

Beregnet til  
**Kystverket Sørøst**

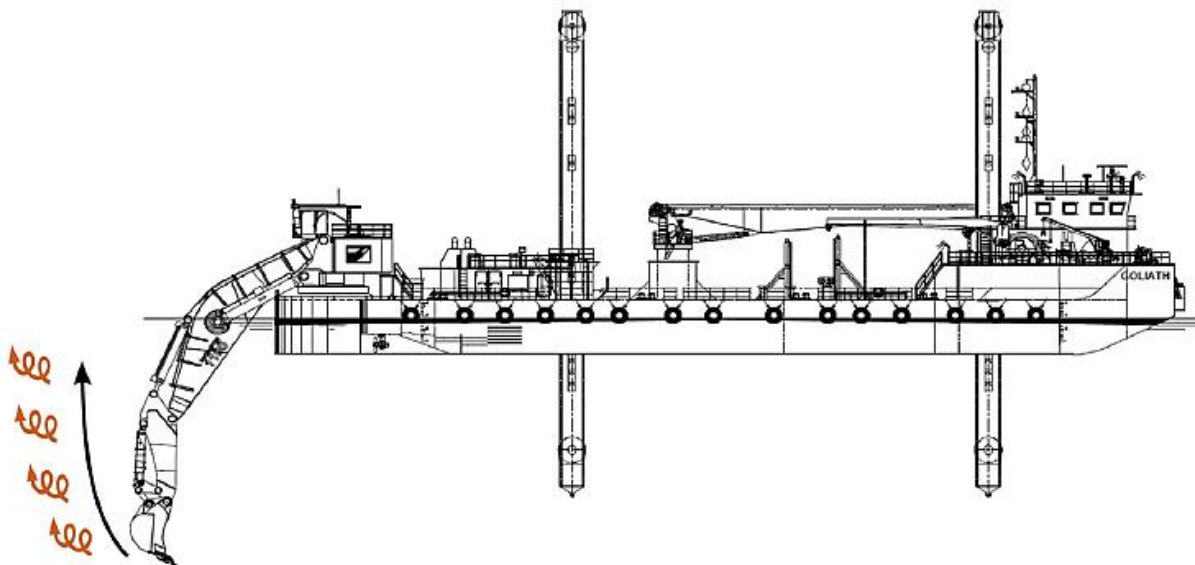
Kystsaksnummer  
**2015/1660**

Dokument type  
**Rapport**

Dato  
**November, 2020**

# UTBEDRING FARLED INNSEILING MOSS

## PARTIKKELSPREDNING UNDER MUDRING OG DEPONERING



# UTBEDRING FARLED INNSEILING MOSS PARTIKKELSPREDNING UNDER MUDRING OG DEPONERING

Oppdragsnavn **Kystverket - Innseiling Moss - utdyping, deponi og merking**  
Prosjekt nr. **1350040555-005**  
Mottaker **Kystverket**  
Dokument type **Rapport, M-rap-003**  
Versjon **001**  
Dato **27.11.2020**  
Utført av **Hanne Vidgren**  
Kontrollert av **Eivind Dypvik**  
Godkjent av **Tom Øyvind Jahren**  
Beskrivelse **Vurdering av partikkelspredning ifm. utdyping av innseiling til Moss Havn.**

Rambøll  
Harbitzalléen 5  
Postboks 427 Skøyen  
0213 Oslo

T +47 22 51 80 00  
<https://no.ramboll.com>

Forsidebildet er hentet fra Becker et al. (2015).

## INNHALDSFORTEGNELSE

<b>1.</b>	<b>Innledning</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Planlagt tiltak og grunnforhold</b>	<b>4</b>
2.1	Mudring og deponering	4
2.2	Mudringsmasser og grunnforhold	5
<b>3.</b>	<b>Områdebeskrivelse</b>	<b>7</b>
3.1	Strømforhold og hydrografi	7
3.2	Bakgrunnsnivå av turbiditet i Verlebukta	9
3.3	Marine naturtyper og fiskeriressurser	9
<b>4.</b>	<b>Beregning av partikkelspredning</b>	<b>12</b>
4.1	Metode og sedimentasjonshastigheter	12
4.2	Mudring	14
4.3	Deponering	16
<b>5.</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>20</b>
<b>6.</b>	<b>Referanser og litteratur</b>	<b>21</b>

## 1. INNLEDNING

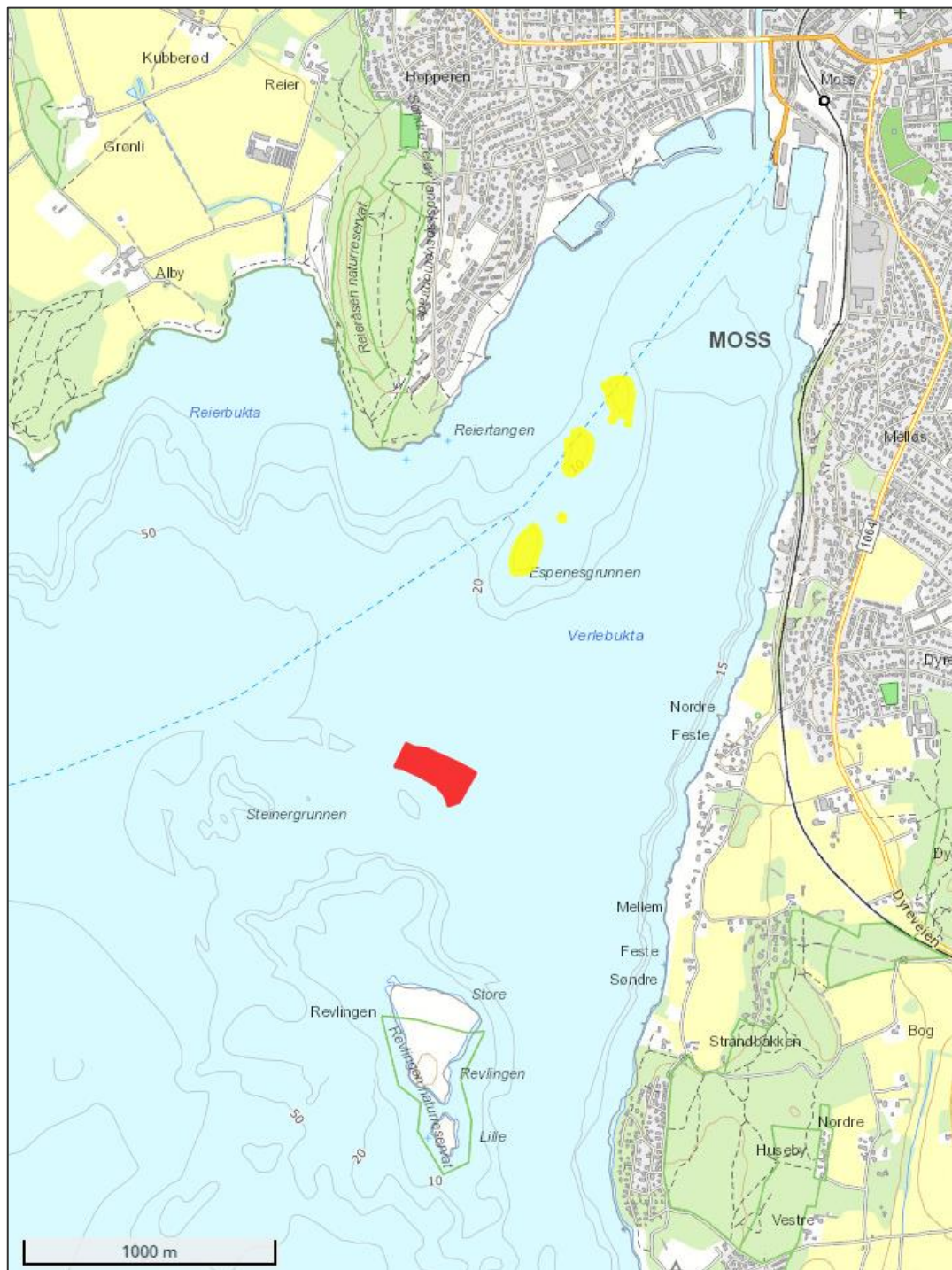
Kystverket planlegger å utvide og sikre farleden inn til Moss ved Verlebukta, på sørsiden av Moss. Tiltaket omfatter utdyping av Espenesgrunnen (plandyp 10,5 m), deponering av mudringsmasser til sjø ved Store Revlingen og merking av fem grunner. Prosjektet er blitt endret fra tidligere og plandyp er endret fra 13,8 m til 10,5 meter. Tiltaksområdene for mudring og deponering iht. gjeldende plan er vist i Figur 1.

Planlagt mudringstiltak vil kunne medføre negative effekter i tiltakets influensområde. Naturtyper innenfor tiltaksområdene for mudring og deponering går tapt som følge av tiltaket. I tillegg kan vannkvalitet og naturtyper i Verlebukta bli påvirket som følge av økt turbiditet i vannmassene og nedslamming. Hensikten med denne rapporten er en kvantitativ vurdering av partikkelspredning for de planlagte mudrings- og deponeringstiltakene ved farleden, og videre vurdering av hvilke konsekvenser partikkelspredning kan gi for naturtypene i området. Partikkelspredning er vurdert teoretisk, metoden er nærmere beskrevet i kapittel 4.

Denne rapporten bygger på eksisterende informasjon om tiltaksområdene og registrerte naturtyper i potensielle influensområde. I 2016-2020 er det blitt gjort diverse undersøkelser ved tiltaksområdene ifm. Kystverkets prosjekt og planarbeid, disse er oppsummert i Tabell 1. Dette omfatter blant annet undersøkelser av grunnforhold, sedimentkvalitet, bløtbunnsfauna, naturmangfold og strømforhold. Det er også tidligere utarbeidet en konsekvensutredning for marint naturmangfold og naturressurser i området. Vurderingene presentert i foreliggende rapport vil kunne benyttes videre ifm. reguleringsplan og konsekvensutredning.

**Tabell 1. Oppsummering av undersøkelser utført ifm. Kystverkets prosjektet Innseiling Moss Havn.**

Utført av	Rapport nr.	Rapportnavn	Beskrivelse
Multiconsult, 2016a	713150-RIGm-RAP-001	Miljøgeologiske sedimentundersøkelser	Miljøtekniske sedimentundersøkelser ved Espenesgrunnen og to andre grunner iht. tidligere plandyp
Multiconsult, 2016b	713150-RIG-RAP-001	Datarapport (grunnundersøkelser)	Grunnundersøkelser (geoteknikk) ved Espenesgrunnen, Steinergrunnen og Reiertangen iht. tidligere plandyp
Multiconsult, 2017c	713150-RIMT-RAP-001	Strømanalyse, Innseiling Moss	Strømmålinger ved Espenesgrunnen 06.12.2016 til 24.01.2017 og Steinergrunnen 06.12.2016 til 19.01.2017
Rådgivende Biologer, 2016	Rapport 2668	Innseiling Moss. Konsekvensvurdering for marint naturmangfold og naturressurser	Konsekvensutredning, mudring iht. tidligere plandyp (dvs. mudring av 3 grunner)
Rambøll, 2020a	M-rap-001	Utbedring farled innseiling Moss – Miljøtekniske undersøkelser	Undersøkelser ved merkeområder og deponiområdet
Rambøll 2020b	G-rap-001	Datarapport fra grunnundersøkelser	Grunnundersøkelser ved merkeområder, Espenesgrunnen og deponiområdet. Vurderingsrapport fra undersøkelsen er ennå ikke ferdigstilt.
Rambøll, 2020c	M-rap-002	Utbedring farled innseiling Moss – strømforholdene ved deponiområdet	Undersøkelse av strøm og sedimentasjonsforhold ved deponiområdet 24.juni.2020 til 6.august.2020



**Figur 1. Kart over Verlebukta i Ytre Oslofjord, områdene rundt Moss Havn. Utdypingsområder ved Espenesgrunnen er markert i gult og deponiområdet for mudringsmassene er markert med rødt (kartgrunnlag fra Kystinfo.no).**

## 2. PLANLAGT TILTAK OG GRUNNFORHOLD

### 2.1 Mudring og deponering

Det er tre delområder som er planlagt utdypet ved Espenesgrunnen (Figur 2a). Totalt volum som skal utdypes/mudres er 24 835 m<sup>3</sup> og arealet er 34 988 m<sup>2</sup> (se Tabell 2). Mudringsmassene skal deponeres i deponiområdet ved Store Revlingen som har et areal på ca. 34 000 m<sup>2</sup>(Figur 2b). Plandyp for mudringen er 10,5 m, og dagens vanndyp i den sørligste delen av Espenesgrunnen er omtrent 7,5 m i det grunneste området. Dette gir et mudringsdyp på opptil 3 m. Det er kun løsmasser ved Espenesgrunnen, og det vil ikke være behov å sprengre ifm. utdypingen. Massenes egenskaper er nærmere beskrevet i Kapittel 2.2.

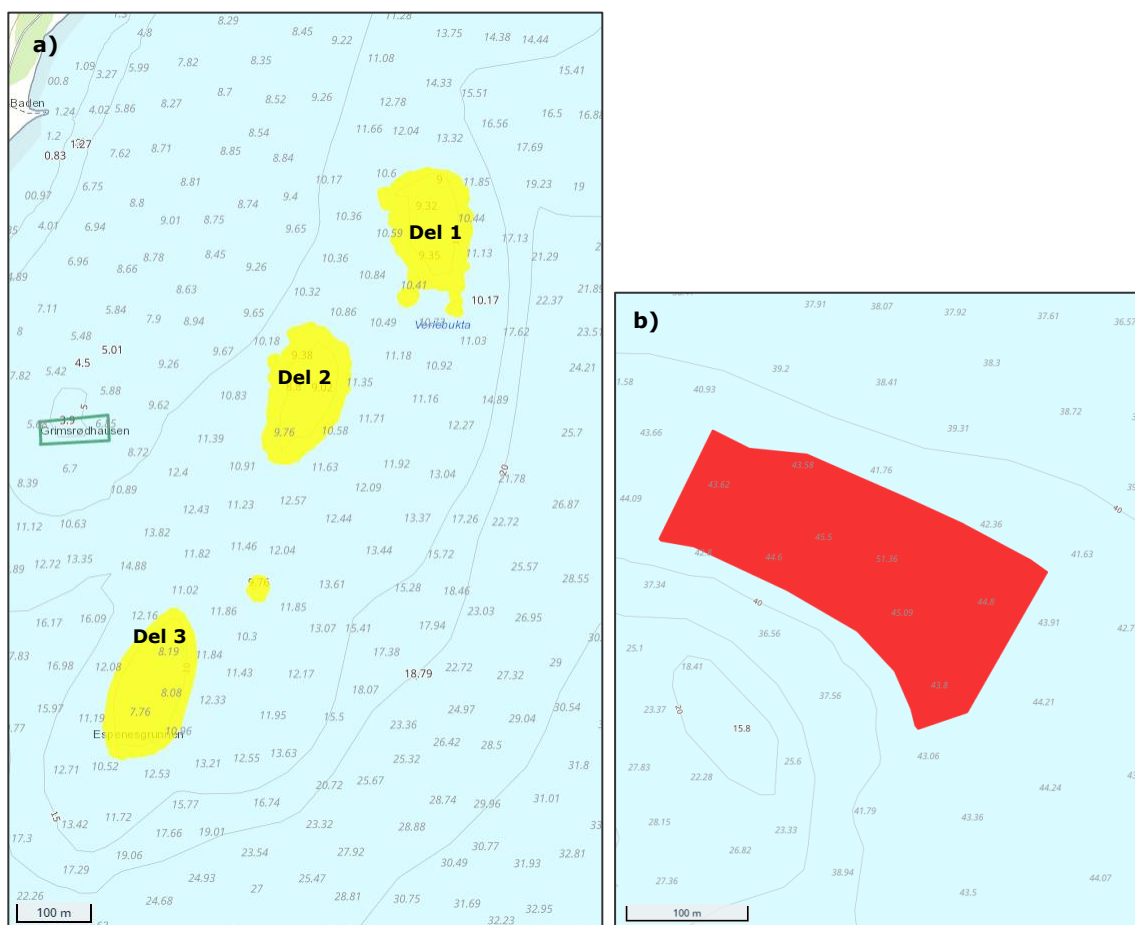
I henhold til oppdragsgiver kan det forutsettes at massene tas opp med bakgraver på lekter og lastes over i en splittlekter, og at massene deretter transporteres til deponiområdet og slippes fra overflaten. Disse metodene er benyttet som utgangspunkt for denne rapporten.

Bakgraver er en egnet mudringsmetode for de fleste type masser, alt fra stein og grus til fine sedimenter. Graveskuffene som er i bruk i Norge har normalt et volum på 1,5–6,0 m<sup>3</sup> og produksjonskapasitet for en bakgraver er typisk omtrent 50–150 m<sup>3</sup>/time (*in situ* volum) (DNV, 2008). Vi har grovt estimert at varigheten av anleggsperioden for mudringen og deponering blir ca. 1-3 måned. Varigheten av anleggsperioden er viktig med tanke på eksponeringstid for forhøyet turbiditet og økt nedslamming. Det er enda ikke avklart når tiltaket ønskes gjennomført, men hovedregelen er at tiltak i sjø ikke tillates i sommerperioden fra 15. mai til 15. september.

Tabell 2. Arealer og volumer for tiltaksområdene ved Espenesgrunnen, Innseiling Moss Havn.

Område	Areal (m <sup>2</sup> )	Volum (m <sup>3</sup> )	Vanndyp i dagens situasjon (cirka)
Del 1	10 406	2 769	9-10 m
Del 2	11 062	3 984	8,5-10 m
Del 3	13 520	18 082	7,5 – 10 m
Esperesgrunnen, totalt	34 988	24 835	
Deponiområdet*	34 000 m <sup>2</sup>	Alle mudrede masser	43-51 m

\* Målt basert på shape fil. Øvrige arealer og volumer baserer seg på grunnlaget mottatt fra oppdragsgiver.



**Figur 2. a) Kart som viser dagens vanddyb og mudringslokalitet ved Espenesgrunnen. Dagens vanddyb i tiltaksområdet er mellom ca. 7,5 og 10,0 m. b) Deponiområdet sør for Store Revlingen. (Kartgrunnlag fra Kystinfo.no)**

## 2.2 Mudringsmasser og grunnforhold

Mudringsmassenes egenskaper og forholdene ved deponistedet er avgjørende for spredningen under tiltaket. Dette vurderes i Kapittel 4.

### Espenesgrunnen

Multiconsult utførte grunnundersøkelser og miljøtekniske sedimentundersøkelser ved Espenesgrunnen i 2016 (Multiconsult 2016b). Resultatene viste at mudringsvolumet består av løsmasser. Berg ble påtruffet dypere enn planlagt mudringsdyp i alle sonderingene. Prøveserien indikerte én meter med sandig, siltig og leiraktig materiale. Et påtruffet leirelag lå dypere enn planlagt mudringsdyp. Rambøll (2020c) tok ingen prøveserie fra Espenesgrunnen, men sonderingene indikerte at grunnen består av homogene masser i øvre delen av sjøbunnen hvor sonderingsmotstanden økte fra liten til middels med dybden. Sonderingene indikerte jevne forhold i området, med leire ned til relativt stort sedimentdyp før fjell påtreffes.

Multiconsult (2016a) utførte sedimentprøvetakingen ved Espenesgrunnen. De fleste (20 av 21) av prøvene ble tatt fra de øvre 0-10 cm av sediment. Prøvene ble tatt med tanke på tidligere plandyp på 13,8 m, og følgelig ble flere prøver tatt utenfor tiltaksområdet iht. gjeldende plan. Likevel benyttes alle resultater for å beskrive mudringsmasser. Sedimentet (0-10 cm) på grunnen hadde varierende innhold av finstoff (< 63  $\mu\text{m}$ ) på mellom 4 og 54 %. Gjennomsnittlig besto sedimentene av 79 % sand og grus (> 63  $\mu\text{m}$ ), 20 % silt (< 63  $\mu\text{m}$ , > 2  $\mu\text{m}$ ) og 1,6 % leire (< 2  $\mu\text{m}$ ). Innholdet av TOC var lav (snitt 0,3 %). Forholdene kan endre seg noe i dypere i lag som vil

bli mudret. I denne rapporten er det som utgangspunkt benyttet et konservativt estimat om at 25 % av mudringsmassene består av finstoff. Som beskrevet ovenfor viste grunnundersøkelsene forholdsvis homogene forhold i mudringsmassene.

Konsentrasjonen av metaller, PAH og PCB var lav i sedimentene ved Espenesgrunnen (Multiconsult, 2016a). Det ble kun påvist enkeltverdier av antracen og pyren i tilstandsklasse III ved hhv. på to og én stasjon av 21 stasjoner undersøkt. PCB7 ble påvist i klasse III i sedimentene ved en stasjon av 21. Ved resterende 19 stasjoner var konsentrasjon av metaller, PAH og PCB i tilstandsklasse I eller II. Konsentrasjon av TBT ble klassifisert iht. forvaltningsmessige grenseverdier. Konsentrasjon av TBT tilsvarte ble påvist i klasse IV på 4 stasjoner og i moderat tilstand ved 4 stasjoner av totalt 21 som ble undersøkt. Ved de øvrige 12 stasjonene tilsvarte konsentrasjonen av TBT tilstandsklasse II (god tilstand) eller bedre.

#### Deponilokalitet ved Store Revlingen

Rambøll (2020c) utførte en totalsondering ved deponiområdet, kun datarapport fra undersøkelsen er ferdigstilt. Resultatene indikerte svært lav bormotstand ned til ca. 13 meter dybde under sjøbunnen, nedover var det en liten økning i motstanden med dybden. Det ble i tillegg tatt én prøve fra det øverste laget. Prøven viste fine løsmasser med et høyt vanninnhold (57 %) og drenert skjærfasthet på 4 kPa. Slike masser kan forventes å virvle opp når sedimentene forstyrres under deponeringen.

Deponilokaliteten ble undersøkt med dykkamera og sedimentprøvetaking av Rambøll i juni 2020 (Rambøll, 2020a). Videotransektene viste en relativt homogen sjøbunn bestående sand og eller silt, med noen små stein. De prøvetatte løsmassene besto i hovedsak av silt (62–87 %), samt noe sand (11–36 %). Andelen leire var lav, mellom 1,9–2,6 % og innholdet av TOC var lav og mellom 0,7 – 1,1 %. Konsentrasjon av miljøgifter i deponiområdet er forholdsvis lik som i mudringsområdet, og metaller, PAH og PCB var i all hovedsak påvist klasse I/II i overflatesedimentene, med unntak tre av fem stasjoner der det ble påvist konsentrasjon av antracen i klasse III. Konsentrasjon av TBT tilsvarte god tilstand sammenlignet med forvaltningsmessige grenseverdier (klasse II).



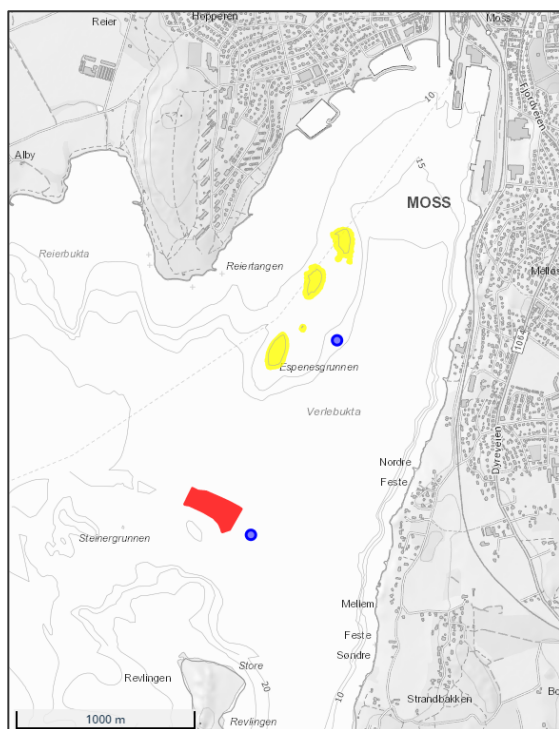
### 3. OMRÅDEBESKRIVELSE

#### 3.1 Strømforhold og hydrografi

Avstand mellom mudrings- og deponilokalitet er ca. 1,5 km. Strømforholdene ved Espenesgrunnen ble undersøkt vinteren 2016-2017 (Multiconsult, 2017). Rambøll (2020b) utførte strømundersøkelser ved deponilokalitet sommeren 2020. Figur 3 viser plassering av målestasjonene. Tabell 3 viser hovedresultater fra målingene. Strømretning og -hastighet er avgjørende for spredning av finstoff i vannmasser under deponering, og strømdata benyttes for å vurdere hvilke naturområder kan bli påvirket av tiltakene i Kapittel 4.

Strømhastighetene er forholdsvis lave både ved mudrings- og deponeringslokalitetene, gjennomsnittlig omtrent 4-6 cm/s. Ved begge lokasjoner kommer det enkelte perioder med strømhastigheter opp mot 10-35 cm/s. Strømmen er generelt noe svakere nære sjøbunnen. Strømundersøkelsene indikerte at tidevannsstrømmen spiller en liten rolle i det totale strømbildet i Verlebukta. Utførte undersøkelser tyder på at meteorologiske forhold har stor betydning for strømbildet i området, og følgelig vil det komme en del variasjon i strømforholdene gjennom året.

Hydrografimålinger har vist at tykkelsen på brakkevannslaget i overflaten varierer stort gjennom året. Generelt er det mest sjikting i vannet i vår- og sommermånedene, mens det om vinteren er mer homogene vannmasser. Turbiditeten er ofte naturlig høyere i brakkevannslag sammenlignet med bunnvannet. Grunnen til det er transport av partikler og organisk materiale fra elver, samt at topplaget blandes i liten grad med underliggende tyngre vannmasser.



**Figur 3. Blå sirkler viser plassering av stasjoner for strømmålinger ved Espenesgrunnen (gul markering) og deponiområder (rød markering). Resultater fra disse målinger er i denne rapporten benyttet for å vurdere partikkelspredning.**

**Tabell 3. Strømrøser ved mudrings- og deponilokalitet, målt hhv. av Multiconsult (2016c) og Rambøll (2020b). Lokasjon av målestasjonene er vist i Figur 3.**

	Espenesgrunnen (Multiconsult, 2017)	Deponilokalitet (Rambøll, 2020c)
<b>Overflatestrøm</b>	<p>5 m dybde</p> <p>Hastigheter [cm/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;=20</li> <li>15 - 20</li> <li>10 - 15</li> <li>5 - 10</li> <li>2 - 5</li> <li>0 - 2</li> </ul>	<p>6m</p> <p>Hastigheter [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.3 to 4</li> <li>0.2 to 0.3</li> <li>0.16 to 0.2</li> <li>0.12 to 0.16</li> <li>0.08 to 0.12</li> <li>0.04 to 0.08</li> <li>0.02 to 0.04</li> <li>0 to 0.02</li> </ul>
<b>Strøm i dypere vannlag</b>	<p>11 m dybde</p> <p>Hastigheter [cm/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;=20</li> <li>15 - 20</li> <li>10 - 15</li> <li>5 - 10</li> <li>2 - 5</li> <li>0 - 2</li> </ul>	<p>40m</p> <p>Hastigheter [m/s]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.3 to 4</li> <li>0.2 to 0.3</li> <li>0.16 to 0.2</li> <li>0.12 to 0.16</li> <li>0.08 to 0.12</li> <li>0.04 to 0.08</li> <li>0.02 to 0.04</li> <li>0 to 0.02</li> </ul>
<b>Statistikk</b>	<p><b>Gjennomsnittsstrøm</b></p> <p><b>Maksimalstrøm</b></p> <p>— 5 m dybde — 8 m dybde — 11 m dybde — 13 m dybde</p>	<p><b>6 m</b> Gjennomsnittstrøm er markert i oransje</p> <p><b>40 m</b> Gjennomsnittstrøm er markert i oransje</p>

### 3.2 Bakgrunnsnivå av turbiditet i Verlebukta

Naturlige variasjoner av turbiditet i Verlebukta og Mossesundet er undersøkt blant annet ifm. Bane NORs prosjekt «Nytt dobbeltspor Sandbukta – Moss – Såstad» (Rambøll, 2017). Det ble blant annet kartlagt hvor mye skipstrafikk i Verlebukta bidrar til økt turbiditet, samt målt turbiditet ved faste stasjoner over flere måneder.

Resultatene viste at det er mer variasjon i turbiditet i Verlebukta enn i Mossesundet. Det er grunnere i Verlebukta og sedimentene er dermed mer utsatt for bølgeerosjon, spesielt i perioder med sterk vind. Resultatene viste at fergetrafikken mellom Moss og Horten i liten grad påvirker turbiditeten i vannmassene. Årsaken til det er at det er lagt betongmutter ved fergekaiene og at sedimentene har blitt vasket bort allerede. Det ble ikke målt merkbart forhøyede turbiditetsverdier ved fergepassering, men annen skipstrafikk forårsaket imidlertid forhøyede turbiditetsnivåer innerst i Moss havn i Verlebukta. Generelt er bakgrunnsnivået av turbiditet i bukta lav, men tilførsel av vann og partikler fra Mosseelva ga noe høyere turbiditet (ofte mellom ca. 3 og 5 FNU) i brakkvannslaget også i Verlebukta. Ellers ble det generelt målt verdier for turbiditet mellom 1 – 3 FNU i Verlebukta.

### 3.3 Marine naturtyper og fiskeriressurser

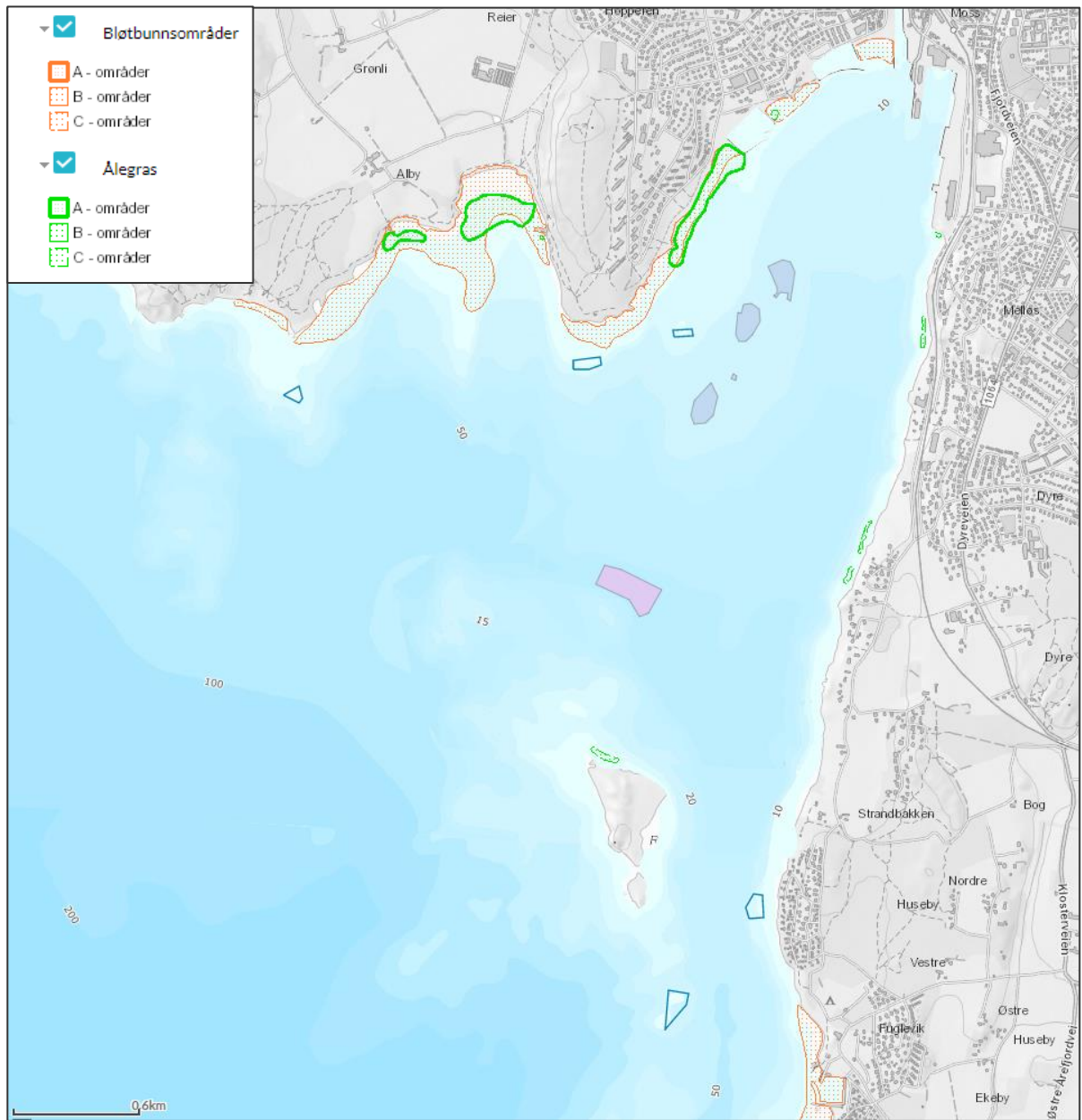
Økt turbiditet og tilslamming kan medføre effekter på vannlevende organismer. Naturtyper i nærområdene er tidligere beskrevet for eksempel av Rådgivende Biologer (2016) og Rambøll (2020a). Spredning av partikler kan blant annet gi økt turbiditet i vannmassen, redusere lystilgang og være til hinder for fisk og føre til tilslamming av ålegrasengene og bløtbunnsområder. Figur 4 viser registrerte viktige naturtyper i nærheten (< 2 km avstand) til mudrings og deponeringslokaliteter, innenfor det potensielle influensområdet. Figur 5 viser fiskeriressurser registrert i samme området.

Naturverdier i nærheten av tiltaksområdene er nærmere beskrevet av bl.a. Rådgivende Biologer (2016) og Rambøll (2020a).

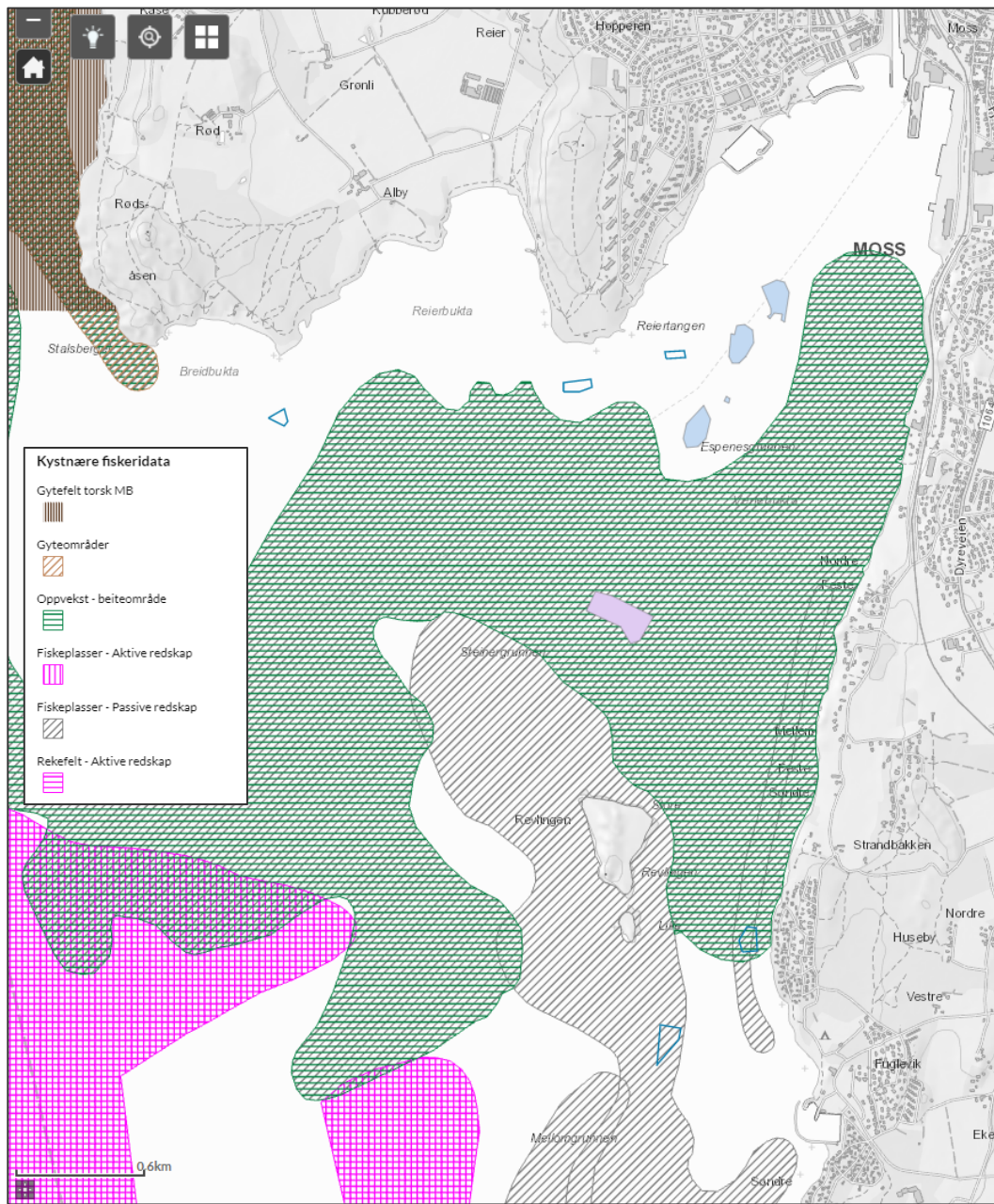
Substrat i områdene som omfattes av mudringen og deponeringen vil bortfalle og dø. Det er imidlertid ikke registrert viktige naturtyper ved Espenesgrunnen (Multiconsult, 2016a) eller deponiområdet (Rambøll, 2020).

Bunnsamfunnet kan reagere på ulike måter ved endring i sedimentasjonsforhold. Bunnlevende organismer er tilpasset sedimentering fra naturlige prosesser, blant annet elvetilførsel. Likevel kan organismsamfunnene påvirkes negativt dersom sedimenteringen som følge av anleggsarbeidene overskrider naturlig sedimentasjon. En studie utført av Trannum et al. (2010) fant ingen effekter på bunnlevende fauna ved overdekking med mellom 6-24 mm med naturlig sediment. Andre studier (Maurer, 1982; Bellchambers, 1995) har vist at bunnlevende organismer kan overleve mer enn 10 cm overdekking. Disse verdiene indikerer at det trolig er stor variasjon fra lokalitet til lokalitet. Iht. overnevnte kilder vil negative effekter generelt være mindre dersom partiklene som spres fra utleggingen av massene har de samme egenskapene (kornstørrelse, innhold av organisk materiale m.m.) som de naturlige sedimentene i området. Dette er tilfellet for Kystverkets planlagte tiltak i Moss.

Som oppsummert i kapittel 3.2 er det en del variasjon i bakgrunnsturbiditeten i Verlebukta. I områder som f.eks. er preget av vind- eller tidevannsindusert resuspensjon anses de biologiske samfunnene å være mer robuste enn i svært stabile områder.



**Figur 4. Kart som viser registrerte marine naturtyper i Verlebukta, sammen med plassering av tiltaksområdene for mudring (grå), deponering (rød/rosa) og markering av grunner (blå polygon). Kartet er laget i Fiskeridirektoratets database Yggdrasil basert på datalag hentet fra Miljødirektoratets database Naturbase.**



**Figur 5. Kart som viser registrerte områder fra kategori «Kystnære fiskeridata» i Verlebukta (kilde: Fiskeridirektoratet). Kartet viser også tiltaksområdene for mudring (grå), deponering (rød/rosa) og markering (blå polygon).**



## 4. BEREGNING AV PARTIKKELSPREDNING

### 4.1 Metode og sedimentasjonshastigheter

I dette kapitlet er andel partikler som spres fra sedimentene under planlagt mudring og deponering vurdert ut ifra verdier i litteratur. Det er i hovedsak mudrings-, og deponeringsmetode, massenes egenskaper og forholdene ved tiltaksområdet som er avgjørende for hvor stor andel av mudringsmasser spres med strømmer utenfor tiltaksområdet. Figur 6 illustrerer oppvirvling under a) mudring med bakgraver og b) deponering fra overflaten. Disse metoder forutsettes brukt for anleggsgjennomføringen.

For vurdering av partikkelspredning i denne rapporten har vi i hovedsak benyttet erfaringsbasert tall fra flere undersøkelser rapportert av Van Rijn (2019), og metode utviklet av Becker et al., 2015. Kapitlene 4.1 og 4.2 presenterer estimert spredning av partikler fra hhv. mudring og deponering.

Under mudring og deponering av mudringsmassene vil en del av mudringsmassene bli suspendert i vannmassene. Denne andelen er vurdert basert på litteratur. Alle vurderinger starter med in-situ volumet som skal mudres ( $V_{\text{situ}}$ ,  $\text{m}^3$ ). I denne rapporten har vi benyttet to metoder for beregning av partikkelspredning under mudring og deponering:

#### 1. Total tap av partikler under arbeidene, basert på feltundersøkelsene oppsummert av Van Rijn (2019):

Van Rijn (2019) oppsummerte resultater fra flere feltundersøkelser av partikkelspredning for mudring og deponering. Spredning ved bruk av forskjellige metoder ble vurdert i rapporten. For mudring kan såkalt S-faktor benyttes i beregninger. S-faktor defineres som tørrvekt av oppvirvlet sediment per in-situ volum mudret ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Faktoren tar hensyn til oppvirvling av alle partikkelfraksjoner, og henviser til området svært nært mudringssted (innen ca. 50 m).

For deponering foreligger det empiriske %-tall for oppvirvling av sediment under mudring. Også disse %-tall henviser til oppvirvling av alle partikkelfraksjoner.

#### 2. "Source factors" iht. Becker et al. 2015

For sammenligning har vi også beregnet mengde suspendert finstoff fra anleggsarbeidene, basert på metoden av Becker et al. (2015). Dette på grunn av at det er i hovedsak finstoff som spres over lengre avstander sånn at dette kan gi påvirkninger utenfor umiddelbar nærhet til tiltaksområdet. Sedimentasjonshastigheter er diskutert nedenfor.

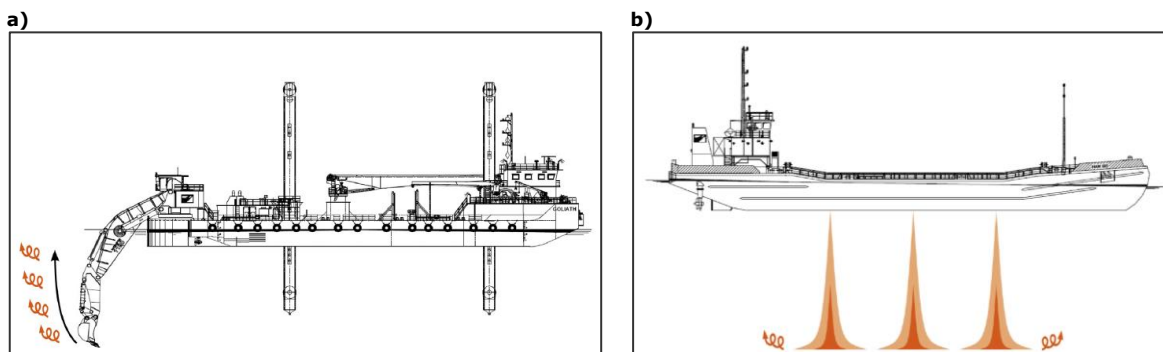
Fra  $V_{\text{situ}}$  beregnes det først totalt mengde finstoff som mudres (partikler  $< 63 \mu\text{m}$ , tørrstoff i kg) basert på sedimentets egenvekt og kornfordeling ( $m_t$  angitt i formel nr. 1). Videre fra  $m_t$  beregnes andel som spres utenfor tiltaksområdet basert på faktorer oppgitt av Becker et al., (2015).

$$m_t = \rho_d * V_{\text{situ}} * f_{<63\mu\text{m}} \quad (1)$$

$m_t$	er total mengde finstoff i massene (kg, tørrstoff)
$V_{\text{situ}}$	er in situ volum av masser som mudres
$f_{<63\mu\text{m}}$	er andelen av finstoff i massene
$\rho_d$	tørrvekt for sedimenter

Beregnet spredning (dvs. faktorer benyttet) i både metode 1. og 2. er avhengig av massenes karakter (kornfordeling, vanninnhold mfl.), mudrings- og deponeringsmetode, og forholdene ved

deponistedet (strømstyrke mfl.). Beregnet spredning er beskrevet i kapitlene 4.2 og 4.3 hhv. for mudring og deponering.



**Figur 6. Partikkelspredning illustrert under a) mudring med bakgraver og b) deponering fra lekter. (Hentet fra Becker et al. 2015) Ingen overflow inkludert i beregning av partikkelspredning i denne rapporten (dvs. antatt at mudringsmasser skal ikke avvannes før deponering).**

Det er i hovedsak kun finfraksjonen (partikler < 63 µm, i.e. leire og silt) som kan spres over lengre avstander. Grovere fraksjoner (sand, grus) suspendert i vannmassen vil sedimentere nær deponistedet og i mindre grad spres med kyststrømmer. Tabell 5 viser Stokes sedimentasjonshastighet for silt- og leirepartikler, samt teoretisk tid som kreves for at partiklene sedimenteres 40 m og 10 m vertikalt. Sedimentasjonshastigheter er benyttet for å teoretisk vurdere hvor langt finstoff fra deponering kan spres horisontalt ved snittstrømforholdene i området (5 cm/s).

I denne rapporten, for å beregne økt sedimentasjon som følge av tiltaket, er det antatt at:

- Fraksjoner beregnet basert metode 1. sedimenterer innen 100 m avstand fra tiltaksområdet.
- Alt finstoff (metode 2.) sedimenterer innen 500 m avstand fra mudringslokalitet. Dette er noe konservativt anslag med tanke på nedslamming for finstoff. Særlig fin silt og leire (partikler < 20 µm) har svært lav sedimentasjonshastighet og disse fraksjoner kan spre over flere kilometers avstand (se Tabell 4). Konsentrasjonen av partiklene fortynnes under transport og små partikler spres over større områder, men gir lite nedslamming.

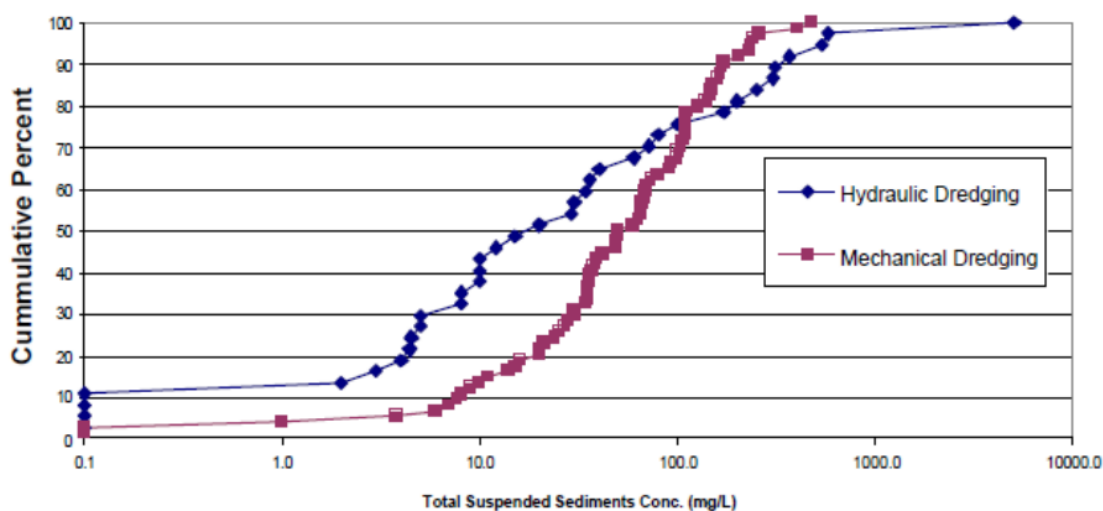
**Tabell 4. Sedimenteringshastighet for silt og leirepartikler i sjøvann, basert på Stokes law. Ut ifra sedimentasjonshastighet er det teoretisk beregnet horisontal transport ved å ta i utgangspunkt i at masser slippes ut 40 og 10 meter over sjøbunnen ved deponiet, og at strømhastighet i resipienten er 5 cm/s.**

Stokes hastighet		Oppvirvlet 40 m over sjøbunnen (ca. vanddyb ved deponilokalitet)		Oppvirvlet 10 m over sjøbunnen (ca. vanddyb ved Espenesgrunnen)	
		Tid før partikkel har sedimentert 40 m vertikalt	Horisontal transport under sedimentering (0,05 m/s strøm)	Tid før partikkel har sedimentert 10 m vertikalt	Horisontal transport under sedimentering (0,05 m/s strøm)
mm	m/s	timer	km	timer	km
0,2 (fin sand)	2,54E-02	0,44	0,08 (80 m)	0,11	0,02 (20 m)
0,1 (fin sand)	6,34E-03	1,75	0,32 (320 m)	0,44	0,08 (80 m)
0,063 (silt)	2,52E-03	4	0,8 (800 m)	1	0,2 (200 m)
0,04 (silt)	1,01E-03	11	2	3	0,5
0,013 (silt)	1,07E-04	104	19	26	5
0,004 (silt)	1,01E-05	1095	197	274	49
0,002 (leire)	2,54E-06	4381	789	1095	197

## 4.2 Mudring

Bakgraver vil medføre spredning i selve gravefasen og når massene løftes opp gjennom vannsøylen, følgelig vil oppvirvling forventes i hele vannsøylen (se Figur 6a). Oppvirvlingen er ofte noe høyere ved bruk av mekaniske metoder sammenlignet med hydrauliske metoder (sugemudring etc.). Figur 7 viser data fra rundt 50 feltundersøkelser, oppsummert av LASC (2003). Mekaniske metoder uten «overflow» medfører generelt en økning på TSS konsentrasjon mellom 50-200 mg/l ved ca. 35-50 m nedstrøms mudringslokaliteter. Flest undersøkelser (ca. 70 %) viste en økning i TSS konsentrasjoner under 100 mg/l ved denne avstand. S-faktorer som benyttes her for å vurdere spredning under mudring baserer seg på disse feltundersøkelsene.

Feltmålinger oppsummert av Van Rijn (2019) viser at ble TSS konsentrasjoner i vannmasser oftest reduseres til bakgrunnsnivå innen 500 m avstand nedstrøms mudringslokalitet uten «overflow». Mudring med bakgraver tilfører kun ca. 10-20 % ekstra vann utover in situ volum i massene (DNV, 2008). Det er dermed ikke vanligvis behov for avvanning og overflow under arbeidene.



Figur 7. Målt oppvirvling (som TSS, mg/l) av sediment under mudring for både mekaniske og hydrauliske mudringsmetoder, 35-50 m nedstrøms mudringslokalitet. Basert på ca. 50 forskjellige feltundersøkelser. (Hentet fra LASC Task Force 2003)

I denne rapporten er mengde sedimenter som spres under mudring beregnet ved to metoder (beskrevet ovenfor). Tabell 5 viser beregnet spredning under mudring, samt beregnet tilslamming av sjøbunnen.

### Metode 1. – S faktor

For mudring med bakgraver er det rapportert S-faktorer på mellom 5-50 kg/m<sup>3</sup> (Pennekamp et al., 1996). Beregninger i denne rapporten er basert på en S-faktor 35 kg/m<sup>3</sup>. Denne faktoren er inklusiv alle partikkelstørrelser.

### Metode 2. – finstoff

Iht. Becker et al. (2015) varierer «Bucket drip fraction» for bakgraver mellom 1-4 %. Dette vil si at 1-4 % av finstoff kan potensielt spres under mudring med bakgraver. Vi har benyttet fraksjon på 3 % i foreliggende rapport.

Faktorer 35 kg/m<sup>3</sup> og 3 % er valgt grunnet at vanddyb ved grunnen er opptil 10 m, dvs. forholdsvis stor for en bakgraver. Dette kan øke oppvirvling under mudring. Mudringsmassene er



medium faste masser som kan spres i en viss grad. Strømforholdene i området er forholdsvis lave som er med for å redusere spredning.

**Tabell 5. Beregnet spredning av partikler under mudring ved Espenesgrunnen.**

Mudring ved Espenesgrunnen		Enhet			
Volum <i>in-situ</i> mudringsmasser	24 835	m <sup>3</sup>			
Egenvekt (tørrvekt in situ)	1 600	kg/m <sup>3</sup>			
Tørrvekt	39 736 000	kg			
Metode 1. Beregning av oppvirvling (alle fraksjoner)			Metode 2. Beregning av oppvirvling (finstoff)		
S-faktor mudring (varierer mellom 5-50)	35	kg/m <sup>3</sup>	Andel finstoff i mudringsmasser (se Kap. 2.2)	25	%
<b>Beregnet oppvirvling nær mudring</b>	<b>869 225</b>	<b>kg</b>	Finstoff tilgjengelig for spredning, totalt	9 934 000	kg
			Faktor, spredning av finstoff (Becker et al. 2015)	3	%
			<b>Finstoff som spres under mudring</b>	<b>298 020</b>	<b>kg</b>
Størrelse på influensområdet					
Sedimentasjon, avstand fra mudring	100	m	Sedimentasjon, avstand fra mudring	500	m
Areal for sedimentasjon (se Figur 9, målt fra kart)	280 000	m <sup>2</sup>	Areal for sedimentasjon (se Figur 9, målt fra kart)	1 860 000	m <sup>2</sup>
Areal for selve mudringsområdet	34 988	m <sup>2</sup>	Areal for selv mudringsområdet	34 988	m <sup>2</sup>
Influensområdet areal (ikke selve tiltaksområdet)	245 012	m <sup>2</sup>	Influensområdet areal (ikke selv tiltaksområdet)	1 825 012	m <sup>2</sup>
Økt sedimentasjon i influensområdet			Økt sedimentasjon i influensområdet		
Sedimentasjon	3,55	kg/m <sup>2</sup>	Sedimentasjon	0,16	kg/m <sup>2</sup>
Sedimentasjon (ved å anta egenvekt på 1500 kg/m <sup>3</sup> )	0,002	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Sedimentasjon (ved å anta egenvekt på 1500 kg/m <sup>3</sup> )	0,0001	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
<b>Sedimentvekst i influensområdet</b>	<b>0,24</b>	<b>cm</b>	<b>Sedimentvekst i influensområdet</b>	<b>0,011</b>	<b>cm</b>

Beregningene viser at den planlagte mudringen totalt vil virvle opp ca. 870 tonn sedimenter. Oppvirvling av finstoff er beregnet å bli på rundt 300 tonn. Økt sedimentasjon innen 100 og 500 m avstand til mudringslokalitet er hhv. grovt beregnet å bli 0,24 cm og 0,011 cm (2,4 mm og 0,11 mm). Dette er beregnet ved å anta at partiklene spres jevnt til alle retninger (se Figur 9). Oppvirvlede sedimenter forventes å spres over et forholdsvis stort område grunnet at tiltaksområdet for mudring består av 3 separate områder (se Figur 3). Dette vil gi en mer «diffus» kilde av partikler fra arbeidene.

Anleggsarbeidene varighet er noe usikker, men trolig vil tilslammingen komme ila. noen måneder. Dette betyr at naturlig sedimentasjon vil kunne økes betydelig under anleggsperioden innen ca. 100 m avstand fra tiltaksområdet for mudringen. Sedimentasjonsraten varierer vanligvis mellom ca. 0,5-3 mm/år i tilsvarende områder ved norskekysten (erfaringsbasert tall).

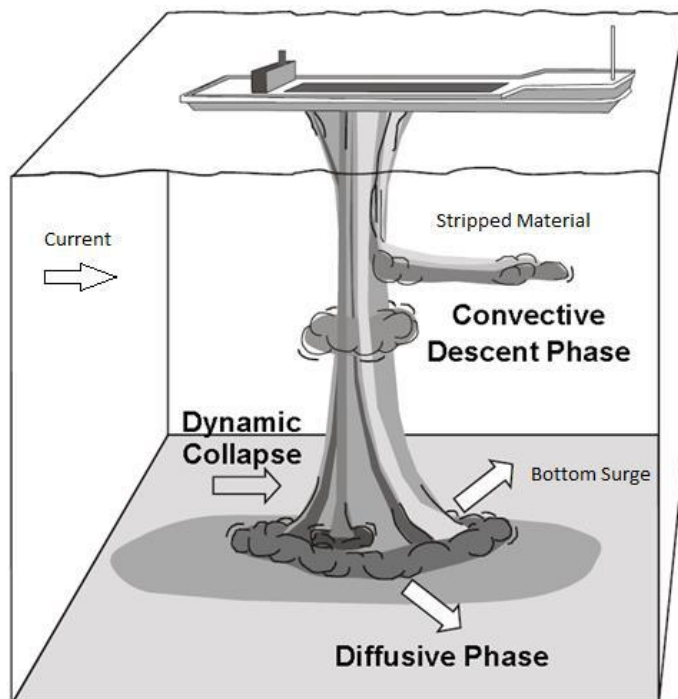
Særlig fine fraksjoner spres med strømmen og dermed er strømforholdene ved deponisted avgjørende for hvilke områder blir mest utsatt. Strømmen ved Espenesgrunnen oscillerer mye i nordøst-sørvestlig retning (Multiconsult, 2017). I overflatelaget er strøm mot nordøst vanligst, mens i dypere lag er strøm mot sørvest vanligst (se Tabell 3). Vanntransport mot vest (dvs. mot nærmeste ålegrasenger og bløtbunnsområder sør for Reiertangen, se Figur 4) kommer sjelden. Det forventes ikke noe særlig partikkelspredning eller økt sedimentasjon mot disse områdene. Alle registrerte gyteområder ligger utenfor influensområdet til mudringen. Innenfor 100 m avstand fra mudringslokalitet kan det forekomme TSS konsentrasjon over 100 mg/l, men iht. Van Rijn (2018) vil «partikkelplumen» typisk være fortynnet til bakgrunnsnivå ved 500 m avstand fra mudringslokalitet, dvs. ved de registrerte ålegrasengene.

Vi antar som et worst case scenario med tanke på nedslamming at halvparten av oppvirvlingen transporteres i en 30 graders sektor mot nordøst og halvparten transporteres i en 30 graders vinkel mot sørvest (iht. strømroser). Dette vil økt sedimentasjon på 14 mm og 0,7 mm hhv. innen 100 og 500 m avstand til tiltaksområdet for mudringen. Dette beregnede worst case scenarioet for sedimentasjon mot sørvest og nordøst vil ikke berøre viktige naturverdier kartlagt i området, i nevneverdig grad (Figur 4 og 5).

### 4.3 Deponering

Under deponering oppstår oppvirvling fra massene som deponeres fra lekter og fra sedimentene ved deponeringslokaliteten. Når mekaniske mudrede masser dumpes fra en lekter ved overflaten vil massene først synke ved konveksjon før dynamisk kollaps oppstår når massene treffer bunnen. Noe finstoff vil bli suspendert i vannmassene («Stipped Material») mens massene synker gjennom vannsøylen. Disse prosessene er illustrert i Figur 8.

Etter kollapsen på bunnen vil horisontal spredning blir dominerende (Johnson og Fong, 1995). Det vil formes en partikkelsky med lavere tetthet som strekker 2-3 m over sjøbunnen når massene treffer sjøbunnen (Van Rijn, 2019). Basert på feltundersøkelser oppsummert av Van Rijn (2019) vil denne plumen sedimentere innen 100 - 500 m avstand fra deponisted. Følgelig vil partikkelspredning forventes å bli størst nære sjøbunnen. TSS konsentrasjoner i øvre vannlag vil bli påvirket i mindre grad. I tiltaksområdet i Moss er strømhastighetene ved bunnen lave og sedimentasjonsforholdene gode.



Figur 8. Illustrasjon av deponering av mudringsmasser til sjø fra lekter.

På samme måte som for mudring (Kap. 4.2), har vi vurdert separat oppvirvling av alle sedimentfraksjoner (total spredning) og oppvirvling av finstoff som sedimenterer lengre unna tiltaksområdet. Tabell 6 viser beregnet spredning under deponering, samt beregnet tilslamming av sjøbunnen. Figur 9 viser estimert influensområdet.

Metode 1. – oppvirvling, alle sedimentfraksjoner

Studiene oppsummert av Van Rijn (2019) viser at mellom 3 % og 5 % av massene som deponeres kan spres utenfor tiltaksområdet. Dette er andelen som blir suspendert fra partikkelpulmen nære bunnen. Vi har beregnet oppvirvling under deponering ved å anta spredning på 5 % av alle sedimentfraksjoner. Disse er videre antatt å sedimentere innen 100 m avstand fra deponiområdet.

Metode 2. – spredning av finstoff iht. Becker et al., 2015

I tillegg har vi vurdert oppvirvling av finstoff som kan spres over noe lengde avstander. Det benyttet «Placement fraction» (dvs. tappt finstoff under deponering, samt finstoff som spres ved bunnen) på 5 % i vurderingene i denne rapporten. For hydrauliske mudrede masser er fraksjonen som spres generelt høyere, og opp til 10 % (Becker et al. 2015), men for mekaniske mudrede masser ligger faktoren på mellom 1-5 %.

Vi har beregnet spredningen ved bruk av forholdsvis høye faktorer for både metode 1. og 2. Faktorene er valgt grunnet at det er registrert forholdsvis bløte masser (lite kohesive/ faste masser) i området, samt at vanddyb er stort og ca. 50 m ved deponilokalitet. Beregninger kan likevel være noe konservative.

**Tabell 6. Beregnet spredning av partikler under deponering av masser.**

Partikkelspredning under deponering		Enhet			
Tørrvekt	39 736 000	Kg	Fra Tabell 5, det er ikke tatt i hensyn til «tap» under mudring		
Finstoff tilgjengelig for spredning	9 934 000	kg			
Metode 1., Beregning av oppvirvling (alle fraksjoner)			Metode 2., beregning av oppvirvling (finstoff)		
Ander som totalt kan spres under deponering	5	%	Faktor, spredning av finstoff (Becker et al. 2015)	5	%
<b>Beregnet spredning nær deponering</b>	<b>1 986 800</b>	<b>kg</b>	<b>Finstoff som spres under deponering</b>	<b>496 700</b>	<b>kg</b>
Størrelse på influensområdet					
Sedimentasjon, avstand fra deponering	100	m	Sedimentasjon, avstand fra deponering	500	m <sup>2</sup>
Areal for sedimentasjon (se Figur 5, målt fra kart)	117 150	m <sup>2</sup>	Areal for sedimentasjon (se Figur 5, målt fra kart)	1 360 000	m <sup>2</sup>
Deponiområde	34 000	m <sup>2</sup>	Deponiområde	34 000	m <sup>2</sup>
Influensområdet areal (ikke selv tiltaksområdet)	83 150	m <sup>2</sup>	Influensområdet areal (ikke selv tiltaksområdet)	1 326 000	m <sup>2</sup>
Økt sedimentasjon nær deponiområdet					
Nedslamming under hele anleggsperiode	23,89	kg/m <sup>2</sup>	Nedslamming under hele anleggsperiode	0,38	kg/m <sup>2</sup>
Nedslamming under hele anleggsperiode (antatt egenvekt 1500 kg/m <sup>3</sup> )	0,016	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Nedslamming under hele anleggsperiode (antatt egenvekt på 1500 kg/m <sup>3</sup> )	0,0002	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
<b>Sedimentvekst i influensområdet</b>	<b>1,6</b>	<b>cm</b>	<b>Sedimentvekst i influensområdet</b>	<b>0,025</b>	<b>cm</b>

Ved å sammenligne Tabell 5 og Tabell 6 kan man se at oppvirvlingen blir større under deponering (totalt ca. 1987 tonn) enn under mudring (totalt 870 tonn). Oppvirvling av finstoff er beregnet å bli ca. 497 tonn og 298 tonn under hhv. deponering og mudring.

Oppvirvlede sedimenter fra deponeringen forventes å spres over noe mindre område siden utslipp av partikler blir mindre diffuse sammenlignet med mudringen ved Espenesgrunnen (se Figur 9). Dette vil bidra til noe større nedslamming av nærområder ved deponilokaliteten. Registrerte viktige naturtyper ligger i større avstand til deponilokaliteten enn mudringslokalitetene. Den

nærmeste forekomsten av ålegras er registrert ved Store Revlingen, ca. 600 m sør for deponilokaliteten (Se Figur 4).

Økt sedimentasjon som følge av deponeringen er grovt beregnet å bli 1,6 cm og 0,025 cm (16 mm og 0,25 mm) hhv. innen 100 og 500 m avstand til mudringslokalitet. Dette er beregnet ved å anta at partiklene spres jevnt til alle retninger fra tiltaksområdet (se Figur 9). Den beregnede tilslammingen overskrider betydelig den antatte naturlige sedimentasjonsraten (ca. 0,5-3 mm/år), men berører ikke viktige naturtyper registrert i området i nevneverdig grad.

Strømmen mot sørvest/sør/sørøst dominerer ved deponilokaliteten (se Tabell 3, Kap. 3), dette gjelder alle vannlag. Største partikkelspredning fra deponeringen forventes derfor mot Store Revlingen. Ved å anta et worst case scenario der alle oppvirvlede sedimenter transporteres mot sør (180 graders sektor), vil økt sedimentasjon innen 100 og 500 m avstand til tiltaksområdet for mudringen bli hhv. 32 mm og 0,5 mm ilt anleggsperioden. Det er svært lite sannsynlig at kartlagte ålegrasenger eller bløtbunnsområder i nærheten vil bli nevneverdig forringet av denne spredningen. I tillegg forventes størst spredning nær sjøbunnen, mens viktige naturtyper i hovedsak er registrert i strandsonen.



## 5. KONKLUSJON

I forbindelse med planlagt forbedring av farleden til Moss Havn, har det blitt utført vurdering av partikkelspredning som følge av mudring og deponering av masser. Anleggsaktiviteten vil kunne påvirke vannkvalitet og vannlevende organismer som følge av økt turbiditet i vannmassene og tilslamming i nærrområder. Vurderingene i denne rapporten ble basert på oppvirlingsrater og -faktorer hentet fra litteratur, samt kjent kunnskap om sedimentenes egenskaper og forholdene ved lokalitetene.

Partikkelspredning og nedslamming fra anleggsarbeidene ble beregnet å bli noe større under deponering enn under mudring. Tiltaksområdet til mudring er også delt til 3 delområder, og følgelig blir partikkelspredning fra mudring mer diffuse. Deponeringen vil kunne gi nedslamming på utsatte områder, særlig i sørlig retning. Det er likevel lite sannsynlig at tiltaket fører til partikkelspredning slik at tålegrensene for vannlevende organismer overskrides utenfor umiddelbar nærhet av tiltaksområdet. Ved avstand over på ca. 100 m fra tiltaksområdene vil både økning i turbiditet og sedimentasjon være relativt begrenset. Alle registrerte viktige naturtyper ligger over ca. 400 m avstand fra tiltaksområdene, dette gjelder både ålegras og bløtbunnsområdene i Verlebukta. Tiltakets påvirkning på disse naturtypene er beregnet å være relativt begrenset. Det er ikke registrert gyteområder innenfor tiltakets influensområde.

Spredning av partikler etter deponeringen ble vurdert av Rambøll (2020b). Resultater viste at det er ingen risiko for spredning av masser fra deponiet etter deponeringen. Sedimentasjonsforholdene i området er gode.

## 6. REFERANSER OG LITTERATUR

Becker, J. et al. 2015. Estimating source terms for far field dredge plume modelling. Journal of Environmental Management Volume 149, 1 February 2015, Pages 282-293

Bray (2008) Environmental aspects of dredging, Taylor and Francis, London, UK.

Bridges, T., Ells, S., Hayes, D., Mount, D., Nadeau, S., Palermo, M., Patmont, C., and Schroeder, P. 2008. The Four Rs of Environmental Dredging: Resuspension, Release, Residual, and Risk. ERDC/EL TR-08-4. U.S. Army Corps of Engineers.

Borrowman, T. D. 2006. Summary of measurement protocols for sediment resuspended from dredging operations. DOER Technical Notes Collection. ERDC TN-DOER-D8. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center.

DNV, Det Norske Veritas. 2008. Mudringsmetoder for forurenset sjøbunn. Rapport nr. 2008-0476, rev. 01.

Eggleton, J., Thomas, K.V. 2004. A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. Environment International 30: 973-980.

Hayes, D. F., Borrowman, T. D., and Schroeder, P. R. 2007. "Process-Based Estimation of Sediment Resuspension Losses During Bucket Dredging" Proceedings, XVIII World Dredging Congress 2007, WEDA, Lake Buena Vista, Florida, USA.

Johnson, Fong, 1995. Development and Verification of Numerical Models for Predicting the Initial Fate of Dredged Material Disposed in Open Water. U.S. Army Engineer Research and Development Center.

Jones-Lee, A., & Lee, G. F. 2005. Water Quality Aspects of Dredged Sediment Management. In: Water Encyclopedia, John Wiley & Sons.

Lee, D.-I., Eom, K.-H., Kim, G.-Y., and Baek, G.-W. 2010. Scoping the effective marine environmental assessment of dredging and ocean disposal of coastal sediments in Korea. Marine Policy, 34(5): 1082-1092.

HR Wallingford Ltd & Dredging Research Ltd. Protocol for the Field Measurement of Sediment Release from dredges. Produced for VBKO TASS, Issue 1, p. 83. 2003.

Multiconsult 2017c. Innseiling Moss. Strømanalyse. Rapport nr. 713150-RIMT-Rap-001.

Multiconsult 2016b. Kystverket, innseiling Moss. Miljøgeologiske sedimentundersøkelser. Rapport nr. 713150-RIGm-Rap-001.

Multiconsult, 2016b. 713150-RIG-RAP-001 Datarapport. Grunnundersøkelser (geoteknikk) ved Espenesgrunnen, Steingerunnen og Reiertangen iht. tidligere plandyp

Rambøll, 2020a. M-rap-001. Utbedring farled innseiling Moss – Miljøtekniske undersøkelser.

Rambøll 2020b. G-rap-001. Innseiling Moss. Datarapport fra grunnundersøkelser.

Rambøll, 2020c. M-rap-002. Utbedring farled innseiling Moss – Strømmålinger ved deponiområdet.

Rådgivende Biologer, 2017. Innseiling Moss. Konsekvensvurdering for marint naturmangfold og naturressurser.

Hydraulic fill manual, Eds. Jan van't Hoff & Art Nooy van der Kolff; 2012, CRC Press/Balkema, Leiden, the Netherlands.

Rambøll Sweco. 2018. Temanotat – Kartlegging av bakgrunnsnivå og variasjoner i turbiditet. Oppdrag 960168 Sandbukta – Moss – Såstad, Saks. Nr 2018002800.

LASC Task Force, 2003. Literature review of effects of resuspended sediments due to dredging operations. Anchor Environmental CA, L.P. Irvine, California, USA

Pennekamp, J.P.S. and Quaak, M.P., 1990. Impact on the environment of turbidity caused by dredging. *Terra et Aqua*, No. 42

OSPAR, M. 2008. Assessment of the environmental impact of dredging for navigational purposes, OSPAR Commission, Publication nr 366/2008.

Palermo, M., and Hays, D. 2014. Sediment Dredging, Treatment and Disposal. Processes. In Reible, D. D (Ed.), *Assessment and Remediation of Contaminated Sediments*. Springer New York, 365-391.

Trannum et al., 2010. Effects of sedimentation from water-based drill cuttings and natural sediment on benthic macrofaunal community structure and ecosystem process. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 383(2):111-121.

Truitt, C. L. 1988. Dredged material behavior during open water disposal. *Journal of Coastal Research*, 4: 389-397.

USACE. 2015. Dredging and dredged material management. Engineer Manual 1110-2-5025. U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

van Rijn, L.C. 2019, Note: Turbidity due to dredging and dumping of sediments.

Wilber, D. H., and Clarke, D. G. 2001. Biological effects of suspended sediments: A review of suspended sediment impacts on fish and shellfish with relation to dredging activities in estuaries. *North American Journal of Fisheries Management*, 21(4): 855-875.