

Effekter av gruveavgang på marin bløtbunnsfauna

Bacheloroppgave i biologi

Anne M. Winge

2016



UNIVERSITETET I AGDER

Institutt for naturvitenskapelige fag
Fakultet for teknologi og realfag
Universitetet i Agder

© Anne M. Winge 2016

UiA Bacheloroppgave i biologi, referansenr.: 105 - Bio

Innlevert som oppgave i emnet: Bio300 Bacheloroppgave i biologi, våren 2016, under veiledning av PhD Hilde C. Trannum.

Alle rettigheter reservert. Ingen deler av denne oppgaven kan kopieres uten tillatelse fra forfatteren.

Bacheloroppgaven er gjennomført som et ledd i utdanningen ved Universitetet i Agder og er godkjent som en del av utdanningen. Denne godkjenningen innebærer ikke at universitetet inntår for de metoder som er anvendt og de konklusjoner som er trukket.

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet i forbindelse med bachelorstudiet i biologi, økologisk retning, ved Universitetet i Agder våren 2016. Feltarbeidet ble utført på Nivas marine forsøksstasjon Solbergstrand ved Drøbak, og ved Nivas laboratorie, avdeling Grimstad.

Jeg vil takke min veileder PhD. Hilde C. Trannum for at hun presenterte denne oppgaven og ga meg muligheten til å skrive om en så relevant problemstilling som effekter av gruveavgang på marin bløtbunnsfauna. Hun har med sin positive og engasjerte væremåte inspirert til faglig fordypning fra første stund, og hun har vært en god støtte gjennom hele prosessen. "Livet i gjørma" har vært mer lystbetont enn grått.

Under arbeidet med oppgaven har jeg blitt godt opplært i metoder for felt- og laboratoriearbeid. Jeg vil spesielt takke forskningsassistent Lise Ann Tveiten og dr. Philos Eivind Oug ved Niva Grimstad som velvillig har delt av sin kunnskap.

Bløtbunnsamfunn er et hyppig brukt overvåkningsverktøy i miljøundersøkelser, de gir oss relevant informasjon om den økologiske tilstanden i sedimentet og vannsøylen over. Med en bakgrunn som dyrepleier trakk jeg fort parallellen til den viktige rollen parametere som puls, temperatur og blodprøver har for å vurdere helsetilstanden til dyr. Marine bløtbunns undersøkelser var ikke lenger så fremmed.

Til slutt vil jeg takke mine medstudenter for god moralsk støtte under studietiden, og min mann for uvurderlig støtte i forbindelse med gjennomføringen av oppgaven.

Vennesla 03. mai 2016

Anne M. Winge

Sammendrag

Denne oppgaven tar for seg effekten av sjødeponi, STP (Submarine tailing placements) på marin bløtbunnsfauna.

Mineralnæringen har i de senere årene vært i sterk fremvekst og det er forventet å se en økt etterspørsel etter mineraler også i framtiden. Norske myndigheter legger opp til at man i framtiden skal kunne utnytte de store ressursene som ligger i de norske bergartene. En av de største utfordringene knyttet til gruvedrift er hvordan man skal håndtere de store avfallsmassene som næringen generer. Et alternativ som er blitt brukt i Norge er sjødeponi i fjordbasseng.

Formålet med oppgaven var å se om sjødeponi av avgangsmasser fra mineralnæringen har en effekt på marin bløtbunnsfauna ved å se på endringer i total biomasse og i biomassen innad i hver dyregrupper i forhold til økende grad av tildekking. Med gruveavgang kan det følge flokkulerings- og flotasjonskjemikalier som stammer fra utvinningsprosessen. Et delmål med oppgaven var derfor å se om tildekking med gruveslam med flokkulerings og flotasjonskjemikalier ville gi ulik respons i forhold til gruvegang uten. Det ble derfor benyttet tre ulike gruveslam i mesocosm-forsøket.

Resultatene viser at det er en proporsjonalitet mellom mengden avgangsmasser og tap av total biomasse. De viser også at noen dyregrupper er mer følsomme for nedslamming enn andre. Videre viser de at unaturlig partikkelstørrelse og struktur, samt mangelen på naturlig organisk materiale ser ut til å utøve en større effekt på macrofaunaen enn rester av prosesskjemikalene som ble undersøkt i dette forsøket. I diskusjonen drøftes mulige effekter av STP som kan ha påvirket til at biomassen synker.

Innhold

Introduksjon	7
Bløtbunnsdyr som miljøindikator	7
Mineralnæringen	9
Miljøutfordringer knyttet til gruveavgang	9
STP	10
Ny kunnskap om sjødeponi, NYKOS	11
Problemstilling	11
Materiale og metoder	12
Innsamling og opparbeiding av testsamfunn	12
Tildekking	12
Sikting	13
Sortering og veiing	14
Bearbeiding av data og statistisk analyse	15
Resultater	16
Visuelle observasjoner før og under sikting	16
Biomasserespons	17
Total organisk karbon	21
Diskusjon	23
Biomasse	23
Dyregrupper	23
Mulige effekter på bløtbunnsfauna ved tildekking med gruveslam	25
Styrker og svakheter med forsøket	27
Konklusjon	28
Referanser	27

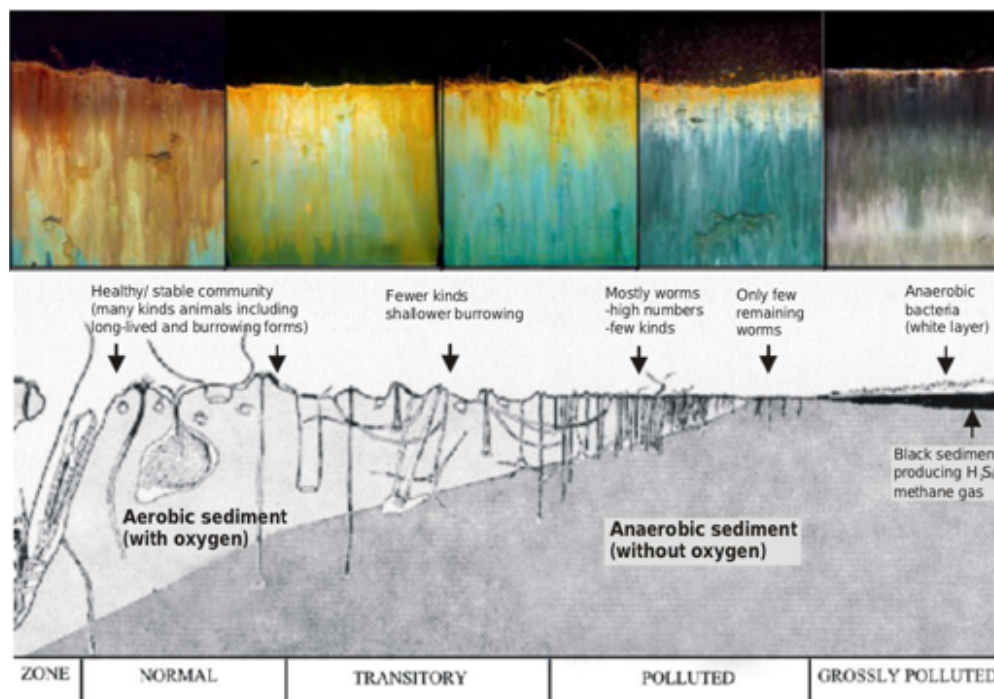
Introduksjon

De marine økosystemer er blant de mest produktive og biodiverse økosystemer på planeten og forholdene her er tett knyttet opp til forholdene på resten av kloden (Huse, 2007). 70 % av jordas overflate er dekket av hav, og marine sedimenter utgjør jordas nest største habitat etter vannsøylen (J. S. Gray & Elliott, 2009). Organismene som lever i dette sedimentet kalles benthos eller bentiske organismer (fra Gresk βένθος ”depths of the sea”). De deles inn i flere undergrupper basert på størrelse, der macrobenthos er gruppen som er større enn 1mm (J. S. Gray & Elliott, 2009). Gruppen omfatter blant annet børstemark (polychaeta), snegler (gastropoda), muslinger (bivalvia), krepsdyr (crustacean), slangestjerner (ophiuroidea) og pigghuder (echinodermata). Gruppen er artsrik og innehar et stort spenn av egenskaper med hensyn til nærings- og levesett. Det er vanlig å dele gruppen inn etter hvor de lever i sedimentet. Endobenthos lever i sedimentet, epibenthos lever på det og hyperbenthos lever rett over det. Noen arter er omnivore, andre carnivore, noen er filtrerere og leverer av organisk materiale fastsittende på sedimentpartikler eller oppløst i vannet. Noen dyr lever i permanente eller midlertidige rør eller ganger, andre er bevegelige med varierende grad av mobilitet (J. S. Gray & Elliott, 2009; Hickman et al.; Kirkegaard, 1992).

Bløtbunnsdyr som miljøindikator

Macrobenthos har en viktig rolle i det marine økosystem, og god kunnskap om gruppen er derfor viktig. Organismene bidrar til å holde bunnmiljøet friskt og er viktig for god bioturbasjon, den naturlige omsetningsprosessen i sedimentet (Lohrer, Thrush, & Gibbs, 2004). Deres funksjon i det marine økosystemet kan sammenliknes med jordorganismenes rolle i det terrestriske økosystem. De graver ganger, tømmer bunnmateriale på overflaten og pumper vann ned i sedimentet. De forflytter energi mellom nisjer og utgjør en viktig næringskilde for mange arter i vannsøylen, for eksempel fisk og skalldyr (J. S. Gray & Elliott, 2009; Lohrer et al., 2004). Miljøforholdene i sedimentet og i vannmassen over gjenspeiler seg i bunnfaunaen. Fordi de fleste bløtbunnsartene er flerårige, fastsittende eller lite mobile, kan de reflektere langtidseffekter fra miljøpåvirkninger som forurensninger, klimaendringer og fremmede arter. Bløtbunnsfauna har derfor blitt benyttet som en indikator på miljøforhold gjennom over hundre år (J. S. Gray & Elliott, 2009; Pearson & Rosenberg, 1978). Ved å undersøke artssammensetning og individtetthet på et gitt sted kan man karakterisere miljøtilstanden på stedet (J. S. Gray & Elliott, 2009; Pearson & Rosenberg, 1978).

I et uforurensset område vil det være et stort biologisk mangfold i sedimentet. Det vil vanligvis være forholdsvis mange arter, og det vil normalt være en jevn fordeling av individer blant artene. Flertallet av artene vil oftest forekomme med et moderat antall individer. Ved dårlige miljøforhold vil det finnes få eller ingen levende arter i sedimentet. Noen arter er mer ømfintlige enn andre og forsvinner raskt når forholdene endres, andre arter er tolerante og opportunistiske, det vil si at de drar en fordel av at andre arter forsvinner og kan få en oppblomstring (Pearson & Rosenberg, 1978). I miljøundersøkelser vurderes tilstanden til bunndyrsamfunnet som helhet. Bunnsedimentene undersøkes da med hensyn på for eksempel kornfordeling (% silt og leire), organiske komponenter (totalt organisk karbon og totalt nitrogen), miljøgifter og støtteparametre som er viktige for tolkning av innsamlet faunadata og graden av forurensning. En modell av endringer i faunatype fra upåvirkede bunnsedimenter med en rik dyptgravende fauna til en gruntlevende, fattig fauna i påvirkede områder er vist i figur 1.



Grad av forurensning

Figur 1. Nederst en illustrert modell av endringer i sediment og bunnfauna langs en gradient av økende grad av organisk forurensning; Fra faunatype i upåvirkede bunnsedimenter med en rik dyptgravende fauna til en gruntlevende, fattig fauna i områder med organisk forurensning (kilde: etter Pearson og Rosenberg (1978)(H Trannum, Mannvik, Melhus, & Cochrane, 2003)). Øverst sedimentprofilbilder, der brunt farget sediment indikerer oksidert bioturbert sediment og sort sediment reduserte forhold (kilde: Nilsson og Rosenberg (2000)).

Mineralnæringen

Norge er rik på mineralressurser, og det finnes spor etter norsk bergindustri helt tilbake til 1500-tallet (Kvassnes & Iversen, 2013). Verdenssamfunnets behov for mineraler øker i takt med den teknologiske utviklingen, befolkningsvekst og velstandsutvikling, og næringen har de siste 10 årene vært i sterk framvekst i Norge og internasjonalt. Den norske bergindustrien omsatte i 2012 mineralske råstoffer for 12 milliarder kroner og i gjennomsnitt forbruker Norge mineralske råstoff tilsvarende 12 tonn per person årlig (Boyd et al., 2012). Denne utviklingen åpner for nye muligheter for Norge.

På samme måte som olje- og gassressurser har gitt grunnlag for en viktig næring ønsker regjeringen at landets geologiske ressurser skal kartlegges og utnyttes til det beste for samfunnet. I Strategi for mineralnæringen (2013) ønsker regjeringen at Norge skal bli et trygt og attraktivt land å drive mineralvirksomhet i. Strategien legger til rette for å utvikle en lønnsom og vekstkraftig mineralnæring, og det legges opp til at den norske mineralnæringen skal være blant verdens mest miljøvennlige og aktivt søke fremtidsrettede løsninger (*Strategi for mineralnæringen*, 2013).

Miljøutfordringer knyttet til gruveavgang

Gruvedrift kan ha negative miljøkonsekvenser, også ut over nærområdet for uttaket. Den største miljøutfordringer knyttet mineralutvinning er at den generer store mengder avfallsmasser. Utnyttet materiale, restmassene i form av gråberg (vrakstein) og avgang (definert som finere enn grus <20 mm.), utgjør hovedvolumet og oppstår når steinen knuses og nedmales til en finhetsgrad som gjør det mulig å skille ut de enkelte mineral-kornene som utgjør 2-5% av bergarten. Under knuseprosessen øker volumet med en faktor på 1,3-1,5, så selv med stor grad av tilbakefylling vil det være behov for en deponiløsning for restmassene (Kvassnes & Iversen, 2013).

I noen tilfeller tilsettes det kjemikalier og det kan derfor følge kjemikalier med avgangsmassene (Ramirez-Llodra et al., 2015). Flotasjonskjemikalier benyttes for å skille mineraler og på den måten oppnå en bedre anrikning. Organiske flotasjonskjemikalier vil i stor grad skummes av med mineralpartiklene og følge med dem, mens uorganiske kjemikalier følger avgangen. Prinsipielt sett burde derfor ikke de organiske flotasjonskjemikaliene komme ut med avgangsmassene, men fordi kjemikaliene tilsettes i overskudd vil noe følge med i avgangen. Flotasjonsmiddelet Lilaflo tilhører kjemikaliegruppen langkjedede alkyloxydaminer, og all dokumentasjon tilsier at disse stoffene er giftige for vannlevende

organismer (Ramirez-Llodra et al., 2015). Miljøundersøkelser gjort i Bøkfjorden viser at det fremdeles kan påvises Lilaflot i sedimentet 13 år etter at utslippene opphørte (Berge, 2009). Flokkuleringskjemikalier øker sedimentasjonen av finpartikulært materiale. De kan brukes i utvinningsprosessen for å øke anrikningen, og de kan tilsettes avgangsmassene for at massene skal flokkulere og synke raskere mot bunnen. Flokkuleringskjemikallet Magnafloc er mye brukt i Norge, det inneholder et polyacrylamid bestående av både anioniske og kationiske polymerer som er vist å ha ulik grad av toksisitet (Berge et al., 2012; Ramirez-Llodra et al., 2015).

Siden gruveavgang består av knuste steinmasser kan det inneholde metaller og sulfider som stammer fra bergarten mineralet utvinnes fra. Man kan se for seg at metaller og sulfidforbindelser kan lekkе fra massene og påvirke miljøet. Kjemisk sett er det en fordel om overskuddsmassene blir liggende i dype fjordbassenger med lite strømninger og sjøvannet er oksygenfattig og pH-stabilt. I et langtidsperspektiv kan det skje endringer i topografiske og kjemiske forhold som gjøre at tungmetaller likevel kan lekkе ut, effekten av dette er vanskelig å måle i forsøk (Ramirez-Llodra et al., 2015). Deponering på land, som er alternativet, kan mange steder være krevende landskapsmessig. Landdeponier kan også ha utfordringer med avrenning og partikkelspredning til luft (HC. Trannum, 2016).

STP

Deponier der avgangsmassene plasseres på sjøbunnen blir omtalt som submarine tailing placements (STP). Ved STP ledes avgangsmassene under den eufotiske sonen og ned på havbunnen. Mange mineralforekomster ligger langs kysten i ulendt terreng og i nær tilknytning til produktive fjorder. Selv om STP er en kontroversiell og uvanlig deponiløsning på verdensbasis, har det i Norge vært praktisert sjødeponi i norske fjorder i over 100 år, og oppfølgende miljøundersøkelser er blitt gjort de siste 30 årene. De typiske norske fjordene har terskler og dype bassenger med stabile fysiske og kjemiske forhold i bunnområdene. I Norge praktiseres sjødeponi fra 7 av de 33 aktive gruvene. 2 av disse gruvene er store med utslippstillatelse på 4 000 000 tonn per år (Ramirez-Llodra et al., 2015).

Ny kunnskap om sjødeponi, NYKOS

Skal næringen være bærekraftig, er det nødvendig å ha kunnskap om hvilke effekter avgangsmassene har i deponiområdet. Målet må være å sikre en trygg oppbevaring av restmassene i overskuelig framtid. En framtidsrettet mineralnæring innebærer derfor forskning som gir beslutningstakere og næringen et kunnskapsgrunnlag til å velge en deponiløsning med minimal samfunnskostnad og miljørisiko. I 2015 startet et fem år langt forskningsprogram som har som mål å kunne si noe mer presist om hvor langt gruveavgangen spres fra deponiområdet og hvor stort influensområdet vil bli. Dette vil avhenge av type avgang (bergart, finmasse og kjemikalier), utsynkning av partikler, bunntopografi og strømforhold på stedet. Prosjektet har fått navnet Ny kunnskap om sjødeponi, NYKOS, og finansieres gjennom Norges forskningsråds BIA-program (Brukerstyrt innovasjonsarena). Programmet består av 6 grunnpakker som arbeider sammen og bruker hverandres resultater. En av arbeidspakkene tar for seg effekter av gruveslam og tilknyttede kjemikalier (flokkulerings- og flotasjonskjemikalier) på den bentiske macrofauna og det ble i mars 2015 satt i gang et mesocosm-forsøk som skulle teste effekten av tre ulike gruveslam.

Under arbeidet med denne oppgaven deltok jeg ved avslutningen av mesocosm-eksperimentet og den påfølgende grovsorteringen av restmaterialet. Taksonomer skal artsidentifisere dyrene og forskere skal se på artsammensetning og individtetthet. Indekser for biodiversitet skal deretter beregnes. Resultatene skal sammenstilles med kjemiske data, og det skal utføres statistiske analyser. I denne oppgaven veide jeg dyregruppene etter grovsortering og brukte resultatene til å se om det var en sammenheng mellom endringer i faunaens biomasse og økende lagtykkelse.

Problemstilling

Hovedproblemstillingen er som følger: Vil økende tildekking av gruveslam gi en reduksjon i macrofaunaens totale biomasse, og vil man kunne se en biomasserrespons innenfor hver enkelt dyregruppe?

Delproblemstilling er: Vil flokkulerings- og flotasjonskjemikalier fra henholdsvis Sydvaranger og Hustadmarmor gi utslag i ulik respons i forhold til gruveavgang uten kjemikalier?

.

Materiale og metoder

I et mesocosm-forsøk blir naturlige intakte bløtbunnsamfunn samlet i felt og fraktet til et mesocomoppsett. Der kan samfunnene under nøye kontroll og overvåkning bli utsatt for tester, slik som temperaturforandring og forurensning. Ulike responsvariabler kan måles underveis. Siden testsamfunnene kan holdes intakte i opptil et år, er det mulig å skaffe kunnskap om både akutte og kroniske effekter av ulike testmaterialer. Ved Nivas marine forsøksstasjon Solbergstrand er det utviklet en testprosedyre som tidligere er blitt brukt til å teste biologiske og biogeokjemiske responser på for eksempel boreavfall fra oljeindustrien og tildekkingsmaterialer i forbindelse med forurensede sedimenter (HC. Trannum, Nilsson, Schaanning, & Øxnevad, 2010). Det var dette oppsettet og testprosedyre som ble brukt i dette forsøket.

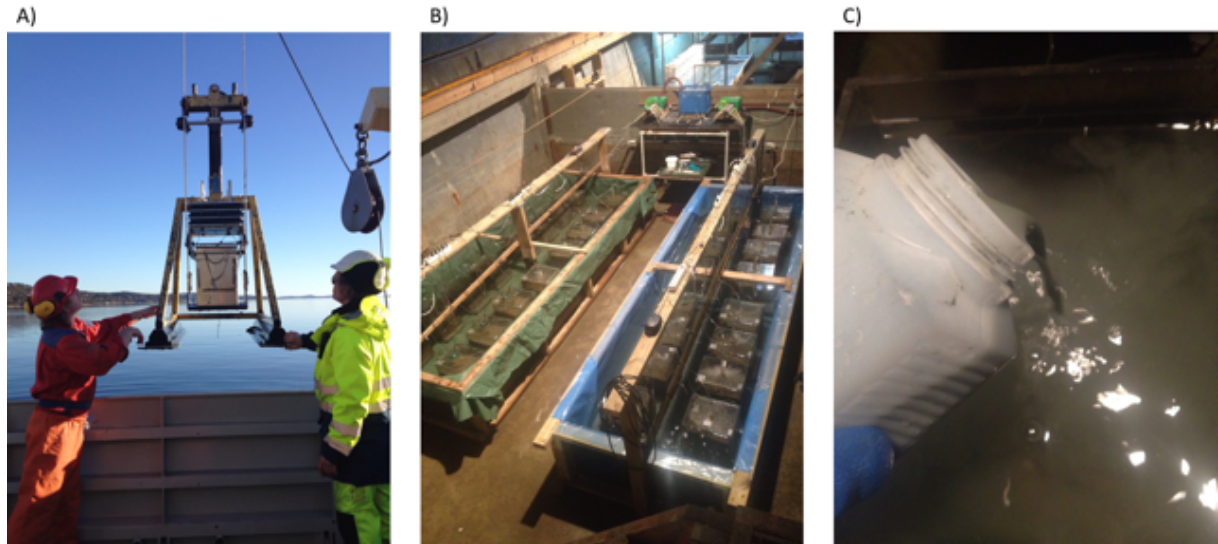
Innsamling og opparbeiding av testsamfunn

30 intakte bløtdyrssamfunn ble 11. mars 2015 hentet en lokalitet i ytre del av Oslofjorden med forskningsfartøyet FF Trygve Braarud på ca 115 m dyp (59.643 °N, 10.629 °E). Innsamlingen ble gjort med box core (0,09 m²) KC-DenmarkTM) (figur 3 A). Testsamfunnene ble transportert og installert i mesocosm-oppsettet innen 8 timer for å minimere stressutvikling. På stasjonen ble de straks plassert i et kar fylt med gjennomstrømmende sjøvann med temperatur og saltholdighet tilsvarende forholdene på innsamlingsstedet. Boksene ble forsynt med lokk og vannet over sedimentet ble kontinuerlig tilført 15-20 liter/døgn ufiltrert fjordvann fra stasjonens vanninntak på 60 m dyp (Fig 3B). De naturlige miljøforhold på havbunnen ble forsøkt etterlignet ved å beskytte oppsettet for lys og ved å holde nøye tilsyn og vedlikehold (figur 3 B). Samfunnene ble akklimatisert i 3 uker før den eksperimentelle tildekkingen startet.

Tildekking

Tre ulike testmaterialer ble brukt, gruveavgang uten kjemikalier fra Sibelco, gruveavgang med flotasjonskjemikalier levert fra Hustadmarmor og gruveavgang med flokkuleringskjemikalier fra Sydvaranger. For hver av de tre materialene ble gruveslam tilsatt i 10 ulike tykkelser, fra 0 (kontroll) -10 cm. Den endelige eksakte tykkelsen var på forhånd bestemt til å være 0, 0,3, 0,6, 1, 1,5, 2, 3, 4, 5, og 6 cm. Det var ønskelig med et tettere tykkelsesintervall i den nedre enden av skalaen hvor det var forventet at den største endringen

ville finne sted, slik at man kunne fange opp hvor endringene starter. Gruveavgangen ble blandet med fjordvann (1:1) og mikset før slammet forsiktig ble helt ned i boksvannet (figur 3 C). ¼ av dosen ble tilsatt ukentlig over en 4 ukers periode. Etter hver tilsetning ble vanntilførselen slått av for å la slammet få tid til å sedimentere.



Figur 3. A) Innsamling av inntakte bløtbunnsamfunn med box core ($0,09 \text{ m}^2$) KC-DenmarkTM på en dyp lokalitet i ytre Oslofjord. B) Mesocosm-oppsettet ved Nivas marine forsøkstasjon Solbergstrand. 30 testbokser med lokk fikk tilført fjordvann via en headertank. C) Fortynnet gruveavgang ble forsiktig helt ned i boksvannet (alle foto: Hilde C. Trannum).

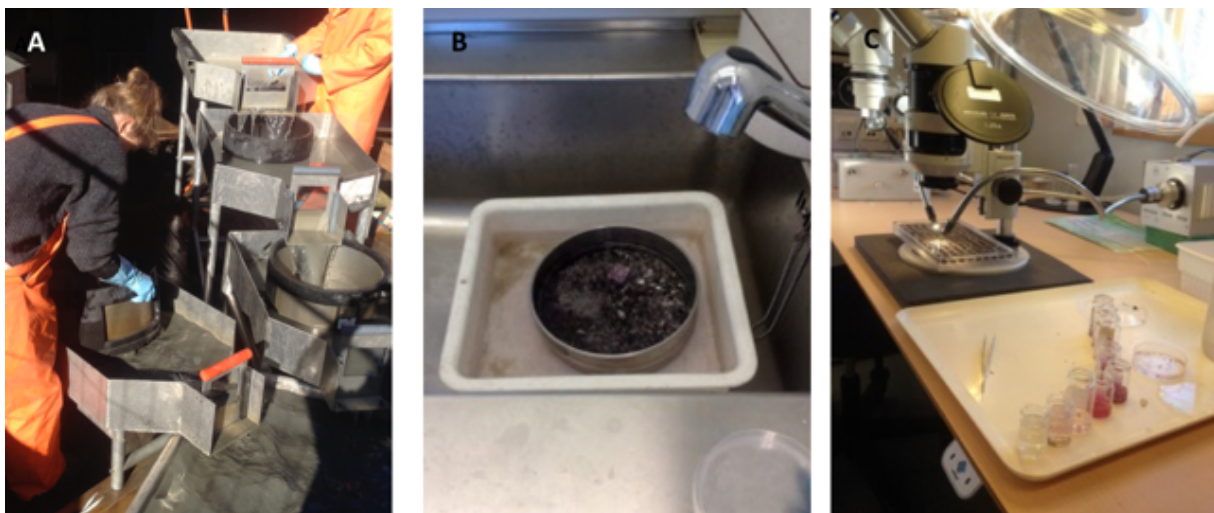
Sikting

Eksperimentet ble avsluttet 22.09.2015 og fikk stå et døgn før siktingen startet. Det ble da tatt ut sedimentprøver for TOC (total organisk karbon), korn og kjemikalier etter at overflatevannet ble tappet. Sedimentprøvene skulle analyseres og brukes videre i NYKOS-eksperimentet. Munsell-fargeprøver ble tatt av alle prøvene, også for lagdeling. Eventuelle slamlag ble målt med linjal. Innholdet i boksene ble siktet for å fjerne finmateriale $<1,0 \text{ mm}$. Innholdet fra en boks ble da tømt på et spylebord hvor prøveinnholdet ble spylt gradvis ut og ledet ned i siktene (figur 4 A). Rutinemessig ble sikter med $1,0 \text{ mm}$ hullåpning som minste sikt brukt. Siktenes hulldiameter og stand var kontrollsjekket og signert for på forhånd. Dyr som kunne plukkes ble forsiktig tatt ut med pinsett og plassert i hvite plastbeholdere med lokk, der de ble fiksert med 5 % formalin tilsatt fargestoffet bengalrosa og bufret med boraks. Restmaterialet fra siktingen ble konserverte sammen med dyrene.

Sortering og veiing

Sorteringsarbeidet foregikk fra 26.01. -18.03.2016. Innholdet fra plastbøttene ble da enkeltvis skylt over en 500 μm sil. For å minimere eksponering for formalin lå restmaterialet et døgn i vann før det ble sortert under lupe eller mikroskop (figur 4 B). Organismene ble da grovsortert til dyregruppene børstemark uten rør, børstemark med rør, muslinger, snegler, krepsdyr, slangestjerner, sjøpinnsvin, rest og varia, der rest var ikke identifiserbare fragmenter av dyr og varia dyr som ikke kom inn under de andre gruppene. Dyr som ble plukket ut ble lagt på dramsglass med 80 % etanol (figur 4 C). Da sorteringsarbeidet var ferdig ble innholdet fra hvert dramsglass målt i våtvekt til nærmeste 0,0001 gram, etter først å ha blitt skylt med vann for å få vekk så mye flyktig konserveringsmiddel som mulig. Våtvekten ble notert i Nivas standardiserte veieskjema.

Sorterings- og veiarbeidet ble delt mellom Niva Grimstad der jeg satt og Niva Oslo hvor det er et akkreditert sorteringslaboratorium. Sammen med en medstudent sorterte og veide jeg 10 av de 30 boksene i forsøket. Boksene våre ble senere kontrollsortert og godkjent av laborantene i Oslo. Alle dyregruppene ble så sendt til taxonomer for artsbetømmelse og videre bruk i NYKOS-prosjektet.



Figur 4. A) Sikting av bokser fra mesocosm-forsøket på Solbergstrand. B) Restmaterialet til skylling før sortering. C) Sortering til dyregrupper som ble opbevart på dramsglass før veiing og videre artsbestemmelse (alle foto: Anne M. Winge).

Bearbeiding av data og statistisk analyse

Under bearbeiding av data viste det seg at dyregruppen sjøpinnsvin bare var tilstede i fem av boksene; H(0,6), H(1,0), S(0,3), S(0,6) og S(4,0). På grunn av det mangelfulle datagrunnlaget og fordi dyrene utgjorde en stor prosentvis våtvekt i forhold til de andre organismene, ble data for sjøpinnsvin ikke tatt med i de videre beregningene eller analyser av data.

Resultatene fra veiing av våtvekt ble registret i Excel for Windows og det ble laget en grafisk framstilling av dataene i et punktdiagram med lineær regresjonslinje. Det ble så kjørt en regresjonsanalyse med 95% konfidensintervall som viser sannsynligheten (p) for at tildekking av gruveslam har påvirket innholdet av biomassen i testboksene og hvor høy prosent av tilfellene modellen med regresjonslinje med oppgitt skjæringspunkt (α) og stigningstall (β) forklarte data.

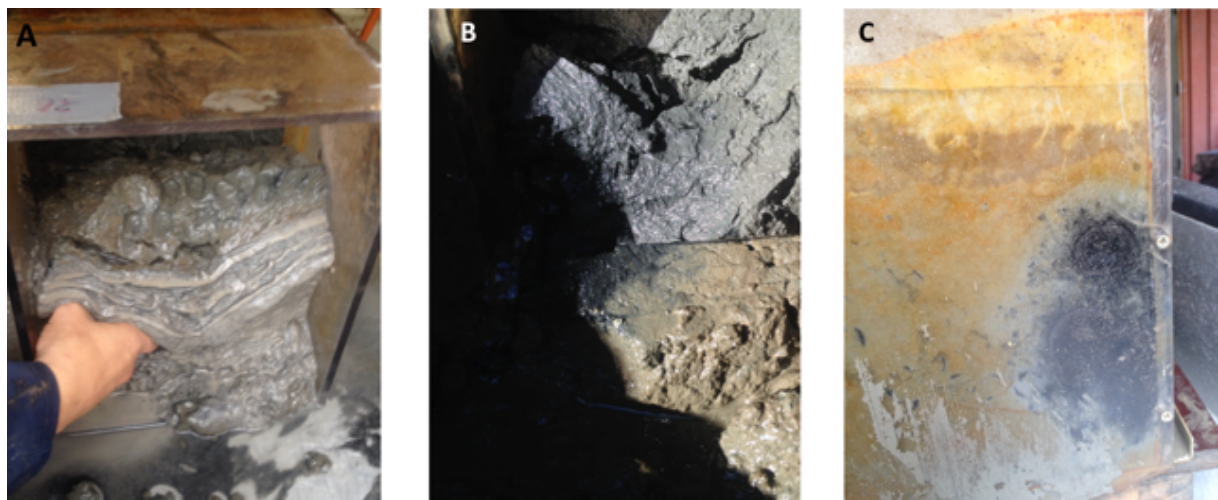
Resultater

Visuelle observasjoner før og under sikting

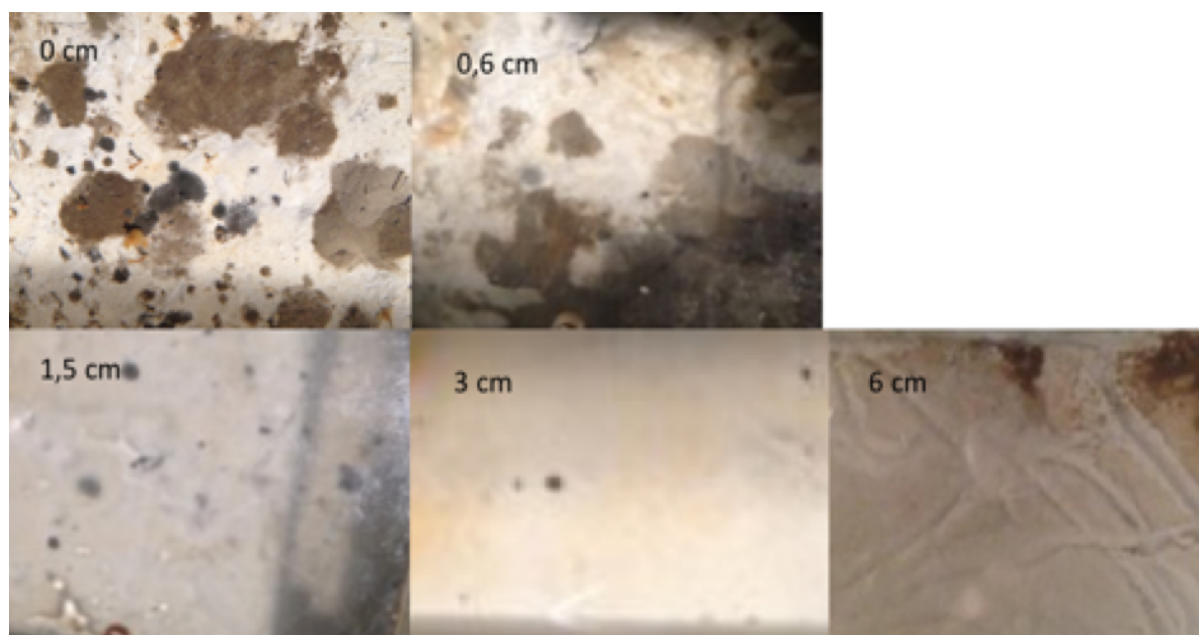
Før tildekkingen startet var det et individ av spøkelseskreps (*Caprellidae*) i to av boksene; S(0,6) og H(x) (boksnummer ikke notert). Krepsen overlevde gjennom eksperimentet i S(0,6) cm, men døde mellom 3. og 4. tilsetning med Hustadmarmor.

Det naturlige sedimentet i boksene hadde gråbrun farge og bestod for det meste av silt og leire men også noe skjellsand og småstein. Tildekkingsmaterialet fra Sibelco og Sydvaranger hadde lignende farge, men framstod som mer kompakt enn det naturlige sedimentet (figur 5 A). Boksene som hadde fått tilsatt Hustadmarmor skilte seg visuelt ut fra de andre boksene ved at denne tildekkingen var lyst (hvit) og med en fin, nærmest støvet partikkelstruktur. Underveis i forsøket kunne man i Hustadmarmorboksene se hvordan bunnfaunaen gravde og forflyttet gråbrunt naturlig sediment opp over den lyse tildekkingen. Det ble tatt foto før hver tilsetning av materiale og i disse boksene kunne man tydelig se at graveaktivitet og bioturbasjon avtok ved økt lagtykkelse (figur 6).

Felles for alle boksene var at de levende organismene befant seg i det 10 cm tykke laget, og at tettheten av levende dyr avtok raskt til livløst mot bunnen. Noen av boksene hadde områder med svarte spotter nedover i sedimentet (figur 5 B og C). Under skylling kunne man da kjenne svovellukt i varierende grad.



Figur 5. A) Ved sikting framstod tilsatt gruveavgang fra Sydvaranger og Sibelco som mer kompakt enn det naturlige sedimentet. B) og C) Noen av boksen hadde svarte spotter nedover i sedimentet som man kunne kjenne svovellukt av ved sikting (alle foto: Anne M. Winge).

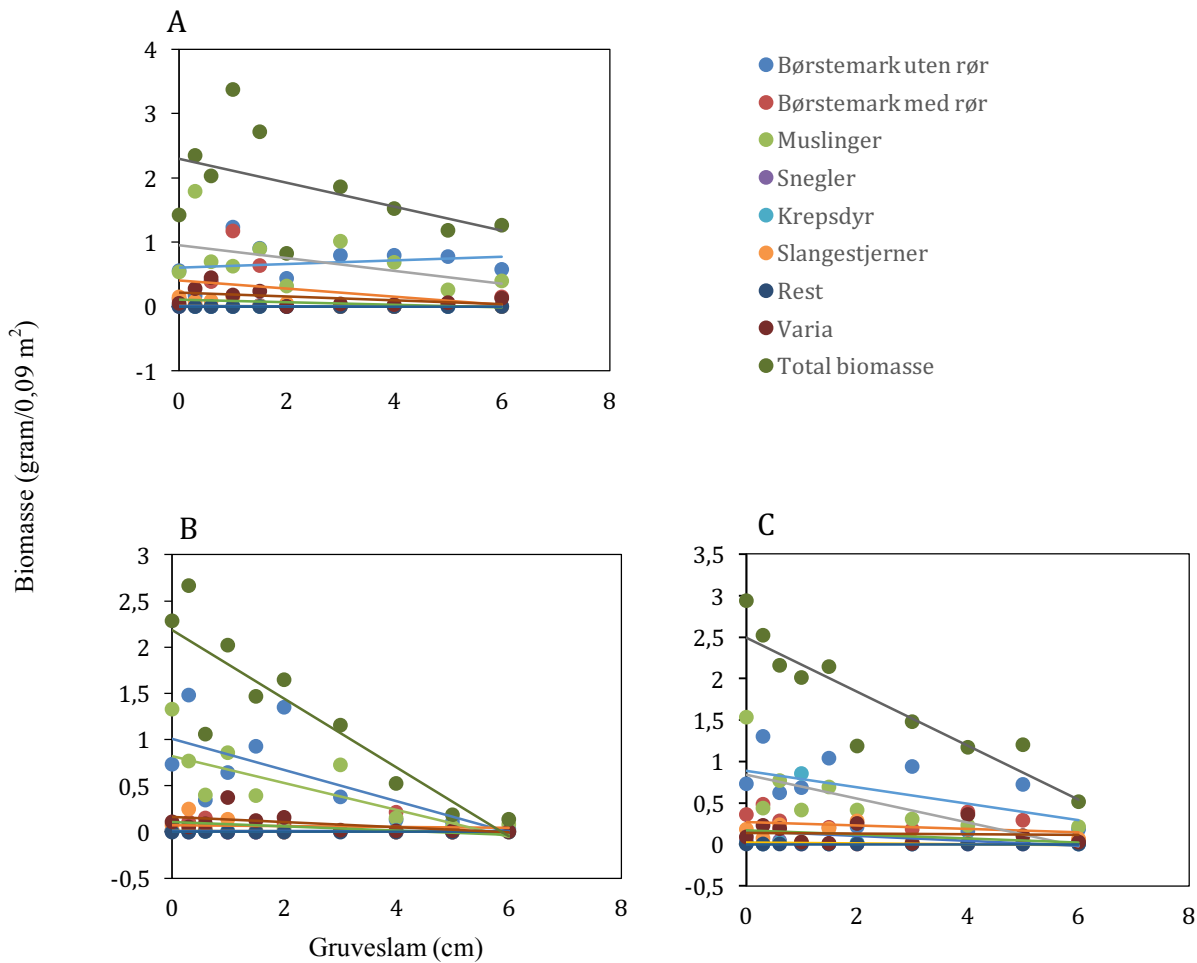


Figur 6. Overflatebilder av bløtdyrsamfunn etter 28 uker med økende grad av tildekking med gruveslam fra Hustadmarmor (0,0, 0,6, 1,5, 3,0 og 6,0 cm). På grunn av fargeforskjell mellom naturlig sediment og det lyse gruveslammet ser man spor etter bioturbasjon ved 0 og 0,6 cm. Ved 3 og 6 cm er det spor etter dyr på sedimentet men lite tegn på graveaktivitet (foto: Hilde C. Trannum).

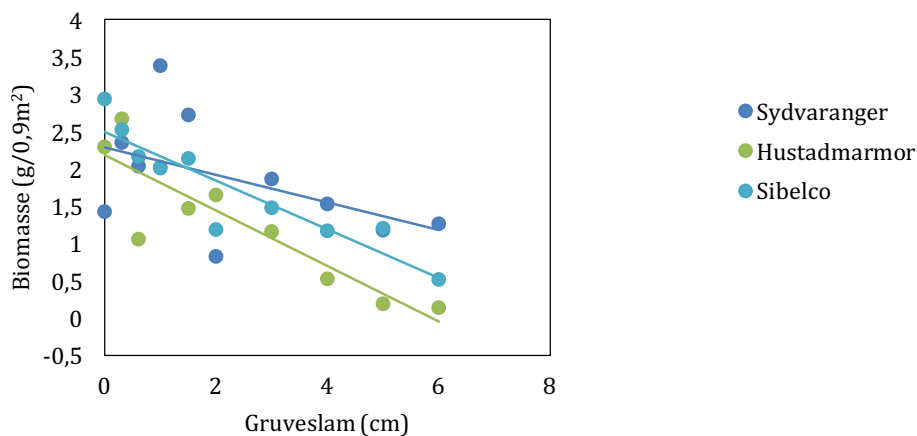
Biomasserespons

Under sorteringsarbeidet ble det observert at etter 28 uker i mesocosm-eksperimentet var det dyregruppen frittlevende børstemark, muslinger og til dels slangestjerner som dominerte i individtetthet. Resultatene etter veiing viste at frittlevende børstemark og muslinger jevnt over også dominerte biomassen i alle testboksene (figur 7). Resultatene fra den statistiske analysen er vist i tabell 1 og 2 og vil bli kommentert i den kommende teksten.

Bearbeiding av data viste en negativ sammenheng mellom total biomasse og tildekking av alle tre typene gruveslam (fig 8). Lineær regresjon viste at tykkelse av gruveslam forklarte signifikant mengden av total biomasse i boksene tildekket med Hustadmarmor ($\beta=-0,37$, $t=-5,6$, $p<0,001$) og Sibelco ($\beta=-0,33$, $t=-6,3$, $p<0,001$). Regresjonsmodellen forklarte en signifikant andel av den totale variasjonen i datasettet for begge slamtypene; Hustadmarmor ($R^2=0.80$) og Sibelco ($R^2=83$). Den negative sammenhengen mellom biomasse og tildekking av slam fra Sydvaranger som framgår av figur 8 er imidlertid ikke signifikant ($\beta=-0,19$, $t=-1,6$, $p=0,15$).

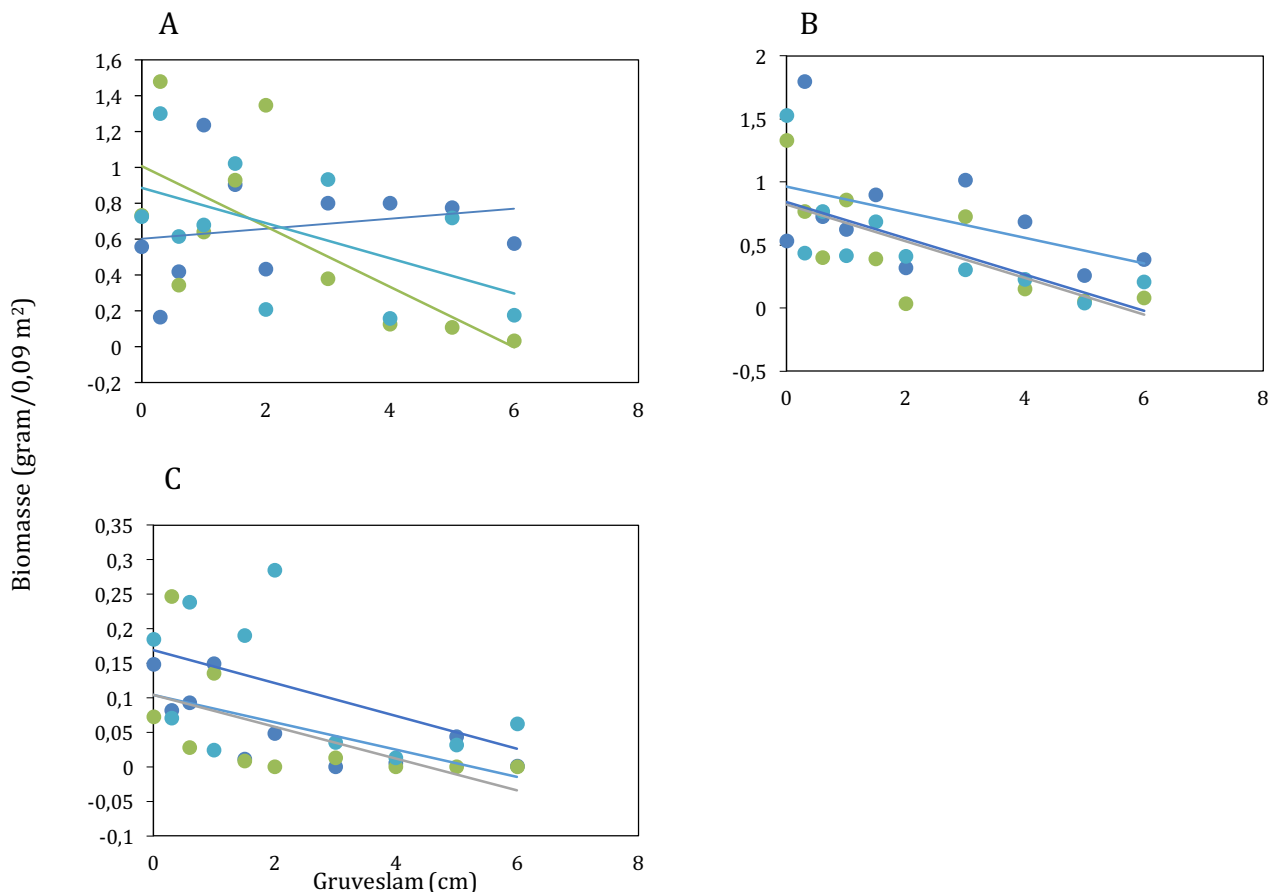


Figur 7. Dyregruppen børstemark uten rør og muslinger dominerte biomassen jevnt over i alle boksene for alle typer gruveslam. Figurene viser sammenheng mellom biomasse for de ulike dyregrupper og totalbiomasse (gram/0,9 m²) og tildekking av gruveslam (cm) fra de tre gruvene A) Sydvaranger B) Hustadmarmor og C) Sibelco.

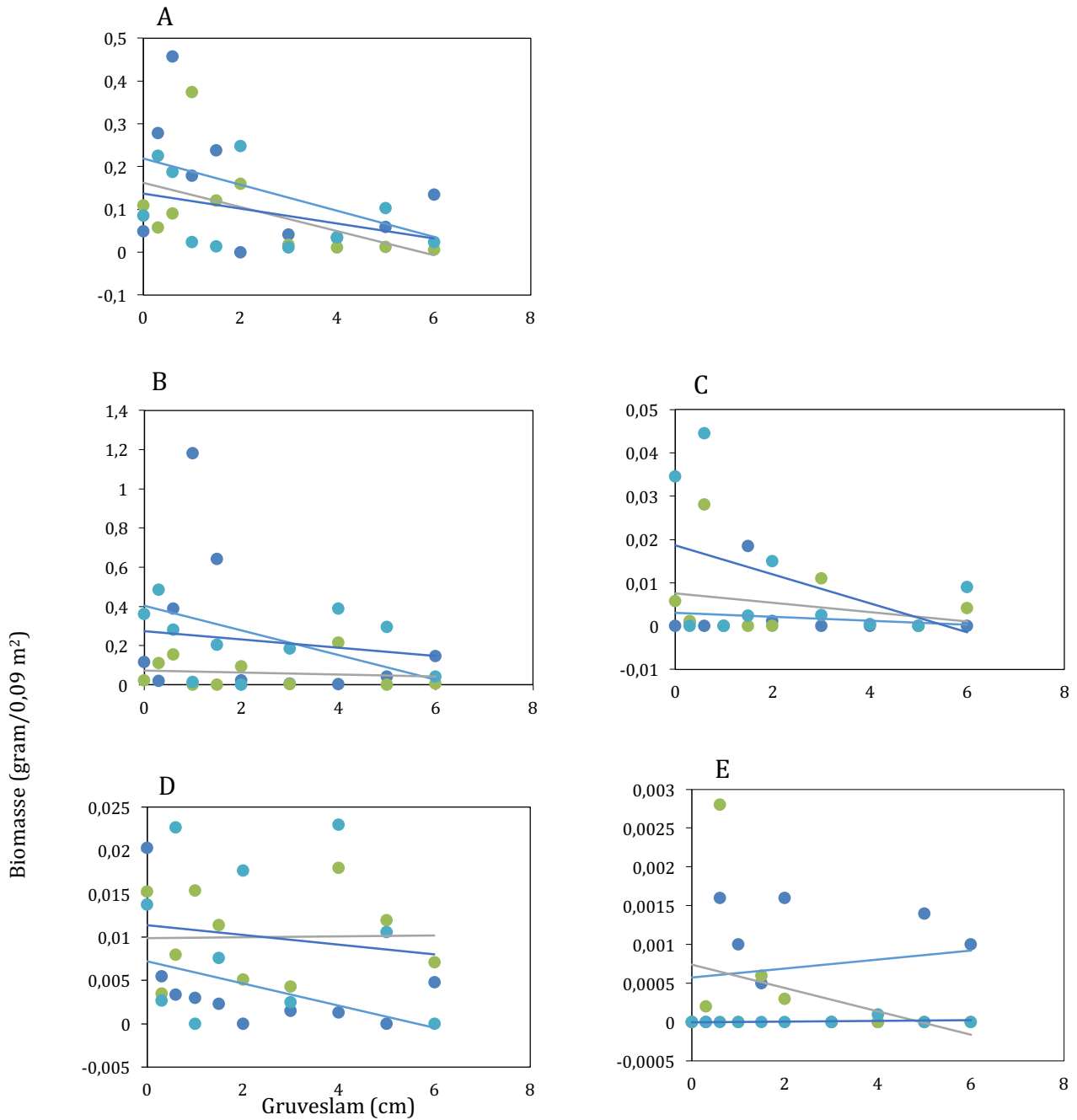


Figur 8. Sammenheng mellom total biomasse (gram/0,09 m²) og tildekking av gruveslam fra Sydvaranger, Hustadmarmor og Sibelco. De samme fargekoder for slamtyper i denne tabellen vil bli brukt i tabell 9 og 10.

For tre av de ni dyregruppene er det en signifikant endring i biomasse i forhold til økt lagtykkelse, det gjelder dyregruppene frittlevende børstemark, muslinger og slangestjerner (figur 9). Lineær regresjon viste at Muslinger hadde en signifikant negativ respons på to av testmaterialene; Hustadmarmor ($\beta=-0,15$, $t=-2,8$, $p=0,022$) og Sibelco ($\beta=-0,14$, $t=-2,9$, $p=0,020$). For datasettene forklarer regresjonsmodellen spredningen i datamaterialet ganske likt, hhv 50% og 51% ($R^2(H)=0,50$, $R^2(S)=0,51$). Videre viste Børstemark uten rør en signifikant endring i biomasse under tildekking fra Hustadmarmor ($\beta=-0,17$, $t=-2,6$, $p=0,029$) og 47% av spredningen i dette materialet forklares av regresjonsmodellen. Slangestjerner er den eneste dyregruppen som viser en signifikant negativ sammenheng mellom biomasse og tildekking av avgangsmasser fra Sydvaranger ($\beta=-0,02$, $t=-2,9$, $p=0,020$), og regresjonsmodellen forklarer 51% av variasjonen for datasettet til Sydvaranger. For de andre 5 dyregruppene er det stor variasjon i datasettet, der noen dyregrupper kan se ut til å ha en sammenheng mellom biomasse og tildekking fra noen av slamtypene, men ingen av de er signifikante og forklares dårlig av regresjonsmodellen (figur 10).



Figur 9. Sammenheng mellom biomasse (gram/0,09 m)² og tildekking av gruveslam (cm) for dyregruppene A) børstemark uten rør, B) muslinger og C) slangestjerner. For fargekoder for slamtype se fig 8.



Figur 10. Sammenheng mellom biomasse (gram/0,09 m²) og tildekning av gruveslam (cm) for dyregruppene A) varia, B) børstemark med rør C) snegler D) krepsdyr og E) rest. For fargekoder for slamtype se fig 8. Ingen av modellene gir signifikante verdier.

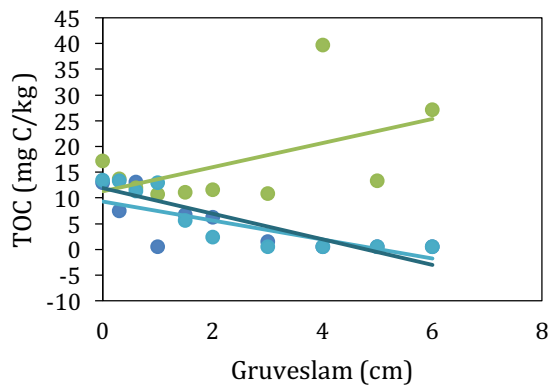
Tabell 1. Verdier fra regresjonsanalyse av data fra biomasseveiing. Tabellen viser sannsynligheten (p) for at tildekking av gruveslam fra gruvene Sydvaranger (V), Hustadmarmor (H) og Sibelco (S) har påvirket innholdet av biomassen i testboksene. $p < 0,05$ er markert med fet skrift og anses å vise at det er en signifikant effekt av tildekkingen på biomassen. R^2 viser hvor høy prosent av tilfellene regresjonslinja med oppgitt skjæringspunkt (α) stigningstall (β) forklarer data. Stigningstall og skjæringspunkt er i tabellen oppgitt med tilhørende standardfeil.

BIOMASSE	GRUVE	α	β	p	t-verdi	F	R^2
Total	V	2,3 ± 0,35	-0,19 ± 0,12	0,15	-1,6	2,6	0,24
	H	2,2 ± 0,20	-0,37 ± 0,067	0,00052	-5,6	31	0,80
	S	2,5 ± 0,16	-0,33 ± 0,051	0,00022	-6,3	40	0,83
Frittlevende børstemark	V	0,60 ± 0,15	0,028 ± 0,050	0,59	0,56	0,31	0,037
	H	1,0 ± 0,19	-0,17 ± 0,063	0,029	-2,6	7,0	0,47
	S	0,89 ± 0,17	-0,098 ± 0,055	0,11	-1,8	3,2	0,29
Rørbyggende børstemark	V	0,96 ± 0,20	-0,10 ± 0,067	0,17	-1,5	2,3	0,22
	H	0,072 ± 0,040	-0,0052 ± 0,013	0,71	-0,39	0,15	0,019
	S	0,27 ± 0,084	-0,021 ± 0,027	0,47	-0,76	0,58	0,068
Muslinger	V	0,96 ± 0,21	-0,10 ± 0,067	0,17	-1,5	2,3	0,22
	H	0,82 ± 0,16	-0,15 ± 0,052	0,022	-2,8	8,0	0,50
	S	0,84 ± 0,15	-0,14 ± 0,050	0,020	-2,9	8,3	0,51
Snegler	V	0,0031 ± 0,0030	-0,00045 ± 0,00097	0,65	-0,47	0,22	0,027
	H	0,0076 ± 0,0044	-0,0011 ± 0,0015	0,48	-0,74	0,55	0,064
	S	0,019 ± 0,0075	-0,0033 ± 0,0025	0,21	-1,4	1,8	0,19
Krepsdyr	V	0,0072 ± 0,0028	-0,0013 ± 0,00090	0,19	-1,4	2,0	0,20
	H	0,010 ± 0,0027	4,7E-05 ± 0,00087	0,96	0,053	0,0028	0,00036
	S	0,011 ± 0,0046	-0,00056 ± 0,0015	0,72	-0,37	0,14	0,017
Slangestjerner	V	0,10 ± 0,021	-0,020 ± 0,0069	0,020	-2,9	8,4	0,51
	H	0,10 ± 0,034	-0,023 ± 0,011	0,073	-2,1	4,2	0,35
	S	0,17 ± 0,046	-0,024 ± 0,015	0,15	-1,6	2,5	0,24
Rest	V	0,00057 ± 0,00035	5,9E-05 ± 0,00012	0,62	0,51	0,26	0,032
	H	0,00074 ± 0,00042	-0,00015 ± 0,00014	0,30	-1,1	1,2	0,13
	S	2,6E-08 ± 1,6E-05	4,3E-06 ± 5,2E-06	0,43	0,83	0,68	0,079
Varia	V	0,22 ± 0,067	-0,030 ± 0,022	0,20	-1,4	1,9	0,19
	H	0,16 ± 0,049	-0,028 ± 0,016	0,12	-1,8	3,1	0,28
	S	0,14 ± 0,044	-0,018 ± 0,014	0,27	-1,2	1,5	0,16

Total organisk karbon

Tilsendte analysesvar for innhold av total organisk karbon i sedimentet tatt ved eksperimentets avslutning, viser at det i kontrollboksene (0 cm) er 13,0, 17,2 og 13,5 mg C/kg for henholdsvis Sydvaranger, Hustadmarmor og Sibelco (figur 11). En regresjonsanalyse av resultater fra sedimentanalysen fra alle boksene viste en signifikant omvendt proporsjonalitet mellom lagtykkelse og TOC for Sydvaranger ($\beta = -1,8$ $t = -3,3$, $p = 0,012$) og Sibelco ($\beta = -2,5$

$t=-5,0$, $p=0,0011$), der regresjonsmodellen forklarte variasjonen best for Sibelco ($R^2=0,75$). For Sydvaranger forklarte modellen 57% av variasjonen ($R^2=0,57$). Bokser med tildekking med Hustadmarmor antyder en stigende sammenheng mellom TOC og lagtykkelse ($\beta=2,3$) men denne er ikke signifikant ($p=0,1>0,05$).



Figur 11. Sammenheng mellom TOC (total organisk karbon) (mg C/kg) og tildekking av gruveslam (cm).

Tabell x. Regresjonsanalyse av data fra sediment-analysen for total organisk karbon (TOC). Tabellen viser sannsynligheten (p) for at økt tildekking av gruveslam fra gruvene Sydvaranger (V), Hustadmarmor (H) og Sibelco (S) har påvirket innholdet av TOC. $p<0,05$ er markert med fet skrift og anses å vise at det er en signifikant effekt av tildekkingen på innhold av TOC. R-kvadrat (R^2) viser hvor høy prosent av tilfellene regresjonslinja med oppgitt skjæringspunkt (α) og stigningstall (β) forklarer data.

ANALYSE-MATERIALE	GRUVE	α	β	p	t-verdi	F	R^2
TOC	V	$9,3 \pm 1,7$	$-1,8 \pm 0,57$	0,012	-3,3	11	0,57
	H	$11 \pm 4,2$	$2,3 \pm 1,4$	0,13	1,7	2,9	0,27
	S	$12 \pm 1,5$	$-2,5 \pm 0,50$	0,0011	-5,0	25	0,75

Diskusjon

Hovedmålet med denne oppgaven har vært å se på effekten av sjødeponi på marin bløtbunnsfauna ved å se på endringer i biomasse i forhold til økende grad av tildekking med gruveslam i et mesocosm-forsøk. Hovedproblemstillingen er som følger: Vil økende tildekking av gruveslam gi en reduksjon i macrofaunaens totale biomasse, og vil man kunne se en biomasserespons innenfor hver enkelt dyregruppe?

Delproblemstilling er: Vil flokkulerings- og flotasjons kjemikalier fra henholdsvis Sydvaranger og Hustadmarmor gi utslag i ulike respons i forhold til gruveavgang uten kjemikalier (Sibelco)?

Biomasse

Resultatene fra forsøket viser at tildekking med gruveavgang fra Hustadmarmor ($p < 0,001$) og Sibelco ($p < 0,001$) ga en signifikant nedgang i biomasse og regresjonslinjene forklarer 80% av spredningen i disse datasettene. Tildekking med gruveavgang fra Sydvaranger ga derimot ingen signifikant respons ($p = 0,15$).

Man kunne forventet at slamtyper med kjemikalier ville påvirket biologiske responser mer enn gruveavgang uten, men resultatene viser at Sibelco som ikke inneholder kjemikalier påvirker biomassen signifikant, og Sydvaranger som inneholder flokkuleringskjemikaliene Magnafloc ikke gjør det. Sydvaranger gruve er blitt fulgt opp med miljøundersøkelser siden 1988 (Skei & Rygg, 1989) og toksiske tester av Magnafloc indikerer at dette flokkuleringsmiddelet ikke gir biologiske responser når det følger med avgangsmassene i sjødeponiet (Berge et al., 2012; Ramirez-Llodra et al., 2015). Ut fra dette kan det se ut som at andre egenskaper enn kjemikalier spiller inn for hvilken effekt tildekkingen med materialet har på bløtbunnsamfunn.

Dyregrupper

Noen dyregrupper er mer følsomme for nedslamming enn andre og man kan forvente at dyr som lever nede i sedimenet har størst toleranse ved at de kan holde tritt med overdekking av nytt sedimentoverflaten (Ramirez-Llodra et al., 2015; Schaanning, Trannum, Øxnevad, Carroll, & Bakke, 2008)

Resultatene etter grovsortering og veiing viser at frittlevende børstemark og muslinger utgjør størstedelen av biomassen i alle boksene, uavhengig av type tildekking (figur 7). De er også to av tre dyregrupper som viser signifikant nedgang i biomasse ved tildekking (tabell 1, figur 9). Den tredje dyregruppen som viste signifikant endring er slangestjerner som ikke utgjorde stor prosentvis biomasse men under grovsortering ble observert til å ha stor individtetthet.

Slangestjerner er den eneste dyregruppen som viser signifikant endring ved tildekking fra Sydvaranger ($p=0,020$) som igjen er den eneste gruveavgangen som ikke ga signifikante utslag i total biomasse ($p=0,15$, figur 1). Mange arter av slangestjerner er på grunn av deres levesett sårbare for tildekking. De livnærer seg av partikler enten på sedimentoverflaten eller i vannet og kan derfor bli ekstra påvirket av sedimentasjon av ”fremmede” partikler og lite næring i vannmassene i og over sedimentet. Det kan også antas at ciliene kan bli tilklogget av de fine partiklene i slammet med påfølgende risiko for nedsatt næringsopptak (Schaanning et al., 2008; HC. Trannum et al., 2010). Slammets struktur og oppbygning ser ut til å utgjøre en faktor for hvor sensitive ulike grupper og arter er for tildekking, og at de arter av slangestjerner som befant seg i testboksene var av en sensitiv art.

Man kan forvente at dyr som graver i sedimentet har størst toleranse ved at de kan holde tritt med den nye sedimentoverflaten, mens dyr i rør vil måtte forlenge rørene eller bygge nye (Ramirez-Llodra et al., 2015). At resultatene ikke viser signifikant endring for rørbyggende børstemark i dette forsøket kan ha sammenheng med at det ble observert lav individtetthet i denne dyregruppen. Derimot ble det observert mange tomme rør, noe som kan antyde at det har vært rørbyggende dyr til stede som døde underveis i forsøket. Man kunne forvente at kontrollprøvene (0 cm tildekking) kunne bekrefte dette med å ha noenlunde samme og høy biomasse i alle tre testboksene, men 0-prøvene varierer med verdiene $V0=1,4$, $H0=2,3$, $S0=2,9$ gram/0,09 m² (figur 7). Variasjonen i 0-prøver kan skyldes at selv om testsamfunnene er hentet fra samme lokalitet, er de representert med 30 ulike koordinater fra denne lokaliteten, og naturlig variasjon vil kunne forekomme fra starten i alle boksene (J. S. Gray & Elliott, 2009). For dyregrupper med lav individtetthet er det større sjanse for at naturlig variasjon kan gi utslag i ikke signifikante analysesvar, enn for dyregrupper med høy individtetthet. Alternativ hypotese stemmer altså for tre av dyregruppene (som har høy individtetthet), for noen typer gruveslam, mens nullhypotesen ikke kan forkastes på signifikansnivå 0,05 for de andre. Det betyr likevel ikke at man kan konkludere med at de

andre gruppene tåler tildekking godt. Det kunne vært interessant å bruke resultatene videre og sett om en eksponentiell regresjonsmodell beskriver variasjonen bedre.

Finpartikler kan tilklogge fødeorganer, cilieapparat, gjellestrukturer og fordøyelsesorganer, man kan derfor forvente at dyregrupper som lever av organisk materiale oppløst i vannet eller fastsittende på partikler kan være ekstra følsomme for finslammet avgangsmasse. Resultatene viser at Hustadmarmor er den slamtypen som påvirker flest grupper (totalbiomasse, frittlevende børstemark, muslinger og slangestjerner) (fig x, tab x). Tekniske opplysninger om avgangsmassene sier at 85% av Hustadmarmor består av partikler $< 2\mu\text{m}$ og er den mest finpartiklede av de tre testmaterialene (Ramirez-Llodra et al., 2015), dette stemmer med observasjoner gjort i felt om strukturen til sedimentet til testboksene.

Resultatene viser at Sibelco påvirker totalbiomasse ($p < 0,001$) og muslinger ($p < 0,05$). Denne gruveavgangen bruker magnetisk separasjonsteknikk for å skille mineral fra steinmassen i utvinningsprosessen. Mikroskopianalyser viser at partikler separert på denne måten får skarpere og spissere kanter enn malt avgangsmasse (Ramirez-Llodra et al., 2015). Tilsendte svar fra partikkelprøver undersøkt i andre deler av NYKOS-prosjektet bekrefter dette. Man kan tenke seg at partikkelstrukturen i Sibelco-massene kan være en årsak til effekten denne avgangsmassen viser i dette forsøket.

Mulige effekter på bløtbunnsfauna ved tildekking med gruveslam

Resultater fra dette forsøket indikerer at utslipp av gruveavgang kan ha negativ effekt på biomassen til bunnfaunaen den tildekker. Nedenfor er det gjort et forsøk på å gi en oversikt over mulige ulike årsaker til at tildekkingen gir en slik effekt.

Hypersedimentering

I deponifasen er det først og fremst den raske og store tilførselen av gruveavgang som vil påvirke sjøbunn og macrofaunaen som lever på og nede i den. I selve deponiområdet kan tildekkingen forandre bunnsedimentet totalt og bli over hundre meter tykt. Det antas at toleransen overfor en gradvis sedimentering er høyere enn om den skjer brått. En teoretisk modell gjort på utslipp av boreavfall fra offshore-installasjoner viser at en enkelt episode som gir et lag på 5.4 cm vil slå ut anslagsvis 50 % av dyreartene, mens 5 % dør ved 6.3 mm (Smit et al., 2008). Et mesocosm-forsøk gjort på tilslamming på 2.4 cm ordinære sedimentpartikler viste ingen respons på bløtbunnsfauna (Olsgard & Hasle, 1993; HC. Trannum et al., 2010).

Hvorvidt dyrene lever nede i eller på sedimentet vil ha liten rolle i de områdene som mottar massiv tilgang. Avsetningen vil være så stor at den eksisterende faunaen blir begravet og dør. I randsonen av deponiområdet vil fastsittende og rørbyggende dyr være spesielt sårbare fordi de ikke klarer å holde tritt med den nye sedimentoverflaten hvis det kommer perioder med økt deponering. Det er denne sonen som har vært fokus i dette forsøket, og resultatene stemmer med funn gjort av Olsgard & Hasle (1993) og Trannum et al. (2010).

Partikkelstørrelse til avgangen

I tillegg til hypersedimentering har partikkelstørrelsen i avgangsmassen en stor innvirkning på den bentiske fauna da gruvepartikler ofte er mindre sammenlignet med partiklene i et naturlig dannet sediment. Utslipp av finkornet slam fører til en generell reduksjon i bunnsedimentets kornstørrelse og gjør sedimentet mer homogent med færre økologiske nisjer. Dette gir opphav til et fattigere bunndyrssamfunn (J. Gray, 1974; J. S. Gray & Elliott, 2009; Pearson & Rosenberg, 1978). Generelt kan man si at deponeringsmasser med partikler som ligner det naturlige sedimentet vil ha mindre effekt på bunnsamfunnet enn en et mer finkornet (Schaanning et al., 2008; Smit et al., 2008). Et litteraturstudie fant 95% overlevelse ved endring av partikkelstørrelse med økning var 115 µm og reduksjon på 47,8 µm (Smit et al., 2008). Finpartikler kan tilklogge fødeorganer, cilieapparat, gjellestrukturer og fordøyelsesorganer (Ramirez-Llodra et al., 2015; Trannum, Nilsson, Schaanning, & Norling, 2011).

Partikkelform

Gruveavgang skiller seg fra naturlig dannet sediment med at partiklene er skarpe og spisse kanter. Oppredningsprosessen medfører knusing og nedmaling av stein mens det naturlige sedimentet er blitt dannet over tid og har avrundede former (Ramirez-Llodra et al., 2015). Masser som stammer fra magnetisk separasjon er vist å inneholde partikler som er skarpere enn malte masser. Skarpheten kan tenkes å ha en kutte og slite effekt og det er observert skader på cilier i fødeorgan, gjellemembran og fordøyelsesapparat på muslinger i forsøk med boreavfall fra oljeindustrien (Bechmann, Baussant, Tandberg, & Lowe, 2006).

Oksygenmangel

I bokser med høy grad av tildekking ble det observert spotter av mørke felt som luktet H₂S (hydrogensulfid). I marine sedimenter er utviklingen av mørke felt og H₂S-lukt forbundet med organisk nedbrytning og oksygensvinn som følge av organisk påvirkning (Pearson &

Rosenberg, 1978). I dette tilfellet skyldes nok oksygensvinnet i boksene tildekking av gruveslam og nedbrytningen av de etterhvert døde organismene. Alle tre slamtypene består av fine, uorganiske partikler som kan ha dannet et kompakt sediment som igjen kan ha redusert vannutskiftningen mellom sedimentet og vannsøylen over (Ramirez-Llodra et al., 2015).

Toksiske effekter

Noen avganger vil inneholde rester av prosesskjemikalier, noen av disse er lett nedbrytbare og noen er i utgangspunktet giftige for vannlevende organismer. Nedbrytning av organiske tilsetningskjemikalier krever oksygen og kan føre til oksygensvikt dersom den overstiger bunnens oksygenkapasitet. Ved valg av avgangsmasser til dette forsøket ble det valgt å teste for Hustadmarmor som fra produsenten var oppgitt å flotasjonsmiddelet benevnet Lilaflo. Etter at forsøket var startet ble det til forskningsgruppas store overraskelse opplyst om at Lilaflo var blitt byttet til Flo2015. Med innhold av Lilaflo kunne man forventet at Hustadmarmor ville hatt mest effekt på bunnfaunaen, men siden resultatene viser at gruveavgang fra Hustadmarmor ikke har signifikant større påvirkning enn gruveavgang uten kjemikalier (Sibelco), kan man anta at Flo2015 er mindre toksisk enn Lilaflo. Dette var også bakgrunnen for at kjemikallet var byttet ut. Flokkuleringskjemikallet Magnaflo inngår i avgangsmassene fra Sydvaranger. Magnaflo inneholder et polyacrylamid bestående av både anioniske og kationiske polymerer som er vist å ha begrenset grad av toksisitet (Berge et al., 2012; Ramirez-Llodra et al., 2015)

Sult

Naturlige partikler har organisk materiale på overflaten, og en rekke dyr livnærer seg av å spise slike sedimentpartikler. Fordi avgangsmasser stammer fra steinbrudd er innholdet av total organisk karbon mindre sammenlignet med et naturlig sediment der partiklene stammer fra naturlige nedbrytningsprosesser og kommer til over tid. Dette fører til at dyrene som lever i og på sedimentet samlet sett ikke får tilstrekkelig nok næringstilgang og kan dø av sult (Smit et al., 2008; H. C. Trannum et al., 2011).

Styrker og svakheter med forsøket

Et mesocosm-forsøk kan sees på som en mellomting mellom felt og laboratorieforsøk. Det kan gi svært økologisk relevant informasjon ettersom det er en test på hele samfunnet fremfor på enkeltarter, slik det gjøres i laboratorieforsøk. Også biologiske interaksjoner inkluderes i et

slikt oppsett. Sammenlignet med feltstudier har det den styrken at det kan teste for isolerte effekter. Imidlertid har oppsettet også svakheter ved at det kun tester dødelighet for individene i boksene, og ikke får med naturlige faktorer som inn- og utvandring og nyrekruttering av larver og juveniler. De naturlige vann og strømningsforholdene er vanskelige å etterligne, og skalaen på samfunnene er mye mindre enn de man kan ha i felt. Det kan også være noe mindre akkumulasjon av organisk materiale. Inngangsvannet er fra 60 m dyp utenfor stasjonen, og er ufiltrert, slik at det inneholder noe organisk materiale. Samtidig vil det ikke sedimentere organisk materiale fra grunnere områder, som ofte representerer en næringsstilførsel til dypere sedimentsamfunn.

Konklusjon

Resultatene fra dette mesocosm-forsøket viser at man kan forvente en sammenheng mellom mengden avgangsmasser og tap av fauna . Effektene opptrer ved kun noen cm tykkelse, hvilket betyr at influensområdet for deponiet må antas å være stort og vesentlig større enn selve deponiet. Samtidig var det en variasjon i responsen på de tre materialene som ble testet. To av materialene viste signifikant respons, mens det siste viste en tendens til redusert total biomasse med økende tykkelse, men ikke signifikant.

Videre viser det at unaturlig partikkelstørrelse og struktur, samt mangelen på naturlig organisk materiale ser ut til å utøve en større effekt på macrofaunaen enn rester av prosesskemikaliene som ble undersøkt i dette forsøket.

Referanser

- Bechmann, R., Baussant, T., Tandberg, A., & Lowe, D. (2006). Clearance rate, growth, histopathology and biomarker responses in mussels and scallops exposed to suspended particles of water based drilling mud. *Impacts of Drilling Mud Discharges on Water Column Organisms and Filter Feeding Bivalves, Report(2006/038)*, 39-64.
- Berge, J. (2009). Gruvekjemikalier i sedimentene i sjøområdene utenfor kirkenes i 2009.
- Berge, J., Beylich, B., Brooks, S., Jaccard, P., Tobiesen, A., & Øxnevad, S. (2012). Overvåking av bøkfjorden 2011 og giftighetstesting av gruvekjemikaliene magnafloc lt 38 og magnafloc 10.
- Boyd, R., Bjerkegård, T., Ihlen, P., Korneliussen, A., Sandstad, S., & Sciellerup, H. (2012). Mineral-og metallressurser i norge:" In situ" verdi av metallforekomster av nasjonal betydning. *NGU rapport 2012*, 48.
- Gray, J. (1974). Animal-sediment relationships. *Oceanography and marine biology: an annual review*, 12, 223-261.
- Gray, J. S., & Elliott, M. (2009). *Ecology of marine sediments: From science to management*. Oxford University Press.
- Hickman, C., Roberts, L., Larson, A., Keen, S., Eisenhour, D., & l'Anson, H. L'anson, h. & eisenhour, dj, 2014—integrated principles of zoology. *McGrawwHill, Boston*.
- Huse, G. (2007). Hva er et økosystem? i *Havets ressurser og miljø, red. M. Skogen, H. Gjøsæter, R. Toresen og Y. Robberstad. Havforskningsinstituttet*, 181-186.
- Kirkegaard, J. (1992). *Havbørsteorme*. Dansk Naturhistorisk Forening.
- Kvassnes, A. J. S., & Iversen, E. (2013). Waste sites from mines in norwegian fjords. *Mineralproduksjon*, 3, A27-A38.
- Lohrer, A. M., Thrush, S. F., & Gibbs, M. M. (2004). Bioturbators enhance ecosystem function through complex biogeochemical interactions. *Nature*, 431(7012), 1092-1095.
- Olsgard, F., & Hasle, J. R. (1993). Impact of waste from titanium mining on benthic fauna. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 172(1-2), 185-213.
- Pearson, T., & Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16, 229-311.
- Ramirez-Llodra, E., Trannum, H. C., Evenset, A., Levin, L. A., Andersson, M., Finne, T. E., . . . Vanreusel, A. (2015). Submarine and deep-sea mine tailing placements: A review of current practices, environmental issues, natural analogs and knowledge gaps in norway and internationally. *Marine Pollution Bulletin*. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.05.062
- Schaanning, M., Trannum, H., Øxnevad, S., Carroll, J., & Bakke, T. (2008). Effects of drill cuttings on biogeochemical fluxes and macrobenthos of marine sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 361(1), 49-57. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2008.04.014>
- Skei, J., & Rygg, B. (1989). Miljøundersøkelser i fjordsystemet utenfor kirkenes i finnmark. Del 1: Bløtbunnfauna og sedimenter.
- Smit, M. G., Holthaus, K. I., Trannum, H. C., Neff, J. M., Kjeilen-Eilertsen, G., Jak, R. G., . . . Hendriks, A. J. (2008). Species sensitivity distributions for suspended clays, sediment burial, and grain size change in the marine environment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(4), 1006-1012.

- Strategi for mineralnæringen*. (2013).
https://www.regjeringen.no/contentassets/0f2cab4b8b0a4040af8276770649500f/mineralstrategi_20130313.pdf. Nærings- og handelsdepartementet.
- Trannum, H. (2016). Overvåking av marin bløtbunnsfauna for Titania a/s i 2015. NIVA-RAPPORT 7010-2016, 23 s + vedlegg.
- Trannum, H., Mannvik, H., Melhus, M., & Cochrane, S. (2003). Evaluation of methods for analysing and modelling changes in benthic communities: Akvaplan-niva.
- Trannum, H., Nilsson, H., Schaanning, M., & Øxnevad, S. (2010). Effects of sedimentation from water-based drill cuttings and natural sediment on benthic macrofaunal community structure and ecosystem processes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 383(2), 111-121. doi: 10.1016/j.jembe.2009.12.004
- Trannum, H. C., Nilsson, H. C., Schaanning, M. T., & Norling, K. (2011). Biological and biogeochemical effects of organic matter and drilling discharges in two sediment communities. *Marine Ecology Progress Series*, 442, 23-36.