

Tiltaksplan for sikring av sjødeponiet ved Norsk Stein på Jelsa



Hans Olav Sømme

Tiltaksplan for sikring av sjødeponiet ved Norsk Stein på Jelsa

Ecofact rapport: 1035

www.ecofact.no

Referanse til rapporten:	Sømme, H. O. 2024. Tiltaksplan for sikring av sjødeponiet ved Norsk Stein på Jelsa. Ecofact rapport 1035.
Nøkkelord:	Erosjon, tildekking, steinplastring, koraller, ålegras, laks, risikovurdering, spredning.
ISSN:	1891-5450
ISBN:	978-82-8469-034-6
Oppdragsgiver:	Norsk Stein AS
Prosjektleder hos Ecofact AS:	Hans Olav Sømme
Prosjektmedarbeidere:	Thomas Nilsen (Procon)
Kvalitetssikret av:	Ole Kristian Larsen
Forside:	Oversiktsbilde av sjødeponiet. Foto: Norsk Stein AS

www.ecofact.no

INNHold

FORORD	4
SAMMENDRAG	5
1 INNLEDNING	6
1.1 OM DEPONIEt	7
2 OMRÅDEBESKRIVELSE	8
2.1 VANNMILJØ	8
2.2 NATURFORHOLD	9
2.3 PLANER, AKTIVITETER OG INSTALLASJONER	11
2.3.1 Planstatus og fremtidig bruk	11
2.3.2 Fremtidig bruk	11
2.3.3 Naboer og interessenter	12
3 VURDERING AV PARTIKKELSPREDNING	12
3.1 DYPOMRÅDENE	12
3.2 STRANDSONEN	13
4 TILTAKSVURDERING	16
4.1 TILDEKKING	16
4.1.1 Tildekkingsdesign	16
4.1.2 Utlegging	19
4.2 PLASTRING AV STRANDSONE	19
4.3 ANBEFALING	20
4.4 KOORDINERING MED ØVRIGE PLANER	20
5 TILTAKSRETTEDE UNDERSØKELSER	21
5.1 GEOTEKNISKE FORHOLD	21
5.2 EKSPLOSIVER	21
5.3 SKROT	21
5.4 KULTURMINNER	21
5.5 DETALJPROSJEKTERING	21
6 KONTROLL OG OVERVÅKING	22
6.1 FØR TILTAKSGJENNOMFØRING	22
6.1.1 Dokumentasjon av sjøbunn	22
6.2 UNDER TILTAKSGJENNOMFØRING	22
6.2.1 Siltgardin	23
6.2.2 Turbiditet	23
6.2.3 Sedimentfeller	23
6.2.4 Dronefilming	24
6.3 SLUTTKONTROLL	24
6.3.1 Dokumentasjon av sjøbunn	24
6.4 ETTER TILTAKSGJENNOMFØRING	24
6.4.1 Dokumentasjon av sjøbunn	24
6.5 VANNMILJØ	24

7 OPPSUMMERING	25
8 REFERANSER.....	26
VEDLEGG.....	27

FORORD

På vegne av Norsk Stein AS har Ecofact utarbeidet en tiltaksplan for permanent sikring av sjødeponiet på Jelsa. Takk til EB Marine, Procon AS og Statsforvalteren i Rogaland for nyttige innspill. Vi vil også takke Norsk Stein for et interessant oppdrag.

Sandnes
23.02.2023

Hans Olav Sømme

SAMMENDRAG

Beskrivelse av oppdraget

Norsk Stein AS på Jelsa er Europas største pukkverk og har frem til 2023 deponert finpartikulært materiale til Sandsfjorden. Observasjoner fra området viser at det foregår spredning ut av sjødeponiet og Statsforvalteren har pålagt Norsk Stein å utarbeide en tiltaksplan for permanent sikring av sjødeponiet. Ecofact er engasjert til å gjennomføre stedsspesifikk risikovurdering, tiltaksvurdering og utarbeidelse av kontroll- og overvåkingsprogram.

Datagrunnlag

Ved bruk av stedsspesifikk data er det gjennomført en sprednings- og risikovurdering av deponiet. For å få et bilde av erosjonsforholdene er det studert historiske flyfoto, og samt bildemateriale innsamlet med drone. Basert på funnene fra disse studiene er det vurdert tiltak for å minske erosjon og spredning av finpartikler. Foreslåtte tiltak er basert på standard metoder for erosjonssikring av strandsone og sjøbunn/tildekkingslag, og validert med sjøentreprenør og geoteknisk ekspertise.

Resultat

Utførte vurderinger indikerer at det meste av erosjonen foregår i strandsonen og at det kun er moderat partikkelspredning fra dypere områder av deponiet. Selv ved lav bølgeaktivitet foregår det trolig betydelig utvasking av massene i strandsonen. For å redusere erosjon og spredning av partikler foreslås det at

- strandsonen plastres med stein (førsteprioritet), og at
- sjøbunnen i øvrige områder av deponiet erosjonssikres med et tildekkingslag (andreprioritet).

Det må utføres detaljprosjektering og tiltaksrettede undersøkelser før tiltakene kan gjennomføres.

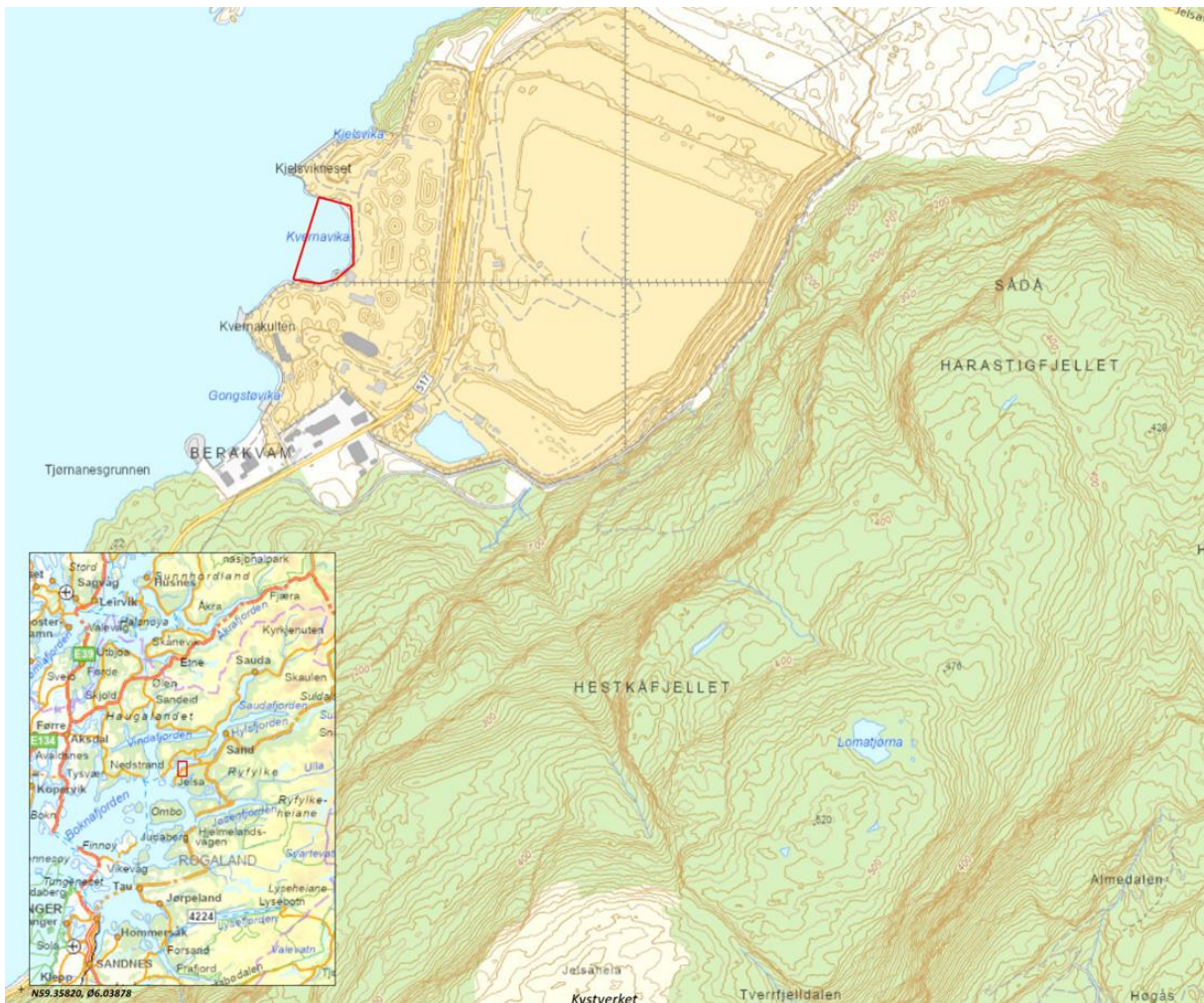
1 Innledning

Norsk Stein AS på Jelsa i Suldal kommune er Europas største pukkverk. Fra produksjonen medfølger det store mengder overskuddsmasser som inntil 2022 ble deponert i eget sjødeponi i Sandsfjorden. Massene er deponert innenfor siltgardin i Kvernavika, innenfor uttaksområdet.

Statsforvalteren har mottatt mange meldinger om blakking i sjø utenfor siltgardinen, samt meldinger om brudd på gardinen. Den fremstår derfor ikke som en god og permanent løsning for grensen mellom sjødeponi og Sandsfjorden.

Ecofact ble engasjert til å utarbeide en tiltaksplan for permanent sikring og avslutning av sjødeponiet. Tiltaksplanen gir en

- Stedsspesifikk risikovurdering for utslipp av deponerte overskuddsmasser til Sandsfjorden.
- Vurdering av anbefalte tiltak for å sikre sjødeponiet mot utslipp til Sandsfjorden.
- Redegjørelse for hva som blir iverksatt av kontroll, overvåking og beredskap (avbøtende tiltak) før, under og etter tiltaksgjennomføringen.



Figur 1. Lokalisering av deponiet innenfor Norsk Stein sitt område på Jelsa, samt regional lokalisering.

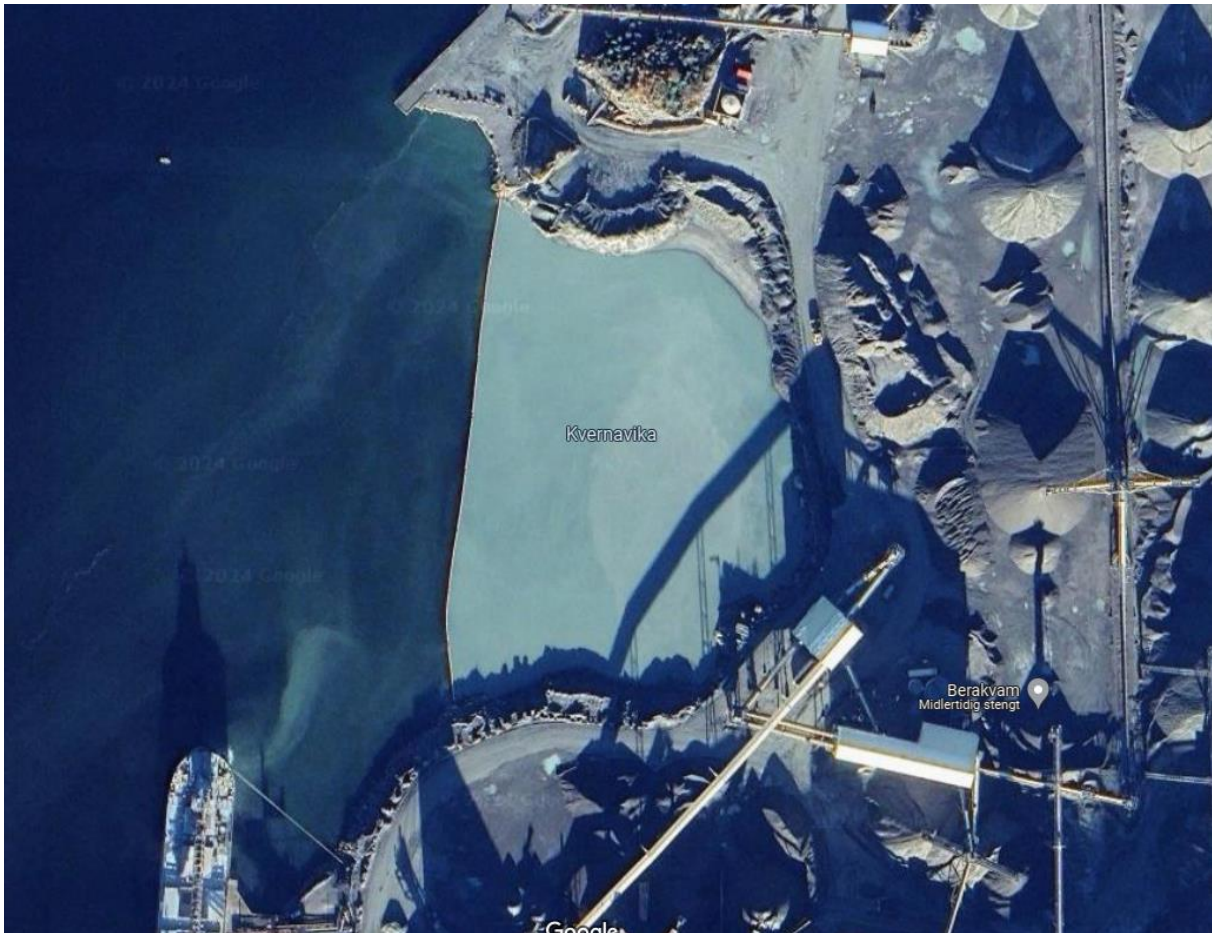
1.1 Om deponiet

Norsk Stein har drevet masseuttak på Jelsa siden 1987. Bruddet har siden den gang vært utvidet en rekke ganger og er i dag Europas største pukkverk. Hvert år utvinnes det opp mot 12 millioner tonn granodioritt som har en lang rekke bruksformål, fra asfalt og betong til veifundamentering og offshore-konstruksjoner. Det oppstår under produksjon et finstoffholdig materiale som det ikke har vært marked for å selge, og som frem til 2022 ble deponert i sjøen i Kvernavika.

Deponiet i Kvernavika består av masser fra driftsområdet og steinbruddet som har blitt tilført ved utfylling fra land, samt utslipp av prosessvann og avrenning fra området. Disse ulike måtene å deponere masser på har ført til at deponiet strekker seg fra strandsonen og ned til over 50 meters dybde. Deponiet har et areal på ca. 26 500 m².

I 2012 ga Fylkesmannen i Rogaland tillatelse til årlig deponering av 150 000 tonn mineralsk stoff av partikler mindre enn 2 mm. Det anslås at det i perioden 2014-2022 er deponert om lag 770 000 tonn overskuddsmasse i deponiet (tall fra Norsk Stein). Deponeringen skulle skje innenfor utsatt siltgardin. Det ble også gitt tillatelse til utslipp av prosessvann med opptil 100 mg/liter suspendert stoff. Deponiet ble så avsluttet i 2022. Deponering av overskuddsmasse vil i fremtiden foregå på land.

Granodioritt, som ifølge Raade og Fossen (2024) kan defineres som en granitt, har en egenvekt på 2600-2700 kg/m³ (SINTEF, 2024). Dette betyr at det i perioden 2014-2022 trolig er deponert ca. 285 000 m³ overskuddsmasse. Sammenhold med deponiets areal tilsvarer dette at de deponerte massene har en mektighet på nesten 11 meter. Mektigheten vil imidlertid være mindre nærmere land og tykkest i de dypeste områdene av deponiet. Det har også foregått erosjon og spredning av en ukjent mengde deponerte masser, noe som gjør volumestimatet enda mer usikkert.



Figur 2. Satellittbilde av sjødeponiet ved Norsk Stein på Jelsa. Bildet viser tydelig siltgarden og det blakkede vannet innenfor denne. Kilde: Google maps.

2 OMRÅDEBESKRIVELSE

2.1 Vannmiljø

Norsk Stein Jelsa ligger ved Sandsfjorden i Suldal kommune i Rogaland. Lokaliteten ligger på grensa mellom vannforekomstene Sandsfjorden-ytre (0242030301-C) og Kalvikhavet (0242030302-C), begge med svært god økologisk tilstand og udefinert kjemisk tilstand (vannnett).

Det har blitt utført en rekke undersøkelser i områder, blant annet av NIVA i 2013, 2019 og 2022 (Staalstrøm m.fl. 2013, Borgersen m.fl. 2019, Brkljacic og Borgersen 2022). Alle undersøkelsene konkluderte med at tilstanden i bløtbunnfauna-samfunnet var i «god» eller «svært god» tilstand og at det ikke kunne påvises påvirkning fra deponiet.

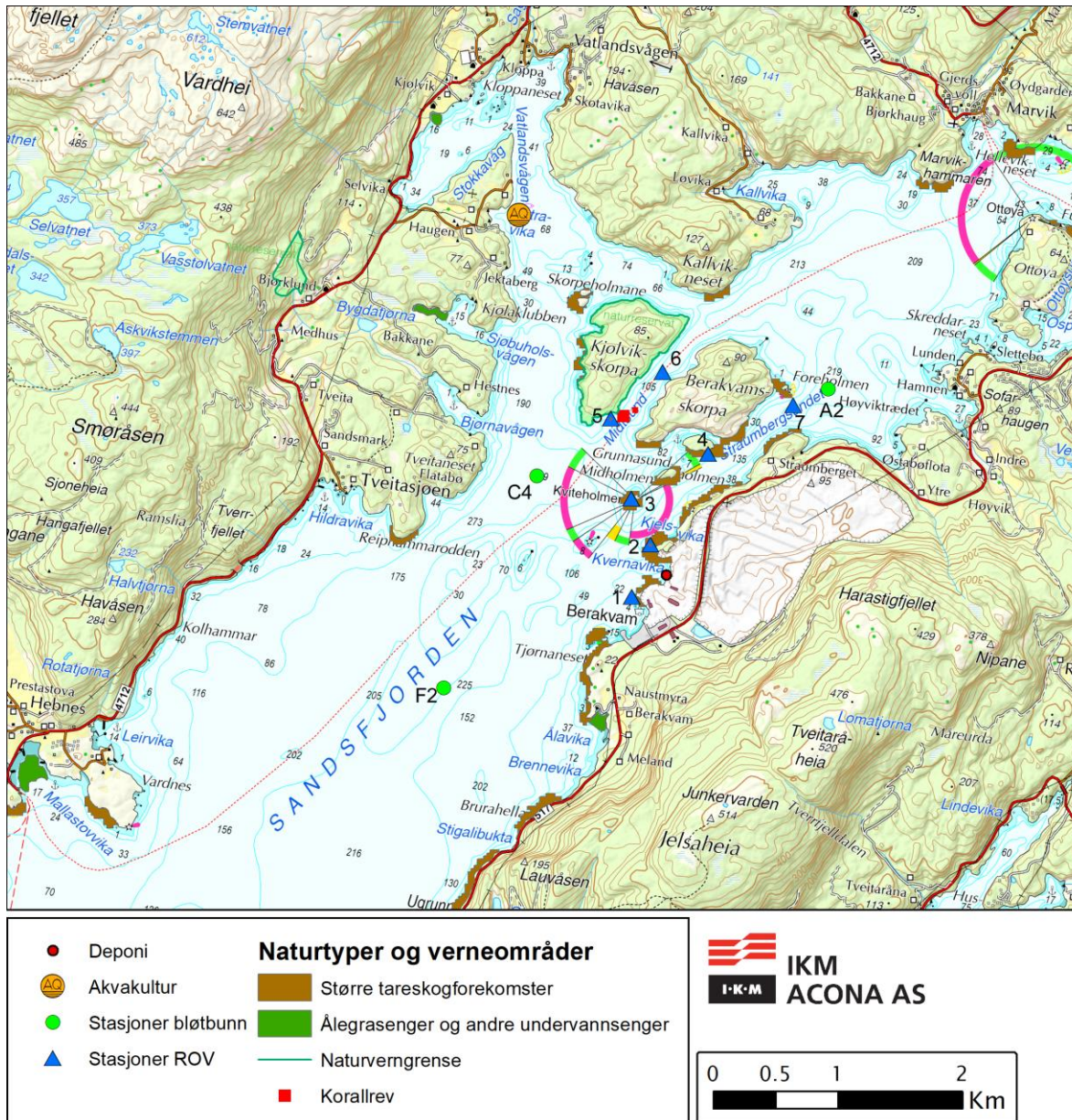
2.2 Naturforhold

Det gis i det følgende en kort statusoversikt over natur- og miljøforholdene i området. For en mer detaljert beskrivelse henvises det til Bjørgesæter og Johnsplass (2023).

Sjøområdene i nærheten av deponiet huser både tareskog- og ålegrasforekomster hvor en rekke av disse ligger langs land på nord- og sørsiden av deponiet. Forekomstene overlapper med gytefelt for tosk og har dermed verdien A-svært viktig. Det er registrert ålegrasforekomster blant annet i Sjøbuholsvågen som ligger på andre siden av fjorden, samt ved Ålavika, ca. 1,4 km fra deponiet. Ålegrasengene overlapper med gyteområde for torsk og har stor verdi. De aktuelle gytefeltene omfatter hele Sandsfjorden, samt et mindre på vestsiden av Sandsfjorden, begge registrert som lokalt viktige.

I Midsund, om lag 1,4 km fra deponiområdet, er det registrert dypvannskoraller. Forekomstene består av små revformasjoner med øyekorallen *Desmophyllum pertusum*, enkeltstående sjøtrær av arten *Paragorgia arborea*, samt enkeltforekomster av koralltrær og -busker av artene, *P. arborea* og *Swiftia pallida*. Den samlede tilstanden til forekomsten er vurdert som god.

Hele Sandsfjorden har status som nasjonal laksefjord. Hensikten med ordningen er å gi de viktigste laksebestandene særlig beskyttelse. Laksebestandene som omfattes av ordningen skal beskyttes mot inngrep og aktiviteter i det aktuelle området (Miljøstatus).



Figur 3. Naturtyper, verneområder, akvakultur og korallrev i influensområdet til Norsk Stein på Jelsa. Kartet er hentet fra Bjørgesæter og Johnsplass (2023). Figuren viser også tidligere overvåkingsstasjoner for bunnfauna og filming med ROV.



Figur 4. Det er registret to gytefelt i og i nærheten av tiltaksområdet på Jelsa (rød sirkel).

2.3 Planer, aktiviteter og installasjoner

2.3.1 Planstatus og fremtidig bruk

Deponiområdet ved Norsk Stein er i eksisterende reguleringsplan avsatt til industriformål og er omfattet av Reguleringsplan for bergverk på Berakvam i Suldal kommune, revidert 04.05.2010 (planID 201011). Landområdet som omsluttet sjødeponiet er i reguleringsplanen omtalt som «Spesialområde: Buffersone B5 mellom kaiar» hvor følgende bestemmelser gjelder:

Det skal byggjast opp ein ca. 5 meter høg voll som skal gi skjerming av Industriområde II mot sjøen. På sjøsida skal det nyttast steinmassar som er stabile mot påverknad frå sjøen, elles skal vollen dekkast med avdekkingsmassar, såast til og revevegetast med stadeigen vegetasjon.

I sona skal det vera høve til å etablere fortøyingsinnretningar og tilkomst til desse.

2.3.2 Fremtidig bruk

Det foreligger ingen konkrete planer om videreutvikling og fremtidig arealbruk for området er sjødeponi.

2.3.3 Naboer og interessenter

Det er svært få fastboende i nærområdet til Norsk Stein, men det er spredt hyttebebyggelse nordover og innover i fjorden, samt ved Tveitasjøen og Hebnes som ligger på andre siden av fjorden.

3 VURDERING AV PARTIKKELSPREDNING

3.1 Dypområdene

I forkant av tiltaksvurderingen er det gjort en stedsspesifikk risikovurdering av spredning av deponerte overskuddsmasser (Bjørgesæter og Johnsplass, 2023). Det er antatt at den observerte partikkelspredningen har opphav fra de dypereliggende områdene av deponiet, dvs. på 10 – 50 meters dyp. Resultatene indikerer at alle realistiske spredningsscenarioer kun utgjør en begrenset risiko for marint naturmiljø. Det er i det følgende gitt en oppsummering av rapporten. Rapporten er også gitt som vedlegg.

Det er definert fire ulike scenarioer for partikkelspredning:

- Scenario 1: oppvirvling og spredning av 500 kg partikler
- Scenario 2: oppvirvling og spredning av 2 500 kg partikler
- Scenario 3: oppvirvling og spredning av 5 000 kg partikler
- Scenario 4: oppvirvling og spredning av 20 000 kg partikler

Scenario 1 og 2 vurderes å være de mest realistiske hendelsene uten tildekking av deponiet, mens scenario 3 er ansett som et svært konservativt, men ikke urealistisk scenario. Scenario 4 vurderes å være urealistisk, men er likevel inkludert for å undersøke et scenario som etterligner dumping av masse direkte i sjø fra lastebil.

Partikkelspredning

Ved scenario 2 og 3, altså oppvirvling og spredning av 2500 og 5000 kg, viser modelleringen partikkelkonsentrasjoner mellom 10 og 50 mg/l opp til 1 km fra deponiet. Ved scenario 1, oppvirvling og spredning av 500 kg partikler, er konsentrasjonen mellom 2 og 5 mg/l. Modellering av scenario 4, oppvirvling og spredning av 20 000 kg partikler, viser konsentrasjoner over 100 mg/l opp til 1 km fra deponiet. Resultatet fra dette scenarioet er sammenlignbare med studiet til NIVA (Staalstrøm m.fl. 2013).

Miljøskade

Det er utarbeidet miljøskadefaktor (EIF-verdier) for syv pre-definerte sårbare områder i Sandsfjorden, Midsundet og Straumbergsundet. Modelleringen predikerer partikkelkonsentrasjoner som overstiger EIF-verdiene ved de to nærmeste områdene til deponiet. Områdene består av bløtbunn med større tettheter av sjøfjær. For de mest realistiske scenarioene er det likevel forventet liten og kortvarig kontakt mellom partikler og sårbare marine områder.

Sedimentering

Utført modellering viser at partiklene som virvles opp fra deponiet vil sedimentere over store områder, gradvis og over tid. Det er imidlertid ingen områder hvor sedimentasjonen overstiger 1 mikrometer. Modelleringen indikerer at det vil ta svært lang tid før det akkumuleres et synlig sedimentlag på sjøbunnen.

3.2 Strandsonen

Det er i modellering- og spredningsvurderingen (Bjørgesæter og Johnsplass, 2023) lagt til grunn at oppvirvlingen fra deponiet foregår i de dypeste områdene, dvs. 20-50 meters dyp. Resultatene, som altså viser svært beskjeden partikkelspredning, er derfor mest beskrivende for forholdene på dypere vann. Observasjoner fra området og informasjon oppgitt av Statsforvalter indikerer imidlertid at det må forekomme betydelig oppvirvling/erosjon fra andre steder av deponiet.

Ved gjennomgang av satellittbilder og bildemateriale innsamlet med hjelp av drone, er det tydelig at det foregår betydelig utvasking/erosjon av partikler fra strandsonen (figur 5). Utbredelsen til massedeponiet går fra dypere vann, opp til fjæresonen, men strekker seg også oppover på land hvor det tilsynelatende går i ett med massene der. Bildematerialet viser det som kan se ut som en steinplastring som går langs land, men at denne stedvis er borte eller skjult av fremforliggende masser. Det som på bildet kan se ut som en steinplastring kan også være utfyllingsmasser som er blottlagt som følge av erosjon.

Figur 5-8 viser tydelig at det har foregått erosjon av massene i strandsonen, både under og over steinplastringen. Det vurderes at det er denne utvasking som er hovedårsaken til partikkelspredningen fra de grunnere områdene av deponiet.



Figur 5. Flyfoto fra 2020 som viser partikkelspredning fra grunnområdene av deponiet. Rød sirkel indikerer område hvor det tilsynelatende foregår stor utvasking og spredning.



Figur 6. Et av områdene i deponiet hvor det trolig foregår stor utvasking og spredning av partikler. Område innenfor rød avgrensning er det samme som er avmerket i figur 5.



Figur 7. Deponimassene ligger både fremfor og oppå de grovere utfyllingsmassene som går langs land. Utsnittet er det samme som er avmerket med gult omriss i figur 5.



Figur 8. Til høyre i bildet ses blakket vann som følge av erosjon av strandsonen. Bildet er tatt under episode med noe bølgeaktivitet.

4 TILTAKSVURDERING

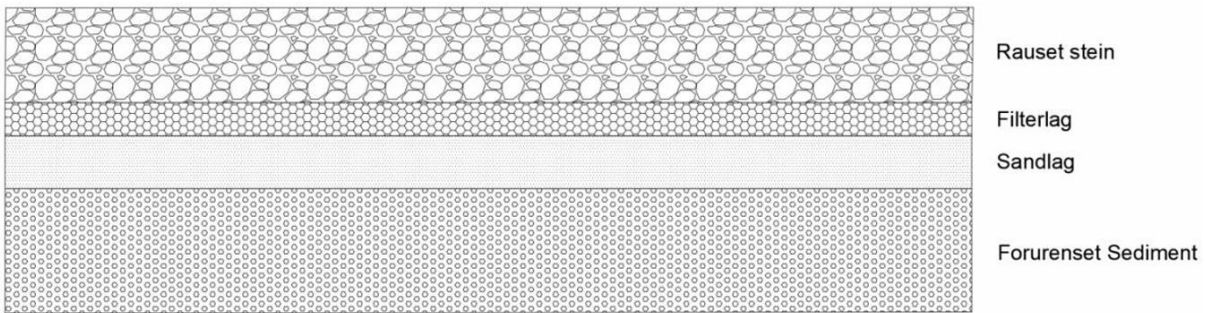
Som beskrevet i kapittel 4 indikerer modellering- og risikovurderingen at det er mindre risiko knyttet til spredning av partikler fra de dypeste områdene av deponiet. Gjennomgang av bildemateriale indikerer at størsteparten av den visuelle spredningen skjer fra de grunnere områdene av deponiet og i strandsonen (jf. kap. 3.2).

I det videre presenteres tiltak som kan redusere partikkelspredningen fra deponiet.

4.1 Tildekking

4.1.1 Tildekkingsdesign

Utført spredningsmodellering viste moderat partikkelspredning fra de dypeste områdene av deponiet. For å redusere spredningen fra området kan deponiet tildekkes med rene masser med hensikt å redusere erosjon, oppvirvling og spredning av partikler fra området. Prinsippskisse av standard tildekkingslag er vist i figuren under.



Figur 9. Prinsippskisse av oppbygning av tildekkingslag for forurensete sedimenter. Øverst vises et erosjonssikringslag som skal hindre oppvirvling av underliggende masser. Skisse hentet fra

For å sikre spredning fra deponiet ved Jelsa kan det sikres med et erosjonssikringslag bestående av ett eller flere lag med sand, samt et ovenpåliggende lag med grovere masser. Erosjonssikringsmassene, og design på erosjonssikringslaget, må dimensjoneres ut fra resultatene fra geotekniske undersøkelser som begge må utføres som del av detaljprosjekteringen. Dersom de geotekniske undersøkelsene viser at massene i deponiet er bløte må erosjonssikringsmaterialet designes deretter.

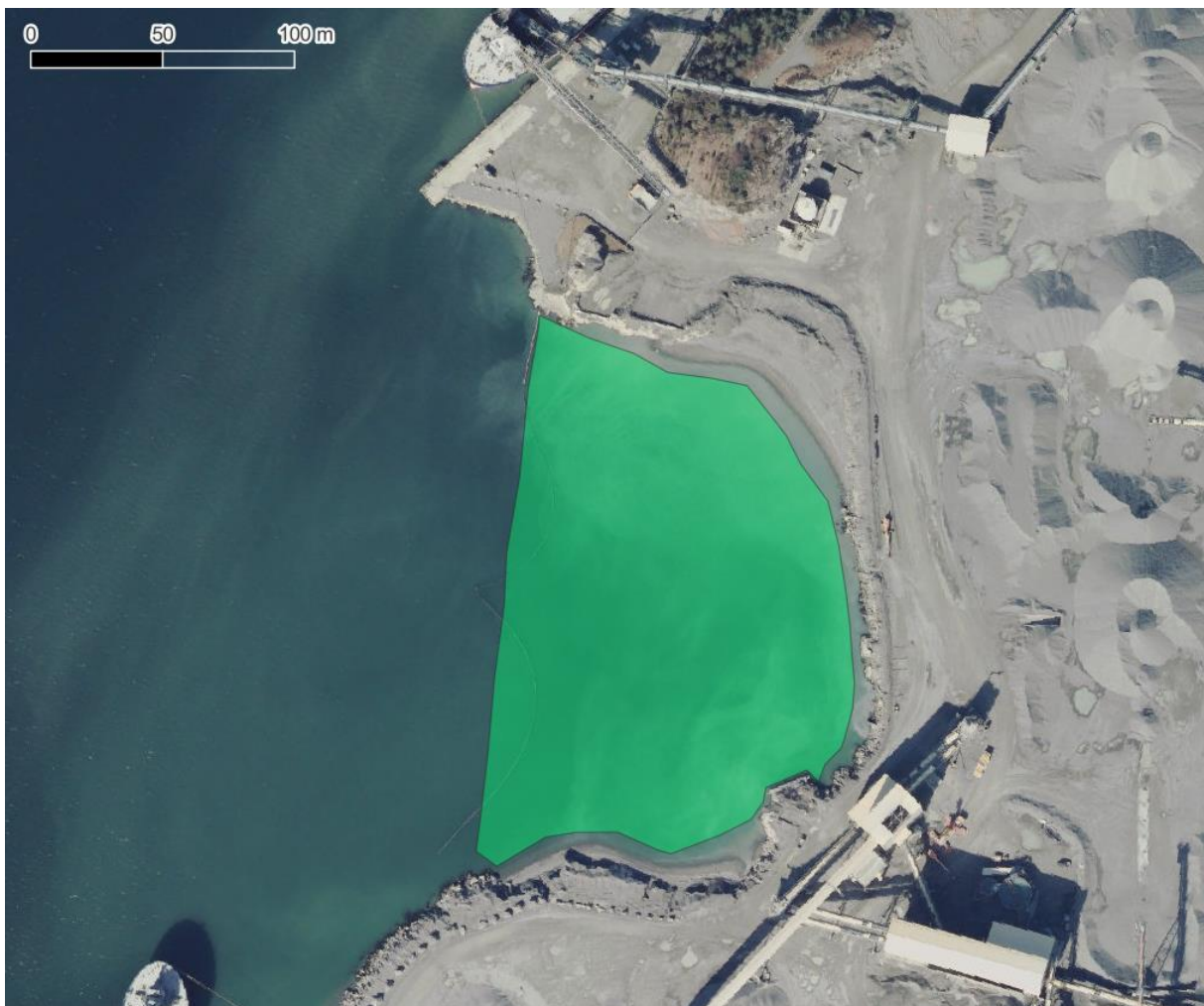
Det er risiko for at de geotekniske undersøkelsene vil vise at sjøbunnens bæreevne ikke er tilstrekkelig for å opprettholde et stabilt erosjonssikringslag. I dette tilfellet bør det designes et erosjonssikringslag som består av flere «dellag», dette for å sikre at massene ikke synker ned i de underliggende deponimassene. For å øke bæreevnen til de deponerte massene kan det først legges ut et 5-10 cm tykt blandingslag bestående av sand og skjellsand. Hensikten med et slikt lag er at det skal blande seg med de øverstliggende deponimassene. Sanden i blandingslaget må være finkornig og ha lav egenvekt slik at den kan blande seg med overflatelaget i deponiet. Resterende lag kan være noe mer grovkornet, jf. Miljødirektoratets veileder *Testprogram for tildekkingsmasser* (M-411). Deponimassene er ikke forurenset, men det er likevel viktig at disse lagene bygges opp slik at de hindrer partikkelspredning. Lagene må derfor ha riktige dimensjoner med hensyn på filteregenskaper med tanke på å øke bærekraften. Orienterende verdier for masser i tildekkingslag er gitt i tabell 1. Det øverste laget må bestå av masser med dimensjoner som sikrer at underliggende lag holdes på plass og ikke eroderes bort. Som spredningsmodelleringen viste er det lav erosjon i de dypeste områdene av deponiet (Björgesæter og Johnsplass, 2023). Trolig er det kun i de mest strømnings- og bølgeutsatte områdene (skipsleia, grunnere områder) at det er behov for et topplag av grovere masser, eksempelvis grov grus eller pukk. Totalt må det forventes at den totale tykkelsen på erosjonssikringslaget (sandlag + grovere topplag) må være 20-50 cm.

Det anbefales å benytte lokale masser fra uttaket på Jelsa. Dette vil ha en rekke gevinster med hensyn til optimalisering av erosjonssikringslaget, kostnad for utførelse, tilgang på masser og CO₂-regnskap. Det er imidlertid viktig at erosjonssikringslaget tilfredsstiller kravene i *Testprogram for tildekkingsmasser* hva gjelder permeabilitet, egenvekt, konsolideringsegenskaper m.m. Detaljerte vurderinger av tildekkingsdesign utføres i detaljprosjekteringen. Beskrivelsen over må derfor anses som en foreløpig anbefaling og ikke et krav.

Tabell 1. Typiske kornstørrelser for aktuelle materialer. Merk at anbefalingene er basert på tildekking av forurenset sediment. Som for forurensete sedimenter er det også for deponiet på Jelsa viktig å hindre partikkelflukt og anbefalingene vurderes å være gjeldende også der. Tabellen er hentet fra miljødirektoratets veileder M-411.

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

For å virvle opp minst mulig partikler fra deponiet, samt for å redusere risiko for utrasing, vil det trolig være nødvendig å begynne med å tildekke de dypeste områdene av deponiet, for deretter å jobbe seg oppover mot grunnere vann.



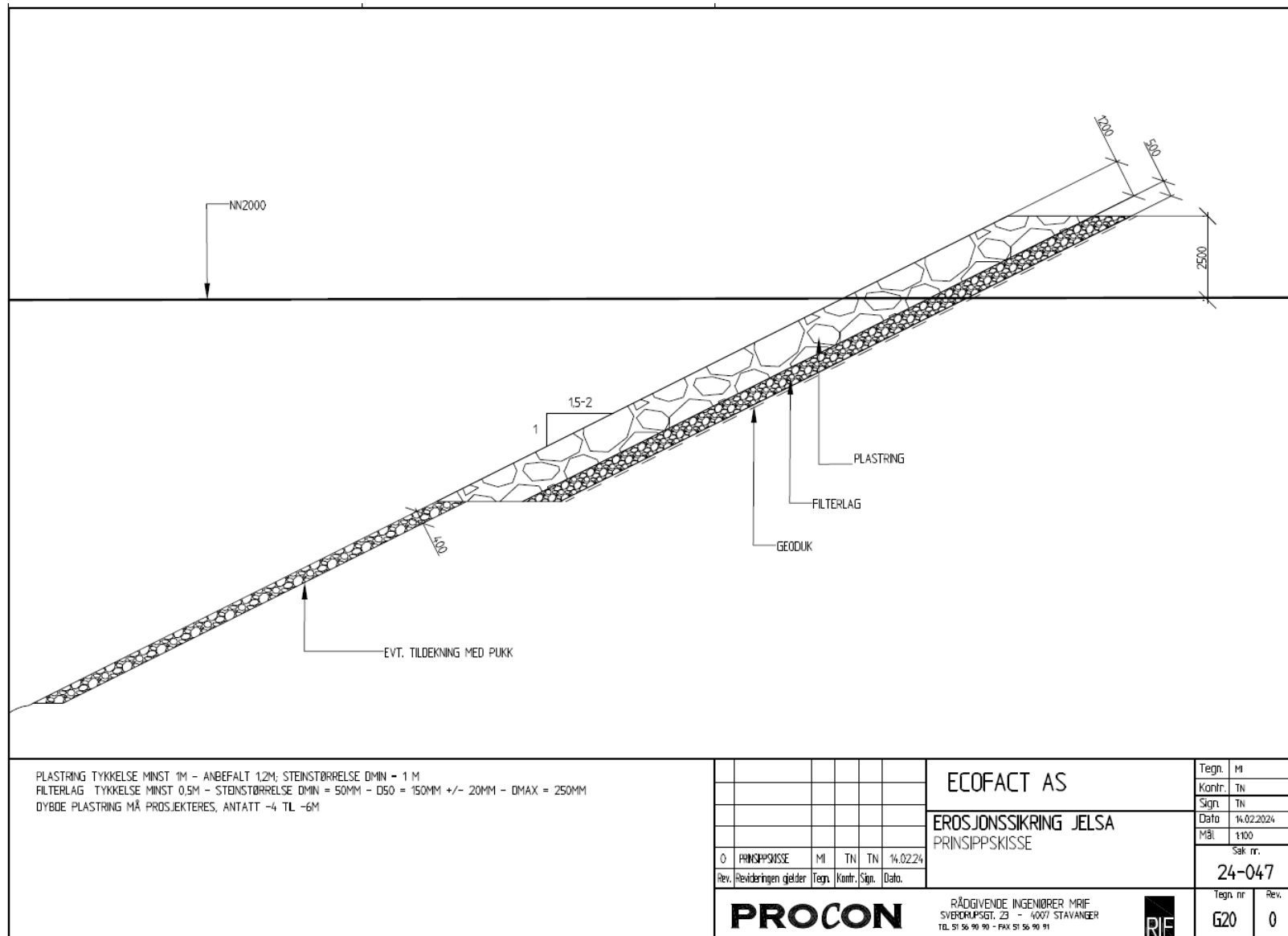
Figur 10. Foreslått utbredelse av tildekkingslag.

4.1.2 Utlekking

Størsteparten av tildekkingsområdet ligger dypere enn 10 m. Det er derfor mest aktuelt å benytte fallbunnslekter eller splittlekter til utleggingen. De fineste massene i erosjonssikringslaget vil da kunne legges ut relativt jevnt ved at de vil spre seg horisontalt i vannsøyla mellom deponi og lekter. Ut fra strømningsforhold og andre funn som kommer frem under detaljprosjekteringen, må det påregnes noe spredning under utlegging av erosjonssikringslaget. Det må derfor gjennomføres spredningshindrende tiltak under utlegging. Mer om dette under kap. 6 – Kontroll og overvåking.

4.2 Plastring av strandsone

Store deler av erosjonen foregår i strandsonen og det foreslås at denne plastres med stein for å redusere utvasking og partikkelspredning. Plastringen bør ha tykkelse på minst 100 cm, optimalt 120 cm. Bak plastringen bør det legges et minst 50 cm tykt filterlag som ytterligere bidrar med å hindre utvasking av finstoff. I bunn legges en geoduk. Det antas at det er behov for å plastre ned til 4-6 meters dyp. Prinsippskisse er gitt i figur under. Steinplastringen må tåle stormflo, stor bølgepåvirkning og fungere som permanent løsning for å hindre erosjon fra deponimassene innenfor. Trolig bør hele strandsonen innenfor siltgardinen steinplastres (figur 12).



Figur 11. Prinsippskisse for steinplastring av strandsone.



Figur 12. Rødstiplet linje viser foreslått plassering av steinplastring. Plastringen må utformes slik at den minsker utvasking av massene som ligger innenfor.

4.3 Anbefaling

Det er plastring av strandsonen som trolig vil gi den største reduksjonen i partikkelspredning og dette tiltaket får derfor 1. prioritet. Sikringen av deponiet skal imidlertid fremstå som en permanent løsning og det anbefales derfor at det i tillegg gjennomføres tildekking av de øvrige områdene av deponiet. Ved behov kan tildekkingen tilpasses slik at en kun erosjonssikrer de mest utsatte områdene, dvs. i områder utsatt for strømninger eller propellerrosjon.

4.4 Koordinering med øvrige planer

En steinplastring som beskrives over er i tråd med gjeldende reguleringsplan hvor det er beskrevet at det langs land skal etableres en voll som skal gi skjerming av industriområdet mot sjøen. De to tiltakene kan med fordel koordineres.

En tildekking av sjødeponiet er heller ikke i strid med gjeldende reguleringsplan. En tildekking vil ikke være til hinder for eventuell fremtidig utvidelse av landområdet. Dersom det foreligger konkrete planer om landutvidelse bør tiltakene koordineres i videre tiltaksplanlegging.

5 TILTAKSRETTEDE UNDERSØKELSER

I det følgende er det gitt en vurdering av behovet for ytterligere tiltaksrettede undersøkelser. Temaene følger Miljødirektoratets faktaark *Tiltaksplaner for opprydding i forurenset sjøbunn M-325*.

5.1 Geotekniske forhold

Det må gjennomføres grunnundersøkelser for å avdekke løsmassemektighet, dette med tanke på områdestabilitet og bløthet av massene.

5.2 Eksplosiver

Tiltaksområdet har inntil nylig vært benyttet som deponi og det anses som svært lite sannsynlig at det ligger eksplosiver begravd i massene. Det anses derfor ikke som nødvendig med undersøkelser for å kartlegge eksplosiver.

5.3 Skrot

Tiltaksområdet har inntil nylig vært benyttet som deponi og eventuelle forekomster av eldre skrot vil være liggende begravd i deponiet. Dersom det skulle være forekomster av nyere skrot vil dette avdekkes i kartlegging med film og multibølge ekkolodd.

5.4 Kulturminner

Tiltaksområdet har inntil nylig vært benyttet som deponi og eventuelle forekomster av kulturminner vil være nedgravd og utilgjengelige.

5.5 Detaljprosjektering

Som beskrevet en rekke steder i dette dokumentet må det gjøres en detaljprosjektering av erosjonssikringslaget og av steinplastringen. Som del av dette arbeidet må det utføres geotekniske undersøkelser og detaljerte kartlegginger av sjøbunnen, som f.eks. multistrålekartlegging. Dersom det ønskes å gå videre med en tildekkingsløsning, og dersom

geotekniske undersøkelser viser at deponimassene er bløte, bør det vurderes å utføre testforsøk med ulike tildekkingsløsninger.

6 KONTROLL OG OVERVÅKING

Før oppstart av tiltaket må entreprenør (ev. tiltakshaver) utarbeide et kontroll- og overvåkingsprogram. Programmet må inneholde beskrivelse og begrunnelse for valgte metoder, samt rutine og presisjon for arbeidene som skal utføres. Overvåkingsprogrammet må også beskrive akseptkriterier for de enkelte temaene (grenseverdier for turbiditet, tykkelse på erosjonssikringslag med mer.).

6.1 Før tiltaksgjennomføring

6.1.1 Dokumentasjon av sjøbunn

Valgte entreprenør må kunne dokumentere at erosjonssikringslaget legges ut i henhold til beskrivelse i detaljprosjekteringen. Før tiltaksgjennomføring må det derfor gjennomføres nøyaktig innmåling av sjøbunnen, f.eks. med multistråle ekkolodd. Innmålingen må kunne brukes til å gjøre detaljerte sammenlikninger av sjøbunnen før og etter tiltak.

Sjøbunnskartlegging foregår i dag med moderne høyteknologisk kartleggingsutstyr og fremskaffede data er av svært høy kvalitet. Eksempler på slikt utstyr er multistråle ekkolodd og systemer for sub-bottom profilering. Det bør være et krav om at slikt utstyr benyttes i tiltaksgjennomføringen og det vurderes da som lite hensiktsmessig med utplassering av målestaver.

6.2 Under tiltaksgjennomføring

Tiltaksarbeidene i sjø vil bli underlagt krav til overvåking og kontroll, som skal defineres i et kontroll- og overvåkingsprogram i forkant av tiltaksoppstart. Selv om massene i deponiet ikke er forurenset av miljøgifter, defineres også oppvirling og spredning av finpartikler som en type forurensning. Det vil dermed kreve tillatelse etter forurensningsforskriften og krav til kontroll og overvåking vil derfor være i tråd med denne forskrift. Entreprenør skal beskrive valg av metode, rutiner, og presisjon for de enkelte deloppgavene i tiltaket. Følgende bør overvåkes ved gjennomføring av tiltaket:

- Tildekking av deponiet
- Plastring langs strandsonen av deponiet
- Spredning av partikler i vannsøyla

Siden tiltaksområdet ligger innenfor området til Norsk Stein, og ikke i nærheten av bebodde områder, anses overvåking av støy og støv som mindre relevant.

Under gjennomføring av tiltaket er det risiko for at utlegging av erosjonssikringslag og arbeider med plastring av strandsonen kan gi spredning av partikler. Slik spredning kan oppstå som følge av oppvirvling av deponimasser ved utlegging av erosjonssikringslag, men også fra selve tildekkingsmassene dersom disse holdes suspendert i vannsøyla.

6.2.1 Siltgardin

Partikkelspredning kan reduseres ved utplassering av en siltgardin. En siltgardin kan redusere partikkelspredning fra tiltaksområdet eller styre partikler mot et bestemt område. Det er allerede i dag montert en siltgardin rundt deponiområdet og det må i forkant av anleggsarbeidene vurderes om denne kan brukes under tiltaksgjennomføringen eller om den må skiftes ut. Dersom det monteres en ny siltgardin må denne være av godkjent kvalitet, dimensjonert og plassert på hensiktsmessig måte i forhold til tiltaksområdet, strømninger, og vær og vind.

6.2.2 Turbiditet

Det vil trolig bli krav om at spredning av partikler fra tiltaksområdet overvåkes med turbiditetsmåling. Dette anbefales utført med turbiditetsmålere som gir et mål på lysets gjennomstråling i vannsøyla.

Turbiditet bør måles ved to stasjoner som plasseres f.eks. sør og nord for tiltaksområdet. Det bør i tillegg måles ved en referansestasjon som plasseres i antatt upåvirket område, men som ikke ligger i for stor avstand fra tiltaksområdet. Endelig geografisk plassering og dybdeplassering kan vurderes i innledende fase av anleggsarbeidene, eventuelt i forkant under innledende bakgrunnsmålinger.

Overvåkingen kan gjøres med «online»-overvåkingssonder som måler turbiditet kontinuerlig og som sender varsler til f.eks. entreprenør og miljørådgiver ved overskridelse av på forhånd fastsatte grenseverdier. Alle overvåkingsdata må loggføres slik at de kan inngå i sluttrapportering av tiltaket.

6.2.3 Sedimentfeller

Det anbefales at det utføres målinger av sedimentasjon ved utplassering av sedimentfeller.

Sedimentfellene bør plasseres ved samme stasjoner som turbiditetsmålerne, gjerne også på samme rigg. Fellene bør stå like over sjøbunnen, men ikke så nært at det er fare for at fella kommer borti. Sedimentfellene må stå ute i hele anleggsperioden. Volum til oppsamlet materiale kan så veies og måles. Det er ikke nødvendig med kjemiske analyser av prøvematerialet da både deponimasser og erosjonssikringsmasser er reine.

Ytterligere beskrivelser av stasjonsplassering, lokalitet, prøvetakingsfrekvens osv. må fremkomme i tiltakets kontroll- og overvåkingsprogram.

6.2.4 *Dronefilming*

For å kontrollere at tildekkingsarbeider og steinplastring foregår som planlagt kan det benyttes en undervannsdrone. Dronen bør ha dybdemåler, retningsviser og høyt oppløselig kamera med lagringsfunksjon.

6.3 **Sluttkontroll**

6.3.1 *Dokumentasjon av sjøbunn*

Etter tiltaksgjennomføringen må det gjennomføres nøyaktig innmåling av den nye sjøbunnen. Målingene må gjøres ved bruk av samme metodikk som ved innmålingen *før* tiltaksgjennomføring (jf. kap. 6.1.1). Som del av dokumentasjonen må det også utføres kartlegging med undervannsdrone, dette for å dokumentere at erosjonssikringslag og steinplastring er utført på hensiktsmessig og helhetlig måte.

6.4 **Etter tiltaksgjennomføring**

6.4.1 *Dokumentasjon av sjøbunn*

Etter tiltaksgjennomføring bør det utføres årlig kontroll av erosjonssikringslag og steinplastring. Årlig kontroll kan utføres med dronefilming, men hvert 2.-4. år bør det utføres utvidet kontroll med innmåling av sjøbunn.

6.5 **Vannmiljø**

Alle innsamlede overvåkingsdata må legges inn i databasen Vannmiljø.

7 OPPSUMMERING

Etter pålegg frå Statsforvalteren i Rogaland har Norsk Stein AS utarbeidet en tiltaksplan for permanent sikring av det avsluttede sjødeponiet på Jelsa i Suldal kommune.

Tiltaksplanen har identifisert at det er behov for å sikre strandsonen langs sjødeponiet ved hjelp av plastring. For å ytterligere redusere partikkelspredning fra deponiet anbefales det å tildekke de dypere områdene av deponiet.

Siden tiltaksområdet eies av Norsk Stein er det svært god tilgang til steinmasser. Det anbefales derfor at strandsonen plastres med brudd- eller sprengstein, ned til 10-20 meters dyp. Det er trolig behov for å plastre langs hele strandsonen av sjødeponiet, men det bør som del av detaljprosjekteringen vurderes om det også er behov for erosjonssikring av andre deler av strandsonen i området. Plastringen må detaljprosjekteres.

For å ytterligere redusere partikkelspredningen fra sjødeponiet kan de dypere områdene av sjødeponiet tildekkes med et erosjonssikringslag, anslått til 20-40 cm tykkelse. Erosjonssikringslaget må trolig designes med et filterlag for å hindre utlekking av partikler, og med ovenpåliggende grovere lag for å hindre erosjon som følge av propellstrømmer og havstrømninger. Tildekkingslaget må detaljprosjekteres.

8 REFERANSER

- Bjørgesæter, A. og Johnsplass, J. 2023. Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa. IKM Acona AS.
- Borgersen, G., Brkljadic, M. S. og Ledang, A. B. 2019. Repeterende overvåking av bunnfauna og sedimenter i Sandsfjorden. NIVA-rapport 7404-2019.
- Brkljadic, M. S., Borgersen, G. 2022. Oppfølgende undersøkelse av bløtbunnsfauna og sedimenter i Sandsfjorden i 2022. NIVA-rapport 7782-2022.
- Miljøstatus, 2024. Nettside: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/ferskvann/laks/nasjonale-laksevassdrag-og-laksefjorder/>. Besøkt 19.02.2024.
- Norconsult. (2018). Hydrauliske forhold ved Vindholmen. Badeområde og fergekai ved Løkholmen.
- Raade, G. Fossen, H. 2024. Granitt i Store norske leksikon på snl.no. Hentet 21. februar 2024 fra <https://snl.no/granitt>.
- SINTEF. 2024. Materialdata for naturstein. Typiske verdier. Nettside: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi_og_samfunn/berg-og-geoteknikk/lister/typiske-materialdata-for-naturstein.pdf.
- Staalstrøm, A., Borgersen, G., Tjomsland, T., Kempa, M. og Brkljadic, M. 2013. Resipientundersøkelse i Sandsfjorden i Rogaland og modellering av partikkelspredning fra Norsk Stein sitt anlegg. NIVA-rapport 6523-2013.

VEDLEGG

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

Sammendrag

Rapporten vurderer konsekvensene av ulike scenarier for partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa. Scenariene varierer i mengde utslipp, og resultatene gir innsikt i spredning av partikler og mulig miljøpåvirkning. Generelt indikerer studien at sjødeponiet ikke vil representere en risiko for miljøet eller sårbare marine ressurser etter endt deponering.

For å ta høyde for usikkerheten i effekten av ulike tiltak for å sikre sjødeponiet mot utslipp til Sandsfjorden, ble det modellert et bredt spekter av scenarier, fra moderat til betydelig utslipp. Partikkelspredning fra deponerte masser er modellert vha. av en partikkelspredningsmodell for følgende scenarier:

- Scenario 1: 500 kg
- Scenario 2: 2 500 kg
- Scenario 3: 5 000 kg
- Scenario 4: 20 000 kg

Hovedfunnene fra modelleringsstudiet inkluderer:

- **Partikkelspredning:** Partikkelkonsentrasjonene ble modellert å være mellom 10 og 50 mg/l opp til 1 km fra deponiet for scenario 2 og 3 (2 500 og 5 000 kg), mens i scenario 1 (500 kg) var konsentrasjonen mellom 2 og 5 mg/l. Scenario 4 (20 000 kg) hadde høyere og sammenlignbare konsentrasjoner med tidligere modellering når deponiet var i bruk. Det er de minste partiklene som spres lengst i modellen.
- **EIF-verdier:** Miljøskadefaktor (EIF-verdier) er beregnet for syv pre-definerte sårbare områder i Sandsfjorden, Midsundet og Straumbergsundet. Partikkelkonsentrasjonen oversteg grenseverdiene for mulig skade i de to nærmeste områdene på hver side av deponiet (område 1 og 2 bestående av bløtbunn med større tettheter av sjøfjær). For de mest realistiske oppvirvlingsscenarioene er det forventet liten og kortvarig kontakt mellom partikler og sårbare marine ressurser.
- **Sedimentering:** Sedimentering av partiklene forekommer over store områder og gradvis over tid. Det ble ikke observert områder utenfor deponiet der sedimentasjonslaget oversteg 1 mikrometer. Selv uten andre tiltak enn en siltgardin vil det ta lang tid før et synlig sedimentlag (slam) dannes på sjøbunnen.

Disse resultatene indikerer at Jelsa Deponi utgjør en begrenset risiko for miljøet og sårbare marine ressurser under realistiske spredningsscenarier. Eksponeringstiden for høye partikkelnivåer er kort, og sedimentasjonsraten er lav, noe som reduserer potensialet for skade på økosystemet.

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

Revisjons- og godkjenningsskjema

TEKNISK RAPPORT		
Tittel		
Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa		
Prosjektnummer	Revisjonsdato	Rev. Nr.
820924	23.02.2024	01
Oppdragsgiver	Kundekontakt	
Ecofact	Hans Olav Sømme	

Navn	Dato	Signatur
Utarbeidet av Anders Bjørgesæter Jonathan Johnsplass	11.10.2023	<i>Anders Bjørgesæter</i>
Verifisert av Julie Damsgaard Jensen	11.10.2023	<i>Julie Damsgaard Jensen</i>
Godkjent av Julie Damsgaard Jensen	11.10.2023	<i>Julie Damsgaard Jensen</i>

Rev. No.	Revisjonshistorie	Dato	Utarbeidet av	Verifisert av	Godkjent av
00	Første utkast til kunde	11.10.2023	AB, JJ	JDJ	JDJ
01	Endelig rapport til kunde	23.02.2024	AB, JJ	JDJ	JDJ

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

Innhold

1	Introduksjon.....	7
1.1	Bakgrunn.....	7
1.2	Deponiet	7
1.3	Tidligere undersøkelser av partikkelspredning fra deponiet.....	8
2	Områdebeskrivelse	9
2.1	Generelt om oseanografien i området	9
2.2	Sårbare naturressurser i analyseområdet	10
3	Modellerte scenarier for spredning	14
4	Metode for modellering.....	15
4.1	Utslippsmodell.....	15
4.2	Driverdata.....	16
4.3	Grenseverdier for partikkelkonsentrasjoner og sedimentering	17
5	Resultater	19
6	Konklusjon.....	23
	Referanser	24
	Vedlegg A	27
	Vedlegg B	36

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

Forkortelser

CIPMO	Combined Integral and Particle model. Modellen som er benyttet til å modellere partikkelspredning og sedimentasjon
EIF	Environmental Impact Factor
LADIM	Lagrangian Advection and Diffusion Model. En fjernsone partikkelmodell utviklet av Havforskningsinstituttet. https://github.com/bjornaa/ladim1
PEC	Predicted Environmental Concentration, konsentrasjonen som beregnes av modellen
PNEC	Predicted No Effect Concentration

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

1 Introduksjon

Denne rapporten er utarbeidet av IKM Acona på oppdrag for Ecofact. Modelleringsanalysene er gjennomført i samarbeid med Ranold, som sammen med IKM Acona har utviklet anvendt metodikk og analyseverktøy.

1.1 Bakgrunn

Ecofact skal utarbeide en tiltaksplan for permanent sikring av avsluttet sjødeponi for overskuddsmasse ved Norsk Stein AS sitt pukkverk på Jelsa i Suldal kommune. Tiltaksplanen skal inkludere stedsspesifikk risikovurdering av spredning av deponert overskuddsmasser og en vurdering av anbefalte tiltak for å sikre sjødeponiet mot utslipp til Sandsfjorden. Detaljeringsnivå i tiltaksplanen skal være av en slik grad at Statsforvalteren kan vurdere om gjennomføring av tiltakene vil gi et tilfredsstillende resultat.

Som underlag for vurdering av tiltak er spredning og sedimentering av partikler fra deponiet modellert ved hjelp av en partikkelspredningsmodell.

1.2 Deponiet

Norsk Stein AS har drevet pukkverk på Jelsa i Suldal siden 1987. Steinbruddet har vært utvidet i flere etapper og er i dag Europas største pukkverk med en årlig produksjon opp mot 12 millioner tonn. Bergarten granodioritt som leveres fra Jelsa brukes blant annet i betong og asfaltindustri, skinnelegging til vei-fundamentering og vannkonstruksjoner på land og offshore. Under produksjonen dannes det finstoffholdig materiale som det ikke er marked for å selge, og som frem til i dag har blitt deponert i sjøen i Kvernavika.

I hele driftsperioden har det vært tilførsel av mineralske restprodukter fra driftsområdet og steinbruddet til sjøen ved utfylling fra land i Kvednavika, samt utslipp av prosessvann og diffus avrenning fra bruddet. Fylkeskommunen i Rogaland ga i oktober 2012 tillatelse til å slippe ut 150 000 tonn pr. år med mineralsk stoff av partikler mindre enn 2 mm innenfor en siltgardin. Det ble også gitt tillatelse til å slippe ut prosessvann med konsentrasjon av suspendert stoff på opptil 100 mg/liter (årsmiddel). I 2023 er det søkt om en økt produksjonsramme på 16 millioner tonn. Deponering av overskuddsmassen vil i fremtiden finne sted på land, med inntil 150 000 tonn årlig (Statsforvalteren Rogaland 2023).



Figur 1. Kaiområdet ved pukkverket. Den røde pilen indikerer hvor dumping av overskuddsmasser fant sted frem til 2023. Man kan se et klart skille i sjøen der siltgardinen er lokalisert.

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

1.3 Tidligere undersøkelser av partikkelspredning fra deponiet

NIVA har modellert partikkelspredning fra deponiet når det var aktivt (NIVA 2013). Resultatene ble sammenlignet med målinger av turbiditet og av målinger av strømforholdene i resipienten. Turbiditet ble målt på 18 stasjoner. Høyeste målte verdier på den nærmeste stasjonen, lokalisert rundt 350 meter fra Kvernavika, var 4,2 mg/l i overflaten. Høyeste målte verdi på alle stasjonene var 9 mg/l på 100 meters dyp, omtrent 800 fra utslippet, og på over 6 mg/l, omtrent 1000 meter fra utslippet. Dette ble observert rett etter dumping av masser i Kvernavika og observasjonene ble tolket som et resultat av spredningen av partikkelskyen som dannes i forbindelse med utslippet. På andre stasjoner og perioder ble det generelt målt betydelig lavere turbiditet (se NIVA 2013 for detaljer).

Dumping av avgangsmasser fra lastebiler ble modellert som et jevnt utslipp på 144 tonn per dag (1,7 kg/s). Det ble benyttet samme partikkelfordeling som i dette studiet. Resultat fra modellering ble sammenlignet med målinger av turbiditet. Modelleringen viste at en sky av partikler brer seg langs bunn fra deponiet i Kvernavika til omtrent 900 m fra utslippet, hvor skyen forlater bunnen i 100-150 m dyp. Skyen brer seg og fortynnes videre utover i dette dypet. Det var hovedsakelig kun partikler med kornstørrelse mindre enn 50 μm som forlot Kvernavika, mens det var partikler med kornstørrelse mindre enn 10 μm som ble spredd lengst i modellen. Modelleringen stemte overens med turbiditetsmålingene på flere utvalgte stasjoner når man brukte en kalibreringsfaktor på mellom 1,7 og 5. Høyeste oppgitte modellerte konsentrasjon i fjorden var 150 mg/l ved stasjon C1 lokalisert ca. 400 meter fra deponiet.

NIVA konkluderte med at det er sannsynlig at partikkelkonsentrasjoner over 15 mg/l vil forekomme i Straumbergsundet, mens i Midsundet vil konsentrasjonen ikke komme over 1,5 mg/l. Det kunne ikke sannsynliggjøres at partikler i vannmassene, som følge av utslipp fra Norsk Stein AS, påvirket korallene i Midsundet. De undersøkte også om oppdrettsanleggene ved Austbø og Vintravika, lokalisert hhv. 6,5 og 3,5 km fra deponiet kunne bli påvirket. Her ble det modellert med et sporstoff («farget vann» som ikke synker/sedimenterer) og konklusjonen var at det ikke var noen fare for at fisken i anleggene ble påvirket av Norsk Stein sin virksomhet.

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

2 Områdebeskrivelse

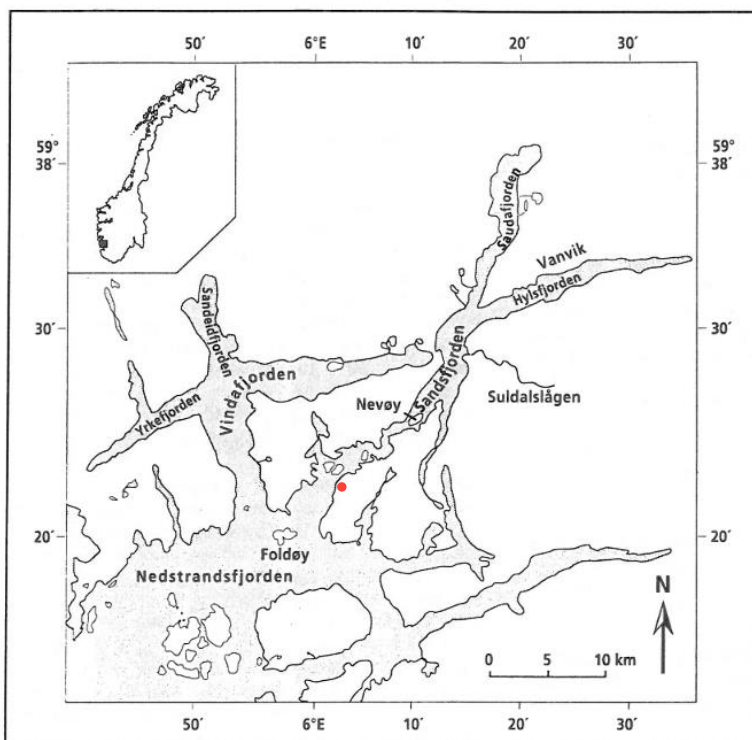
I dette kapittelet følger en beskrivelse av området og en oversikt over viktige områder for verdsatte naturressurser som kan være sårbare for partikkelspredning fra deponiet. Det er hentet inn data fra følgende databaser:

- Vann-nett (vann-nett.no/Portal)
- Vannmiljø (vannmiljo.miljodirektoratet.no/)
- Naturbase (miljodirektoratet.no/tjenester/naturbase/)
- Fiskeridirektoratets kartdatabase (kart.fiskeridir.no)

I tillegg er det benyttet informasjon fra undersøkelser utført på vegne av Norsk Stein AS.

2.1 Generelt om oseanografien i området

Deponiet ligger i vannforekomsten Sandsfjorden-Ytre i Rogaland innenfor Boknafjorden og Nedstrandsfjorden som begge er dype fjorder som står i fri forbindelse med kystvannet på utsiden (se Figur 2). Sandsfjorden tilføres store mengder ferskvann både naturlig og som følge av vannkraftutbygging og er kategorisert som en ferskvannspåvirket beskyttet fjord (vann-nett.no). Sandsfjorden er en del av et fjordsystem som sammen med Saudafjorden og Hylsfjorden ofte betegnes som Sandsfjordsystemet. Ved Sand deler fjordsystemet seg i Hylsfjorden som går rett østover og Saudafjorden som går innover til Sauda. Terskelen i Sandsfjordsystemet er på rundt 110 m, og det maksimale dypet i Sandsfjorden er 420 m, i Hylsfjorden 510 m og i Saudafjorden 380 m (NINA-NIKU 1996). Norsk Stein sitt deponi er lokalisert rett på utsiden av terskelen mellom de to øyene Berakvamsskorpa og Kjølviksskorpa (se Figur 3 for et mer detaljert kart). Utenfor Norsk Stein sitt anlegg heller bunnen jevnt nedover mot 110 meters dyp med en vinkel på 20-25 grader (NIVA 2013).



Figur 2. Illustrasjon av fjordsystemet i regionen. Kilde. NINA-NIKU 1996.

Tidevannsforskjellene i området er små. Vannstanden har blitt målt i Stavanger havn siden 1919, og viser at gjennomsnittlig høydeforskjell mellom høy- og lavvann er 32 cm. Ved springflo er forskjellen 46 cm (NIVA 2013).

Strømmen i fjorden varierer gjennom året, med spesielt kraftige strømninger om våren og tidlig sommer (NINA-NIKU i 1996). Resultatene fra NIVA-målinger i 2013 viser to distinkte strømbilder. Vanligvis beveger vannet seg ut mot overflaten og brakkvannslaget, og strømmer deretter inn i et lag som ligger like under, men over terskeldypet. I perioder skifter strømmønsteret, og vannet strømmer i stedet inn i et tykt overflatelag og deretter ned i dypet. I februar 2013 varte en slik episode i fem dager, og tykkelsen på det innstrømmende laget var 40 meter med utstrømmende vann under terskeldypet på 110 meter. Årsakene til disse skiftene i strømforholdene er ikke fullstendig forstått, men det er klart at endringer i

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

ferskvannstilførselen og sjiktningen av vannmassene utenfor fjordsystemet spiller en viktig rolle. Tidevann har begrenset innvirkning, mens vindforholdene kun påvirker strømmen i de øverste meterne i korte perioder

2.2 Sårbare naturressurser i analyseområdet

En oversikt over sårbare naturressurser og -områder er vist i kart i Figur 3. Analyseområdet inneholder flere områder definert som «større tareforekomster», «ålegras og andre undervannsenger», dypvannskorall og Kjølvikskorpa naturreservat. I tillegg er fjorden definert som en nasjonal laksefjord. Av kystnære gytefelt er det registrert gyting av torsk i Sandsfjorden og vest for Kjølviksskorpa (Fiskeridirektoratet 2023).

Norsk Stein AS har også fått utført flere studier i området. DNV har gjennomført visuell kartlegging av havbunnen i nærområdet til Norsk Stein i både 2014 og 2019 (DNV 2014, DNV GL 2019). Områdene som ble undersøkt i 2019 er vist med blå trekanter markert med nummer 1 – 5 i Figur 3. Det ble observert større tettheter av sjøfjær, små revformasjoner med steinkoraller og enkeltstående sjøtrær. Observasjonene fra undersøkelsene er nærmere beskrevet nedenfor.

Bløtbunnsfauna og sedimenter har blitt undersøkt på tre stasjoner utenfor deponiet i Sandsfjorden i 2013, 2019 og 2022 (NIVA 2013, 2019, 2022). Stasjonene er, iht. til krav fra Fylkesmannen i Rogaland, plassert i de tre dypeste partiene i resipienten og markert med grønne sirkler i Figur 3. Prøver tas med van Veen-grabb og siktes gjennom 5 mm og 1 mm siler (dvs. man undersøker diversitet av makrofauna). Alle stasjonene hadde en meget artsrik fauna og man kunne ikke se negativ påvirkning fra eventuelt nedslamming av bløtbunns habitater. Den økologiske tilstanden var svært god (klasse 1 og klasse 2 iht. NQI1) og tilstanden har vært uendret i alle undersøkelsene.

For utvalgte områder med sårbare naturressurser er det beregnet en miljøskadefaktor (EIF, Environmental Impact Factor). Se Kapittel 4.1 for en beskrivelse av EIF. De utvalgte områdene er vist i Tabell 1 og resultater fra beregningene er gitt i Kapittel 4. Utstrekning angir vertikal retning i østlig og nordlig retning fra punktposisjonene. Vertikal retning i området avhenger av dypet.

Tabell 1. Pre-definerte områder som det beregnes eksponeringstid og en miljøskadefaktor for partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen og sedimenttykkelse på sjøbunn.

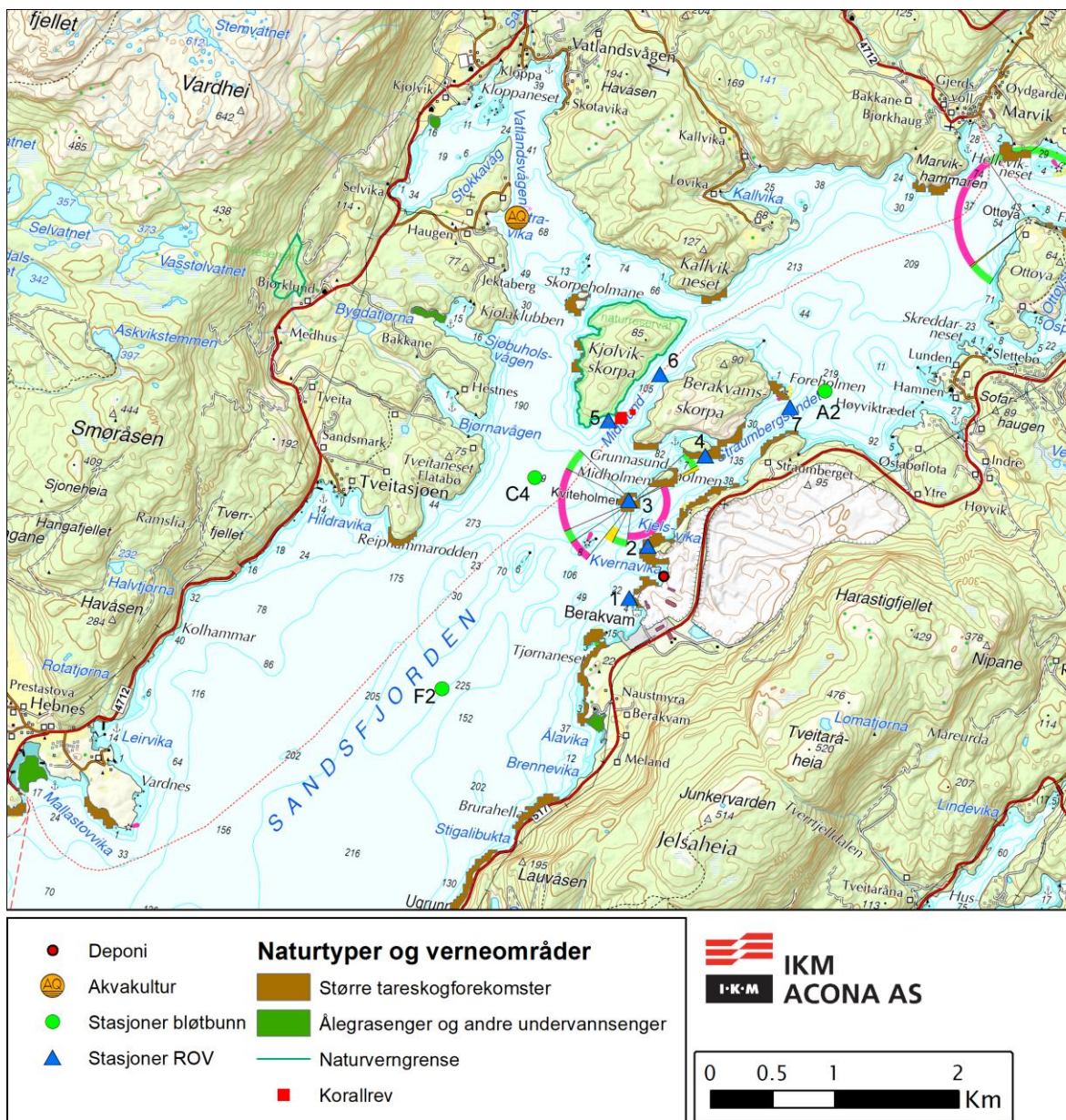
Navn	Beskrivelse	Posisjon (WGS84)		Uttrekning (meter)	
		Nord	Øst	Nord	Øst
Område 1	Bløtbunn, sjøfjær, større tareforekomster	59.3733	6.0435	170	160
Område 2	Bløtbunn, sjøfjær, større tareforekomster	59.3772	6.0451	130	140
Område 3	Koraller, hornkoraller	59.3803	6.0416	100	80
Område 4	Koraller, hornkoraller	59.3842	6.0515	180	50
Område 5	Korallrev	59.3858	6.0372	200	50
Område 6	Midsund	59.3896	6.0436	125	100
Område 7	Straumbegsundet	59.3885	6.0624	250	150

Nedenfor følger en kort beskrivelse av naturressursene i området inndelt i følgende temaer:

- Steinkoraller og hornkoraller
- Sjøfjær
- Større tareforekomster
- Ålegras
- Fisk (laks og torsk)
- Akvakultur, fisk og friluft

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa



Figur 3. Kart over nærområdet til deponiet (analyseområdet) med naturtyper, verneområder, akvakultur og korallrev hentet fra ulike kilder (Miljødirektoratet 2023, Fiskeridirektoratet 2023, MAREANO 2023, Havforskningsinstituttet 2023). Korallrevene i området er ikke inkludert i Naturdatabase og data for disse er hentet fra MAREANO og Havforskningsinstituttets geoservere. Blå trekanten Nr. 1-5 er områder undersøkt av DNV GL i 2019 (se tekst for detaljer). Blå trekanten Nr. 6 og 7 er områder lagt til for å beregne konsentrasjoner i de to sundene.

Steinkoraller og hornkoraller: Korallene ved Midsundet ble første gang observert i 2012 i forbindelse med kartlegging av sjøbunnen for å legge sjøkabel fra Suldal til England. Funnen ved Midsundet (rød firkant og område Nr. 5 i Figur 3) består av små revformasjoner med øyekorallen *Desmophyllum pertusum* (orden steinkorall, tidligere navngitt *Lophelia pertusa*) og enkeltstående sjøtrær, *Paragorgia arborea* (orden hornkoraller) på bergvegger ved 70-95 meters dyp. Ved Kviteholmen (område Nr. 3 i Figur 3) ble det registrert enkeltforekomster av koralltrær og -busker av artene, *P. arborea* og *Swiftia pallida* (hvit hornkoral). Tettheten var lav, og mindre enn fem individer per 25 m². En *D. pertusum* revstruktur som ble registrert i 2014 ved Straumbergsundet (område Nr. 4 i Figur 3) lot seg ikke lokalisere i 2019, trolig pga.

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

den kompliserte topografien i området (DNV 2019). Tilstanden til alle korallene ble karakterisert som god.

Naturtypen *korallforekomster* står oppført på rødlisten som sårbar naturtype, i tillegg til å være ført opp som spesiell naturtype etter DN-håndbok nr. 19. De overnevnte artene er listet som nær truet (NT) og sårbar (VU) på Norsk Rødliste for arter 2021 (Tandberg og Mortensen 2021).

Sjøfjær: Sjøfjær er et koralldyr som lever på bløtbunn. I område 1 og 2 på hver side av Kvernavika (Figur 3) er det registrert større forekomster av arten stor piperenser (*Funiculina quadrangularis*). Tettheten i begge områdene er høy nok (10 – 15 individer per 25 m²) til at deler av områdene antageligvis kan defineres som en særegen og sårbar havbunnsfauna, «sjøfjær og gravende megafaunasamfunn» iht. OSPAR (2010) og sjøfjærbunn iht. MAREANO (2023). I områdene ble det også observert innslag av enkeltindivider av artene vanlig liten piperenser (*Virgularia mirabilis*) og vanlig sjøfjær (*Funiculina quadrangularis*). De nevnte artene er listet som livskraftige (LC) på Norsk Rødliste for arter 2021 (Tandberg og Mortensen 2021, Artsdatabanken 2021).

Tilstanden var generelt god, men det ble observert individer av stor piperenser som tilsynelatende manglet polypper. Stor piperenser har ikke som de to andre observerte sjøfjærartene evne til å trekke seg ned i sedimentet hvis de blir forstyrret (Havforskningsinstituttet 2020). Plassene som ble undersøkt ligger i umiddelbar nærhet til deponiet og siltgardinen.

Større tareforekomster er sammenhengende grunnområder som er bevakst med stortare (*Laminaria hyperborea*). Naturtypen danner et tredimensjonalt habitat som er rikt på andre alger og dyr. Tettheten av små invertebrater er beregnet til å være over 120.000 pr m², fordelt på over 200 arter. Det er et yngle- og oppvekstområde, gjemmede og beiteplass for fisk. Bløtdyrene og krepsdyrene i tareskogen er viktige som næringsdyr for fisk, krabbe og hummer. Noen fuglearter som ærfugl, havelle og skarv benytter også tareskogen som matfat.

Ålegras (*Zostera spp.*) og andre undervannsenger omfatter grunne områder, vanligvis ned til 2-5 meters dybde. Naturtypen er registrert i Ålavika, samt tre lokaliteter på vestsiden av Sandsfjorden (se Figur 3). Vanlig ålegras er i dag ikke ansett som truet verken som art eller naturtype, men i vurderingene som er foretatt ved oppdateringen av Norsk rødliste for arter for 2012 og naturtyper 2011 er det anbefalt at ålegrasenger gis ekstra beskyttelse som utvalgt naturtype. I rødlisten for naturtyper fra 2018 går ålegras innunder marine undervannsenger (M7). Det er dokumentert nedgang i en del forekomster av ålegrasenger enkelte steder i Sør-Norge, men det foreligger ikke nok data til å si om reduksjonen er stor nok til å rødliste denne hovedtypen (Gundersen m.fl. 2018). Ålegrasenger er viktig oppvekstområde for yngel av torsk, ål og flere andre arter, og ifølge DNs verdsettingskriterier skal verdien av en ålegraseng økes dersom den ligger nær et gytefelt for torsk.

Fisk: Sandsfjorden er en nasjonal laksefjord. Dette er fjorder hvor det er restriksjoner for oppdrett av laksefisk. Formålet med nasjonale laksefjorder er å gi et utvalg av de viktigste villlaksbestandene i Norge en særlig beskyttelse mot inngrep og aktiviteter i vassdragene og mot oppdrettsvirksomhet i de nærliggende fjord- og kystområdene. Det er i hovedsak utvandring av smolt man er bekymret for mht. partikkelspredning i fjorden. Smolt vandrer ut i april-mai, og topper i utvandring forekommer samtidig med topper i ferskvannstilførsel. Som påpekt av NIVA vil det i slike tilfeller være en overflatestrøm med lav saltholdighet og en kompensasjonsstrøm under brakkvannslaget.

Typisk gytedyp for norsk kysttorsk er 20 – 60 m, men gyting ned til 80 m kan forekomme der det foreligger spesielle bunnforhold. Eggene flyter i 2-3 uker på ca. 20 – 30 m dyp før klekking. Dypet eggene flyter på er bestemt av tetthetsforskjellen mellom egget og vannmassene og egg kan også finnes både grunnere enn 20 m og dypere enn 30 m.

Akvakultur, fiske og friluft: Kjølvikskorpa naturreservat er en kupert, og for det meste grunnlendt øy i den ytre delen av Sandsfjorden. Formålet med vernet er å sikra en hel, furuskogdekket øy uten inngrep. Denne delen av Sandsfjorden er et område som er velegnet

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

og mye brukt til fritidsbåtliv (se mer <https://faktaark.naturbase.no/?id=VV00000820>). Det er lokalisert et oppdrettsanlegg på andre siden av fjorden ved Vintravika (se Figur 3).

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

3 Modellerte scenarioer for spredning

Resultat fra dette studiet skal benyttes til å utarbeide en tiltaksplan for permanent sikring av sjødeponiet. Spredning av deponerte masser fra sjøbunnen kan forekomme når sjøbunnen blir forstyrret og partikler virvles opp.

Tidligere var hovedkilden til erosjon og oppvirvling av partikler fra sjøbunnen knyttet til dumping av avfallsmasser til sjøen fra lastebiler. Med overføringen av deponeringen til land har denne kilden forsvunnet, og kildene til oppvirvling av partikler på sjøbunnen har blitt mer varierte og diffuse. De viktigste kildene til erosjon inkluderer nå faktorer som skipstrafikk, spesielle vær-situasjoner med kraftige strømmer og bølger, mulige ras og utglidninger, samt bioturbasjon og andre uidentifiserte forstyrrelser i sedimentene forårsaket av dyreliv og annen aktivitet.

For å ta høyde for usikkerheten i effekten av ulike tiltak for å sikre sjødeponiet mot utslipp til Sandsfjorden, ble det i samarbeid med Ecofact valgt å definere et bredt spekter, fra moderat til betydelig utslipp. Følgende scenarioer er modellert:

- Scenario 1: 500 kg
- Scenario 2: 2 500 kg
- Scenario 3: 5 000 kg
- Scenario 4: 20 000 kg

Resultatene fra de ulike scenarioene kan benyttes til å vurdere effekten av ulike tiltak (utslippsmengder) for å sikre sjødeponiet mot utslipp til Sandsfjorden. Scenario 1 og 2 representerer trolig de mest realistiske hendelsene uten tildekking av deponiet, mens scenario 3 er ansett som et konservativt scenario. Scenario 4 er inkludert for å undersøke et scenario som etterligner dumping av masse fra lastebil.

Kornstørrelsesfordelingen til avgangsmassene er gitt i Tabell 2 (Norsk Stein 2023). Omtrent 81% av avgangsmassene består av partikler mindre enn 63 mikrometer. Dette er samme fordeling som ble benyttet i studiet til NIVA. Tettheten til partiklene er 1 700 kg/m³ (Norsk Stein 2023).

I forbindelse med aktiviteten å definere scenarioene har vi benyttet Vedlegg 4 i «Veileder for risikovurdering av forurenset sediment» for å vurdere realismen i scenarioene (Miljødirektoratet 2015). Eksempler på noen beregninger av oppvirvlet mengde basert på ulike forutsetninger er gitt i Vedlegg B.

Tabell 2. Kornstørrelsefordeling av partikler som slippes ut i modellen

Kornstørrelse (µm)	Andel (%)
2	1.0
6	2.0
10	10.0
25	35.0
50	25.0
75	15.0
100	10.0
200	1.0
300	1.0

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

4 Metode for modellering

4.1 Utslippsmodell

CIPMO (Combined Integral and Particle model) er en kombinert integral- og partikkelfølgingsmodell som utviklet av IKM Acona AS og Ranold AS med støtte fra Norges Forskningsråd og Innovasjon Norge (Johnsplass m.fl. 2021). Modellen er beskrevet i fagfelleverderte artikler i *Environmental Fluid Mechanics* (Johnsplass m.fl. 2021) og tidsskriftet *Norsk vann* (Rosnes-Lundgaard m.fl. 2022).

I dette arbeidet, der målet er å modellere partikler som oppvirvles fra deponi benyttes kun partikkelfølgingsmodellen. Denne er en modifisert versjon av LADIM (Lagrangian Advection and Diffusion Model) utviklet av Havforskningsinstituttet (Ådlandsvik 2021), der bla. egendefinerte funksjoner for horisontal og vertikal diffusivitet og Stokes Law er innarbeidet som en variabel for å beregne sedimentasjon.

Oppvirvling av partikler fra de deponerte massene kan oppstå som følge av uregelmessige hendelser med relativt kort varighet og ikke jevnt over tid (se Kapittel 3). I dette studiet har vi valgt å starte partiklene med en jevn horisontal fordeling. Vertikalt bruker vi en interim-modell som simulerer bevegelsen til partiklene som blir virvlet opp når de eroderes fra sjøbunnen. Oppvirvlingen av partikler vil kunne forekomme i hele deponiet på dyp mellom 8 og 45 meter.

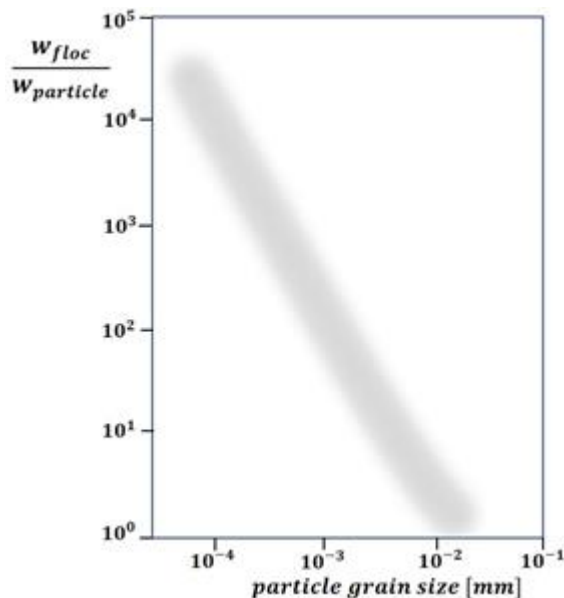
Som en konservativ antakelse antar vi at kraftimpulsen fra forstyrrelsen overføres til partiklene uten tap, og at dragkreftene som virker på partiklene er ubetydelige når partiklene løftes fra sjøbunnen. Dette kan føre til en overestimering av resuspensjonshøyden sammenlignet med en tilnærming som tar hensyn til disse faktorene. I dette studiet viste resultater at partiklene ble løftet i størrelsesorden fra 0,3 m fra bunn og helt opp til overflaten, avhengig av størrelsen på partiklene og vanddyppet. Ettersom driverdataene for modellen ikke inkluderer oppvirvling eller lignende fenomener, kan dette delvis kompensere for disse manglene. Partiklenes vertikale startposisjon blir bestemt når de når sitt høyeste punkt i forhold til sjøbunnen.

Det er brukt en forenklet metode for å simulere flokkuleringseffekten, som illustrert i Figur 4, basert på tabulerte korrelasjoner mellom synkehastighetene til individuelle partikler og synkehastighetene til tilsvarende flokkulanter.

Det er modellert med opptil 20 000 partikler avhengig av total mengde partikler som virvles opp. Posisjon til hver partikkel som slippes ut følges hvert minutt og skrives til en fil hver time. Det er modellert et utslipp i hver av månedene mai, juni og oktober med varighet på fire døgn (96 timer).

Resultatene fra modelleringen etter-prosesseres med en KDE (Kernel Density Estimation) modell. I vannsøylen brukes et 3D-rutenett med oppløsning på 20 m × 20 m × 2 m for å beregne partikkelkonsentrasjon og på sjøbunnen brukes et 2D rutenett med oppløsning 20 m × 20 m for å beregne sedimenttykkelse. Med denne metodikken kan man kvantifisere konsentrasjonen og sedimentasjon av masse som slippes ut og fortynnes i en resipient.

For resipienten og pre-definerte sårbare områder beregnes det en EIF-verdi (Environmental Impact Factor) basert på følgende ligning:



Figur 4. Figuren viser forholdet mellom synkehastigheten til en flokkulant og de individuelle partiklene som utgjør flokkulanten på y-aksen, mens partikkelstørrelsen er representert på x-aksen. Figuren er hentet fra Migniot m. fl. 1986.

RAPPORT

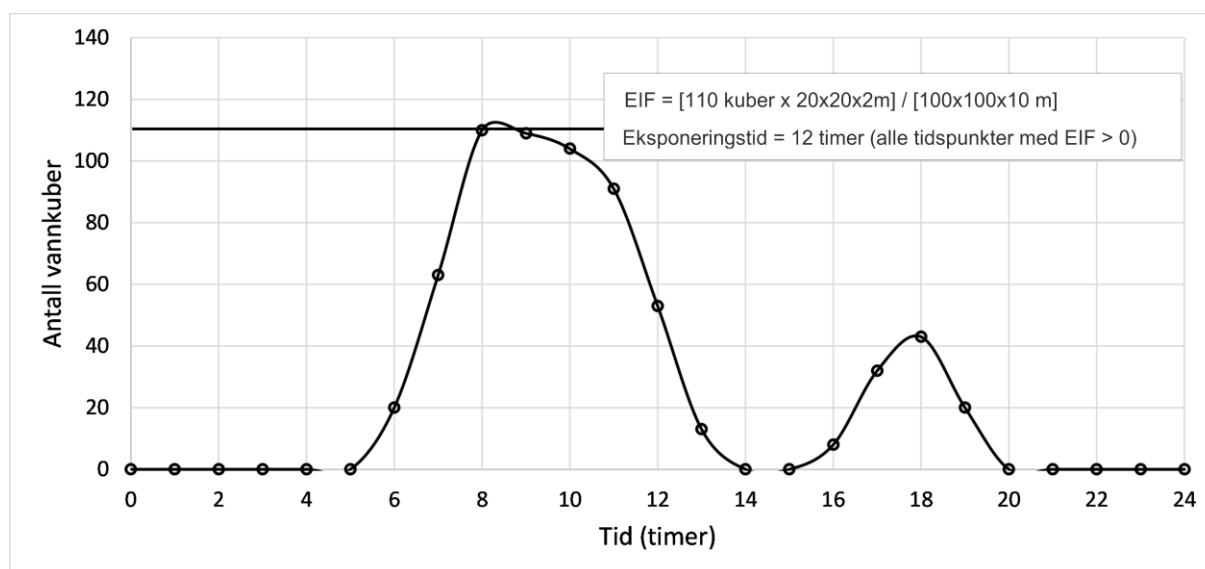
Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

$$EIF = \sum_{i=1}^n \frac{PEC_i}{PNEC} > 1 \quad 4.1$$

Der PEC (Predicted Effect Concentration) er modellert partikkelkonsentrasjon eller sedimentasjonstykkelse og PNEC (Predicted No Effect Concentration) er grenseverdien for antatt skadelige konsentrasjoner i vannmassen eller sedimenttykkelse for naturressursene. Hvert minutt sjekkes det om den modellerte partikkelkonsentrasjonen (PEC) i vannkuber av 20 m × 20 m × 2 m overstiger grenseverdien (PNEC), og hvis så adderes kubene til EIF-verdien. Tilsvarende gjøres for sedimenttykkelse. Enheten til en EIF er i oljeindustrien definert som et volum på 100 m×100 m×10 m og et areal på 100 m×100 m (Offshore Norge 2003). Denne brukes også i dette studiet, dvs. en EIF tilsvarende at 125 vannkuber av 20 m × 20 m × 2 m har modellert konsentrasjon større enn grenseverdien.

En illustrasjon av beregning av EIF er vist i Figur 5. Det er verdt å merke seg at man bruker høyeste verdi (referert til maksimal) og ikke en gjennomsnitt- eller akkumulert verdi og at eksponeringstiden telles for alle tidssteg der grenseverdien er oversteget i minst en kube.

Grenseverdier for partikkelkonsentrasjoner sedimentasjonstykkelser er presentert i Kapittel 4.3.



Figur 5. Illustrasjon av antall vannkuber der partikkelkonsentrasjonen overstiger 2 mg/l i område 1 for scenario 2 (2 500 kg).

4.2 Driverdata

Driverdata for strøm, salinitet og temperatur er hentet fra Havforskningsinstituttet sin NorFjords 160m-modell som baserer seg på modellen Norkyst800m (Albretsen 2011). NorKyst800 er utviklet av Havforskningsinstituttet sammen med blant annet Meteorologisk institutt. NorKyst800 har en romlig oppløsning på 800 meter og brukes blant annet til de ukentlige spredningssimuleringene av lakselus (Havforskningsinstituttet 2023).

I smale og trange farvann er det en fordel med høyere oppløsning. NorFjords160, utviklet av de samme forskerne, har en oppløsning på 160 m × 160 m horisontal og 42 lag vertikalt (dvs. en vertikal oppløsning på 1 meter ved for eksempel 42 meters dyp og 10 meter ved 420 meters dyp). Tidsoppløsningen er på 1 time. Dette gir detaljert informasjon, men krever 20 ganger så mye dataressurser enn Norkyst800m. Data fra Norfjords160 2018 og 2019 er benyttet som inngangsdata til CIPMO. Det er brukt data for mai, august og oktober for å få en god representasjon av strømbildet i resipienten under ulike strømforhold.

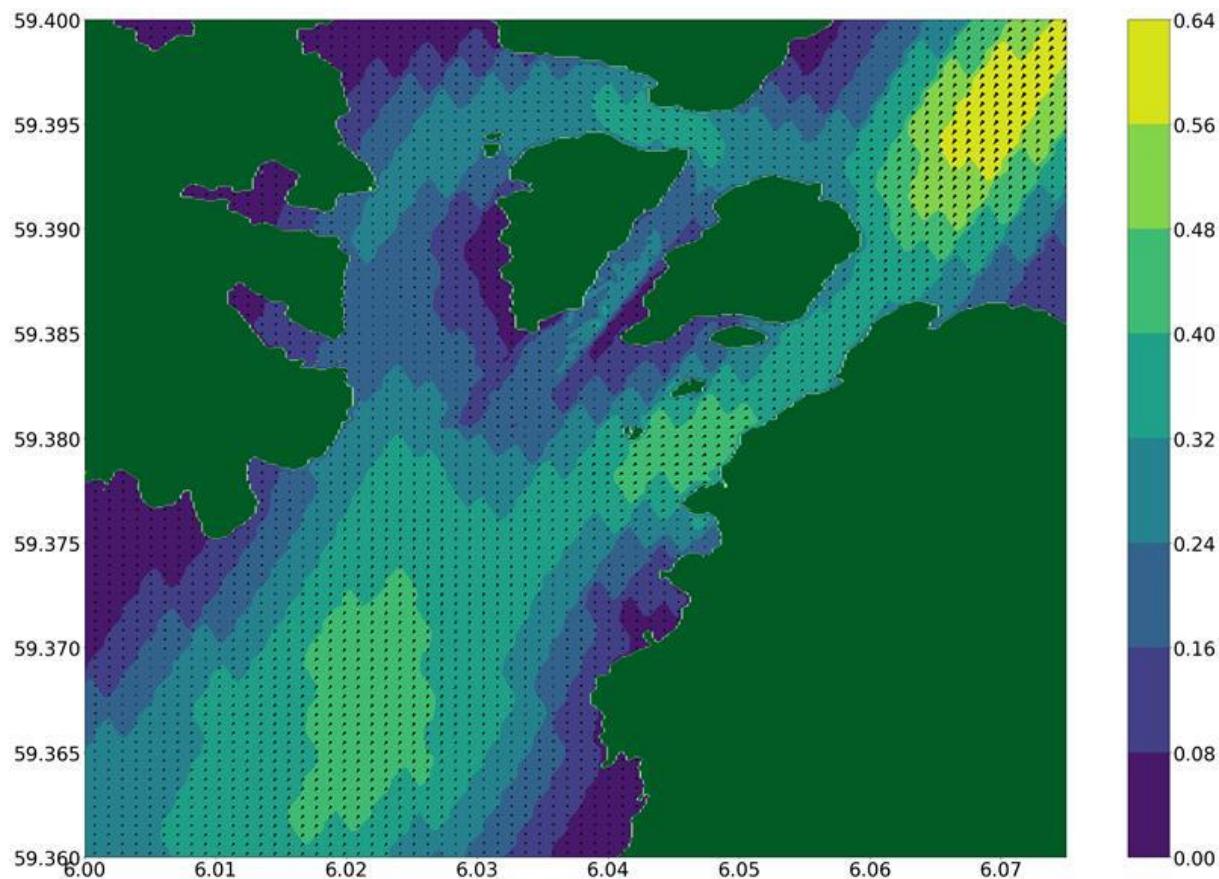
RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

Både Norkyst800 og NorFjords160 har blitt validert mot målinger og konklusjonen er at de effektivt gjenskaper de observerte verdiene (Havforskningsinstituttet 2023). Med en oppløsning på 160 meter oppnår man mer sømløse og realistiske overganger mellom områder med forskjellige strømnivåer, samtidig som man oppnår mer naturlige gradienter nær kysten. Dette forbedrer også nøyaktigheten i strømrretningen, hovedsakelig på grunn av en mer presis gjengivelse av bunndybden

Selv om NorFjords160 er blant de beste datasettene for modellering av trange farvann har det en relativt lav oppløsning når det kommer til topografi- og batymetridata i dette spesifikke området. I tillegg mangler det informasjon om strømsstyrken langs kystområdene. Derfor har vi komplementert NorFjords160-datasettet ved å inkludere dybdeinformasjon fra Kartverkets dybdekartlag for områdene i Kvernava og Midsundet. For å sikre nøyaktig modellering av partikkelspredning fra deponiet og for å unngå betydelige dødsoner uten strømdata, har vi også ekstrapolert dataene helt inn til kystområdene. Videre er de to øyene, Kvitelholmen og Midholmen, lagt til i datasettet da disse ikke var definert som land i de originale Nordfjords-dataene. Dette har resultert i et datasett som er vesentlig bedre egnet til å håndtere modelleringen av partikkelspredning fra deponiet enn de opprinnelige NorFjords160-dataene.

En illustrasjon av strømforholdene i området er vist i Figur 6.



Figur 6. Illustrasjon av overflatestrømmen 1 oktober 2018 klokka 03:00. Fargekoden angir strømsstyrken i m/s.

4.3 Grenseverdier for partikkelkonsentrasjoner og sedimentering

Man skiller mellom direkte og indirekte effekter av partikkelforurensning. Direkte effekter er mekanisk og fysisk skade som oppstår på grunn av partikkelforurensningen. Graden av påvirkning avhenger av partikkelkonsentrasjon, partikkelens form og størrelse, eksponeringstid, og for nedslamming tykkelse på sediment. Ved Norsk Stein sitt anlegg utvinnes produktene fra en bergart (granodioritt) bestående av mineralene kvarts og feltspat,

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

som vil kunne danne spisse partikler når det knuses, men de vil ikke være utpreget nåleformede (NIVA 2013).

Suspenderte partikler kan svekke fødeopptak og respirasjon ved tilstopping av filtreringsapparat til organismer lever av små biologiske partikler fra vannmassene og/eller sedimentet. Hos fisk kan partikkelforurensset vann gi subletale effekter som redusert appetitt og dermed redusert tilvekst ved langvarig eksponering, stress og unnvikelsesadferd. Mindre partikler vil kunne feste seg på geleaktig plankton og fiskeegg og redusere deres oppdrift (Drazen m.fl. 2019). Endringer i oppdrift kan føre til at egg synker ut av de produktive lagene i vannmassene, og evt. synker til bunns og blir spist av bunndyr, eller klekker under suboptimale forhold (se Van der Meeren m.fl. 2021 og referanser deri).

Øyekorallen lever på hardbunn i områder med fint sediment og danner slimlag for beskyttelse mot og fjerning av partikler på overflaten. Studier som har undersøkt effekter av eksponering av partikler på øyekorallen *Desmophyllum pertusum*, indikerer en nedre grenseverdi for negative effekter på helse (respirasjon, fettsyresammensetning, vekst av vev og skjelett) og adferd (slimproduksjon og polyppaktivitet) på >10 mg/l og høyere (> 50-100 mg/l) for økt dødelighet (Larsson m.fl. 2011, Baussant m.fl. 2018, Baussant m.fl. 2022). For 8 og 21 dager gamle larver er det påvist en økt dødelighet (LC10) av borekaks med partikkelstørrelse mindre enn 63 mikrometer på 77 – 170 mg/l og en effekt på deres svømmeatferd (EC10) ved 4-5 mg/l (Järnegren m.fl. 2020).

Grenseverdiene som er benyttet er presentert i Tabell 3. Hvor lenge organismene blir eksponert for partikler har stor betydning på effekten. Eksponeringstiden som er benyttet i studiene oppgitt i Tabell 3 er typisk 48 – 96 timer eller lengre. Størrelsen på partiklene i de fleste laboratoriestudier tilsvarer kornstørrelsen til partiklene som spres ut fra deponiet (< enn 63 mikrometer).

Tabell 3. Grenseverdier for partikkelkonsentrasjon og sedimenttykkelse benyttet i dette studiet for illustrasjoner og til å beregne EIF-verdier. Det er gitt eksempler på utvalgte referansestudier samt kommentar som er gitt ifb. med søknad om gruvevirksomhet i Engebøfjellet (Førdefjorden) fra Miljødirektoratet, Havforskningsinstituttet og Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet.

Grenseverdi for partikkelkonsentrasjon	
2 mg/l	Krav fra Mdir i forbindelse med deponi i Førdefjorden (40 meter over utslippspunkt og 1 km fra utslippspunkt ¹ . Grenseverdi referert til av Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) i høringsuttalelser ifb. med deponi i Førdefjorden ¹ . Økt dødelighet (LC8) på embryo og larver til torsk (3,2 mg/l kobberrik knust stein < 63 µm) ² Effekt på svømmeatferd til korall larver ³
5 mg/l	Anbefalt generell grenseverdi av Havforskningsinstituttet i høringsuttalelser ifb. med deponi i Førdefjorden ¹
10 mg/l	Grenseverdi referert til av Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) i høringsuttalelser ifb. med deponi i Førdefjorden ¹ Målbar effekt på oppdrift, klekktid og overlevelse på egg og larver til torsk og hyse ⁴ PNEC for dyreplankton, kyst ⁵
50 mg/l	Mulig økt polyppdødelighet hos øyekorall etter 4 dager ⁶ Reduksjon i oksygenforbruk hos svamp etter eksponering i en måned ⁷ Økt dødelighet av øyekorall ved eksponering av borekaks på 23 og 48 mg/l i fem dager ⁸
Grenseverdi for sedimenttykkelse	
1 mm	Øvre grense for «neglisjerbar skade» på korall og svamp Offshore ⁹ Ingen effekt på øyekorall ¹⁰
3 mm	Øvre grense for «lav skade» på korall og svamp Offshore ⁹ Anbefalt grense for sedimentering ved grensen for det regulerte deponiområdet ¹
6,5 mm	PNEC for bunndyrsamfunn Offshore ¹¹ I intervallet for «signifikant skade» på korall og svamp Offshore ⁹ 0,5% dødelighet på øyekorall ¹⁰
10 mm	Øvre grense for «betydelig skade» på korall og svamp Offshore ⁹

¹Miljødirektoratet 2013, Asplin m.fl. 2011 (HI), Asplin m.fl. (HI/NMBU) 2014, Kvellestad, A (NMBU) 2015, ²xx, ³Järnegren m.fl. 2020, ⁴Farkas m.fl. 2021, ⁵Rye m.fl. 2011, Smit m.fl. 2008, ⁶Brooke m.fl. 2009, ⁷Tjensvoll m.fl. (2013), Kutti m.fl. (2015), ⁸Baussant m.fl. 2022, ⁹NOROG 202X, ¹⁰Larsson m.fl. 2011, ¹¹Trannum m.fl. 2011, Smit m.fl. 2008.

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

5 Resultater

Det er betydelig variasjon i modellerte partikkelkonsentrasjoner i fjorden for de ulike scenarioene. En fellesnevner for alle scenarioene er at partikler som ikke synker til bunnen i deponiet, blir spredt utover i fjorden hvor de i løpet av 30 til 40 timer gradvis blir fortynnet til < 2 mg/l eller de sedimenterer. Et unntak er scenario 4 (20 000 kg), hvor konsentrasjonen i visse områder i fjorden kan være over 5 mg/l i 48-96 timer etter utslippet.

Modellerte scenarioer for mengder oppvirvlede masser:

Scenario 1: 500 kg
Scenario 2: 2 500 kg
Scenario 3: 5 000 kg
Scenario 4: 20 000 kg

De høyeste modellerte konsentrasjonene i fjorden (utenfor deponiet) varierer fra 228 mg/l for scenario 4 til 4,5 mg/l for scenario 1 (500 kg). De høyeste konsentrasjonene beregnet for scenario 2 og 3 var henholdsvis 57 mg/l og 27 mg/l, i oktober. Gjennomsnittskonsentrasjonen varierer fra 6,5 mg/l til 0,24 mg/l. Scenario 4 tilsvarer dumping av 20 000 kg material fra lastebil og er dermed scenarioet som er mest sammenlignbart med modelleringen som ble utført av NIVA i 2013. Et slikt scenario vil etter endt deponering bare kunne forekomme ved store utglidninger eller hvis et lasteskip eller større fartøy kjører seg fast inni Kvernavika og strever med å komme ut.

Det er de minste partiklene som spres lengst i modellen. Det er en tendens at partiklene beveger seg på tvers av fjorden og deretter nordvest mot Midsundet. Partiklene spres og blir gradvis fortynnet til lave konsentrasjoner eller sedimentert før de eventuelt når frem til Midsundet. For scenario 2 og 3 (2 500 og 5 000 kg) er det registrert konsentrasjoner på mellom 10 og 50 mg/l opp mot 1 km ut fra deponiet, mens de høyeste konsentrasjonene som er beregnet for scenario 1 (500 kg) er mellom 2 og 5 mg/l. Det er kun i scenario 4 konsentrasjonen i fjorden overstiger 100 mg/l. Resultatet fra dette scenarioet gir noe høyere, men sammenlignbare konsentrasjoner, som studiet til NIVA (der det var lagt til grunn en kalibreringsfaktor på 5).

Sedimentering forekommer gradvis over tid og over store områder og det er ingen scenarioer der tykkelsen utenfor deponiet overstiger 1 mikrometer. Det vil si at selv uten tiltak indikerer modelleringsresultatene at det vil ta lang tid før man vil kunne observere et lag av sediment (slam) på sjøbunnen. Dette er i overens med visuelle undersøkelser utført av DNV i 2014 og 2019 der det var kun i områdene nær deponiet (område 1 og 2 med bløtbunnsfauna) man kunne observere lag av slam som antas stammer fra deponiet. Generelt er det imidlertid vanskelig å skille naturlig sedimentlag, i farge og tekstur, fra et eventuelt lag av slam fra deponi på bløtbunn.

Blant de syv pre-definerte områdene med sårbare naturressurser overstiger partikkelkonsentrasjonen grenseverdiene for mulig skade kun i område 1 og 2. En oversikt over EIF verdier og eksponeringstider er gitt i Tabell 4. Tabellen viser at partikkelkonsentrasjonen for scenario 3 og 4 ikke overstiger 50 mg/l. For de to mest realistiske scenarioet (scenario 1 og 2) overstiges grenseverdien på 5 mg/l i opptil 5 timer i område 1, mens det i området 2 ikke er registrert konsentrasjoner over 5 mg/l.

Resultater for hvert scenario er gitt i Vedlegg A. Illustrasjon av spredning av partikler fra deponiet er illustrert med kart som viser konsentrasjonen i vannmassene etter 6, 12, 24, 48 og 96 timer. Fargeskalaene i figurene viser konsentrasjonen fra dypet (vertikallaget) med den høyeste konsentrasjonen. Gjennomsnittlig og maksimumskonsentrasjoner ved de ulike tidspunktene er gitt i tabeller, samt EIF-verdier for alle områdene.

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

Tabell 4. Resultat fra EIF-beregninger i pre-definerte områder (jf. Figur 3 og Tabell 1). Tabellen viser maksimal EIF-verdi i løpet av eksponeringstiden (timer) der partikkelkonsentrasjonen overstiger grenseverdiene på 2, 5, 10 og 50 mg/l for område 1 og område 2. I de andre fem områdene var partikkelkonsentrasjonen mindre enn 2 mg/l.

Scenario	Måned	Område 1								Område 2							
		> 2 mg/l		> 5 mg/l		> 10 mg/l		> 50 mg/l		> 2 mg/l		> 5 mg/l		> 10 mg/l		> 50 mg/l	
		EIF	Tid	5	Tid	10	Tid	50	Tid	2	Tid	5	Tid	10	Tid	50	Tid
Scen. 4 20 000 kg	Mai	2,17	21	1,51	16	1.14	14	0,38	9	3,85	10	2,67	9	1,72	8	0,14	4
	Aug.	1,18	11	0,74	10	0,47	8	0,10	4	6,93	37	4,38	18	2,69	18s	0,47	13
	Okt.	0,66	15	0,09	10	0,02	3	0,00	-	2,10	7	1,18	5	0,64	4	0,02	3
Scen. 3 5 000 kg	Mai	1.30	16	0.78	12	0.43	12	0.02	2	2.06	9	0.78	7	0.19	5	0.00	-
	Aug.	0.53	10	0.28	4	0.13	4	0.00	-	3.26	19	1.47	16	0.70	14	0.04	5
	Okt.	0.02	5	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.78	5	0.30	3	0.06	3	0.00	-
Scen.2 2 500 kg	Mai	0.88	12	0.45	11	0.24	5	0.00	-	1.06	7	0.21	5	0.04	1	0.00	-
	Aug.	0.33	6	0.13	4	0.03	2	0.00	-	1.81	16	0.70	14	0.18	11	0.00	-
	Okt.	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.40	3	0.06	3	0.00	-	0.00	-
Scen. 1 500 kg	Mai	0.23	5	0.02	1	0.00	-	0.00	-	0.04	1	0.00	-	0.00	-	0.00	-
	Aug.	0.19	12	0.04	5	0.00	-	0.00	-	0.05	2	0.00	-	0.00	-	0.00	-
	Okt.	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-

Under følger en detaljert beskrivelse av resultatet for scenarioet på 500 kg. Illustrasjon av spredning av partikler fra deponiet er vist i Figur 7. Gjennomsnittlig og maksimumskonsentrasjoner ved de ulike tidspunktene er gitt i Tabell 5.

Figuren viser at partiklene spres og fortynnes til konsentrasjoner under 2 mg/l etter mellom 24 og 48 timer. Etter 6 til 12 timer er partikkelkonsentrasjonen de fleste stedene i fjorden redusert til under grenseverdien på 2 mg/l med unntak av noen få områder der konsentrasjonen ligger mellom 2 og 5 mg/l. Ved de valgte tidspunktene er den høyeste konsentrasjonen registrert etter 12 timer i august og er 5,8 mg/l. Denne konsentrasjonen er målt i fire vannkuber av 20×20×2 meter på ca. 30 meters dyp, lokalisert rundt 15 meter fra Kvernsvika.

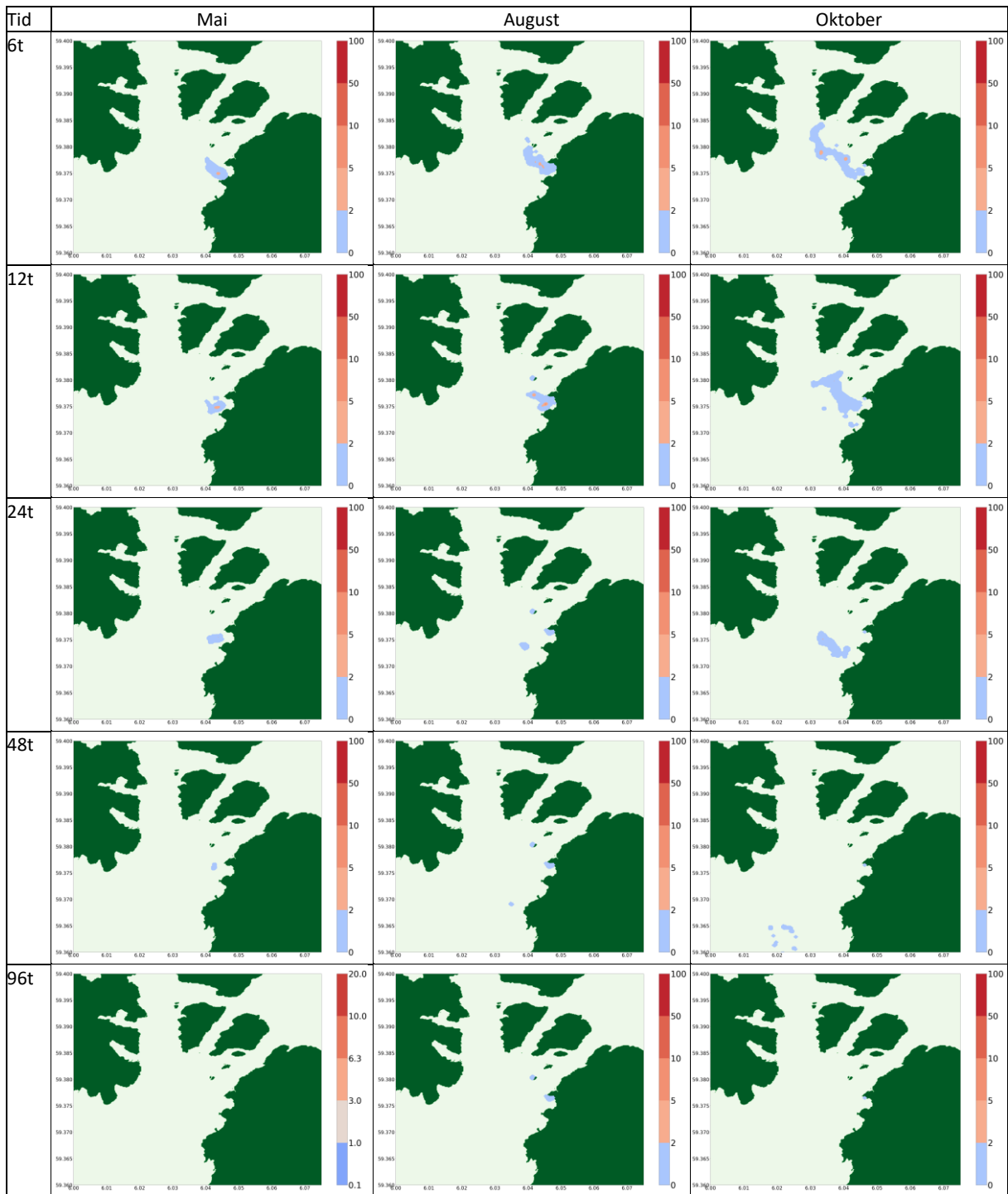
Massebalansen til scenarioet viser at alle partiklene er sedimentert etter mellom 30 og 40 timer, avhengig av måned (Figur 8). Eksponeringstiden for konsentrasjoner > 2 mg/l er 26, 19 og 34 timer for hhv. utslipp i mai, august og oktober. Tilsvarende eksponeringstider for konsentrasjoner > 5 mg/l er hhv. 1, 14 og 2 timer. Eksponeringstiden for konsentrasjoner over 10 mg/l er 1 time i alle måneder, registrert 1 time etter utslippet startet. Det er ikke registrert konsentrasjoner over 50 mg/l i noen av månedene for dette scenarioet.

Av de pre-definerte områdene (Nr. 1-7 i Figur 3) er det kun område 1 og område 2 som blir berørt av partikkelkonsentrasjoner over grenseverdien på 2 mg/l. Lengste eksponeringstid for konsentrasjoner, over 2 mg/l i område 1 er 23 timer i mai og 2 timer i område 3 i august.

Skadepotensialet på sårbare naturressurser vurderes å være lavt. For de mest realistiske scenarioene er det lite sannsynlig at kysttorsken og smolt i liten grad vil komme i kontakt med en evt. partikkelsky, og da kun i kortere perioder. Av de pre-definerte områdene med bløtbunnsfauna og koraller har de to nærmeste områdene (med større tettheter av sjøfjær) konsentrasjoner over grenseverdien på 2 mg/l.

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa



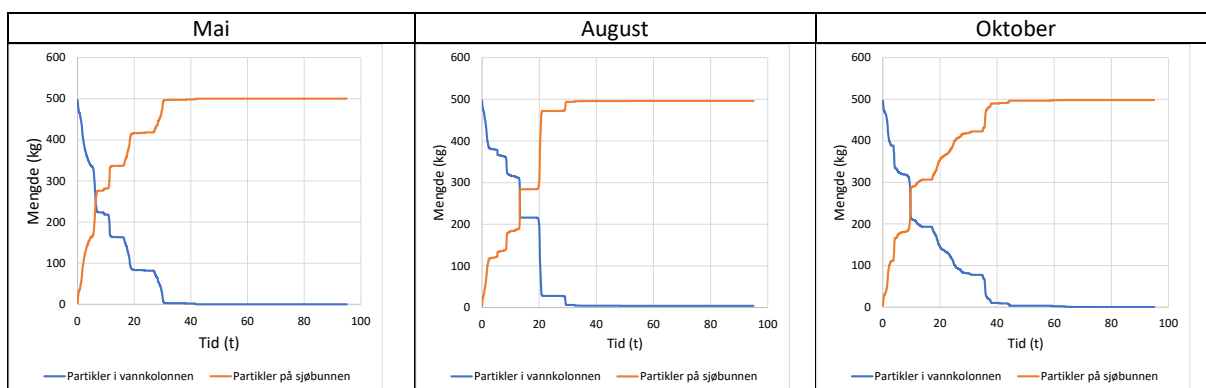
Figur 7. Illustrasjon av spredning av partikler som et resultat av en oppvirvling av 500 kg sediment fra deponiet. Figuren viser øyeblikksbilder ved 6, 12, 24, 48 og 96 timer etter oppvirvlingen har funnet sted. Fargeskalaene viser konsentrasjonen til dypt (vertikallaget) med høyeste konsentrasjon.

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

Tabell 5. Gjennomsnittlig og maksimum partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen i analyseområdet ved ulike tidspunkter for Scenario 1 (500 kg).

Tidspunkt	Mai		August		Oktober	
	Gjennomsnitt	Maksimum	Gjennomsnitt	Maksimum	Gjennomsnitt	Maksimum
6 timer	0,24	3,66	0.18	3.58	0.12	4.83
12 timer	0,20	4,50	0.27	5.81	0.07	2.04
24 timer	0,13	2,11	0.04	1.46	0.08	2.37
48 timer	0,01	0,07	0.01	0.20	0.00	0.06
96 timer	0,01	0,01	0.01	0.20	0.00	0.01



Figur 8. Massebalanse til Scenario 1 (500 kg). Partiklene er enten i vannkolonnen eller på sjøbunnen slik at summen er alltid 500 kg.

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

6 Konklusjon

Modellering har vist lave partikkelkonsentrasjoner i vannkolonnen og lite sedimentasjon på sjøbunn for de mest realistiske spredningsscenarioene. Det tilsier at skadepotensialet på sårbare naturressurser i området er lavt. De modellerte scenarioene inkluderer ikke tiltak for å begrense spredning. Modelleringsresultatene samsvarer med funn fra gjennomførte feltundersøkelser i området der det er funnet lite slam fra deponiet utenfor siltgarden. Det er viktig å merke seg at konklusjonene er basert på de forutsetningene og scenariene som ble vurdert i studien, og at fremtidige endringer eller avvik fra disse forutsetningene kan påvirke resultatene.

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

Referanser

- Albretsen, J., Sperrevik, A. K., Staalstrøm, A., Sandvik, A. D., Vikebø, F., & Asplin, L. (2011). NorKyst-800. Report No. 1. User Manual and Technical Descriptions, Fisken og Havet
- Artsdatabanken 2021. Norsk rødliste for arter 2021. <https://www.artsdatabanken.no/lister/rodlisteforarter/2021>
- Baussant T, Arnberg M, Lyng E, et al (2022) Identification of tolerance levels on the cold-water coral *Desmophyllum pertusum* (*Lophelia pertusa*) from realistic exposure conditions to suspended bentonite, barite and drill cutting particles. PLoS One 17:0263061.
- Baussant T, Nilsen M, Ravagnan E, et al (2018) Effects of suspended drill cuttings on the coral *Lophelia pertusa* using pulsed and continuous exposure scenarios. J Toxicol Environ Heal Part A 81:361–382.
- Brooke SD, Holmes MW, Young CM (2009) Sediment tolerance of two different morphotypes of the deep-sea coral *Lophelia pertusa* from the Gulf of Mexico. Mar Ecol Prog Ser 390:137–144
- DNV GL 2019. Visuell overvåking koraller Sandsfjorden. Rapportnr.: 2019-0652.
- Drazen J, Smith C, Gjerde K, Au W, Black J, Carter G, Clark M, Durden J, Dutrieux P, Goetze E, Haddock S, Hatta M, Hauton C, Hill P, Koslow J, Leitner A, Measures C, Pacini A, Parrish F, Peacock T, Perelman J, Sutton T, Taymans C, Tunnicliffe V, Watling L, Yamamoto H, Young E, Ziegler A (2019). Report of the workshop Evaluating the nature of midwater mining plumes and their potential effects on midwater ecosystems. Research Ideas and Outcomes 5
- Farkas J, Nordtug T, Svendheim LH, et al (2021) Effects of mine tailing exposure on early life stages of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). Environ Res 200:111447
- Gregory, J., & O'Melia, C. R. 1989. Fundamentals of flocculation. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 19(3), 185-230.
- Gundersen, H., Bekkby, T., Oug, E., Norderhaug, K. M., Fredriksen, S. og Rinde, E. 2018. Marint gruntvann. Norsk rødliste for naturtyper 2018. Artsdatabanken. Hentet (03.08.2023) fra <https://www.artsdatabanken.no/Pages/259183>.
- Havforskningsinstituttet 2020. Tema: Sjøfjær <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/sjofjer>. Besøkt 24.09.2023.
- Havforskningsinstituttet 2021. Hvilken betydning har oppløsning for kyst- og fjordmodeller? - Validering og representasjonsberegninger av strømmodeller med eksempler fra Sulafjorden, Møre og Romsdal. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2021-20> Besøkt 24.09.2023.
- Havforskningsinstituttet 2023. Lakseluskartet. <https://www.hi.no/forskning/marine-data-forskningsdata/lakseluskart/html/lakseluskart.html>
- Järnegren J, Brooke S, Jensen H (2020) Effects and recovery of larvae of the cold-water coral *Lophelia pertusa* (*Desmophyllum pertusum*) exposed to suspended bentonite, barite and drill cuttings. Mar Environ Res 158:104996.
- Kutti T, Mork KA, Chierici M, Børsheim KY, Espen Bagøien, Knutsen T, Broms CT, Klevjer T, Strand E, Gjørseter H, Stenevik EK, Høines A, Windsland K, Frie AK (2021). Pelagiske økosystem i De nordiske hav. Grunnlagsstudie knyttet til åpningsprosess for utforskning og utvinning av havbunnsmineraler på norsk kontinentalsokkel. Rapport fra havforskningen. ISSN:1 893-4536. 2021-41. 129 sider.
- Larsson AI, Purser A (2011) Sedimentation on the cold-water coral *Lophelia pertusa*: cleaning efficiency from natural sediments and drill cuttings. Mar Pollut Bull 62:1159–1168.

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

Larsson AI, van Oevelen D, Purser A, Thomsen L (2013) Tolerance to long-term exposure of suspended benthic sediments and drill cuttings in the cold-water coral *Lophelia pertusa*. *Mar Pollut Bull* 70:176–188.

MAREANO 2023. Sårbare biotoper, Sjøfjærbunn (Sublittorale sjøfjærsamfunn). <https://www.mareano.no/tema/bunnhabitater/sarbare-biotoper>. Besøkt 24.09.2023.

Norsk olje og gass (2019) (2019). Species and Habitats of Environmental Concern. Mapping, Risk Assessment, Mitigation and Monitoring. - In Relation to Oil and Gas Activities. 2019-007, Rev. 0. 2019-06-17

Norsk Stein AS 2023. Epost fra Stian Johansen, HSE Manager Norsk Stein AS, torsdag 29, 2023.

Johnsplass, J., Winger, A. C., Bjørgesæter, A., Kleven, M., & Jensen, J. D. 2021. Combined integral and particle model for describing the dispersion, dilution, terminal layer formation and influence area from a point source discharge into a water body. *Environmental Fluid Mechanics*, 21(5), 1009-1034. <https://doi.org/10.1007/s10652-021-09807-4>.

Miljødirektoratet 2015. Veileder. Risikovurdering av forurenset sediment. M-409. Forfattere: Gijs Breedveld (NGI), Anders Ruus (NIVA), Torgeir Bakke (BE), Anne Kibsgaard og Hans Peter Arp (NGI).

Miljødirektoratet 2015. Nordic Mining – søknad om gruvevirksomhet i Engebøfjellet. Miljødirektoratets anbefaling knyttet til eventuell tillatelse etter forurensningsloven. Med følgende notater: (1) Asplin/van der Meeren/Fosså (HI) 11.11.2011: Ny viktig informasjon i anledning mulig gruvevirksomhet i Engebø (notat til Fiskeridirektoratet), (2) Asplin, Lars m.fl. (HI/NMBU) 27.10.2014. Vurdering av tilleggsundersøkelser (brev til Fiskeridirektoratet), (3) Kvellestad, Agnar (NMBU – Norges miljø og biovitenskapelige universitet) 22.01.2015. Notat omundervurdering av skadeverknader fra uorganiske svevepartiklar på livet i sjøen i samband med deponering av gruveavfall i Førdefjorden

Migniot, C. 1968. A study of the physical properties of different very fine sediments and their behavior under hydrodynamic action, *La Houille Blanche* 7: 591-620 (in French, with abstract in English).

NINA-NIKU 1996. Johnsen, B.O., Økland, F., Lamberg, A., Thorstad, E.B. & Jensen, A.J. 1996. Undersøkelser av laksens vandringer i Sandsfjordsystemet og i Suldalslågen i 1995 ved hjelp av radiotelemetri. - NINA Oppdragsmelding 421: 1-44.

OSPAR 2010. Background document for sea pens and burrowing megafauna. OSPAR Commission Biodiversity Series Publication Number: 481/2010. <https://www.ospar.org/work-areas/bdc/species-habitats/list-of-threatened-declining-species-habitats>

Rosnes-Lundgaard, M. K., Johnsplass, J., Bjørgesæter, A. & Winger, A. C 2022. Metode for spredningsberegninger av flere samtidige utslipp til vann ved hjelp av CIPMO – Kombinert integral- og partikkelspredningsmodell. *Norsk vann tidsskrift Vann*. Årgang: 57. Utgave: 1.

Statsforvalteren Rogland 2023. Offentlig ettersyn - Norsk Stein AS avd. Suldal, søknad om ny utslippstillatelse. 13.04.2023.

Tandberg A.H.S. og Mortensen P. 2021. Koralldyr: Vurdering av øyekorall *Desmophyllum pertusum* for Norge. Rødlista for arter 2021. Artsdatabanken. <https://www.artsdatabanken.no/lister/rodlisteforarter/2021/5718>

Tandberg A.H.S. og Mortensen P. 2021. Koralldyr: Vurdering av sjøtre *Paragorgia arborea* for Norge. Rødlista for arter 2021. Artsdatabanken. <https://www.artsdatabanken.no/lister/rodlisteforarter/2021/1803>. Ref. 2022/11782.

Tandberg A.H.S. og Mortensen P. 2021. Koralldyr: Vurdering av *Swiftia pallida* for Norge. Rødlista for arter 2021. Artsdatabanken. <https://www.artsdatabanken.no/lister/rodlisteforarter/2021/31896>

RAPPORT

Modellering av partikkelspredning fra avsluttet sjødeponi på Jelsa

Tranum HC og M. Schaanning (2017). Mesokosmos-forsøk med avgang fra Titania - effekt på bløtbunnsfauna. ISBN 978-82-577-6958-1. NIVA-report 7223, 18 pp. In Norwegian. Norsk institutt for vannforskning.DNV. 2014. Undersøkelser av kaldtvannskoraller i Sandsfjorden. DNV GL. Rapport nr. 2014-0703.

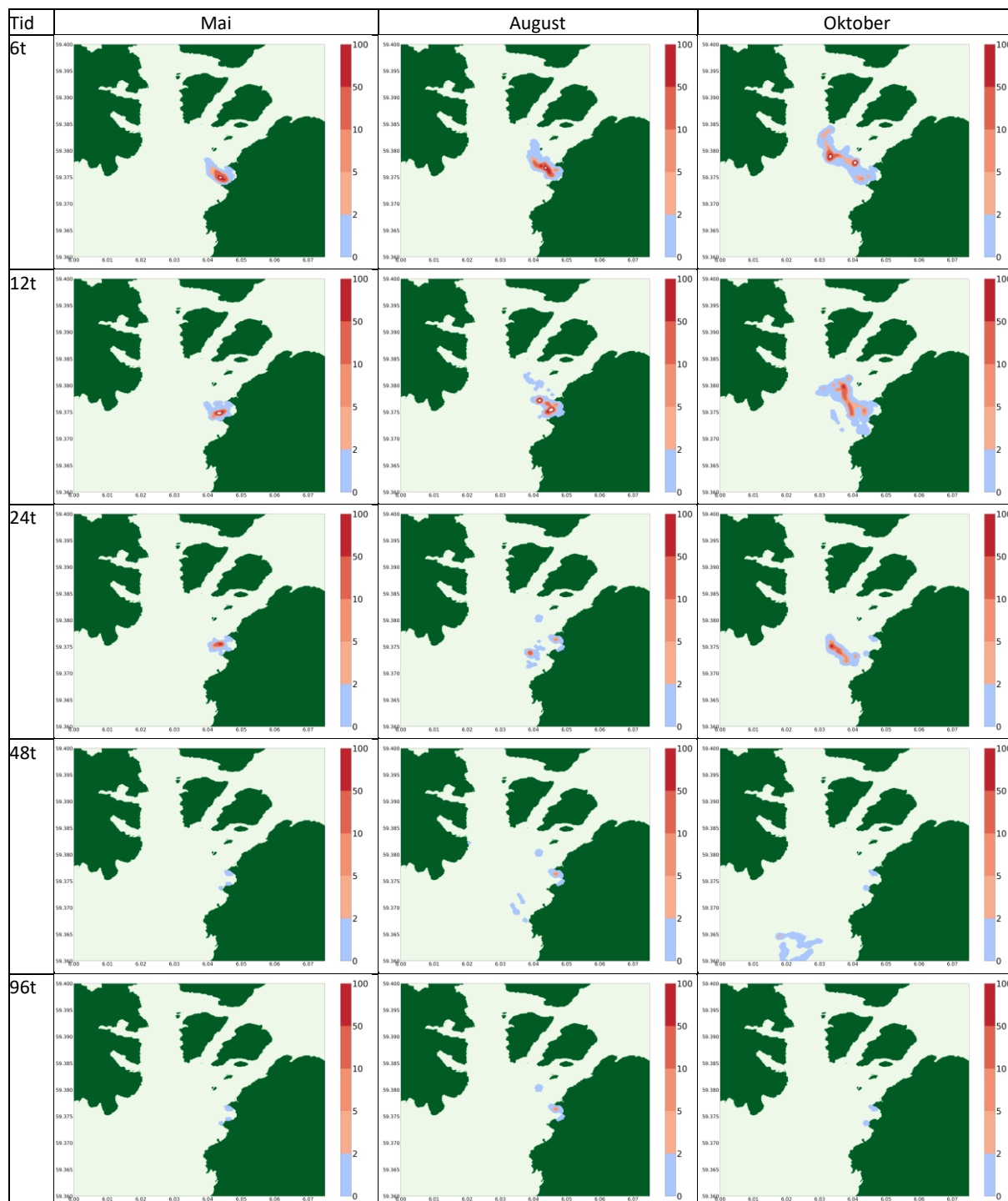
Van der Meeren, T. 2021. Innspill til høring – Forslag til konsekvensutredningsprogram for mineralvirksomhet på norsk kontinentalsokkel. Havforskningsinstituttet.

Ådlandsvik, B. 2021. LADiM Documentation, Release 1.1.0. Institute of Marine Research.

Vedlegg A

A1 Resultater

Resultater for scenario 4 (20 000 kg)



Figur 9. Illustrasjon av spredning av partikler som et resultat av en oppvirvling av 20 000 kg sediment fra deponiet (scenario 1). Figuren viser øyeblikksbilder ved 6, 12, 24, 48 og 96 timer etter oppvirvlingen har funnet sted. Fargeskalaene viser konsentrasjonen til dyppet (vertikallaget) med høyeste konsentrasjon.

Tabell 6. Gjennomsnittlig og maksimum partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen i analyseområdet ved ulike tidspunkter for scenario 4 (20 000 kg).

Tidspunkt	Mai		August		Oktober	
	Gjennomsnitt	Maksimum	Gjennomsnitt	Maksimum	Gjennomsnitt	Maksimum
6 timer	6,47	143	5,77	139	3,78	196
12 timer	5,01	181	5,39	228	1,94	77
24 timer	2,62	78	0,62	50	2,11	93
48 timer	0,01	0	0,16	10	0,07	4
96 timer	0,01	0	0,32	10	0,02	0

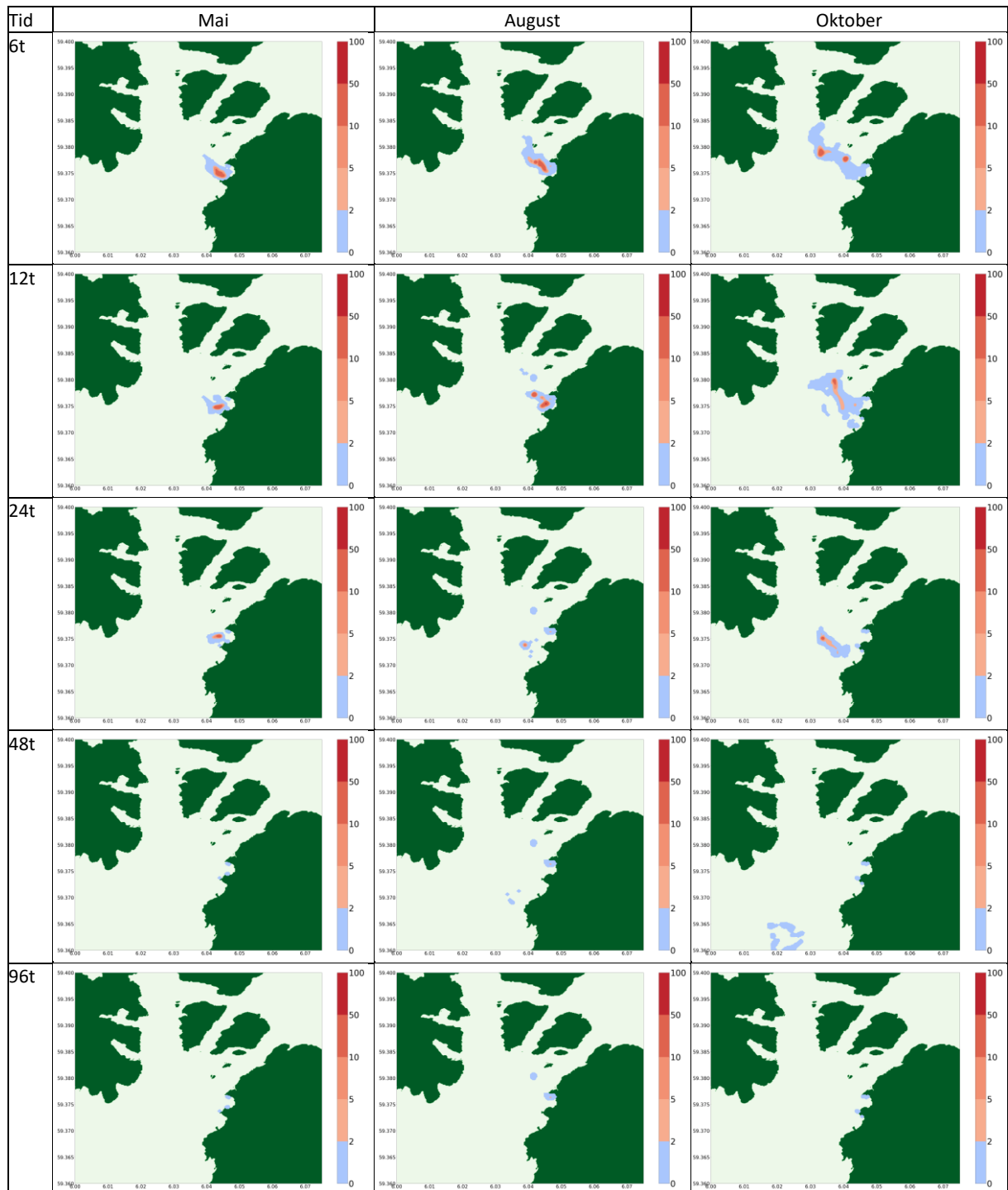
EIF- verdier

Mai - 20 000 kg	Vannkolonne (partikkelkonsentrasjon)				Sjøbunn (sedimenttykkelse)			
	2 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	50 mg/l	1 mm	3 mm	6,5 mm	10 mm
Område 1	2,17	1,51	1,14	0,38	-	-	-	-
Område 2	3,85	2,67	1,72	0,14	-	-	-	-
Område 3	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 4	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 6	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 7	-	-	-	-	-	-	-	-

August - 20 000 kg	Vannkolonne (partikkelkonsentrasjon)				Sjøbunn (sedimenttykkelse)			
	2 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	50 mg/l	1 mm	3 mm	6,5 mm	10 mm
Område 1	1,18	0,74	0,47	0,10	-	-	-	-
Område 2	6,93	4,38	2,69	0,47	-	-	-	-
Område 3	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 4	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 6	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 7	-	-	-	-	-	-	-	-

Oktober - 20 000 kg	Vannkolonne (partikkelkonsentrasjon)				Sjøbunn (sedimenttykkelse)			
	2 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	50 mg/l	1 mm	3 mm	6,5 mm	10 mm
Område 1	0,66	0,09	0,02	0,00	-	-	-	-
Område 2	2,10	1,18	0,64	0,02	-	-	-	-
Område 3	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 4	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 6	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 7	-	-	-	-	-	-	-	-

Resultater for scenario 3 (5 000 kg)



Figur 10. Illustrasjon av spredning av partikler som et resultat av en oppvirvling av 5 000 kg sediment fra deponiet. Figuren viser øyeblikksbilder ved 6, 12, 24, 48 og 96 timer etter oppvirvlingen har funnet sted. Fargeskalaene viser konsentrasjonen til dyppet (vertikallaget) med høyeste konsentrasjon.

Tabell 7. Gjennomsnittlig og maksimum partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen i analyseområdet ved ulike tidspunkter for Scenario 3 (5000 kg).

Tidspunkt	Mai		August		Oktober	
	Gjennomsnitt	Maksimum	Gjennomsnitt	Maksimum	Gjennomsnitt	Maksimum
6 timer	1,82	38	1,54	35	1,02	48
12 timer	1,33	45	1,99	57	0,53	21
24 timer	0,84	22	0,24	13	0,54	24
48 timer	0,00	0	0,07	2	0,02	1
96 timer	0,00	0	0,11	2	0,00	0

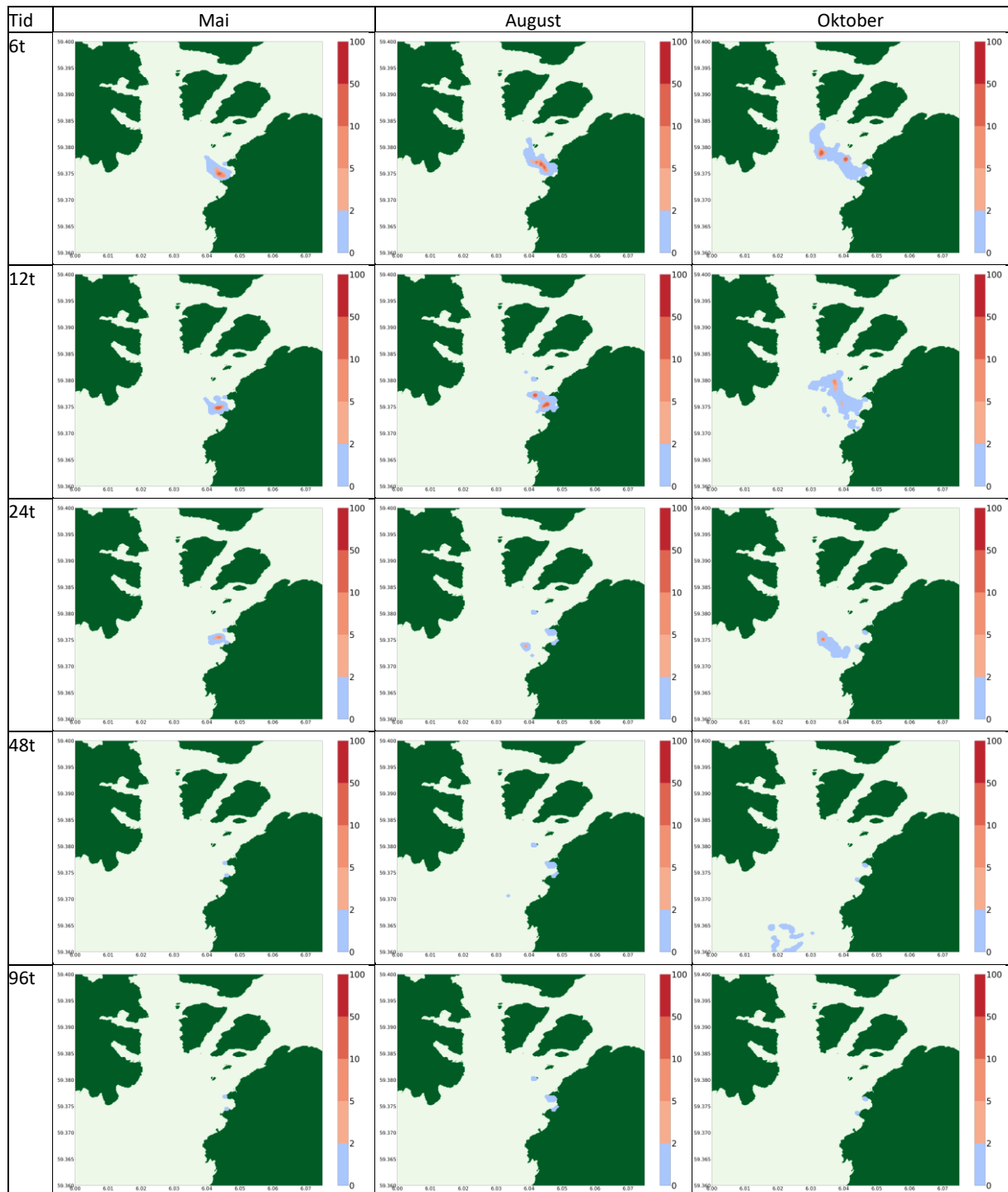
EIF- verdier

Mai - 5 000 kg	Vannkolonne (partikkelkonsentrasjon)				Sjøbunn (sedimenttykkelse)			
	2 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	50 mg/l	1 mm	3 mm	6,5 mm	10 mm
Område 1	1.30	0.78	0.43	0.02	-	-	-	-
Område 2	2.06	1,18	0,64	0.02	-	-	-	-
Område 3	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 4	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 6	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 7	-	-	-	-	-	-	-	-

August 5 000 kg	Vannkolonne (partikkelkonsentrasjon)				Sjøbunn (sedimenttykkelse)			
	2 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	50 mg/l	1 mm	3 mm	6,5 mm	10 mm
Område 1	0.53	0.28	0.13	0.00	-	-	-	-
Område 2	3.26	1.47	0.70	0.04	-	-	-	-
Område 3	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 4	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 6	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 7	-	-	-	-	-	-	-	-

Oktober – 5 000 kg	Vannkolonne (partikkelkonsentrasjon)				Sjøbunn (sedimenttykkelse)			
	2 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	50 mg/l	1 mm	3 mm	6,5 mm	10 mm
Område 1	0.02	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
Område 2	0.78	0.30	0.06	0.00	-	-	-	-
Område 3	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 4	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 6	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 7	-	-	-	-	-	-	-	-

Resultater for scenario 3 (2 500 kg)



Figur 11. Illustrasjon av spredning av partikler som et resultat av en oppvirvling av 2 500 kg sediment fra deponiet. Figuren viser øyeblikksbilder ved 6, 12, 24, 48 og 96 timer etter oppvirvlingen har funnet sted. Fargeskalaene viser konsentrasjonen til dyppet (vertikallaget) med høyeste konsentrasjon.

Tabell 8. Gjennomsnittlig og maksimum partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen i analyseområdet ved ulike tidspunkter for Scenario 2 (2 500 kg).

Tidspunkt	Mai		August		Oktober	
	Gjennomsnitt	Maksimum	Gjennomsnitt	Maksimum	Gjennomsnitt	Maksimum
6 timer	0,93	18	0,85	18	0,54	24
12 timer	0,75	23	0,99	28	0,29	10
24 timer	0,47	10	0,14	7	0,32	12
48 timer	0,00	0	0,04	1	0,01	1
96 timer	0,00	0	0,05	1	0,00	0

EIF- verdier

Mai - 2 500 kg	Vannkolonne (partikkelkonsentrasjon)				Sjøbunn (sedimenttykkelse)			
	2 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	50 mg/l	1 mm	3 mm	6,5 mm	10 mm
Område 1	0.88	0.45	0.24	0.00	-	-	-	-
Område 2	1.06	0.21	0.04	0.00	-	-	-	-
Område 3	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 4	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 6	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 7	-	-	-	-	-	-	-	-

August – 2 500 kg	Vannkolonne (partikkelkonsentrasjon)				Sjøbunn (sedimenttykkelse)			
	2 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	50 mg/l	1 mm	3 mm	6,5 mm	10 mm
Område 1	0.33	0.13	0.03	0.00	-	-	-	-
Område 2	1.81	0.70	0.18	0.00	-	-	-	-
Område 3	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 4	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 6	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 7	-	-	-	-	-	-	-	-

Oktober - 2 500 kg	Vannkolonne (partikkelkonsentrasjon)				Sjøbunn (sedimenttykkelse)			
	2 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	50 mg/l	1 mm	3 mm	6,5 mm	10 mm
Område 1	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
Område 2	0.40	0.06	0.00	0.00	-	-	-	-
Område 3	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 4	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 6	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 7	-	-	-	-	-	-	-	-

Resultater for scenario 1 (500 kg)



Figur 12. Illustrasjon av spredning av partikler som et resultat av en oppvirvling av 500 kg sediment fra deponiet. Figuren viser øyeblikksbilder ved 6, 12, 24, 48 og 96 timer etter oppvirvlingen har funnet sted. Fargeskalaene viser konsentrasjonen til dyptet (vertikallaget) med høyeste konsentrasjon.

Tabell 9. Gjennomsnittlig og maksimum partikkelkonsentrasjon i vannkolonnen i analyseområdet ved ulike tidspunkter for Scenario 1 (500 kg).

Tidspunkt	Mai		August		Oktober	
	Gjennomsnitt	Maksimum	Gjennomsnitt	Maksimum	Gjennomsnitt	Maksimum
6 timer	0,24	3,66	0.18	3.58	0.12	4.83
12 timer	0,20	4,50	0.27	5.81	0.07	2.04
24 timer	0,13	2.11	0.04	1.46	0.08	2.37
48 timer	0,01	0,07	0.01	0.20	0.00	0.06
96 timer	0,01	0,01	0.01	0.20	0.00	0.01

EIF- verdier

Mai - 500 kg	Vannkolonne (partikkelkonsentrasjon)				Sjøbunn (sedimenttykkelse)			
	2 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	50 mg/l	1 mm	3 mm	6,5 mm	10 mm
Område 1	0.23	0.02	0.00	0.00	-	-	-	-
Område 2	0.04	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
Område 3	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 4	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 6	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 7	-	-	-	-	-	-	-	-

August - 500 kg	Vannkolonne (partikkelkonsentrasjon)				Sjøbunn (sedimenttykkelse)			
	2 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	50 mg/l	1 mm	3 mm	6,5 mm	10 mm
Område 1	0.19	0.04	0.00	0.00	-	-	-	-
Område 2	0.05	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
Område 3	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 4	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 6	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 7	-	-	-	-	-	-	-	-

Oktober - 500 kg	Vannkolonne (partikkelkonsentrasjon)				Sjøbunn (sedimenttykkelse)			
	2 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	50 mg/l	1 mm	3 mm	6,5 mm	10 mm
Område 1	0.00	0.00	0.00		-	-	-	-
Område 2	0.00	0.00	0.00		-	-	-	-
Område 3	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 4	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 6	-	-	-	-	-	-	-	-
Område 7	-	-	-	-	-	-	-	-

Vedlegg B

B1 Oppvirvling av partikler fra deponi

Erosjon av bunnsedimenter oppstår når kraften (skjærspenningen) i overliggende vannmasser (løft og drag) er større enn motstanden i sedimentene som skyldes vekten av sedimentpartiklene og friksjon (se van Rijn 1993 referert til i Miljødirektoratet 2015).

Oppvirvling av sediment fra skip kan forårsakes av tre forskjellige måter (Bjerkeng 2002):

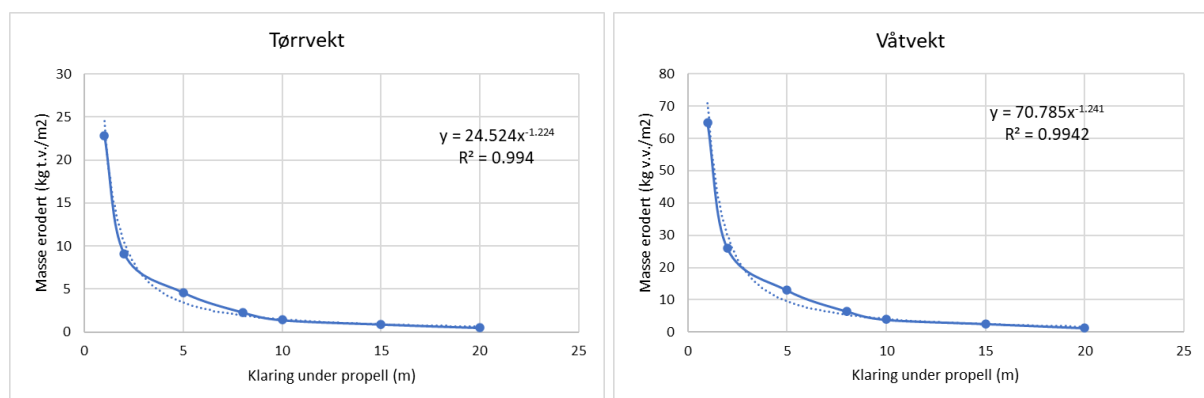
- Utstrømming fra fremdriftsenhet (propell eller vannjet).
- Innsugning til propell eller vannjet.
- Strømning rundt skip i bevegelse for å kompensere forflytningen av det nedsenkede volumet

Andre kilder kan være værforhold (bølger og tidevann) og ras der det per i dag er en ustabil deponioppbygging.

Med utgangspunkt i egne og andres studier, har NIVA sammensatt en oversikt som viser sammenhengen mellom klarering under propell, erosjonsdybde og mengden av eroderte masser. Resultatene er presentert i Tabell 10 og visualisert i Figur 13. Maksimal erosjonsdybde er satt til 5 cm ved en klarering på 1 meter, mens den minimale erosjonsdybden er 0,1 cm ved en klarering på 20 meter. Sedimenter som befinner seg på vanddyb dypere enn 20 meter vil ikke bli spredt som følge av propelloppvirvling.

Tabell 10. Sammenheng mellom klaringsdybde og total mengde sediment som virvles opp fra sjøbunn.

Klaring under propell (m)	Erosjonsdybde (cm)	Masse erodert (kg v.v./m ²)	Masse erodert (kg t.v./m ²)
1	5	65	22.8
2	2	26	9.1
5	1	13	4.6
8	0.5	6.5	2.3
10	0.3	3.9	1.4
15	0.2	2.6	0.9
20	0.1	1.3	0.5



Figur 13. Sammenheng mellom klaringsdybde og total mengde sediment som virvles opp fra sjøbunn.

Sammenhengen mellom klaringsdybde og total mengde sediment som virvles opp kan beskrives med ligningen (Miljødirektoratet 2015):

$$F_{ero} = 24.78 \times D_{sjø}^{-1.24} \quad 0.1$$

Der F_{ero} er oppvirvlet mengde sediment (kg tørrvekt/m²), og $D_{sjø}$ er klaringsdypet (m), dvs. avstand mellom propell og bunn. Forutsetter man at erosjonen virker til sidene i en bredde tilsvarende fartøyet bredde og lengden av traseen kan man beregne den totale vekten og mengden finmaterialet som totalt virvles opp per anløp.

Fartøyene som lastes ved deponi varierer i lengde fra 166 til 190 meter lange med en bredde på 21 til 29 meter (Norsk Stein AS 2023). Maksimal dybde for fartøyene er i underkant av 10,8 meter og det er antatt at propellen er lokalisert på 10.5 meter dyp.

En viktig faktor for å kunne tolke betydningen av skipsgenerert fluks er å anslå det reelle bunnarealet som påvirkes av skipstrafikken og hvor dypt erosjonen graver. Vi har i denne analysen delt inn deponiområdet der propellstråle bak et fartøy kan medføre oppvirvling i fire dybdeintervaller på hhv. 20-40 meter, 20-30 meter, 20-10 meter og 15 til 10 meter. Midtpunktet i intervallene benyttes i følgende ligning for å estimere mengde oppvirvlet sediment (Miljødirektoratet 2015):

$$M_{sed} = \sum_{i=1}^4 (24.78 \times (D_i - P_d)^{-1.24}) \times Br \times f_{si} \times T_{ri} \quad 0.2$$

Der m_{sed} : kg finmateriale virvlet opp pr anløp (kg tørrvekt), D_i : gjennomsnittlig vandyp i dybdekategori i (m), P_d : propelldyp (m), Br : skipsbredde (m), f_{si} : fraksjon < 63 μ m i dybdekategori i , T_{ri} : trasélengde i dybdekategori i (m).

Det har i gjennomsnitt vært 800 anløp de siste årene. Den mest usikre inngangsparameteren for beregning er T_{ri} : trasélengde da kaianleggene er lokalisert på hver side av deponibukten og det er vanskelig å vurdere hvor mye oppvirvling de vil forårsake da dette trolig vil variere avhengig av farled og manøvrering ved kai.