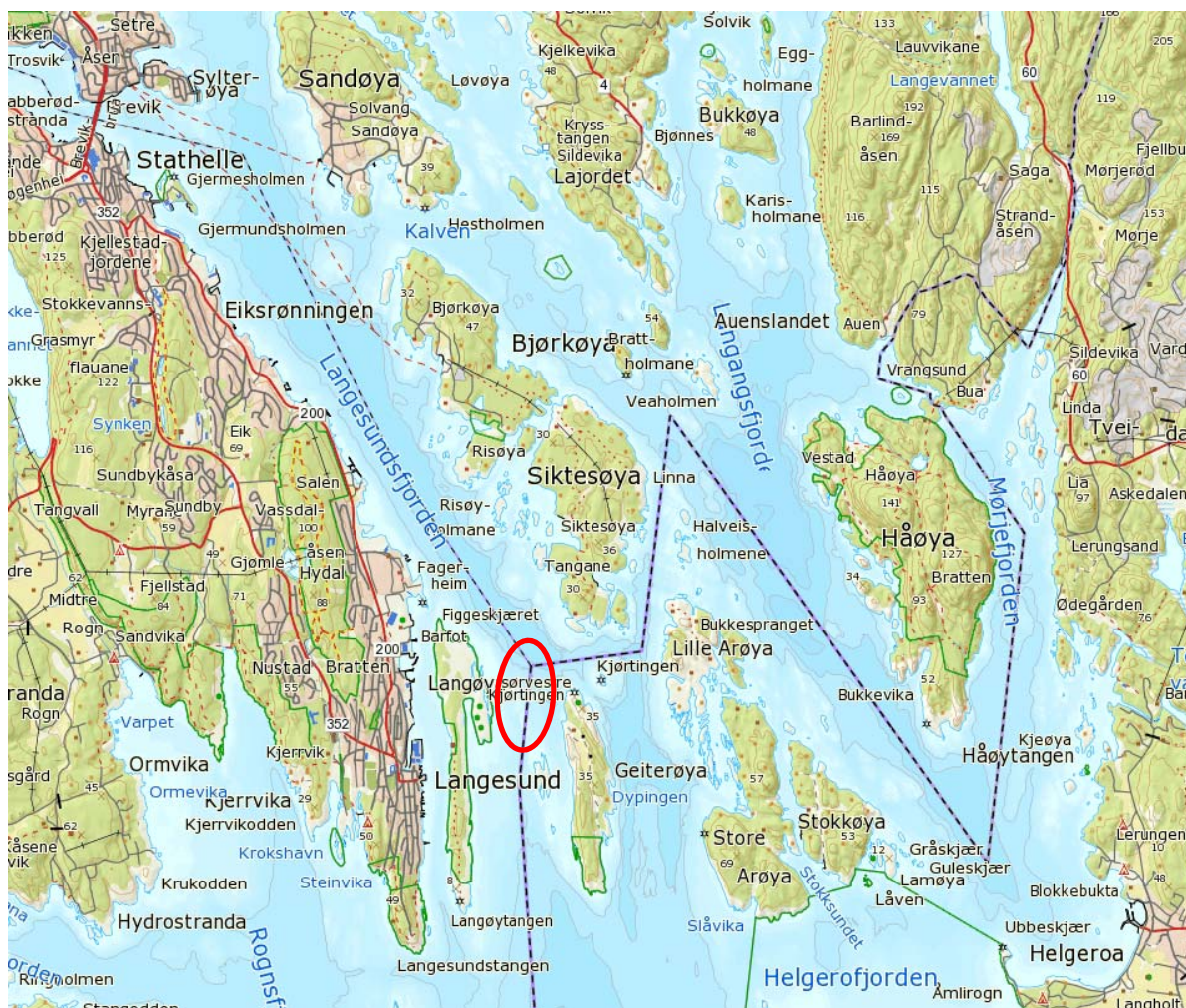
## 2 Lokalitet- og tiltaksbeskrivelse

Tiltaksområdet er i det nye Gamle Langesund løpet lokalisert mellom Langøya/Lilleøya og Geiterøya, se oversiktskartene i figur 1 og 2. Som vist i figur 2 ligger tiltaksområdet i både Telemark og Vestfold fylke, men det meste av utdypingsområdene ligger i Telemark.

For beskrivelse av naturtyper og registrert biologisk liv i området ved Gamle Langesund henvises det til Rådgivende Biologer (2016); «Kartlegging og verdisetting av marint naturmangfold i Innseilingen Grenland – virkninger for naturmangfold, fiskeri og havbruk.

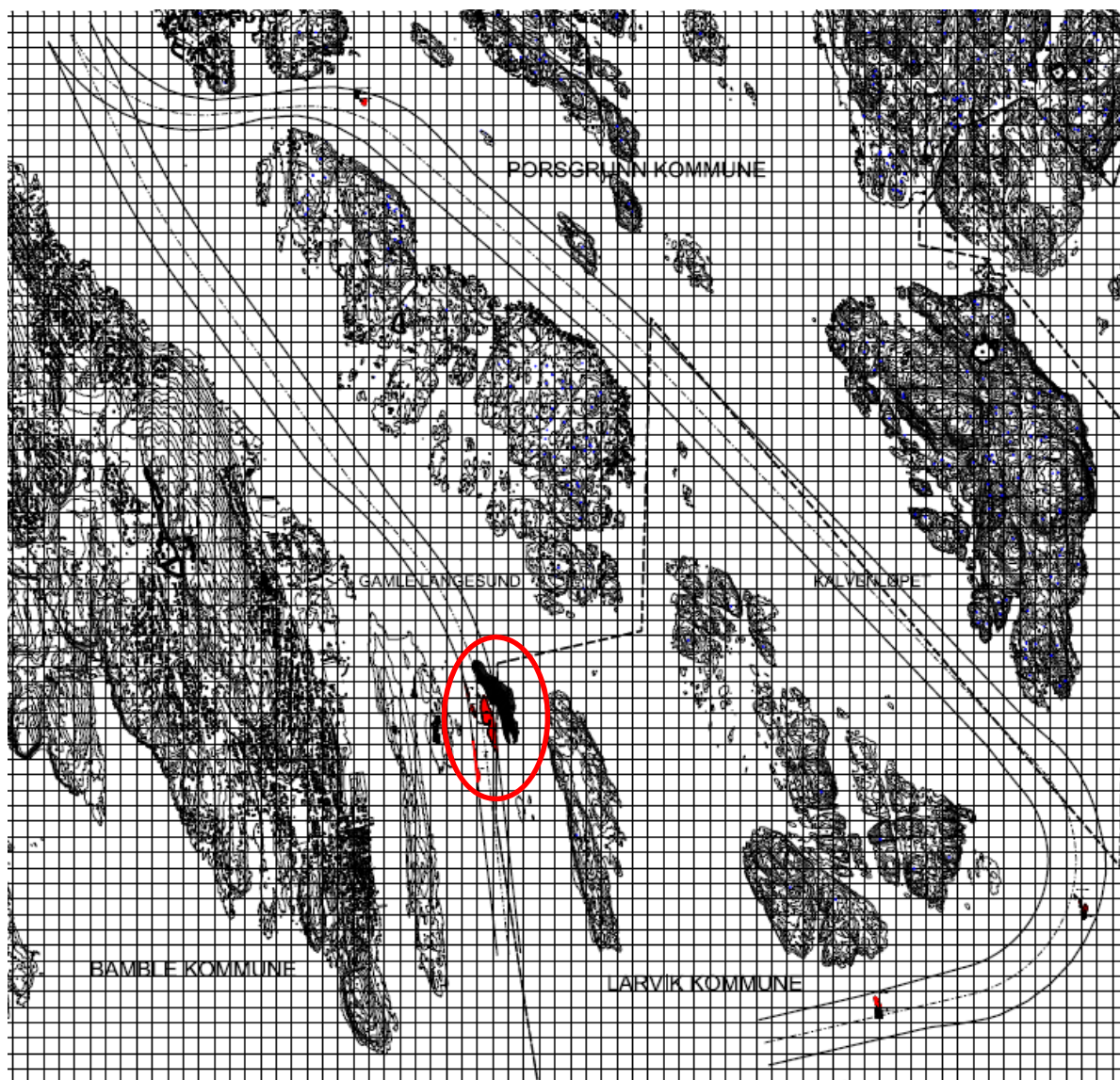
Norsk Maritimt Museum (NMM) utførte undersøkelser i farledene i Grenland i 2009. I følge deres rapport er det registrerte lokaliteter i Langesund-området, men det ble ikke registrert kulturminner ved undersøkelsen i utdypingsområdene (s. 21 i NMM, 2009). Videre har NMM uttalt at de ikke anser det som nødvendig å undersøke deponiområdet i Gamle Langesund. Multiconsult har for øvrig ikke observert skip eller andre større objekter som antas å kunne være kulturminner på overflaten av sjøbunnen ved gjennomgang av film fra ROV- undersøkelsene utført i 2016.

## Gamle Langesund



**Figur 1.** Oversiktskart som viser tiltaksområdet Gamle Langesund markert med rødt. Kartkilde: [www.norgeskart.no](http://www.norgeskart.no).





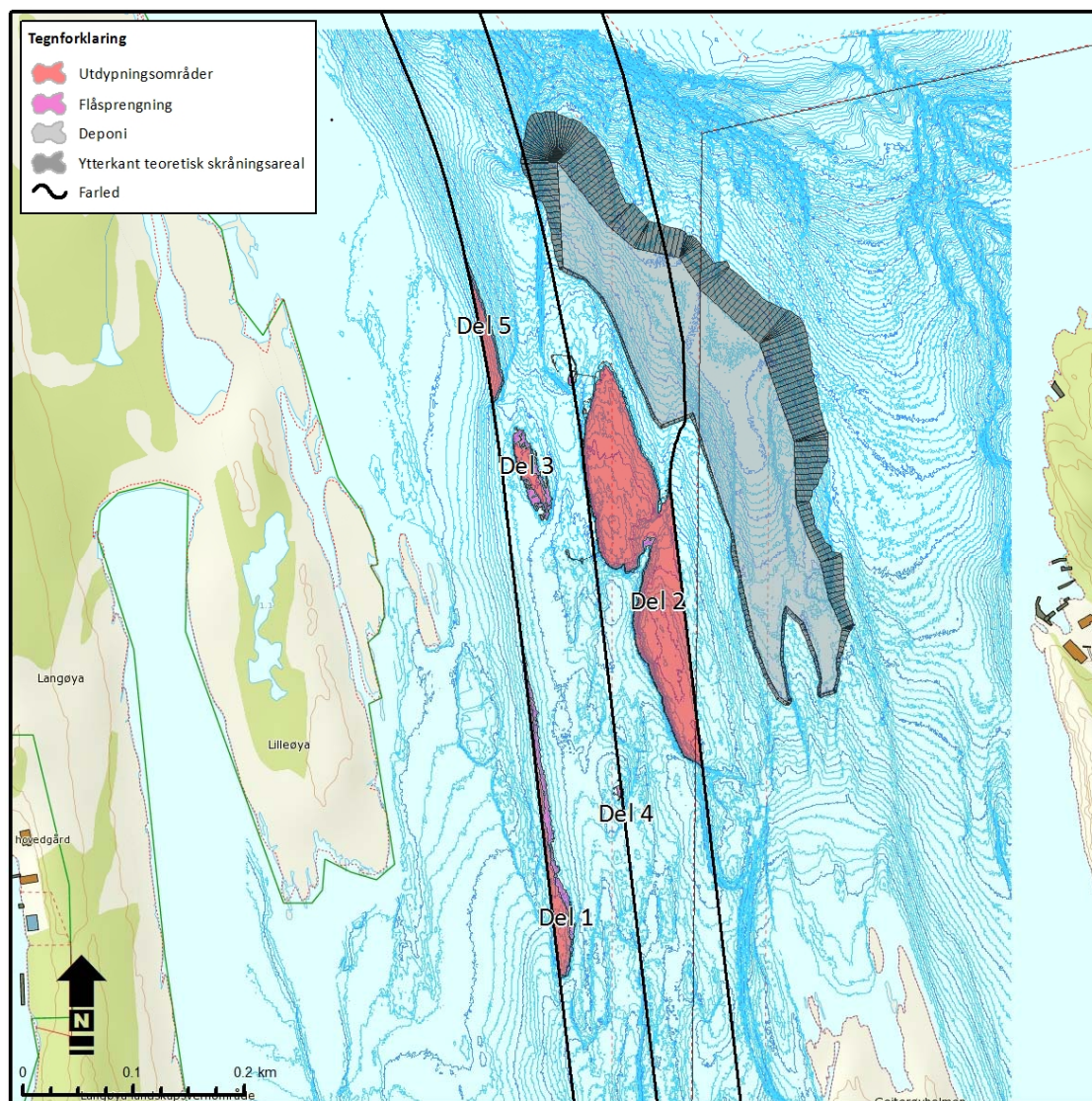
**Figur 2.** Oversiktskart over farledene, med tiltaksområdene ved Gamle Langesund markert med rød sirkel. Røde områder angir grunnene/utdypingsområdene, og svarte områder markerer mulige dumpeområder. Utsnitt fra tegning C001, utarbeidet av Kystverket.

## 2.1 Tiltaksbeskrivelse

### 2.1.1 Utdyping

Figur 3 viser utdypingsområdene, inkludert områdene som må flåsprenges (dvs. kun grunn sprengning), samt deponiområdet.

## Gamle Langesund



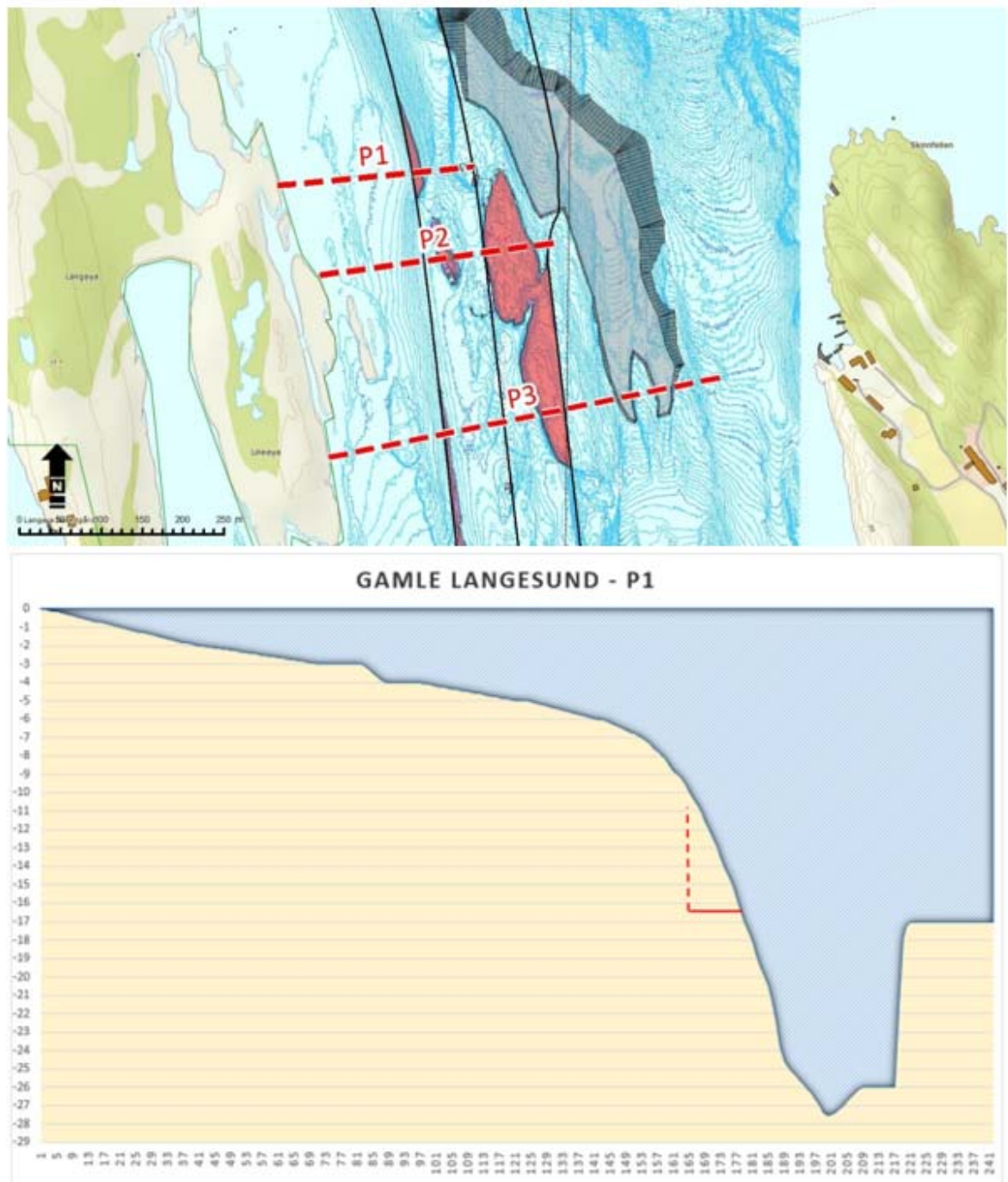
**Figur 3.** Kart fra Gamle Langesund med markering av utdypningsområdene, flåsprengningsområder og mulig deponiområde. Kartgrunnlag: Topo, Norgeskart og dybdekart fra Kystverket.

Omfanget av utdypningsområdet, inkludert flåsprengningsareal og dybder før og etter tiltak er vist i tabell 1. Planlagt dybde etter utdyping blir 16,4 m. Det er stor variasjon i hvor mye som må sprenges i de ulike delområdene. Ved del 4 vil det kun være flåsprengning. I reguleringsplanen er det tillatt utdyping ned til -20 dersom det av anleggstekniske årsaker er behov for det (Norconsult, 2015). Dagens dybder varierer fra 3,9 m til 16,1. Totalt tiltaksareal blir ca 21 000 m<sup>2</sup>. Del 5 er ikke en grunne, men en skråning. Figur 4a og 4b viser profiler av sjøbunnen med angivelse av dybde etter utdyping.

**Tabell 1.** Tiltaksareal, dybder og masseuttak i utdypningsområdene (Kilde: Oversikt fra Kystverket v/ Tore Fauske, datert 27. januar 2016).

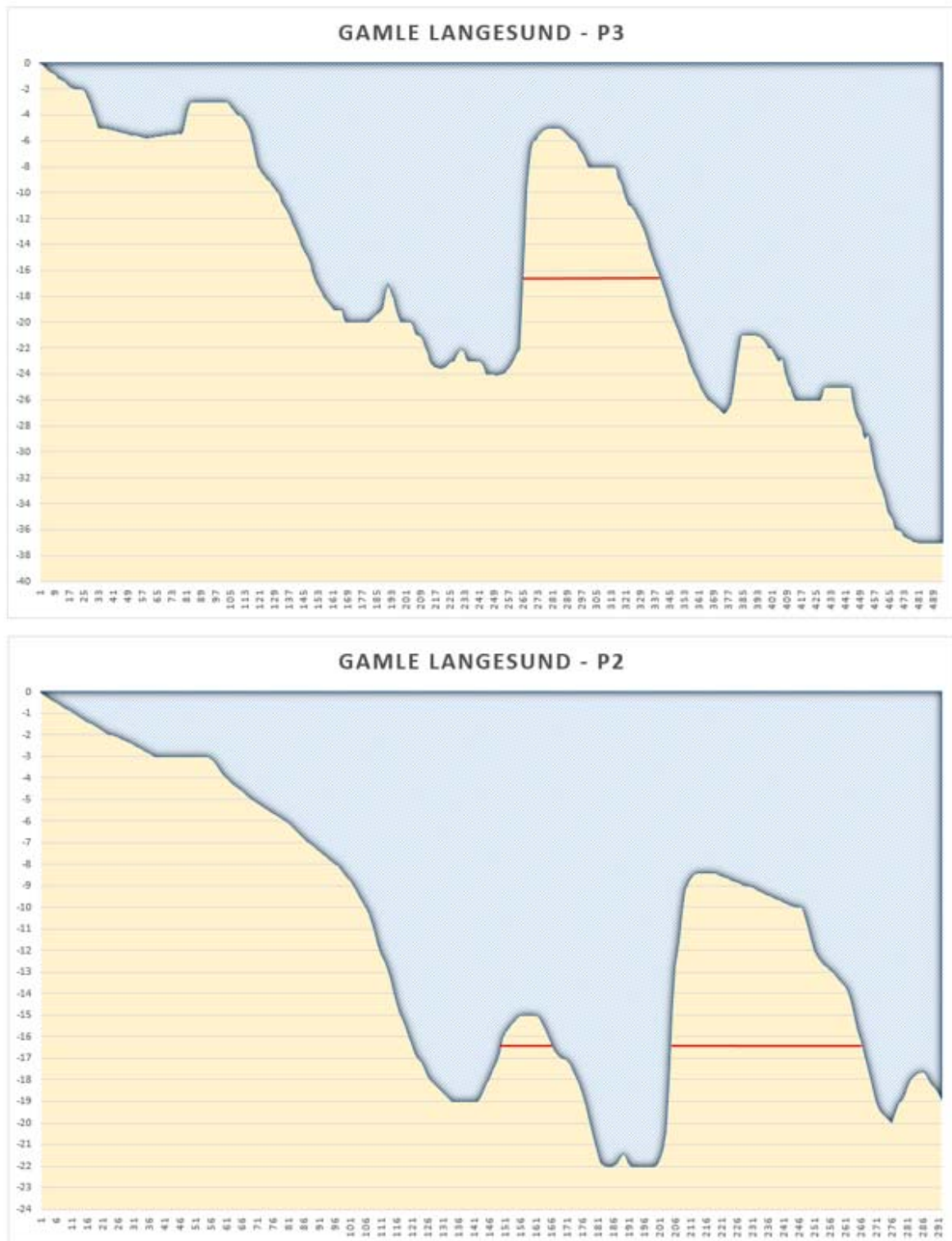
UTDYPING						
LOKASJON	UTDYPINGSAREAL	FLÅSPRENGINGSAREAL	TOTALT AREAL	TOTALE MASSER	OPPRINNELIG DYBDE	DYBDE ETTER GJENNOMFØRING
	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m]	[m]
Del 1	1540	1006	2546	4142	Fra ca. 7 til ca. 16,4	16,4
Del 2	15308	852	16160	110702	Fra ca. 3,9 til ca. 16,4	16,4
Del 3	673	554	1227	1420	Fra ca. 14 til ca. 16,4	16,4
Del 4	0	52	52	8	Fra ca. 16,1 til ca. 16,4	16,4
Del 5	885	232	1117	3100	Fra ca. 10,4 til ca. 16,4	16,4
<b>Sum G. Langesund</b>	<b>18406</b>	<b>2696</b>	<b>21102</b>	<b>119373</b>		





**Figur 4a.** Profiler fra tiltaksområdet. Ny farledsdybde er angitt med rød strek i profilet. Vertikal avgrensning i del 5, som vist i profil 1/P1 er ikke avklart på dette tidspunkt.

## Gamle Langesund



**Figur 4b.** Profiler fra tiltaksområdet. Ny farledsdybde er angitt med rød strek i profilet.

Etter Miljødirektoratets veileder M-350|2015 klassifiseres utdypingen i Gamle Langesund som et mellomstort tiltak ut fra samlet areal, men som et stort tiltak ut fra totale mengder masser (Miljødirektoratet, 2015).

I nåværende fase av prosessen er entreprenør og metoder ikke valgt.



## Gamle Langesund

Alle løsmasser over berg vil mudres opp før sprengning dersom det er fysisk mulig. Erfaringsvis er det vanskelig å få til mudring i områder hvor det er svært tynt dekke med sedimenter eller der sedimenter ligger i mindre lommer og sprekker i berggrunnen.

Kystverket har beregnet av mengden masses som skal fjernes i forbindelse med utdypingstiltakene utgjør totalt 120 000 m<sup>3</sup>. Grove beregninger basert på informasjon fra geotekniske borer i Gamle Langesund tilsier at løsmasser over berg utgjør 6-10 000 m<sup>3</sup>.

Kystverket antar at løsmasser og sprengstein blir tatt opp med skuff og transportert med splittlekter til aktuelt deponi. Beslutning om detaljer i tiltaksgjennomføringen vil bli gjort etter at tillatelse foreligger og entreprenør er valgt.

### 2.1.2 Planlagt deponi/deponering

Det er planlagt å frakte alle sprengsteinmasser til Asdalstrand i Bamble kommune (g.b.nr 8/6 og 8/23), der ØPD Group AS har tillatelse til utfylling og deponering av rene masser. Slik vil massene fra utdypingen kunne nyttiggjøres til å bygge opp nye landområder. Tillatelsen ble gitt av Fylkesmannen i Telemark 1. juli 2014.

### 2.1.3 Alternativt deponi/deponering, og deponi for forurensede løsmasser

Som en sikkerhet dersom det ikke går i orden med deponering av rene masser (hovedsakelig sprengstein) i Asdalstrand ønsker Kystverket tillatelse til å deponere massene i sjødeponi like øst for grunnene i del 2, som vist i figur 3. Det søkes også om å deponere sprengsteinsmasser fra utdyping ved Kløvsteinbåen og Midtjørdbåen i Vestfold fylke i dette deponiet.

Noe av sedimentet som skal mudres før sprengning er forurenset (antatt opptil 1000 m<sup>3</sup>). Disse massene kan ikke dumpes i strandkantdeponiet i Asdalstrand. Det søkes derfor om å deponere massene i sjødeponiet ved grunnene. Mudringsmasser i tilstandsklasse I og II for analyserte parametere vil deponeres over de forurensede og slik fungere som tildekking. For videre beskrivelse mengder, forurensning og deponering av løsmassene henvises det til kapittel 3.3.1.

Alternativ til deponering av de forurensede løsmassene på sjøbunnen vil være å frakte massene til godkjent landdeponi for forurensede masser, slik som Langøya i Holmestrand.

Kystverket har beregnet teoretisk areal og kapasitet for det alternative deponiet ved Gamle Langesund. Dette er presentert i tabell 2, sammen med opplysninger om dagens dybder i området og dybde etter gjennomføring dersom massene blir deponert her. Deponiområdet ligger i både Telemark og Vestfold, og tabellen angir opplysninger for hele deponiet og for områdene innenfor hvert fylke.

**Tabell 2.** Areal, dybder og teoretisk kapasitet i potensielt deponi ved Gamle Langesund (Kilde: Oversikt fra Kystverket v/ Tore Fauske, datert 27. januar 2016).

DEPONI						
LOKASJON	EFFEKTIVT TEORETISK AREAL [m <sup>2</sup> ]	MAKSIMALT TEORETISK SKRÅNINGAREAL* [m <sup>2</sup> ]	TOTALT TEORETISK AREAL* [m <sup>2</sup> ]	TEORETISK KAPASITET [m <sup>3</sup> ]	OPPRINNELIG DYBDE [m]	DYBDE ETTER GJENNOMFØRING [m]
<b>Gamle Langesund totalt</b>	36000	19916	55916	537829	Fra ca. 25 til ca. 58	22 eller dypere
<b>GL Telemark</b>	13809	8798	22955	232789	Fra ca. 25 til ca. 58	22 eller dypere
<b>GL Vestfold</b>	22191	11118	33309	305040	Fra ca. 25 til ca. 40	22 eller dypere

\* Deponiets areal er beregnet ut fra et teoretisk tilfelle hvor hele deponiets kapasitet er benyttet, og samtlige masser fra utdypingen er sand.

## Gamle Langesund

I henhold til reguleringsplanen/-bestemmelsene tillates deponering til kote -20 dersom det av anleggstekniske årsaker blir behov for å legge massene høyere enn -22. Deponiets kapasitet ved oppfylling til kote -22 er betydelig større enn prosjekterte masser og volum av utsprengte masser (Norconsult, 2015). Helning og fyllingshøyde er vurdert av Norconsult (2015).

## 2.2 Utførte miljøgeologiske, geotekniske og geofysiske undersøkelser

Det er gjort flere undersøkelser i farleden for å undersøke bunnforhold og forurensningssituasjon de siste årene. I det påfølgende oppsummeres de undersøkelser som er gjort, mens resultatene er oppsummert i kapittel 2.4 og 2.5. Plassering av alle prøve- og målepunkt i Gamle Langesund er vist i figur 5. Samme tegning er også gitt i vedlegg A.

NGI, 2009. Sedimentundersøkelse, refraksjonsseismikk og vurdering av utdypingenes effekter på strømning.

2009 fikk Norsk Geoteknisk Institutt, NGI utført prøvetaking med grabb i farleden og skyting av refraksjonsseismiske profiler over grunnene (NGI, 2009). Prøvetakingen med grabb og seismiske undersøkelser ble utført av Geomap. Figur 5 viser hvor det ble skutt refraksjonsseismikk ved Gamle Langesund og hvor det ble senket ned grabb for prøvetaking. Ved alle de tre stedene var imidlertid grabben tom.

Multiconsult, 2014a. Miljøtekniske undersøkelser

Undersøkelsene omfattet prøvetaking av overflatesediment (0-20 cm) med håndholdte sylindere, av dykkere fra Bratås AS. Sedimentprøve fra dypere liggende områder (> 30 m) ble utført ved hjelp av grabb fra Multiconsults borebåt MS BoreCat. Det ble samlet inn 4 replikater fra hver prøvestasjon.

På grunn av lite løsmasser og mest bart berg i på ryggen mellom ST 1 og ST 2, og rundt ST 3 ble det kun innhentet sedimentprøver fra én lokalitet i utdypingsområdet (ST 2). Prøve ST 4 ble tatt i et område som den gang var planlagt som deponiområde, men som i dag representerer sjøbunn sør for del 2.

For nærmere beskrivelse av undersøkelsen henvises det til Multiconsult rapport 712391-RIGm-RAP-001 (2016a).

Multiconsult, 2016b. Miljøtekniske undersøkelser

Undersøkelsen omfattet prøvetaking av overflatesediment (0-20 cm) i sju stasjoner fra utdypingsområdene og to stasjoner fra deponiområdet. Hver stasjon bestod av fire replikater. Prøvene fra del 5 (ST.5 og ST.6), ST.11 fra del 2 og prøvene fra deponiområdet ble hentet opp med grabb fra Multiconsults båt MS BoreCat. Øvrige prøver ble hentet opp med sylindere av dykkere fra KAJ Dykkertjenester.

Vår 2016 ble det også utført filming med ROV (Remote Operated Vehicle) for å visuelt kunne kartlegge bunnforhold i området der det manglet informasjon fra undersøkelsen gjennomført i 2009. Figur 5 viser hvor ROV-en har filmet og hvilke bunnforhold som har blitt observert.

For nærmere beskrivelse av undersøkelsene henvises det til Multiconsult rapport 712391-RIGm-RAP-002 (2016a).

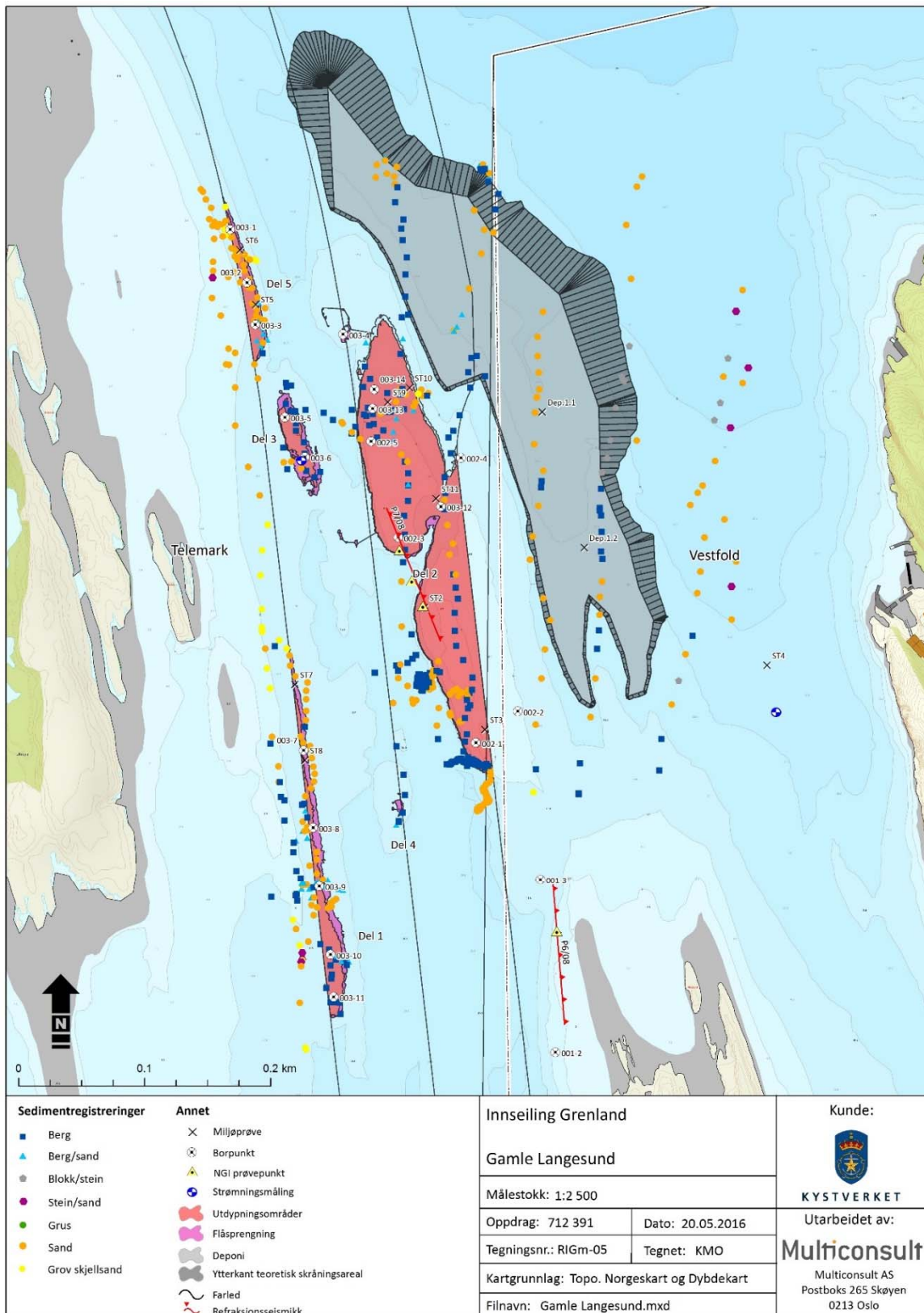
Multiconsult, 2015. Geotekniske undersøkelser

Det ble i 2014 utført 8 totalsonderinger med Multiconsults båt MS BoreCat i området Gamle Langesund.

Gamle Langesund

Multiconsult, 2016c. Geotekniske undersøkelser.

Vår 2016 ble det utført 14 totalsonderinger og opptak av to prøveserier med Multiconsults båt MS BoreCat i utdypingsområdene i Gamle Langesund.



Figur 5. Kart med angivelse av prøvepunkt for miljøtekniske og geotekniske undersøkelser 2009-2016, samt registreringer av bunnforhold etter filming med ROV i 2010 (DNV) og 2016 (Multiconsult). Tegning RIGm-05 utarbeidet av Multiconsult, 2016.



## 2.3 Beskrivelse av fysiske bunn- og grunnforhold

### 2.3.1 Utdypingsområde

Under gis en oppsummering av observasjoner fra ROV-filming, figur 5 og informasjon fra geotekniske borer, sedimentprøver og den seismiske undersøkelsen fra 2009 for hvert delområde.

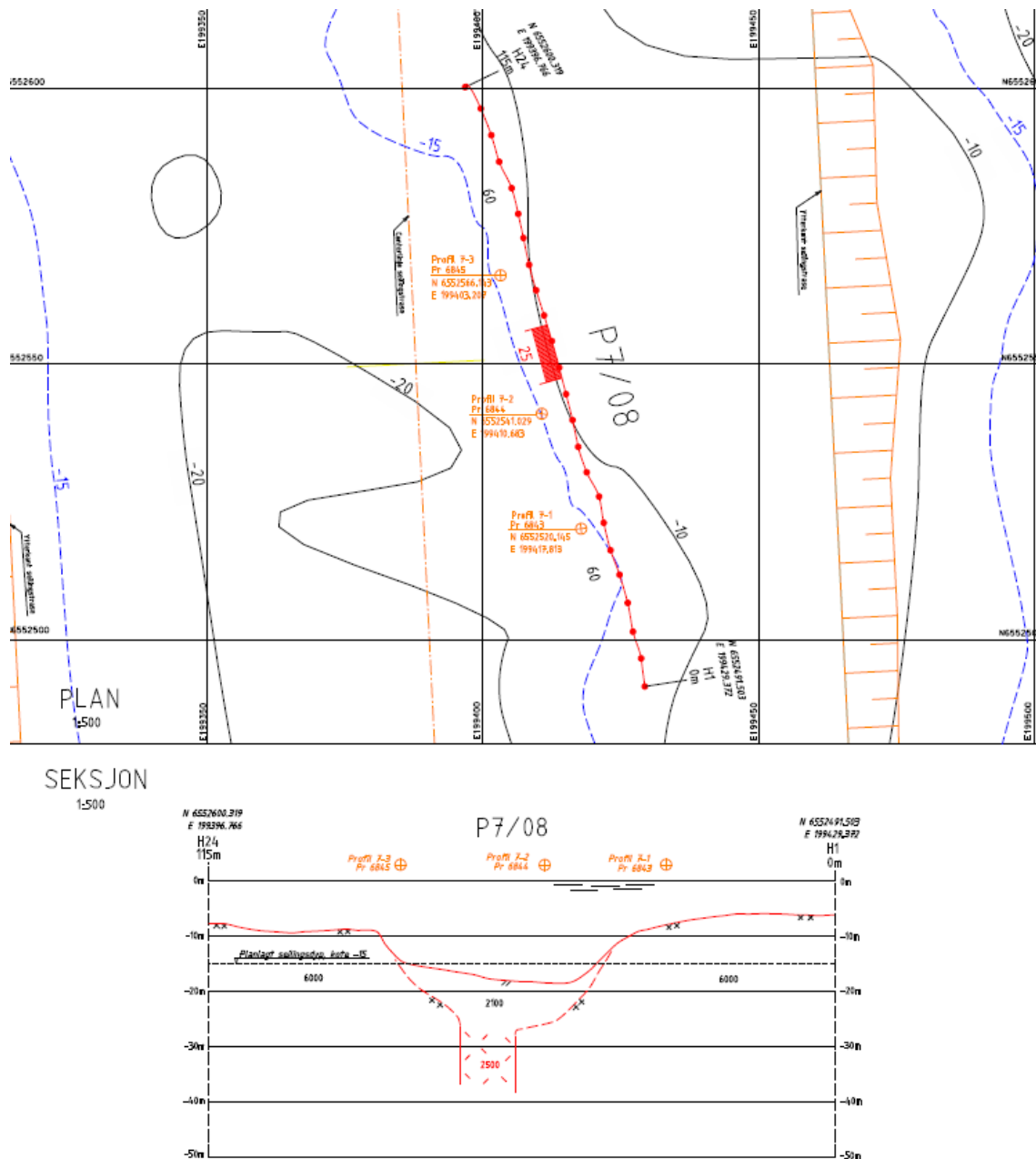
Del 1 ligger i ytterkant av leden i sørvestre del av området og har bunnforhold av bart berg (fjellrygg) i sør med partier med sand lenger nordover. Geotekniske borer viser at det er større mektigheter med skjellsand i de nordlige delene (opp til 2,3 meter). Det ble innhentet to sedimentprøver i området, ST.7 og ST.8. Korngraderingen av materiale viser siltig sand i ST.7 og sand i ST.8 (se tabell 3). Det ble innhentet 4 sylindre i hver stasjon med dykker. TOC-innholdet i analyserte masser varierer fra 0,3 (Multiconsult, 2016c) til 2,2 % (tabell 3). Sør for tiltaksområdet (mot Lilleøya) viser observasjoner at det hovedsakelig er bart berg.

Del 2 er det største delområdet og er en langstrakt fjellrygg med et søkk/ platå i NØ-SV retning omtrent midt i området. Grunnen består av mye bart berg med noen partier med sand. Det er også ansamlinger av sand i renner i berget (ulik bredde) pga. oppsprukket berg. Geotekniske borer viser ingen eller kun tynt løsmassedekke, med unntak av én boring i platået midt i området, der boringen viste større mektighet (ca 4 m) (Multiconsult, 2015 og Multiconsult, 2016c).

Prøvestasjonen ST.11 er tatt med grabb i dette området og korngraderingen viser sand (tabell 3). Sør for dette området er det et større parti med sand. I den nordlige delen av området er det også noen partier med sand. ST.9 og ST.10 er tatt med dykker i noen av disse partiene med løsmasser mellom berg. Korngraderingene viser sand, som vist i tabell 3.

Som vist i figur 6 viser det seismiske profilet skutt i midtre del av del 2 at det er bart berg på toppene som skal sprenges og løsmasser i det dypere området i mellom (vedlegg A til NGI, 2009). Ut fra hastigheten er det antatt at løsmassene består av morene. Grabbprøvene forsøkt tatt like utenfor profilet, som vist i øvre kartutsknitt, var for øvrig tomme, noe som kan tyde på lite eller harde løsmasser (NGI, 2009).

## Gamle Langesund



**Figur 6.** Resultater fra den refraksjonseismisk undersøkelsen i midtre del av del 2 av utdypingsområdet i Gamle Langesund. Profilet viser at det er bart berg i på grunnen som skal sprenges og løsmasser (morene) i dypområdet i mellom. Fra tegning nr. 5 vedlegg A til NGI, 2009. Grabbprøvene forsøkt tatt like utenfor profilet, som vist i øvre kartutsknitt var for øvrig tomme, noe som kan tyde på lite eller harde løsmasser.

Del 3 er en liten grunne vest for del 2. Området består av berg, med noe sand i små renner eller forsenkninger i berget noen steder og stedvis dekket av et tynt sedimentsjikt. Det var ikke nok løsmasser til å innhente sedimentprøve.

Del 4 er en meget liten grunne sørvest for del 2 som består av bart berg, og det er derfor ikke sedimentprøver herfra. ROV-filmen viser at det er noen mindre områder med sand i dypere liggende flatere partier/fjellhyller utenfor tiltaksområdet.

## Gamle Langesund

Del 5 ligger i ytterkant av leden i nordvestre del av området. I den sørlige delen viser ROV-filmingen vekslende berg og sandpartier, mens det lenger nord er sammenhengende sanddekke. Boringer viser opp til 2,2 m mektighet med ensgradert skjellsand. Det ble innhentet to sedimentprøver i området, ST.5 og ST.6 der korngraderingen viser sand. TOC-innholdet i analyserte masser varierer fra 0,3 (Multiconsult, 2016c) til 0,5 % (tabell 3).

**Tabell 3.** Analyseresultater for tørrstoff, kornstørrelse og TOC for utdypningsområdene prøvetatt av Multiconsult i 2014 og 2016.

Utdypningsområder Gamle Langesund	Enhet	2016								2014
		Del 5		Del 1		Del 2				
		ST.5 0-10 cm	ST.6 0-10 cm	ST.7 0-10 cm	ST.8 0-10 cm	ST.9 0-10 cm	ST.10 0-10 cm	ST.11 0-10 cm	ST.2 0-10 cm	
Tørrstoff (E)	%	80,2	79,3	69,2	78,3	73,4	77,6	73,2	73,6	
Vanninnhold	%	19,8	20,7	30,8	21,7	26,6	22,4	26,8		
Kornstørrelse. Sand og grus >63 µm	%	97,9	95,8	82,7	95,1	94,4	90,2	92,4	97,4	
Kornstørrelse. Silt <2-63 µm	%	2,01	3,95	15,66	4,4	5,15	9,12	7,03	2,4	
Kornstørrelse. Leire <2 µm	%	0,1	0,3	1,6	0,5	0,4	0,6	0,6	0,2	
Andel finstoff (silt og leire)	%	2,11	4,25	17,26	4,9	5,55	9,72	7,63	2,6	
Kornstørrelse		Sand	Sand	Siltig sand	Sand	Sand	Sand	Sand	Sand	
TOC	% TS	0,349	0,465	2,2	<0.490	<0.490	0,686	1,32	<1,27	

I de dypere og flatere områdene rundt og imellom utdypningsområdene er det også vekslende bunnforhold mellom berg og løsmasser. Boring 001-3, som ligger sør for del 2 viser 1 m sedimenttykkelse, men motstanden kan tyde på at det på 0,5 m dybde er påtruffet en blokk (Multiconsult, 2015). Korngraderingen av prøvene tatt i deponiområdet viser sand og siltig sand.

### 2.3.2 Deponiområde Gamle Langesund

Deponiområdet ved Gamle Langesund ligger nordøst for del 2. Bunnkotekart viser at søndre del av deponiområdet ligger i en fordypning(er) på sjøbunnen. Mot nord ligger deponiområdet i skråningen ned fra grunnen ved del 2.

Observasjoner fra ROV-undersøkelsen og den miljøtekniske prøvetakingen utført av Multiconsult i 2016 viser at bunnforholdene varierer mellom berg, løsmasser av sand, stedvis siltig – fin sand og områder med stein/ blokk (Multiconsult, 2016b). Sedimentprøvene Dep.1.1 og Dep.1.2 ble tatt med grabb innenfor deponiområdet. Tabell 4 gir en visuell beskrivelse av prøvene, og tabell 5 viser at prøvene karakteriseres som sand og siltig sand med et finstoffinnhold på 15-24 %. TOC-innholdet er på +/- 1 %.



**Tabell 4.** Sedimentbeskrivelse og lokalisering av prøvestasjoner for planlagt deponiområde (EU89-UTM sone 32). Tabell fra (Multiconsult, 2016b).

Prøvestasjon	Prøvedybde (cm)	Beskrivelse
DEP 1.1	0-14	Luktfri, grå-svart sandig, siltig lag m/tynt brunt topplag. Ulike sedimentfarger med dyp, skjellfragmenter og slangestjerner
DEP 1.2	0-12	Grå, sorte partier med sandig, siltig lag, m/brunt topplag (< 5 cm). En del slangestjerner, samt sandsjømus, skjellfraksjoner og alger

**Tabell 5.** Analyseresultater for tørrstoff, kornstørrelse og TOC for planlagte deponiområder. Tabell fra (Multiconsult, 2016b).

ELEMENT	Enhet	Dep. 1.1	Dep. 1.2
Tørrstoff (E)	%	70,5	73
Vanninnhold	%	29,5	27
Kornstørrelse. Sand og grus >63 µm	%	76,4	84,4
Kornstørrelse. Silt <2-63 µm	%	22,04	14,7
Kornstørrelse. Leire <2 µm	%	1,6	0,9
Andel finstoff (silt og leire)	%	23,64	15,6
Kornstørrelse		Sand, siltig	Sand
TOC	% TS	0,845	1,2

## 2.4 Beskrivelse av forurensningssituasjonen

Analyseresultatene for sedimentprøver tatt ved Gamle Langesund er vurdert i henhold til Miljødirektoratet sitt system for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Miljødirektoratets veileder TA-2229/2009). Klassifiseringssystemet deler sedimentene inn i fem tilstandsklasser som vist i tabell 6. Resultatene fra de kjemiske analysene fra utdypingsområdene og deponiområdet er vist i henholdsvis tabell 7 og 8.

**Tabell 6.** Klassifiseringssystemet for metaller og organiske miljøgifter i sjøvann og marine sedimenter (Miljødirektoratet, 2008 (TA-2229)).

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

### 2.4.1 Utdypingsområde

NGI utførte undersøkelser ved del 2 av utdypingsområdene i 2009. De tre stedene det var planlagt og forsøkt prøvetaking var det ingen masser i grabben (profil 7 i tabell 1 i NGI, 2009).

Ved prøvetakingen utført av Multiconsult i 2014 (Multiconsult, 2014a) var det kun mulig å få opp nok prøve til analyse i én av tre planlagte prøvepunkt. Alle tre ligger innenfor dagens del 2. Resultatet fra den ene prøven, ST2 er rapportert sammen med resultater fra prøver tatt fra deponiområdene i 2016 i tabell 7.

## Gamle Langesund

**Tabell 7.** Analyseresultater for prøver tatt i utdypingsområdene ved Gamle Langesund i 2014 (Multiconsult, 2014a) og 2016 (Multiconsult, 2016b). Resultatene er fargelagt iht. tilstandsklasser gitt i TA-2229. Analyseresultater som ikke overskrider deteksjonsgrensen, men med deteksjonsgrense innenfor i tilstandsklasse II er markert med lysere grønt. TEQ angir den samlede toksisiteten av dioksiner og furaner.

		Del 5		Del 1		Del 2			
		ST.5	ST.6	ST.7	ST.8	ST.9	ST.10	ST.11	ST 2 2015
Element / Prøvedybde	Enhet	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10
Naftalen	µg/kg TS	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Acenaftalen	µg/kg TS	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Acenaften	µg/kg TS	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Fluoren	µg/kg TS	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Fenantren	µg/kg TS	<10	<10	<10	<10	20	36	<10	<10
Antracen	µg/kg TS	<10	<10	<10	<10	<10	17	<10	<10
Fluoranten	µg/kg TS	<10	<10	14	62	22	76	<10	<10
Pyren	µg/kg TS	<10	<10	12	53	18	59	<10	<10
Benso(a)antracen^	µg/kg TS	<10	<10	<10	76	12	32	<10	<10
Krysen^	µg/kg TS	<10	<10	<10	89	13	21	<10	<10
Benso(b)fluoranten^	µg/kg TS	<10	12	18	104	23	47	13	<10
Benso(k)fluoranten^	µg/kg TS	<10	<10	<10	42	12	20	<10	<10
Benso(a)pyren^	µg/kg TS	<10	<10	12	83	15	36	<10	<10
Dibenso(ah)antracen^	µg/kg TS	<10	<10	<10	12	<10	<10	<10	<10
Benso(ghi)perylene	µg/kg TS	<10	<10	14	46	18	36	10	<10
Indeno(123cd)pyren^	µg/kg TS	<10	<10	<10	44	17	40	<10	<10
Sum PAH-16	µg/kg TS	n.d.	12	70	610	170	420	23	n.d.
Sum PCB-7	µg/kg TS	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	28	2,5	n.d.
As (Arsen)	mg/kg TS	1,5	1,5	1,2	<0.50	3,8	3,8	3,7	1,3
Pb (Bly)	mg/kg TS	5,8	5,7	5,8	4,3	7,8	13	12,6	90
Cu (Kopper)	mg/kg TS	2,16	2,09	2,94	1,74	2,9	3,37	4,5	21
Cr (Krom)	mg/kg TS	4,95	4,83	4,45	4,06	7,3	8,3	7,18	3,9
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0,16	<0.13	<0,10
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0,20
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5,0
Zn (Sink)	mg/kg TS	16	1	16	12	30	37	28	14
Tributyltinnkation	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
* Sum WHO-TEQ									
Lowerbound upperbound	ng/kg TS		19-23		13-15			20-24	

< = mindre enn deteksjonsgrensen; n.d. = ikke påvist; PCDD/F Lower-upperbound står for sum WHO-TEQ Lowerbound og Upperbound som tilsvarer dioksiner og furaner;

Gamle Langesund

---

Analyseresultatene viser at sedimentene på del 5 anses som rene (tilstandsklasse I og II).

ST.7 fra del 1 er også ren mht. til analyserte stoffer, mens ST.8 som også er fra del 1 har innhold av benzo(a) antracen i tilstandsklasse III og benzo(ghi)perylene i tilstandsklasse IV.

På del 2 viser prøve ST 2, ST.9 og ST.10, som alle er tatt fra områder med sediment i mindre lommer og sprekker at forurensingsnivået varierer noe. ST.9 ligger i tilstandsklasse I og II (god miljøtilstand), mens ST 2 har innhold av bly tilsvarende tilstandsklasse III og ST.10 har innhold av benso(ghi)perylene i tilstandsklasse IV og PCB i tilstandsklasse III. Øvrige analyserte forbindelser fra disse prøvene tilsvarer tilstandsklasse I og II.

ST.11 som er fra det midtre platået viser resultater tilsvarende tilstandsklasse I og II.

#### **2.4.2 Deponiområde Gamle Langesund**

Analyseresultatene for sedimentprøver tatt i 2016 (Multiconsult, 2016b) fra det mulige deponiet er vist i tabell 8.



## Gamle Langesund

**Tabell 8.** Analyseresultat for prøver tatt i mulig deponiområde ved Gamle Langesund i 2016 (Multiconsult, 2016b). Resultatene er fargelagt iht. tilstandsklasser gitt i TA-2229. Lysere grønnfarge viser at registrert konsentrasjon ligger lavere enn deteksjonsgrensen som ligger i tilstandsklasse II. TEQ angir den samlede toksisiteten av dioksiner og furaner.

ELEMENT		Dep. 1.1	Dep. 1.2
Naftalen	µg/kg TS	<10	<10
Acenaftalen	µg/kg TS	<10	<10
Acenaften	µg/kg TS	<10	<10
Fluoren	µg/kg TS	<10	<10
Fenantren	µg/kg TS	14	<10
Antracen	µg/kg TS	<10	<10
Fluoranten	µg/kg TS	29	21
Pyren	µg/kg TS	27	19
Benso(a)antracen^	µg/kg TS	17	11
Krysen^	µg/kg TS	16	<10
Benso(b)fluoranten^	µg/kg TS	54	35
Benso(k)fluoranten^	µg/kg TS	16	11
Benso(a)pyren^	µg/kg TS	29	18
Dibenso(ah)antracen^	µg/kg TS	<10	<10
Benso(ghi)perylene	µg/kg TS	38	24
Indeno(123cd)pyren^	µg/kg TS	35	18
Sum PAH-16	µg/kg TS	280	160
Sum PCB-7	µg/kg TS	n.d.	n.d.
As (Arsen)	mg/kg TS	2,89	2,89
Pb (Bly)	mg/kg TS	19,2	12,4
Cu (Kopper)	mg/kg TS	8,8	6,94
Cr (Krom)	mg/kg TS	10,4	7,72
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	<0.10	<0.10
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	<0.20	<0.20
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	7,1	5,6
Zn (Sink)	mg/kg TS	40,7	28,6
Tributyltinnkation	µg/kg TS	<1	<1
PCDD/F Lower-upperbound	ng/kg TS	110	68-69

< = mindre enn deteksjonsgrensen; n.d. = ikke påvist; god; PCDD/F Lower-upperbound står for sum WHO-TEQ Lowerbound og Upperbound som tilsvarer dioksiner og furaner

Prøve Dep. 1.1 i det planlagte deponiområdet viser innhold av benso(ghi)perylene og PCDD/F i tilstandsklasse IV, mens øvrige forbindelser tilsvarer tilstandsklasse I og II. Prøve Dep. 1.2 viser også overskridelse av de samme forbindelsene, men i tilstandsklasse III.

I 2014 ble det tatt en prøve øst for søndre del av deponiet (ST 4 i figur 5). Korngraderingen av denne prøven viste sand med ca 16 % finstoff (hovedsakelig silt), og analyseresultatene viste tilstandsklasse I og II for metaller, PAH, PCB og TBT. Dioksiner og furaner ble ikke prøvetatt.

## 2.5 Strømningsforhold

I 2014 utførte Multiconsult strømningsmålinger på dyp fra - 4 til - 32 meter ved Lilleøya og Geiterøya i Gamle Langesund området. Se figur 5 for plassering av målestasjonene. Beskrivelse av målingene og dens resultater er beskrevet i sin helhet i Multiconsult rapport 712391-RIMT-RAP-001 (Multiconsult, 2014b).

Ved stasjonen ved Lilleøya viser målingene på - 14 m dyp en gjennomsnittsstrøm på 12 cm/s og en maksimalstrøm på 36 cm/s. Tidevannsstrømmer spiller en betydelig rolle, mens vinden ikke påvirket målingene ved målestasjonen på - 14 m dyp. Målingen viser videre at strømrretningen generelt varierer mellom nord-nordøst og sør-sørvest. Totalt sett transporteres vannmassene nordover ved lokaliteten.

Gjennomsnittsstrømmen ved Geiterøya fra ca -8 m og dypere ble målt til ca 4 cm/s. I målingene ved -4 og -6 m dyp viste målingene høyere gjennomsnittsstrøm (8-17 cm/s), men resultatene er noe usikre da dataserien ikke tilfredsstiller kvalitetskrav. Ved - 10 m dybde og nedover har strømmen ingen tydelig hovedretning, men mot overflaten øker strømmen og får mer tydelig nord-nordvestlig regning og sør-sørøstlig retning. Generelt spiller tidevannsstrømmer liten rolle ved Geiterøya.

## 3 Vurderinger

### 3.1 Vurdering av risiko for spredning av partikler og forurensning under utdypingstiltakene (mudring og sprengning)

I nordre del av del 1 og på del 5 er det registrert ca. 2 meter med løsmasser (sand). I tillegg er det større mektigheter på et platå sentralt i del 2, samt mindre områder med noe løsmasser i sprekker og mindre lommer/hyller på del 2 og del 3. I øvrige områder er det registrert bart berg.

Kornfordelingsanalysene viser at massene hovedsakelig består av sand med liten andel av finstoff. Observasjoner av områdene rundt utdypingsområdene viser også mye bart berg rundt del 1, del 2, del 3 og del 4, mens området vest for del 5 er dekket med sand. For egne vurderinger av mudring, spredning og mulig erosjon i området vest for del 5 henvises det til neste kapittel.

Sedimentene i del 5 ligger i tilstandsklasse I og II, dvs rene. På del 1 er det én prøve (ST.7) som viser rene masser i nordre del av området, mens ST.8 som er tatt noe lenger sør viser forurensning av benso(a)antracen i tilstandsklasse III og benso(ghi)perylene i tilstandsklasse IV. På platået sentralt i del 2 er det også større mektighet med løsmasse over fjell. Kjemisk analyse av prøve ST.11 fra dette området viser at massene her klassifiseres som rene. Det er også sediment i små mengder på hyller, i lommer og sprekker på del 2. Prøve ST.9, ST.10 og ST 2 viser at disse massene stedvis er rene og stedvis forurenset av enkeltforbindelsene, bly og PCB i tilstandsklasse III, benso(ghi)perylene i tilstandsklasse IV.

For å unngå betydelig partikkelspredning under sprengning må løsmasser på grunnene mudres der det er praktisk mulig. Sprekker og mindre fordypninger med løsmasser er det ofte ikke mulig å mudre i forkant. Det blir normalt også mudret et stykke utenfor sprengningsområdet for å redusere mengden av slam som virvles opp av detonasjonstrykket, vann i bevegelse og fremkast av sprengstein.

Under mudring av overliggende løsmasser vil det være noe spredning av partikler til vannmassene. Massene består av sand med lavt innhold av finstoff og vil sedimentere raskt. Videre vil mudringen ha meget kort varighet. Med grunnlag i de små mengdene som skal mudres, partikkelstørrelsen, den korte tidsperioden og det lave forurensningsnivået i den store andelen av mudringsmassene,

anses risikoen for betydelig spredning av partikler og forurensning som følge av mudring i forkant av sprengningen som svært liten.

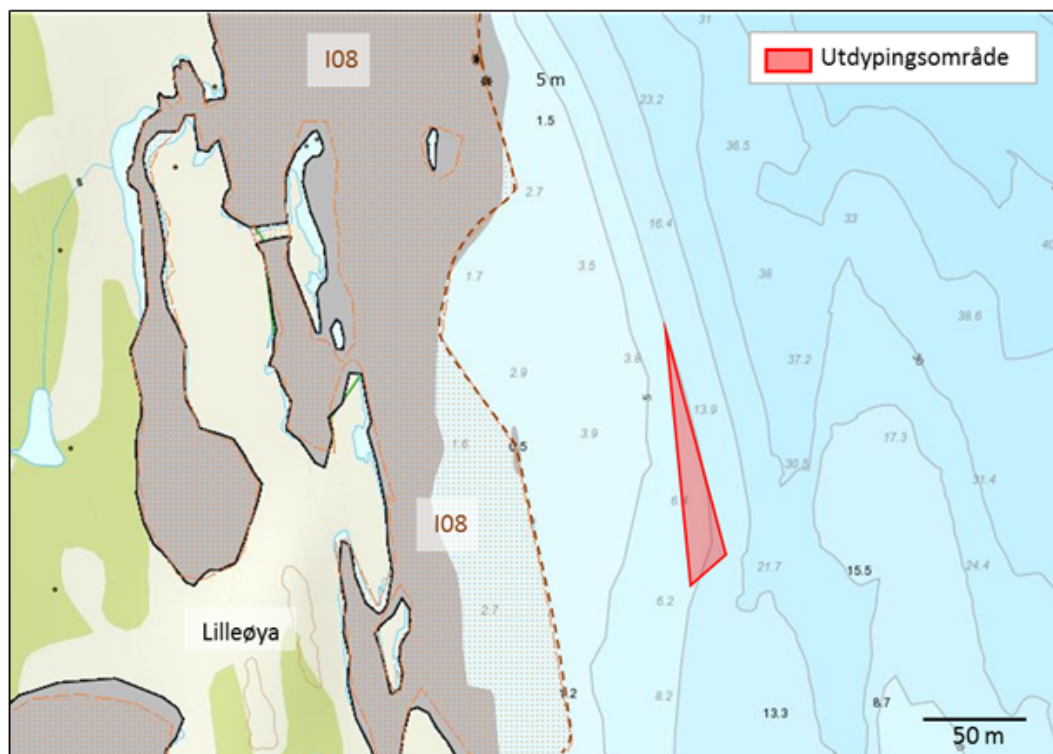
De løsmasser som virvles opp på grunn av sprengningen vil også sedimentere relativt raskt da både observasjoner og kornfordelingsanalysen viser at sedimentet i området består av sand med lite finstoff. I Oslofjorden har det nylig vært utført lignende utdypinger av grunner i farleden. Multiconsult har der utført manuelle turbiditetsmålinger rett over/ved grunnen under sprengning, samt målinger i to stasjonære målere 100-150m fra grunnene under alle tiltaksarbeidene. Overvåkingen, samt vannprøver tatt i områdene med høyest turbiditet har vist at det har vært noe økning av turbiditeten rett over/ved grunnene under/like etter sprengning, men at denne turbiditeten hovedsakelig skyldes gassbobler som følge av sprengningen. Det ble ikke påvist miljøgifter i vannprøvene som ble tatt.

Som beskrevet i Multiconsult notat 712391-RIGberg-NOT-001 (Multiconsult, 2016a) er det svært begrenset hvor langt sprengstein flytter seg ved sprengning i vann. Resultatet av ROV-undersøkelsene etter sprengningen på grunne 20 i Oslofjorden, utført vår 2016, viste at løsgjort berg fra sprengningen i hovedsak ble liggende på stedet. Under oppgraving av sprengstein etter sprengning har det også vært målt lite turbiditet, noe som tyder på at det enten har vært lite finstoff/steinstøv (knust berg) etter sprengning og/eller at det har vært lite spredning av finstoffet under oppgraving.

Med de svært små mengdene løsmasser/sediment i tiltaksområdene ved del 1, del 2, del 3 og del 4 ved sprengning (det vil si etter at områder med løsmasser er mudret), tilnærmet ingen spredning av sprengstein som kan virvle opp sediment i nærliggende områder og den lave til moderate forurensningsgraden i prøvetatt sediment, vurderes risikoen for spredning av forurenset sediment som svært liten.

### 3.1.1 Spesielle hensyn og risiko ved del 5

Utdypingsområdet som utgjør del 5 er en del av en skråning, som vist i profil 1 i figur 4a, med ca to meter med løsmasser over berg. Begge sedimentprøvene fra dette området viser rene masser (tilstandsklasse I og II). I følge Rådgivende Biologer (2016) er bløtbunnsområdet i strandsonen langs Langøya og Lilleøya registrert som lokalt viktig naturtype og har middels verdi (som beskrevet på s 26 i deres rapport). I det påfølgende er det derfor gjort enkle vurderinger av om tiltakene kan føre til økt erosjon av disse områdene. Figur 7 viser at denne naturtypen er registrert ca 70-80 m fra tiltaksområdet og inn mot Lilleøya.



**Figur 7.** Kart som viser område med registrert «bløtbunnsormåde på grunt vann» (området innenfor stiplede linje) nær delområde 5. Figur fra Rådgivende biologer, 2016.

For å hindre utglidning/erosjon av løsmasser/bløtbunnsområdet innenfor og mot Lilleøya er det viktig at massene i skråningen innenfor utdypingsområdet blir slaket av slik at de er geoteknisk stabile, det vil si minimum 1:3 helning.

Disse nærliggende massene kan også være utsatt for oppvirvling som følge av trykkbølger ved sprengning, og eventuelle tiltak må vurderes etter at metode er valgt. Det er ikke forventet økt erosjon av skråningen som følge av endringer i strømforhold (se avsnitt under), men økt skipstrafikk kan føre til økt propellersosjon i skråningen etter tiltak. Det er ikke vurdert om det er elver/kanaler som renner ut i området eller andre erosjonsprosesser som kan påvirke de grunne områdene innenfor.

### 3.2 Utvikling av gasser, nitrogenforbindelser og pH etter sprengning

Ved sprengning utvikles det gasser, hovedsakelig nitrogenoksid (NO) og nitrogendioksid (NO<sub>2</sub>), og det kan være rester av nitrogenforbindelsene ammonium (NH<sub>3</sub>)/ammoniakk (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) i sprengstoffet etter sprengning. På s 21 i DNV (2010), vurderes risikoen for at dette kan føre til endret pH i sjøvannet, samt ammonium/ammoniakk likevekten ved aktuell pH. DNV konkluderer med at sjøens bufferevne er så stor at de mengder syre som utvikles under sprengning ikke vil føre til redusert pH utover vannmassenes normale variasjon. Videre beskriver de at ved normal pH i sjøvann vil syrene som dannes fra NO og NO<sub>2</sub> opptre henholdsvis som saltene NO<sub>2</sub><sup>2-</sup> og NO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, og nitrogenforbindelsene vil hovedsakelig opptre som ammonium. I algenes vekstsesong vil disse nitrogenforbindelsene være viktige næringsalter for planktonalger og føre til noe økt primærproduksjon der tilgjengeligheten på nitrogen er lav.

### 3.3 Vurderinger av partikkelspredning ved deponering

Partikkelspredning ved deponering av løsmasser ved Gamle Langesund er vurdert ved bruk av modellen Depomod som simulerer partikkelbevegelse i vannsøylen ved adveksjon og turbulens. For beskrivelse av metode, inputdata og fullstendige resultater henvises det til vedlegg B.

Modelleringene viser at den største andelen av partiklene havner innenfor de nærmeste 300 m av utslippspunktet (konsentrasjoner større enn 1 g/m<sup>2</sup> per 1000 kg utslipp). I periodene med sterk strøm vil de minste partiklene kunne transporteres opp til 1 km, mens de i perioder med svakere strøm sedimenteres stort sett innenfor 500 m radius. Strømretningen ved Gamle Langesund er variabel og dette vises tydelig i simuleringene, der partiklene kan sedimentere på alle sider av utslippspunktet.

Løsmasser/sediment fra grunnen utgjør kun en liten andel av utdypingsmassene. Som beskrevet i kapittel 2.1.3 er det planlagt å frakte sprengsteinsmassene til Asdalstrand i Bamble kommune, men deponering i Gamle Langesund kan være et alternativ.

Ved dumping av sprengstein kan stedegent sediment i deponiområdet virvles opp og transporteres med strømmen før de synker til bunns igjen. Det er kun den sprengsteinen som dumpes først som vil bidra til oppvirvling, mens påfølgende vil falle på allerede dumpet stein. Oppvirvlingsprosessen er lite undersøkt og det er ingen kjent metode for hvordan dette kan beskrives. Det er derfor foretatt en forenklet vurdering av spredning av partikler basert på strømmålingene foretatt ved deponiområdene, sammensetningen av de stedegne massene og antakelser om oppvirvlingen gjennom dumping av sprengstein. Beregningene, som anses som konservative, angir at ca 90 % av sedimentet ikke vil drive lenger enn 100-200 m fra dumpestedet. Beskrivelse av metode og resultater er gitt i sin helhet i vedlegg B.

Ved eventuell dumping av sprengstein på de deponerte løsmassene fra grunnene antas potensiell spredning på grunn av oppvirvling å være mindre da korngraderingen viser at disse massene har mindre andel av finstoff enn de stedegne massene i deponiområdet.

Multiconsult har utført turbiditetsmålinger ved Spro havn ved Nesodden, der sprengstein fra utdyping utført i Oslofjorden vår 2016 er dumpet (dumping fra februar til d.d.). Målingen viser at det har vært veldig lite turbiditet under dumping.

Spredningslengden og mengden antas altså å være begrenset, og perioden med dumping og oppvirvling vil være kort.

#### 3.3.1 Deponering av forurenset sediment

Som beskrevet tidligere er den store andelen av løsmasse som må mudres før sprengning registrert på del 1 og del 5, samt et platå sentralt i del 2. Prøver av sediment fra del 5 og platået ved del 2 viser at massene der har god miljøkvalitet. På del 1 viser én av to prøver lett- moderat forurensning. I tillegg er det stedvis påvist forurensete masser i mindre lommer og sprekker i del 2.

Grove beregninger av mengder løsmasser basert på mektigheter gitt ved geotekniske boringer i Gamle Langesund og antagelse av at de øvre 0,5 m med løsmasse på del 1 er forurenset, tilsier at det kan være opptil 1000 m<sup>3</sup> med forurensete masser, hovedsakelig moderat forurenset, i utdypingsområdene. Totalt antas det at det er mellom 6 000 – 10 000 m<sup>3</sup> med løsmasse over berg i utdypingsområdene. Det vil si at mengden forurensete masser utgjør omkring 10 % av den totale mengden sediment. Kornfordelingsanalysene viser at mudringsmassene har lavere andel av finstoff enn de stedegne massene i deponiområdet.



Forurensede løsmasser kan ikke fraktes til strandkantdeponiet i Bamble. Multiconsult anbefaler at de moderat forurensede løsmassene fra området ved ST.8 på del 1 og fra området ved ST.9 og ST.10 på del 2 deponeres sentralt i deponiområdet, og overdekkes med mudringsmasser fra del 5, fra nordre del av del 1, og fra platået ved ST11 på del 2 der ingen av de analyserte paramterne overskrider tilstandsklasse II. Eventuell påfølgende dumping av sprengsteinsmassene vil også føre til tildekking av forurenset sjøbunn i deponiområdet.

Dagens forurensningsnivå i deponiområdet tilsvarer forurensningsnivået i de forurensede mudringsmassene mht benso(ghi)perylene, men har betydelig høyere innhold av dioksiner og furaner enn det som er målt i mudringsmassene. Det vil si at med hensyn til dioksin/furan vil deponering av mudringsmasser føre til en forbedring etter deponering i toppsedimentet. Videre deponering av masser i tilstandsklasse I og II over de forurensede mudringsmassene, vil føre til en vesentlig forbedring av forurensningsnivået ved deponeringsstedet.

Alternativ til deponering i deponiområdet ved Gamle Langesund vil være å frakte de forurensede løsmassene til godkjent mottak for forurensede masser, f.eks Langøya i Holmestrand.

### 3.4 Vurderinger av endrede strømforhold som følge av tiltakene

Sintef marin gjorde i 2009 en vurdering av eventuelle strømendringer som følge av tiltakene (Vedlegg B i NGI, 2009). De konkluderer med at effekten av de planlagte utdypingene har neglisjerbar effekt på strømforholdene med unntak av utdypingen av del 2 i Gamle Langesund. Deres beregninger tilsier at utdypingen av del 2 kan føre til at strømmen i nedre vanddyb kan bli mer rettlinjert og hastigheten avta med ca 10 %. I øvre utstrømmende lag forventer de ikke målbare endringer i strømmens fart og retning.

Grunnen som utgjør tiltakets del 2 består av bart berg og stedvis lommer med løsmasser av hovedsakelig sand. Dette tyder på at det ikke er sedimentasjon på grunnene i dag. En reduksjon på 10 % anses som relativt lite, og som figur 4b (profil 2 og 3) viser vil grunnene fortsatt utgjøre en terskel etter utdyping. Videre vil økt skipstrafikk kunne føre til økt propellersosjon på tersklene. Det er derfor ikke forventet at tiltakene vil føre til endrede sedimentasjonsforhold.

### 3.5 Mulige avbøtende tiltak med hensyn på partikkelspredning

For å dokumentere at gjennomføringen av tiltaket ikke fører til spredning av betydning kan tiltaksarbeidet overvåkes. Slik overvåkning består normalt av stasjonære turbiditetsmålere samt innsamling av vannprøver like etter første sprengning og eventuell dumping.

Ut fra våre vurderinger er det forventet så lite partikkelspredning at det ikke anses å være nødvendig med skjerming i form av siltgardin under sprengning, mudring og dumping. Eventuelt behov for avbøtende tiltak for å redusere/hindre oppvirvling av sediment innenfor del 5 må vurderes etter at entreprenør/metode er valgt.

Ved dumping av forurensede løsmasser fra utdypingsområdene må metode tilpasses strømforholdene, og det må utarbeides et overvåkningsprogram når metode er valgt.

For mulige tiltak for å redusere effektene på naturmangfold henvises det til rapporten «Kartlegging og verdisetting av marint naturmangfold i Innseilingen Grenland- Virkninger for naturmangfold, fiskeri og havbruk» fra Rådgivende Biologer (2016). Anbefalte tiltak for å redusere mengden sprengstoff og trykk ved sprengning er gitt i Multiconsult notat 712391-RIGberg-Not-001 (Multiconsult, 2016a).

## 4 Konklusjon

For å unngå betydelig partikkelspredning under sprengning må løsmasser på grunnene mudres der det er praktisk mulig. Sprekker og mindre fordypninger med løsmasser er det ofte ikke mulig å mudre i forkant.

Erfaringer fra sprengning i Oslofjorden viser at sprengsteinen blir liggende på samme sted og at det er lite oppvirvling av finstoff. Ut fra de begrensede mengder med løsmasser i utdypingsområdet etter mudring anses konsekvensene mht. spredning av forurensning på grunn av utdypingen som liten.

Ved mudring ved del 5 må det tas særlige hensyn for å påse at løsmasser innenfor utdypingsområdet er stabile, det vil si at helningen må være minimum 1:3. Det er registrert lokalt viktig bløtbunnsområde ca 80 m fra dette utdypingsområdet. Etter metode er valgt bør det vurderes om det må tas spesielle hensyn for å redusere oppvirvling i disse områdene. Det er ikke forventet økt erosjon som følge av endrede strømforhold, men økt skipstrafikk kan føre til økt propellerrosjon ved del 5. Det er ikke gjort nærmere vurderinger om eventuell effekt av propellerrosjon eller eventuelle andre forhold som kan føre til økt erosjon.

Det søkes om å deponere forurenset masse, antatt opptil 1 000 m<sup>3</sup>, som så dekkes over med minst 5 000 m<sup>3</sup> rene mudringsmasser (løsmasser) fra utdypingsområdene. Da de stedege sedimentene i deponiområdet er forurenset med bl.a. dioksiner og furaner, anses deponering av mudringsmassene i deponiet å føre til en miljøgevinst i aktuelt område.

Beregninger tilsier at mudrede løsmasser i hovedsak vil falle innenfor de nærmeste 300 m fra utslippspunktet og mengden løsmasser som skal deponeres er liten (antatt 6 000 – 10 000 m<sup>3</sup>). Ved deponering av løsmasser er det viktig å tilpasse metode til strømforholdene.

Eventuell deponering av sprengstein i det lokale deponiområdet kan føre til oppvirvling av stedege sediment fra bunnen. Konservative beregninger angir at ca 90 % av sedimentet ikke vil drive lenger enn 200 m fra dumpestedet. Det vil kun være de første steinene i et område som fører til oppvirvling og spredning. Påfølgende steiner vil lande på stein. Spredningslengden og mengden vil derfor være begrenset. Overvåking av dumping av sprengstein fra lignende tiltak i Oslofjorden har vist liten turbiditet ved dumping.

Vurderinger av effekter på naturmangfold, fiskeri og havbruk og mulige tiltak for å redusere effektene er gitt i rapporten «Kartlegging og verdisetting av marint naturmangfold i Innseilingen Grenland- Virkninger for naturmangfold, fiskeri og havbruk» fra Rådgivende Biologer (2016), og tiltak for å redusere mengden sprengstoff og trykk ved sprengning er gitt i Multiconsult notat 712391-RIGberg-NOT-001 (Multiconsult, 2016a).

## 5 Referanser

DNV, 2010. Biologiske undersøkelser i farleier – Grenland. Rapportnr. 2010-0332/DNV. 1. mars 2010.

Kystverket, 2015. Samfunnsøkonomisk analyse – Innseiling Grenland. 19. oktober 2015.

Miljødirektoratet, 2008. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veileder TA-2229/2007.

Miljødirektoratet, 2015. Håndtering av sedimenter. Veileder M-350 | 2015.

Gamle Langesund

---

Multiconsult, 2014a. Innseiling Grenland. Forprosjekt av ny led gjennom Gamle Langesund, miljøundersøkelser av sjøbunnsediment. Rapport nr. 712391-RIGm-RAP-001. 7. oktober 2014.

Multiconsult, 2014b. Strømrapport Grenland. Lilleøya, Geiterøya, Orebuktbåen og Midtbåen. Rapportnr. 712391-RIMT-RAP-001. 17. september 2014.

Multiconsult, 2015. Grunnundersøkelser – utdyping av farleden og deponi. Rapportnr. 712391-RIG-RAP-001. 5. juni 2015.

Multiconsult, 2016a. Innseiling Grenland, utdyping av farleden og deponi. Sprengningsarbeider. Notat nr. 712391-RIGberg-NOT-001. 2. juni 2016.

Multiconsult, 2016b. Datarapport miljøundersøkelse av sjøbunnsediment – utvidet undersøkelse. Rapportnr. 712391-RIGm-RAP-002. 1. juni 2016.

Multiconsult 2016c. Supplerende geotekniske grunnundersøkelser – utdyping av farleden og deponi. Rapportnr. 712391-RIG-RAP-002. 13. mai 2016.

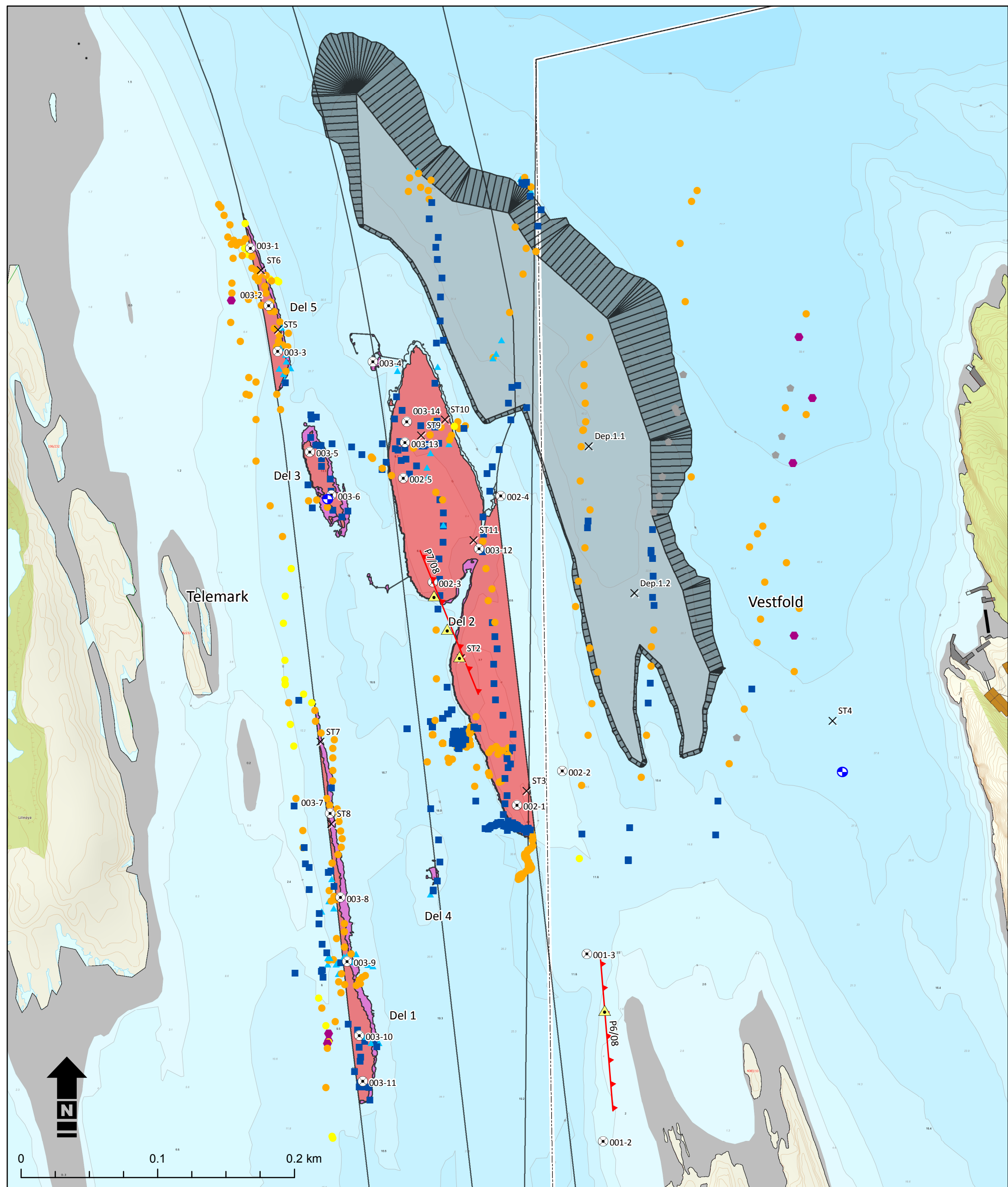
NGI, 2009. Kystverket – Farlei til Grenland. Geofysiske og miljøtekniske undersøkelser. Rapportnr. 20081758-1. 21. januar 2009.

NMM, 2009. Rapport fra arkeologisk registrering under vann i forbindelse med farledsutbedring i Farsund, Kragerø, Grenland, Hvaler og Fredrikstad. Sak. 200910.

Norconsult, 2015. Reguleringsplan for Innseiling Grenland. Planbeskrivelse. 7. desember 2015.

Rådgivende biologer, 2016. Kartlegging og verdisetting av marint naturmangfold i Innseilingen til Grenland. Virkninger for naturmangfold, fiskeri og havbruk. 1. juni 2016.

**Vedlegg A | Kart med angivelse av alle prøvepunkt og  
registreringer av bunnforhold fra ROV-filmer**



**Sedimentregistreringer**

- Berg
- ▲ Berg/sand
- Blokk/stein
- Stein/sand
- Grus
- Sand
- Grov skjellsand

**Annet**

- ✕ Miljøprøve
- ⊗ Borpunkt
- ▲ NGI prøvepunkt
- ⊕ Strømningsmåling
- 🔴 Utdyppingsområder
- 🔴 Flåsprengning
- 🔴 Deponi
- 🔴 Ytterkant teoretisk skråningsareal
- 〰 Farled
- 〰 Refraksjonsseismikk

**Innseiling Grenland**

**Gamle Langesund**

Målestokk: 1:2 500

Oppdrag: 712 391

Dato: 20.05.2016

Tegningsnr.: RIGm-05

Tegnet: KMO

Kartgrunnlag: Topo. Norgeskart og Dybdekart

Filnavn: Gamle Langesund.mxd

Kunde:



KYSTVERKET

Utarbeidet av:

**Multiconsult**

Multiconsult AS  
Postboks 265 Skøyen  
0213 Oslo



**Vedlegg B | Multiconsult notat 712391-RIMT-NOT-001**

---

## NOTAT

OPPDRAAG	<b>Innseiling Grenland</b>	DOKUMENTKODE	712391-NOT-RIMT-001
EMNE	Sedimentspredning Grenland	TILGJENGELIGHET	Åpent
OPPDRAAGSGIVER	<b>Kystverket</b>	OPPDRAAGSLEDER	Nadja Andreassen
KONTAKTPERSON	Tore Fauske	SAKSBEH	Juliane Borge
KOPI		ANSVARLIG ENHET	4042 Tromsø Marint miljø og havbruk

## SAMMENDRAG

Det er foretatt en forenklet vurdering av spredning av oppvirvlet sediment ved dumping av sprengstein på løsmasser ved Gamle Langesund og Midtfjordbåen. Resultatene viser at 87.5 % av partiklene ikke vil drive lengre enn 100 – 200 m fra dumpstedet ved Gamle Langesund og at 90 % av partiklene vil ikke drive lengre enn 150 – 300 m fra dumpstedet ved Midtfjordbåen.

I tillegg er det gjort en numerisk analyse med en forenklet modell av partikkelspredning ved deponering av løsmasser i sjøbunnsdeponi ved Gamle Langesund. Det er modellert transport ved adveksjon og turbulens for 6 tidsperioder. Det viser seg at den største delen av partiklene havner innenfor de nærmeste 300 m av utslippspunktet. De minste partiklene vil kunne transporteres opp til 1 km fra utslippstedet. På grunn av varierende strømretning vil sedimentering kunne foregå i alle retninger rundt utslippspunktet.

Resultatene er gyldig for strømmålingene utført i juni/juli 2014. Strømmen forventes å variere gjennom året og strømforholdene på andre årstider kan føre til en annen sedimenteringsfordeling.

## 1 Bakgrunn

Dette notatet omhandler følgende problemstillinger:

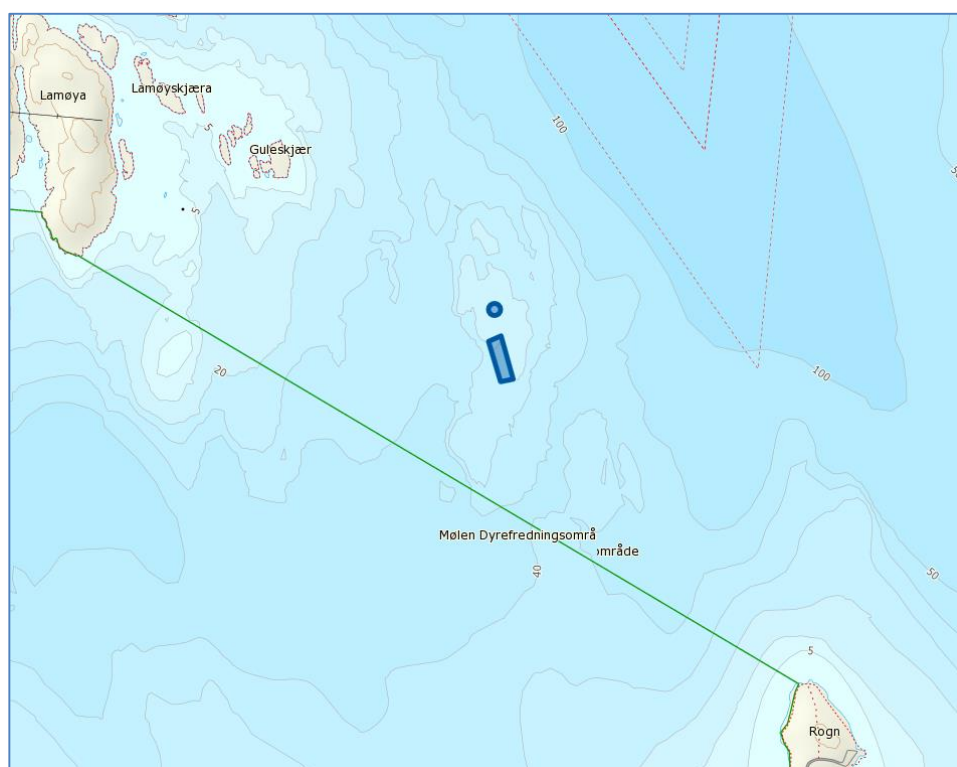
1. I sammenheng med utdypingen av innseilingen til Grenland vurderes det å dumpe sprengstein over løsmasser i sjøen ved Gamle Langesund og Midtfjordbåen. Det er foretatt en forenklet vurdering av partikkelspredning basert på strømmålingene foretatt ved deponiområdene, sammensetningen av de stedege massene og antakelser om oppvirvling grunnet dumping av sprengstein.
2. Det vurderes å deponere løsmasser ved Gamle Langesund. Det er gjort en numerisk analyse av partikkelspredning ved deponering av løsmasser i sjøbunnsdeponi i Gamle Langesund. Resultatet er et grovt estimat av området som vil være påvirket av deponeringen.

Deponiområdene Gamle Langesund og Midtfjordbåen samt posisjonen av målepunktene for tilgjengelige strømmålinger er vist i Figur 1 og Figur 2.

0	31.05.2016	Sedimentspredning Grenland	JB	JVL	NA
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV



Figur 1: Kart som viser det planlagte deponiområdet Gamle Langesund samt strømmålepunktet som er plassert omtrent 100 m fra sørenden av det 500 m lange deponiområdet (Norgeskart)



Figur 2: Kart som viser det planlagte deponiområdet Midtfjordbåen og plasseringen av strømmåleren som er plassert omtrent 40 m nord for det planlagte deponiområdet (Norgeskart)

## 2 Dumping av sprengstein på løsmasser ved Gamle Langesund og Midtfjordbåen

### Metode og input

Når sprengstein skal dumpes på løsmasser ved Midtfjordbåen og Gamle Langesund forventes det at dette kan virvle opp partikler fra løsmassene. Det er kun den sprengsteinen som dumpes først som kommer til å bidra til oppvirvling, mens påfølgende vil falle på allerede dumpet stein.

2.1 Oppvirvlingsprosesser er lite undersøkt og det er ingen kjent metode hvordan dette kan beskrives. Det er derfor valgt en svært forenklet tilnærming. I dette notatet er det beregnet hvor langt partiklene kan drive gitt at de:

- har blitt virvlet opp til en viss høyde over bunn,
- synker med en synkehastighet avhengig av partikkelstørrelsen
- driver med gjennomsnittshastigheten som ble målt nært bunn i området

I realiteten vil oppvirvlingen av løsmasser være avhengig av størrelsen og volumet av sprengstein som dumpes, samt sammensetningen av de stedege massene. Dumping av sprengstein vil forandre strømfeltet og skape turbulens som påvirker oppvirvling og nedsynking av partiklene. Gitt at partiklene tas av strømmen vil denne avta mot bunn og dermed føre til tidligere avsetning. Resultatene må derfor anses som en konservativ indikasjon på mulig spredning av løsmassene.

Følgende er brukt som input:

- Antatt oppvirvling til 1 m og 2 m høyde
- Partikkelstørrelsesfordelinger gitt av kornfordelingsanalyser på to sedimentprøver fra deponiområdet utført av ALS Laboratory Group, og en antakelse om at de oppvirvlete partiklene har samme sammensetning
- Synkehastigheter basert på Ferguson og Church (2004) med tetthet 2655 kg/m<sup>3</sup>, vanntetthet 1020 kg/m<sup>3</sup>, viskositet 0.0012 kg/m<sup>3</sup>, og konstantene  $C_1=18$  og  $C_2=1$ .
- Strømmålinger:
  - Gamle Langesund: strømmålinger på 31 og 33 m dyp fra Geiterøya i tidsperioden 12.06.2014 - 10.07.2014 (Multiconsult, 2014).
  - Midtfjordbåen: strømmålinger på 11 m dyp fra Midtbåen i tidsperioden 31.07.2014 – 01.09.2014 (Multiconsult, 2014).

Tabell 1 gir et sammendrag av resultatene av strømmålingene som er brukt. Strømmålinger ved Gamle Langesund er foretatt på 35-37 m vanndybde, 100 m sør for det planlagte deponiet som har en dybde på 26-40 m. Strømmålingene ved Midtfjordbåen er foretatt på 12 m vanndybde, ca. 40 m fra det planlagte deponiområdet som har en dybde på 20-25 m dyp. Ved Midtfjordbåen er strømmålingene tatt ved det grunneste punktet i området. Det forventes derfor at bunnstrømmen ved deponistedet vil ha en lavere hastighet. Verdien er satt til 6 cm/s.

Tabell 1: Hovedresultater av strømmålingene foretatt ved Gamle Langesund og Midtfjordbåen (Multiconsult, 2014)

	Gamle Langesund	Midtfjordbåen
Målested	59°0.320 N 9°46.119 Ø	58°59.745 N 9°49.805 Ø
Gjennomsnittsstrøm	4 cm/s	8 cm/s
Signifikant maksimumstrøm	6 cm/s	15 cm/s
Kommentar	Variabel strømretning, lite tidevannssignal, størst transport mot sør	Tidevannsdrevet, transport mot nordøst og sør
Brukt i beregningen	4 cm/s	6 cm/s*

\*Se tekst

## Resultater

Resultatene er gitt i Tabell 2 og viser følgende:

- 2.2
- For Gamle Langesund: 87.5 % av partiklene forventes å ikke drive lenger enn 100-200 m fra dumpestedet. Strømretningen er variabel og partiklene kan drive i forskjellige retninger.
  - For Midtfjordbåen: 90 % av partiklene forventes å ikke drive lenger enn 150-300 m fra dumpestedet. Strømmen snur med tidevannet og partiklene vil kunne drive fram og tilbake mellom nordøst og sør.

Dette forventes å være konservative estimer, pga. at det anses som konservativt at oppvirvling grunnet dumpet sprengstein vil løfte partiklene opp til 2 m over bunn, at strømhastigheten avtar fort fra 2 m mot bunn og at strømretningen vil variere i perioden.

Partikler som er mindre enn 0.024 mm i diameter har så lave synkehastigheter at de kan forbli suspendert lenge, noe som fører til mulig spredning av 500 m eller mer. Disse partiklene har imidlertid en høyere kritisk hastighet for erosjon enn større partikler (f.eks. 0.1 mm), som minker sannsynligheten for at disse partiklene i det hele tatt virvles opp.

Tabell 2: **Gamle Langesund:** Avstander som partikler vil drifte før de synker til bunn, gitt partikkeldiameter og oppvirvlingshøyde, samt prosentandel av partiklene som forventes å deponeres innen denne avstanden

Antatt oppvirvlingshøyde	Partikkeldiameter [mm]									
	<0.006	0.012	0.024	0.048	0.094	0.188	0.375	0.75	1.5	3.5
	Prosentandel innenfor avstand [%]									
	100	92.5	87.5	83	79.5	51.5	23	3.5	0.4	0
1 m	>1 km	377 m	95 m	25 m	7 m	2 m	1 m	<1 m	<1 m	<1 m
2 m	>1 km	753 m	191 m	50 m	14 m	4 m	2 m	1 m	<1 m	<1 m

Tabell 3: **Midtfjordbåen:** Avstander som partikler vil drifte før de synker til bunn, gitt partikkeldiameter og oppvirvlingshøyde, samt prosentandel av partiklene som forventes å deponeres innen denne avstanden

Antatt oppvirvlingshøyde	Partikkeldiameter [mm]									
	<0.006	0.012	0.024	0.048	0.094	0.188	0.375	0.75	1.5	3.5
	Prosentandel innenfor avstand [%]									
	100	94	90	88	86	62	42	36	31	28
1 m	>1 km	565 m	143 m	38 m	10 m	3 m	1 m	1 m	<1 m	<1 m
2 m	>1 km	>1 km	286 m	75 m	21 m	7 m	3 m	1 m	1 m	<1 m



### 3 Deponering av løsmasser ved Gamle Langesund

#### Modell og input

3.1 Partikkelspredning ved deponering av løsmasser ved Gamle Langesund er vurdert ved bruk av modellen Depomod (Chromey et al, 2002) som simulerer partikkelbevegelse i vannsøylen ved adveksjon og turbulens. Når det dumpes fra en leker ved overflaten vil massene først synke ved konveksjon før det oppstår en dynamisk kollaps idet massene når bunnen (eller et dyp der tettheten i massene er lik omgivelsene) og horisontal spredning blir dominerende (Johnson og Fong, 1995). Etter dette vil partikkeltransporten domineres av bakgrunnsstrømmen og turbulens.

Depomod modellerer ikke synkingen ved konveksjon eller den dynamiske kollapsen, men simulerer transporten av enkeltpartikler gjennom adveksjon og turbulens. Dette er en sterk forenkling av situasjonen ved dumping fra leker, men vil gi en første indikasjon av området som vil være påvirket av deponeringen. For å få et mer utfyllende bilde bør det brukes mer komplekse modeller som inkluderer informasjon om lekteren som skal benyttes, tetthetsprofiler av vannsøylen og informasjon om tetthet og vanninnhold av massene som skal deponeres.

Følgende input er brukt i simuleringen:

- Bunndata fra Kystkartverket (2007), 30 m oppløsning
- Partikkelstørrelser og prosentandeler basert på kornfordelingsanalyser utført av ALS Laboratory Group og Multiconsults geotekniske laboratorium (Multiconsult, 2016)
- Synkehastigheter gitt i Tabell 4 basert på Ferguson og Church (2004) med tetthet 2655 kg/m<sup>3</sup>, vanntetthet 1020 kg/m<sup>3</sup>, viskositet 0.0012 kg/m<sup>3</sup> og konstantene  $C_1=18$  og  $C_2=1$
- Strøm fra måling ved Geiterøya (Multiconsult, 2014)
- Bunnstrøm ble ikke målt ved 1.8 m, det er derfor ekstrapolert gjennom et logaritmisk profil
- Annen input gitt i Tabell 5

De kritiske hastighetene for erosjon og avsetning er konstante i Depomod. For sandpartikler i størrelsesorden 0.1 – 1 mm gir Hjulströms kurve (f.eks. Open University, 1999) en kritisk hastighet for avsetning mellom 1 og 10 cm/s ved 1 m dyp, og en kritisk hastighet for erosjon av 20 cm/s og større. Dette betyr at avsetning av sandpartikler er beskrevet forholdsvis bra av Depomod mens erosjon vil være overestimert. Strømhastighetene ved Gamle Langesund ved 34 m dyp (det dypeste målte laget) i måleperioden er imidlertid stort sett under 6 cm/s. Det antas derfor at erosjon av deponert sediment kun sjeldent vil oppstå. Erosjon er derfor ikke vurdert i denne rapporten. Modellens antakelse om en konstant kritisk hastighet for avsetning vil føre til overestimering av spredning av grov sand/grus og underestimering av fin sand og silt.

Det er valgt å kjøre Depomod for 6 forskjellige perioder, for å få et inntrykk av effekten av en tidsvarierende strøm og finne en typisk sedimenteringsfordeling. Strømdataene er vist Figur 3 sammen med de valgte utslippstidspunktene som også er beskrevet i Tabell 6.

Tabell 4 Informasjon om partikkelklasser brukt i Depomod (basert på Multiconsult (2016) og Ferguson og Church (2004))

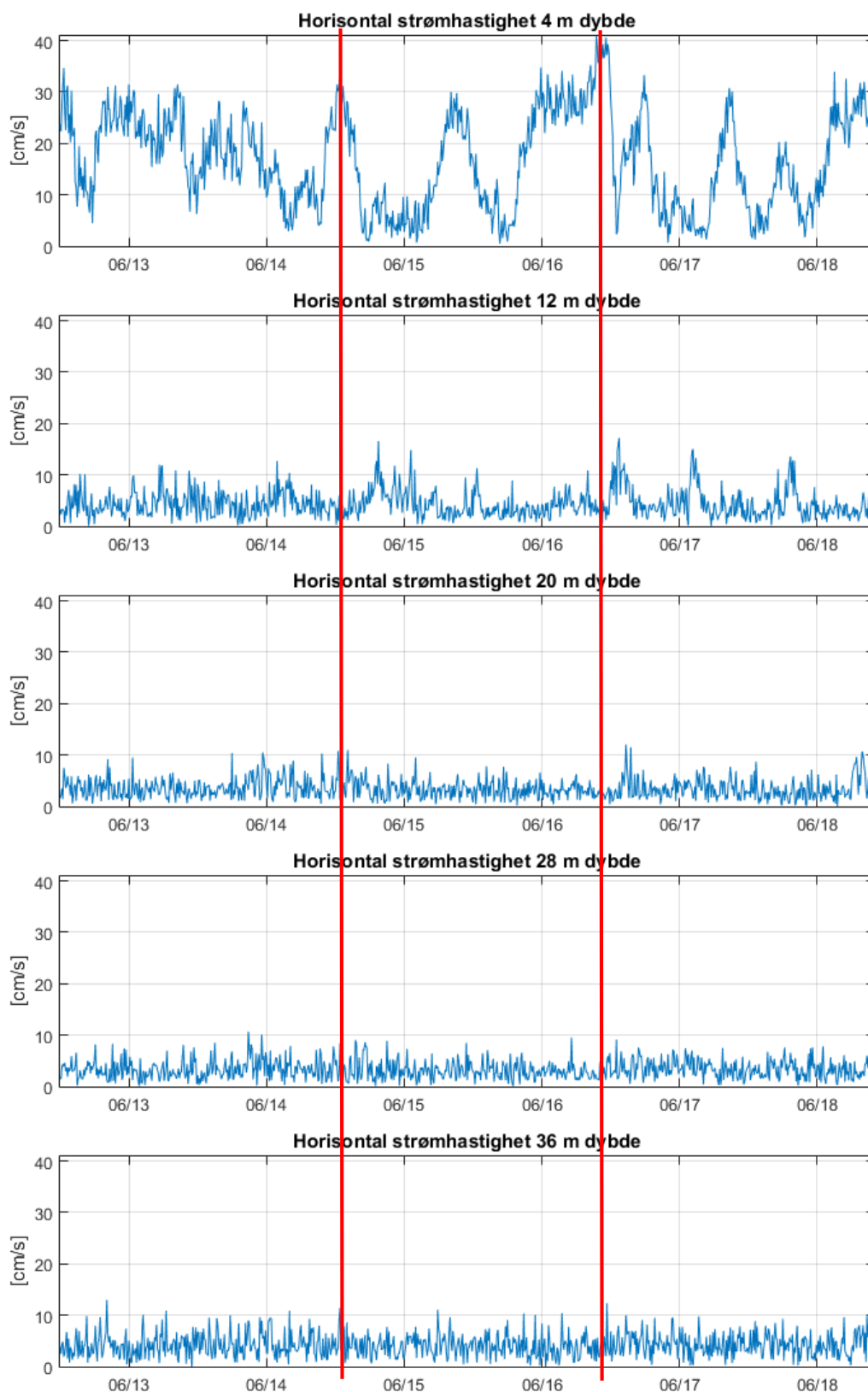
Diameter [mm]	Synkehastighet [m/s]	Prosentandel [%]
0.055	0.0021	2
0.08	0.0043	7
0.15	0.0129	36
0.25	0.0283	25
0.4	0.0517	23
0.75	0.0964	5
1.5	0.1603	2

Tabell 5 Input til Depomod, \* - fastsatt i Depomod, ikke mulig å endre

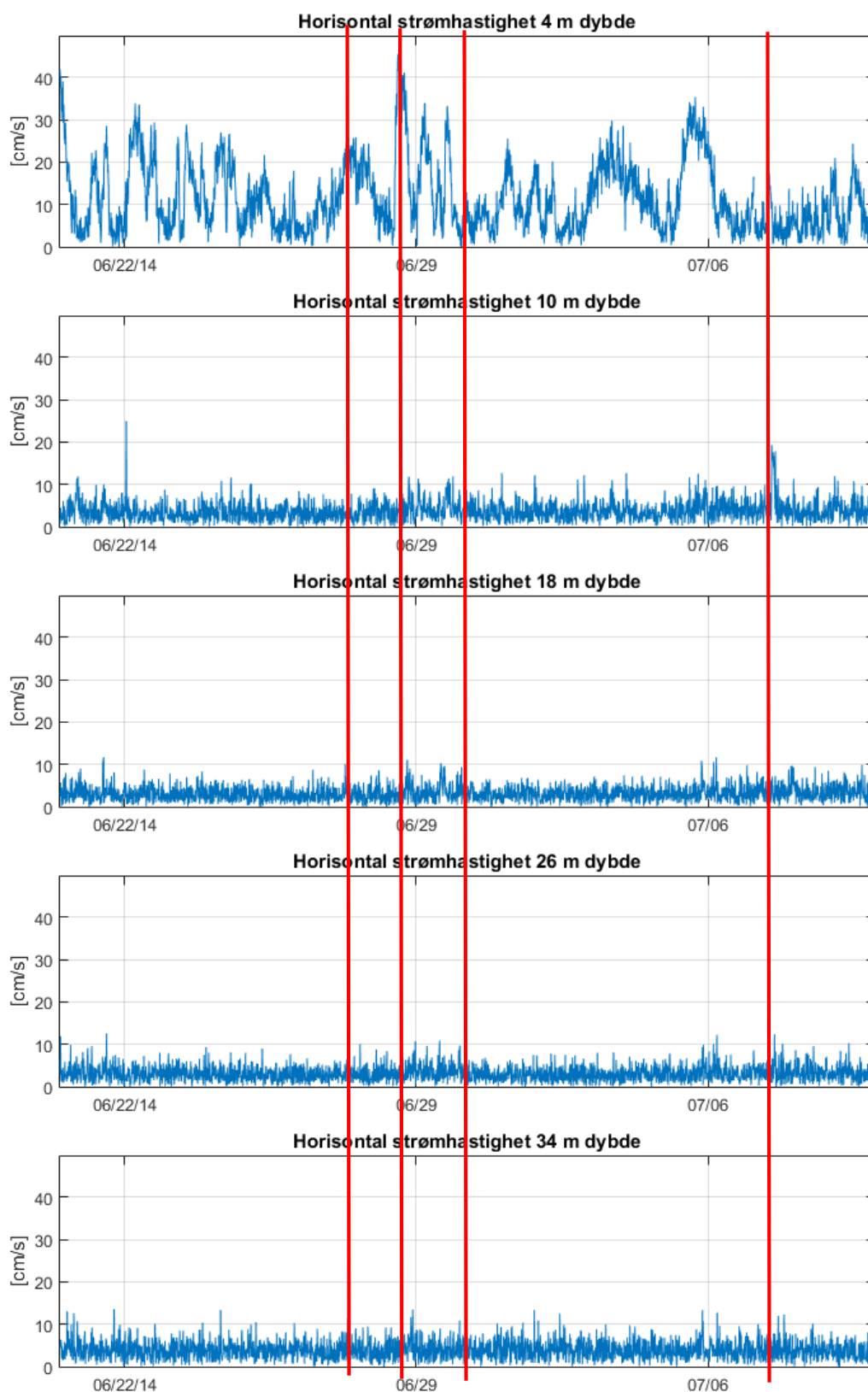
Parameter	Verdi
Utslippspunkt	59°0.388 N 9°45.955 Ø
Antall partikler	1000
Tidssteg	60 s
Middelvann	0.5 m rel sjøkartnull
Dispersjonskoeffisient x,y	0.1 m <sup>2</sup> /s
Dispersjonskoeffisient z	0.001 m <sup>2</sup> /s
Dumpingsvolum	16x16x1 m
Dumpingsinterval	1 t
Dumpingsmasse	1000 kg
Med/uten erosjon	Uten erosjon
Kritisk hastighet for erosjon	9.5 cm/s ved 1.8 m*
Kritisk hastighet for avsetning	4.5 cm/s ved 1.8 m*

Tabell 6 Valgte tidspunkt for utslipp i modellen

Case	Tidspunkt	Karakterisert av	Strømretning
A	14.06.2014 12:10	sterk strøm ved overflaten (ca 30 cm/s ved 4 m dyp)	Mot NV ved overflaten, varierende lenger ned i vannsøylen
B	16.06.2014 09:30	sterk strøm ved overflaten (ca 40 cm/s ved 4 m dyp)	Mot S ved overflaten, varierende lenger ned i vannsøylen
C	27.06.2014 16:10	Middels høy strøm ved overflaten (ca 20 cm/s ved 4 m dyp)	Mot S ved overflaten, varierende lenger ned i vannsøylen
D	28.06.2014 13:30	sterk strøm ved overflaten (ca 50 cm/s ved 4 m dyp)	Mot NV ved overflaten, varierende lenger ned i vannsøylen
E	30.06.2014 03:50	Lite strøm	Ved overflaten først mot NV, så mot S, varierende lenger ned i vannsøylen
F	07.07.2014 11:20	Liten topp på ca 10 m dybde	Mot NV ned til 10 m, varierende lenger ned i vannsøylen



Figur 3 Strømdata fra Geiterøya (ekstrapolert til 36 m dyp) med de modellerte utslippstidspunktene A-B i første periode



Figur 4 Strømdata fra Geiterøya (ekstrapolert til 34 m dyp) med de modellerte utslippstidspunktene C-F i andre periode

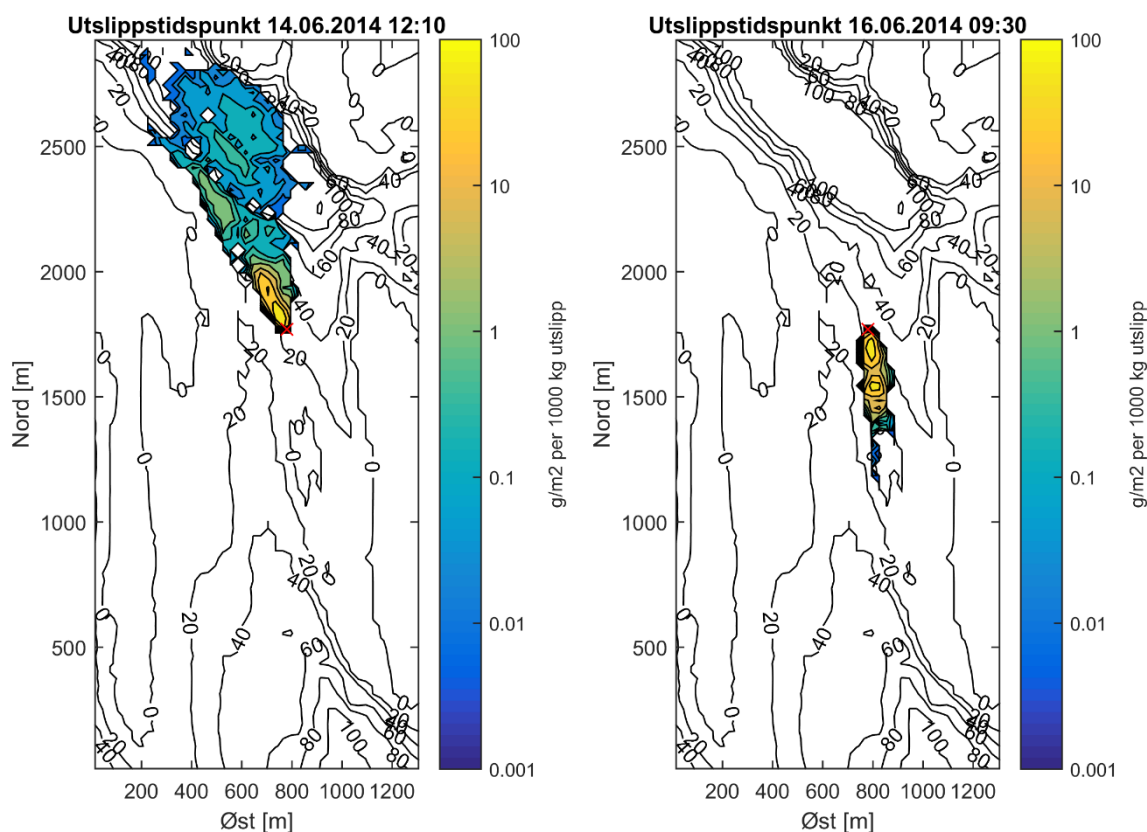
## Resultater

3.2

Resultatene av modelleringen er gitt i Figur 5 og Figur 6 som masse akkumulert per kvadratmeter per 1000 kg utslipp. Legg merke til den logaritmiske skalaen. Utslippspunktet er merket med et rødt kryss. I case C, D og E er sedimenteringsområdet delt i flere områder, på grunn av de forskjellige synkehastighetene av partiklene og varierende strøm. De letteste partiklene befinner seg i vannsøylen over lengre tid og utsettes for andre strømhastigheter og -retninger i løpet av denne tiden og transporteres lengre.

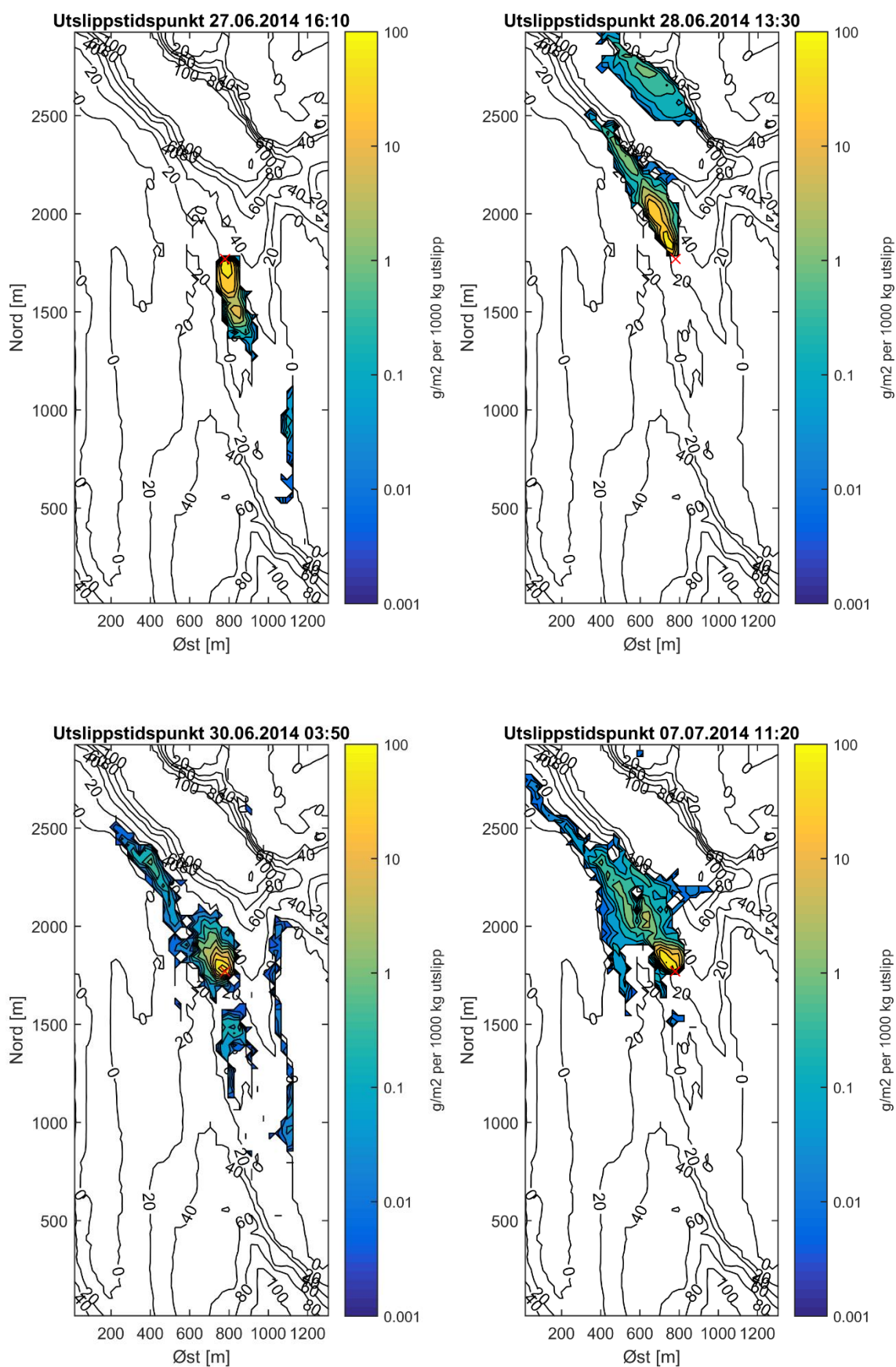
Resultatene viser at den største andelen av partiklene havner innenfor de nærmeste 300 m av utslippspunktet (konsentrasjoner større enn 1 g/m<sup>2</sup> per 1000 kg utslipp). I periodene med sterk strøm vil de minste partiklene kunne transporteres opp til 1 km, mens de i perioder med svakere strøm stort sett sedimenteres innenfor 500 m radius. Strømretningen ved Gamle Langesund er variabel og dette vises tydelig i simuleringene, der sedimenteringen oppstår på alle sider av utlippspunktet.

Resultatene er gyldig for strømmålingen foretatt i 2014. Strømmen forventes å variere gjennom året og strømforholdene på andre årstider kan føre til endret sedimenteringsfordeling. Modellen forutsetter at de målte strømforholdene er representativ for modellområdet. Gitt den komplekse topografien, må strømforholdene forventes å variere i området.



Figur 5 Sedimentering for case A og B, gitt som g/m<sup>2</sup> per 1000 kg utslipp. Utslippspunktet er markert med et rødt kryss.





Figur 6 Sedimentering for case C-F, gitt som g/m<sup>2</sup> per 1000 kg utslipp. Utslippspunktet er markert med et rødt kryss.

## 4 Referanser

Cromey, Chris J, Thomas D Nickell, og Kenneth D Black. 2002. «DEPOMOD—modelling the Deposition and Biological Effects of Waste Solids from Marine Cage Farms.» *Aquaculture* 214 (1-4): 211–39. doi:10.1016/S0044-8486(02)00368-X.

Ferguson, R.I., og M. Church. 2004. «A simple universal equation for grain settling velocity.» *Journal of Sedimentary Research* 74 (6).

Johnson, Billy, og Mairo Fong. 1995. «Development and verification of numerical models for predicting the initial fate of dredged material disposed in open water.» Technical Report DRP-93-1. Dredging research program. US Army Corps of Engineers.  
<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a292918.pdf>.

Kystkartverket (2007): Dybdegrunnlag fra Statens kartverk sjø. Gjengitt med tillatelse 571/07

Multiconsult, 2014. «712391-RIMT-RAP-001 Strømrappport Grenland, Lilleøya, Geiterøya, Orebuktbåen og Midtbåen», Multiconsult, 2014

Multiconsult, 2016. «712391-RIG-RAP-002 Supplerende geotekniske grunnundersøkelser – Utdyping av farleden og deponi», Multiconsult, 2016

Open University, 1999. Chapter 4 - Principles and Processes of Sediment Transport, In *Open University Oceanography*, edited by The Open University, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999, Pages 96-124, Waves, Tides and Shallow-Water Processes, ISBN 9780080363721, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-008036372-1/50005-2>.