

## Tillegsvurdering knyttet til strømforhold og potensiell spredning av gruveavgang ved endret deponeringsløsning.

Utarbeidet av Birger Bjerkeng, Jarle Molvær og Jens Skei, Norsk institutt for vannforskning (NIVA).

### Bakgrunn.

Det er i 2007-2008 gjennomført strømmålinger i 305 og 335 m dyp utenfor Vevring. Disse målingene ble gjort for å dokumentere strømshastigheter og strømretninger i dypvannet for å vurdere sannsynligheten for at bunnstrømmer vil erodere deponerte masser og hvor eventuelt hvor langt avgang som deponeres via rørledning vil transporteres. På det tidspunkt strømmålingene ble gjennomført var planen å deponere avgangen jevnt fordelt i dypbassenget (vann dyp over 300 m) mellom Engebø og Hegreneset.

Etter nærmere vurdering og eksperimentelle forsøk med avgangen kom man fram til at den beste løsningen for miljøet var å etablere et deponi mest mulig konsentrert i nærheten av Engebø for å unngå å bruke så store bunnarealer i Førdefjorden. Det ble derfor besluttet å etablere en undersjøisk vifte (delta) med topp-punkt inn til fjellveggen utenfor prosessanlegget på Engebø. I stedet for å legge ut avgangen jevnt fordelt over et areal på 6,7 km<sup>2</sup> vil en deponivifte på tvers av fjorden ved Engebø legge beslag på ca. 3 km<sup>2</sup> når driftsperioden er over. Etter at dagbruddsperioden er over etter ca. 15 år vil makshøyden på deponiet nær fjellveggen utenfor Engebø være ca. 100 m over eksisterende sjøbunn eller ca. 220 m under vannoverflaten og arealet av deponivifta vil dekke ca. 1 km<sup>2</sup>. Etter endt driftsfase (om ca. 50 år) er det anslått at makshøyden på deponiet vil være ca. 150 m under vannoverflaten. Hyppige små undersjøiske ras vil føre til at rasvinkelen vil stabilisere seg til mindre enn 6-7 grader.

### Problemstillinger knyttet til strømforhold og spredning av gruveavgang

1. Vil etablering av et undersjøisk deponi påvirke sirkulasjonen i fjorden?
2. Vil måten å utforme deponiet på føre til fordeler eller ulemper for spredning og sedimentasjon av avgang?
3. Deponiets makshøyde vil være høyere enn terskeldypet ved Hegreneset (ca. 300 m) og ved Svanøy (ca. 220 m). Vil dette ha noen betydning for spredning av avgang?
4. Hvor sikker kan man være på at deponiet ikke vil dekke et areal større enn ca. 3 km<sup>2</sup>?
5. Hvor stor usikkerhet er knyttet til beregningene av spredning av avgang (grov- og finfraksjonen)?

### Strømsystemet i Førdefjorden.

Førdefjorden, i likhet med andre vestlandsfjorder, er kjennetegnet ved følgende strømsystemer. (ref. Syvitski, Burrell og Skei, 1987. Fjords: Processes and Products. Springer Verlag)

1. Estuarin sirkulasjon hovedsaklig drevet av ferskvannstilførselen (Nausta og Jølstra). Denne sirkulasjonen er knyttet til de øvre vannlag og er mest utpreget i brakkvannslaget (0-50 m) og vil således ikke ha betydning for deponiet og spredning av avgang. Generelt skjer det en brakkvannstransport ut av Førdefjorden og en inngående strøm under dette laget.
2. Vinddrevet strøm vil i hovedsak påvirke brakkvannslaget og har i liten grad innvirkning på strømforholdene under 50 m dyp. Vinddrevet strøm har således ingen betydning for deponiet og avgangsspredning.
3. Tidevannsstrømmer forårsaker vanntransport inn og ut av Førdefjorden i alle vannlag helt ned til bunnen. Tidevannsforskjellen i Førdefjorden er ca. 1- 1,5 m. Tidevannsgenerert strøm er den viktigste mekanismen for vannutskiftning. Målinger i 305 og 335 m dyp med gjennomsnittlig strømshastigheter på 2-3 cm/sek må i stor grad tilskrives tidevann. I og med at tidevannet influerer hele vannsøylen så vil det også påvirke de dyp hvor avgangen slippes ut og hvor deponiet bygger seg opp. Tverrsnittet av fjorden i Vevring-området hvor målingene ble gjort er ca. halvparten av tverrsnittet ved Engebø, slik at tilsvarende målinger ved Engebø ville ha gitt strømshastigheter som var halvparten så høye (1-1,5 cm/sek).

4. Dypvannsutskiftning er et typisk fjord-fenomen og er spesielt knyttet til terskelfjorder. Denne type strøm genereres som følge av tetthets-forskjeller i kystvann og fjordene. Når egenvekten av sjøvannet (som i hovedsak bestemmes av saltholdigheten) blir høyere i terskeldypet enn i dypbassenget innenfor terskelen, strømmer vann inn langs bunnen og erstatter det lettere bassengvannet som så strømmer ut høyere oppe i vannmassen. Terskelen som er bestemmende for dypvannsutskiftningen i Førdefjorden befinner seg på ca. 220 m dyp ved Svanøy. Strømmålingene som er gjort ved Vevring indikerer at det skjedde en dypvannsutskiftning våren 2008. Strømmålingene viste små forskjeller i hastigheter i forbindelse med innstrømmingen. Det skjer en sakte blanding mellom eksisterende bunnvann og innstrømmende vann og en utstrømming som skjer opp mot 100-150 m vanddyb. Under dette dypet er vannet homogent. Dypvannsutskiftningen som oftest skjer i fjorder på vårparten vil influere på vannmassen i dyp som tilsvarer utslippsdyp for avgang og lokalisering av deponiet. I likhet med tidevannstrøm vil en dypvannsutskiftning gi halvparten så høye strømhastigheter ved Engebø som ute ved Vevring.

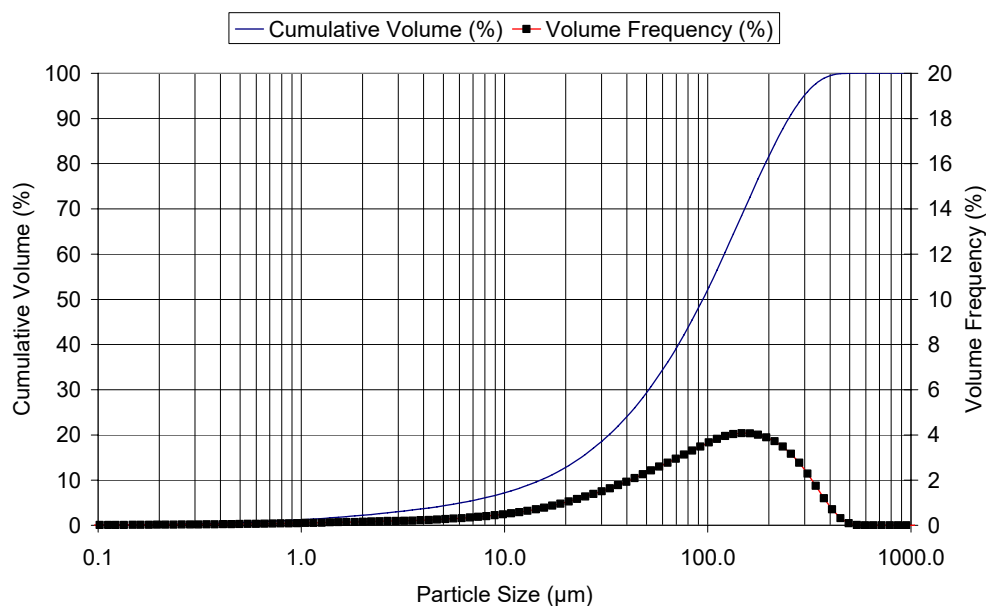
#### Vil etablering av et undersjøisk deponi påvirke sirkulasjonen i fjorden?

Deponiet utenfor Engebø vil bygge seg opp over tid slik at bunndypet i utslippsområdet vil reduseres med ca. 100 m etter 15 år og ca. 150 m etter ca. 50 år. Vifta vil uansett minske tverrsnittet på fjorden ved Engebø slik at at strømhastigheten nær bunnen vil øke noe etter hvert som deponiet bygger seg opp og vil som en maksimalbetraktning føre til en dobling av strømhastigheten sammenlignet med måledata fra Vevring. Men fordi tverrsnittet av fjorden ved Engebø er det doble av tverrsnittet ved Vevring vil strømhastigheten over vifta ikke være høyere enn det som er målt ved Vevring. Det innebærer en gjennomsnittstrøm på 2-3 cm/sek og en maksimalstrøm i forbindelse med episodiske vannutskiftninger på 10cm/sek.

Det er ingen grunn til å tro at deponiet vil forårsake en reduksjon i vannutskiftning i bassengene innenfor Ålesundet.

#### Vil måten å utforme deponiet på føre til fordeler eller ulemper for spredning og sedimentasjon av avgang?

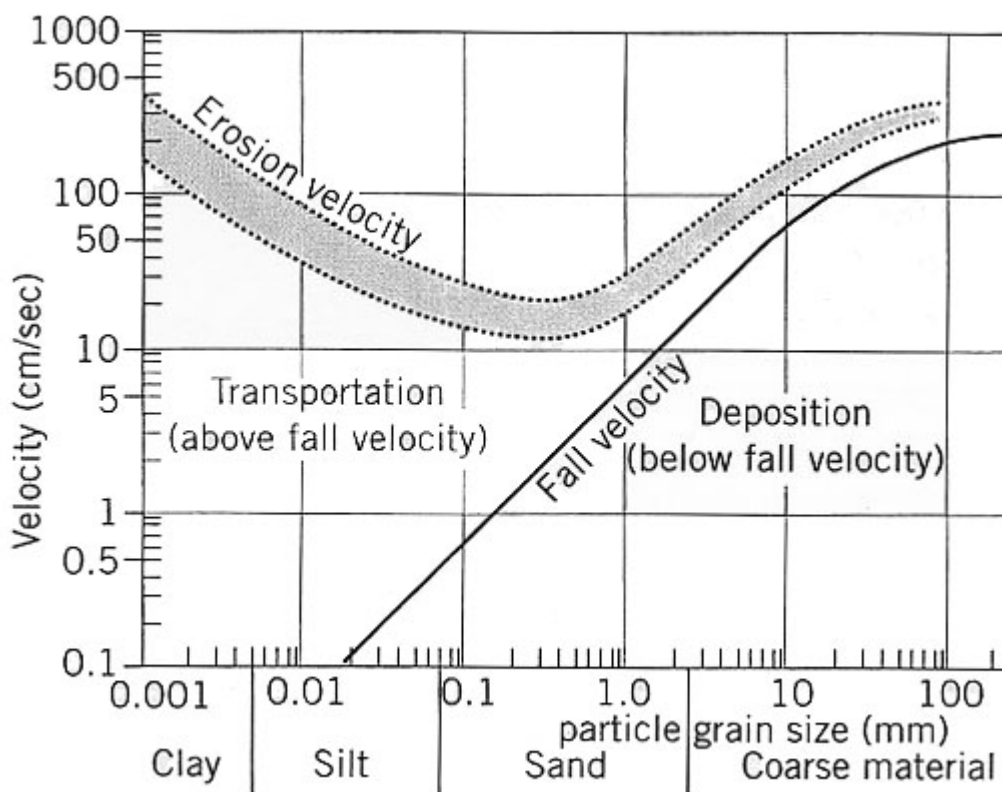
Figuren under viser kornfordeling av avgangen.



Som det framgår av figuren så er over 60 % av avgangen grovere enn 63 µm (sand) og så mye som 50 % grovere enn 100 µm. Dette innebærer at minst 60 % av avgangsvolumet vil sedimentere nært

utslippspunktet og at kanskje så mye som 90 % vil sedimentere innenfor en avstand på 100-300 m. De siste 10 % som vil være partikler med en kornstørrelse på 1-20  $\mu\text{m}$  vil bli tilsatt flokkuleringsmidler, men vil likevel forventes å spres lenger fra utslippspunktet. Deponiet vil derfor variere i kornstørrelse fra det aller fineste materialet i ytterkanten av vifta og det groveste nær utslippspunktet inne ved fjellet utenfor Engebø. Spredning er en forutsetning for å unngå oppbygging av bratte skrånninger og store ras. Selve transporten av avgang fra utslippsområdet vil foregå både som en tetthetsstrøm fra avgangsrøret som følger bunntopografien og små ras i vifta som transporterer masser mot ytterkanten av deponiet. Det forventes derfor en randsone på noen 100 meter rundt selve deponiarealet som blir noe påvirket av sedimentering av avgang, men ikke i så store mengder at det får konsekvenser for bunnfaunaen (se "Effekten av et sjødeponi på Førdefjordens økosystem på kort og lang sikt" som er omhandlet i tilleggsrapport nr. xx (Bakke og Jensen, 2009).

På spørsmålet om i hvilken grad det er sannsynlig at utformingen av vifta er uheldig med tanke på spredning og sedimentering så vises til Hjulstrøms diagram nedenfor.



Hjulstrøms diagram som viser hvilke strømhastigheter som skal til for å erodere sedimenter med ulike kornstørrelser. Som det framgår så vil strømhastigheter under 10 cm/sek ikke erodere sedimentert materiale uansett kornstørrelse. Det er sannsynliggjort at høyere strømhastigheter enn 10 cm/sek ikke vil opptre over deponiet. Det som lettest lar seg erodere er fin sand på grunn av manglende kohesjon. Leire og fin silt krever strømhastigheter over 20 cm/sek for at erosjon skal skje. Ved strømhastigheter mellom 1 og 10 cm/sek vil partikler i leire- og siltfraksjonen transporteres, mens fin sand vil sedimentere. Det innebærer at den måten deponiet er planlagt på ikke vil være uheldig med tanke på spredning og sedimentering av avgang.

**Deponiets makshøyde vil være høyere enn terskeldypet ved Hegreneset (ca. 300 m) og ved Svanøy (ca.220 m). Vil dette ha noen betydning for spredning av avgang?**

Det som styrer spredning av finfraksjonen i avgangen er energien i slamstrømmen som kommer ut av avgangsrøret og som forårsaker en turbiditetsstrøm nær bunnen og de vannbevegelser som skyldes tidevann og sporadiske dypvannsutsiftninger. Terskelen ved Svanøy er styrende for innstrømmende

vann til Førdefjorden. Denne terskelen ligger ca. 15 km vest for Engebø. I tillegg er det en liten oppgrunning ved Hegreneset på ca. 300 m dyp. Slik deponiet nå er planlagt anlagt vil ingen av tersklene ha noen spesiell betydning for spredning av avgang.

### **Hvor sikker kan man være på at deponiet ikke vil dekke et areal større enn ca. 3 km<sup>2</sup> ?**

Beregning av deponiets areal etter 50 år med deponering er gjort på grunnlag av rasvinkler som er dokumentert ved hjelp av eksperimenter med avgangen. Ut fra en viss mengde deponert avgang og en rasvinkel har man kommet fra til at deponiet vil dekke ca. 0,9 km<sup>2</sup> etter 15 år og ca. 2,9 km<sup>2</sup> etter 50 år. På utsiden av denne grensen vil det være en randzone hvor det blir noe påvirkning av avgang. Det gjelder både øst og vest for deponiet. Her vil det foregå omfattende overvåking for å ha kontroll på influensområdet. Hvis det skulle vise seg at spredningen er mye større enn antatt må tiltak iverksettes (endringer i utslippsarrangement etc.).

### **Hvor stor usikkerhet er knyttet til beregningene av spredning av avgang (grov- og finfraksjonen)?**

Beregninger for prediksjon av spredning og sedimentasjon av partikler i vann vil alltid ha en viss usikkerhet. Et estimat av spredning av avgang er basert på strømmålinger, eksperimentelt arbeid og matematiske beregninger. I tillegg er vurderingene basert på erfaring fra tilsvarende problemstillinger innen både mineralindustrien og olje- gass industrien. I sum gir dette et godt grunnlag for å vurdere omfang av spredning som er diskutert i rapport #4. Utredningene slik de foreligger underbygger at den valgte deponiløsningen ikke vil føre til uforutsigbar spredning av avgangen.

Det er viktig å utarbeide relevante akseptkriterier for hva som er miljømessig akseptabelt og hva som er uakseptabelt. I løpet av de første driftsårene vil man gjennom overvåking og kontroll vinne mye kunnskap og erfaring slik at man kan optimalisere håndteringen av gruveavgangen for å få minst mulig negative miljøpåvirkninger.

Vurderingene vil bli fulgt opp av nye modellkjøringer av vannbevegelsene i Førdefjorden. Disse modellkjøringene vil bli validert ved gjennomføring av nye strømmålinger i utslippsområdet.