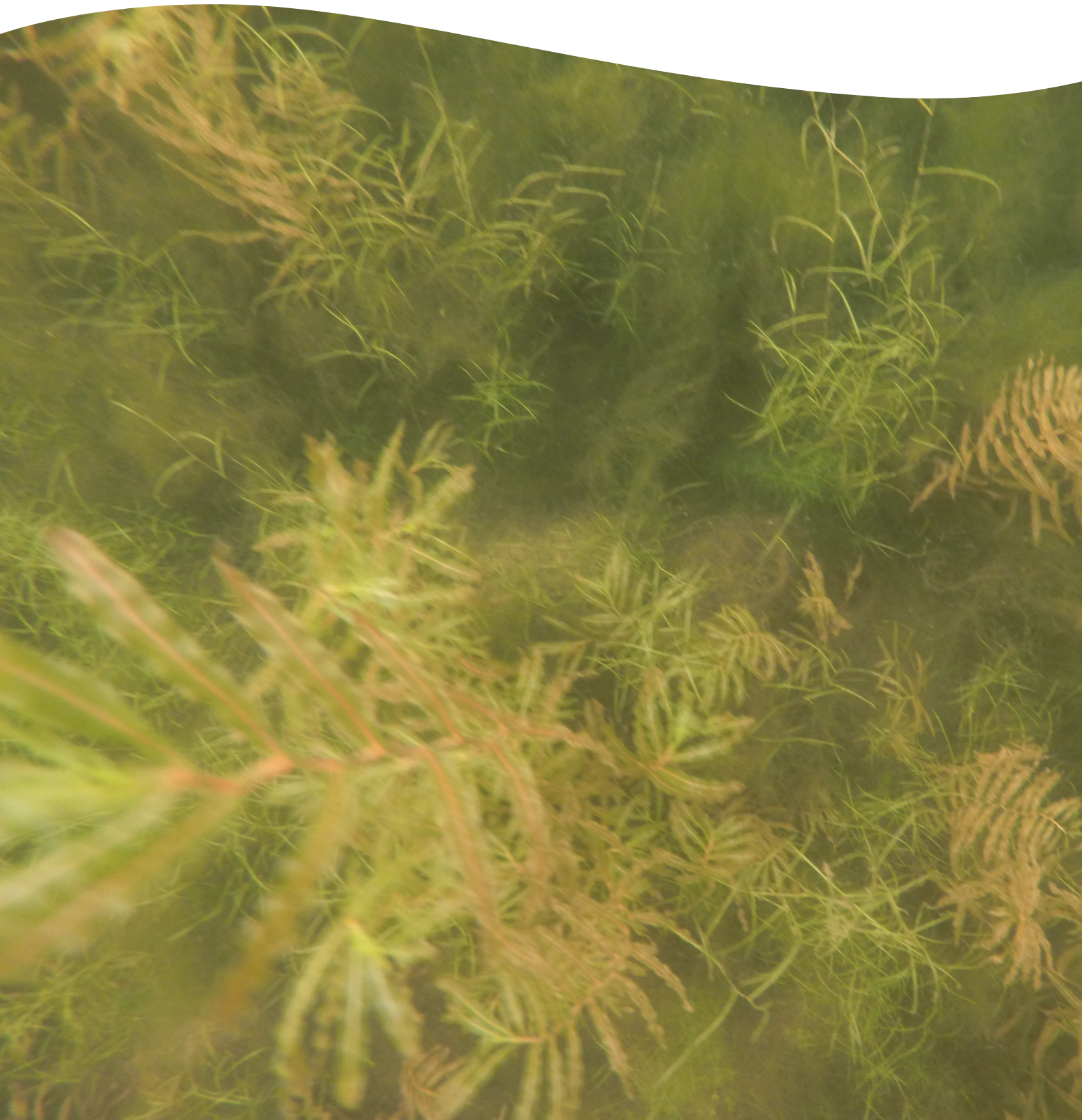


Primære og sekundære effekter av
tildekking av forurenset sediment
i undervannsvegetasjon
Delrapport fra aktivitet 6d,
Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for
forurensete sedimenter i Gunneklevfjorden



RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region Vest

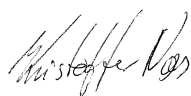
Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

Tittel Primære og sekundære effekter av tildekking av forurenset sediment i undervannsvegetasjon Delrapport fra aktivitet 6d, Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensete sedimenter i Gunneklevfjorden	Løpenr. (for bestilling) 6923-2015	Dato 13.11.2015
	Prosjektnr. Undernr. O-14194 6d	Sider Pris 21
Forfatter(e) Marianne Olsen	Fagområde Marin forurensning	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Gunneklevfjorden, Telemark	Trykket NIVA

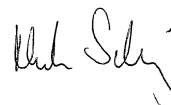
Oppdragsgiver(e) Norsk Hydro	Oppdragsreferanse Bernt Malme
---------------------------------	----------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Forsøk med tilsetning av aktivt kull i pulver- og i granulert form har vært gjennomført i en undervannsenseng i Gunneklevfjorden, for å forsøke å kvantifisere effekter på vekst eller tetthet av planter (sekundære effekter). I tillegg er effekten av tildekking på konsentrasjonen av kvikksølv og metylkvikksølv i porevannet i sedimentet undersøkt (primære effekter). Resultatene fra måling av plantenes lengde gir ikke grunnlag for å anta at tildekking med aktivt kull, verken i pulverform eller i granulatform, har noen innvirkning på plantenes lengdevekst. Forsøket gir heller ikke grunnlag for å anta at tildekking med aktivt kull i pulver eller i granulatform har hatt innvirkning på dekningsgrad av undervannsvegetasjonen.</p> <p>De laveste konsentrasjonene av metylkvikksølv i porevann ble funnet etter behandling med aktivt kull i pulverform, og antyder en positiv effekt på biotilgjengelighet. Det ble ikke påvist signifikante forskjeller mellom konsentrasjoner av metylkvikksølv i porevann ekstrahert fra sedimenter behandlet og ikke behandlet med aktivt kull. Forsøket gir likevel ikke grunnlag for å avvise at aktivt kull har effekt på biotilgjengelighet av kvikksølv. Andel metylkvikksølv (% MeHg) i porevann etter forskjellige behandlinger var som følger: aktivt kull pulver < aktivt kull granulert < kalkstein < ubehandlet. Dette indikerer at aktivt kull reduserer metyldannelsen i sedimentene. Det ble imidlertid ikke påvist signifikante forskjeller mellom behandlingene.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gunneklevfjorden 2. Forurenset sediment 3. Kvikksølv 4. Effekt av tildekking 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The Gunneklevfjord 2. Contaminated sediment 3. Mercury 4. Effect of capping
---	--



Kristoffer Næs
Prosjektleder



Morten Schaanning
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-6658-0

Primære og sekundære effekter av tildekking av forurenset sediment i undervannseng

Delrapport fra aktivitet 6d

Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensete
sedimenter i Gunneklevfjorden

Forord

Denne rapporten er en delrapport under prosjektet *Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden*, der NIVA har hatt prosjektledelsen med Kristoffer Næs som prosjektleder.

Oppdragsgiver har vært Norsk Hydro med kontaktperson Bernt Malme.

Rapporten oppsummerer arbeidet i aktivitet 6d ”Tildekking av undervannsvegetasjon”.

Feltforsøket ble gjennomført i 2014. Utplassering av rammer, tilførsel av tildekkingsmasser i brakkvannsenga, fotodokumentasjon og tolkning av bilder er utført av Marianne Olsen, NIVA, i samarbeid med Frithjof Moy, IMR, og med bistand fra Jarand Fredheim og Vetle Fredheim som feltassistenter. Lise Ann Tveiten, Janne Kim Gitmark og Maia Røst Kile, alle NIVA, har dykket for innsamling av sediment og plantemateriale for kjemisk analyse. Sentrifugering av sediment og uttak av porevann ble gjort på NGI av Marianne Olsen med bistand fra Espen Eek, NGI. Kjemiske analyser (TotHg og MeHg i porevann) er gjennomført på NIVA av Hans Fredrik Veiteberg Braaten, NIVA og Erlend Sørmo, NGI.

Marianne Olsen har gjennomført statistiske analyser og skrevet rapporten.

Takk til alle bidragsytere for godt samarbeid og til Herøya Motorbåtforening for bryggeplass og varmemestue under feltarbeidet.

Oslo, 13.11.2015

Marianne Olsen

Innhold

	1
Sammendrag	5
1. Innledning	6
1.1 Bakgrunn	6
1.2 Formål	6
2. Material og metode	6
2.1 Etablering av feltforsøk	8
2.2 Fotodokumentasjon og bildetolkning	9
2.3 Innsamling og analyse av sediment og plantemateriale	10
3. Resultater	12
3.1 Korrelasjon mellom dekningsgrad og lengde av planter	12
3.2 Effekt av forsøksdesign på dekningsgrad	13
3.3 Sekundære effekter av tildekking på planter	13
3.3.1 Lengdevekst hos planter etter tildekking	13
3.3.2 Dekningsgrad av planter etter tildekking	14
3.4 Korrelasjon mellom dekningsgrad av planter og MeHg i porevann	16
3.5 Primære effekter av tildekking på kvikksølv i sediment	17
3.5.1 TotHg og biotilgjengelig MeHg etter tildekking	17
3.5.2 Metyleringsrate (% MeHg) etter tildekking	18
4. Oppsummering	19
5. Referanser	21

Sammendrag

På oppdrag fra Norsk Hydro har NIVA gjennomført prosjektet *Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden* i perioden 2013 – 2015. En delaktivitet har vært å vurdere hvilke sekundære effekter behandling med aktivt kull kan ha på undervannsvegetasjonen i Gunneklevfjorden, i tillegg til de ønskede primære effektene i form av redusert utlekking og redusert biotilgjengelighet av miljøgifter. Formålet med forsøket i delaktiviteten har vært å undersøke om tilsetning av aktivt kull (AC) i pulverform og i granulert form har effekter på vekst eller tetthet av planter målt som dekningsgrad (sekundære effekter). Knust kalkstein har vært inkludert i forsøket som et alternativt tildekkingsmateriale. I tillegg er effekten av tildekking på konsentrasjonen av kvikksølv (TotHg) og metylert kvikksølv (MeHg) i porevannet i sedimentet undersøkt (primære effekter).

Forsøket ble gjennomført i 2014 ved tildekking med ulike tildekkingsmasser i 18 rammer plassert ut på sjøbunnen i undervannsvegetasjonen i to forsøksfelt i Gunneklevfjorden. Dekningsgrad av planter ble dokumentert ved fotografering over en periode på ca. 3 mnd. i løpet av sommer og høst 2014. I oktober 2014 ble det samlet inn prøver av plantene for måling av lengde. I tillegg ble det tatt kjerneprøver av sediment for kjemisk analyse av TotHg og MeHg i porevannet etter ca. 3 mnd. Dekningsgrad ble på nytt kontrollert i august 2015.

Resultatene fra måling av plantenes lengde gir ikke grunnlag for å anta at tildekking med AC, verken i pulverform eller i granulatform, eller med kalkstein, har noen innvirkning på plantenes lengdevekst. Forsøket gir heller ikke grunnlag for å anta at tildekking med AC i pulver eller i granulatform har innvirkning på dekningsgrad av undervannsvegetasjonen. Tildekking med kalkstein viste redusert dekningsgrad sammenlignet med AC pulver i månedene etter tildekking.

Det ble ikke påvist signifikante forskjeller i konsentrasjoner av MeHg i porevann mellom behandlede og ubehandlede rammer, men forsøket gir likevel ikke grunnlag for å avvise at AC pulver har betydning for biotilgjengelighet av Hg. De laveste konsentrasjonene av MeHg ble funnet etter behandling med AC pulver og antyder en positiv effekt på biotilgjengelighet. AC granulert viste ikke samme tendens, men det kan ikke utelukkes at den relativt korte eksponeringstiden kan ha hatt betydning for ulik respons for AC pulver og AC granulert. Medianer for metyleringsrate (% MeHg) i porevann etter de forskjellige behandlingene antyder en effekt av tildekking der forholdet mellom metyleringsrater er som følger: AC pulver < AC granulert < kalkstein < ubehandlet. Det var imidlertid ikke mulig å påvise signifikante forskjeller mellom metyleringsrater etter behandlingene.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

På oppdrag fra Norsk Hydro har NIVA gjennomført prosjektet *Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurenkede sedimenter i Gunneklevfjorden* i perioden 2013 – 2015. Kartlegging av Gunneklevfjorden har gitt informasjon om forekomst av undervannsvegetasjon i form av en brakkvannseng med nasjonal verdi (Olsen, 2014). Brakkvannsenga er beskrevet i en egen delrapport fra prosjektet (Mjelde, 2015). Ved utredning av mulige tiltaksløsninger for forurenkede sedimenter i Gunneklevfjorden er det relevante å vurdere hvilke eventuelle negative effekter (sekundære effekter) tiltak kan ha på brakkvannsenga, i tillegg til de ønskede primære effektene av tildekking i form av redusert utlekking og biotilgjengelighet. Tildekking med aktivt kull (AC) kan være en mulig tiltaksløsning i Gunneklevfjorden og har vist god effekt på utlekking av både klorerte forbindelser (PCDD/F, OCS og HCB) og kvikksølv (Hg) i forsøk på Solbergstrand (Schaanning et al., 2014). Imidlertid er sekundære effekter på undervannsvegetasjon ved tilsetning av AC lite undersøkt. En oversiktsartikkel på biologiske responser av tilsatt AC i forbindelse med sedimenttiltak, oppsummerer at det kun er gjennomført noen få studier på sekundære effekter av tildekking på planter, men at AC-tilsetning til jord har vist begrensede negative effekter på landplanter (Janssen and Beckingham, 2013). De få registrerte effektene på undervannsvegetasjon har vært noe redusert plantevekst ved tilsetning av AC i pulverform (Beckingham et al., 2013, Jakob et al., 2012), mens granulatform har gitt økt plantevekst (Jakob et al., 2012). Det er ikke påvist noen effekt på rekolonisering, på artssammensetning eller på tetthet av planter (Kupryianchyk et al., 2012).

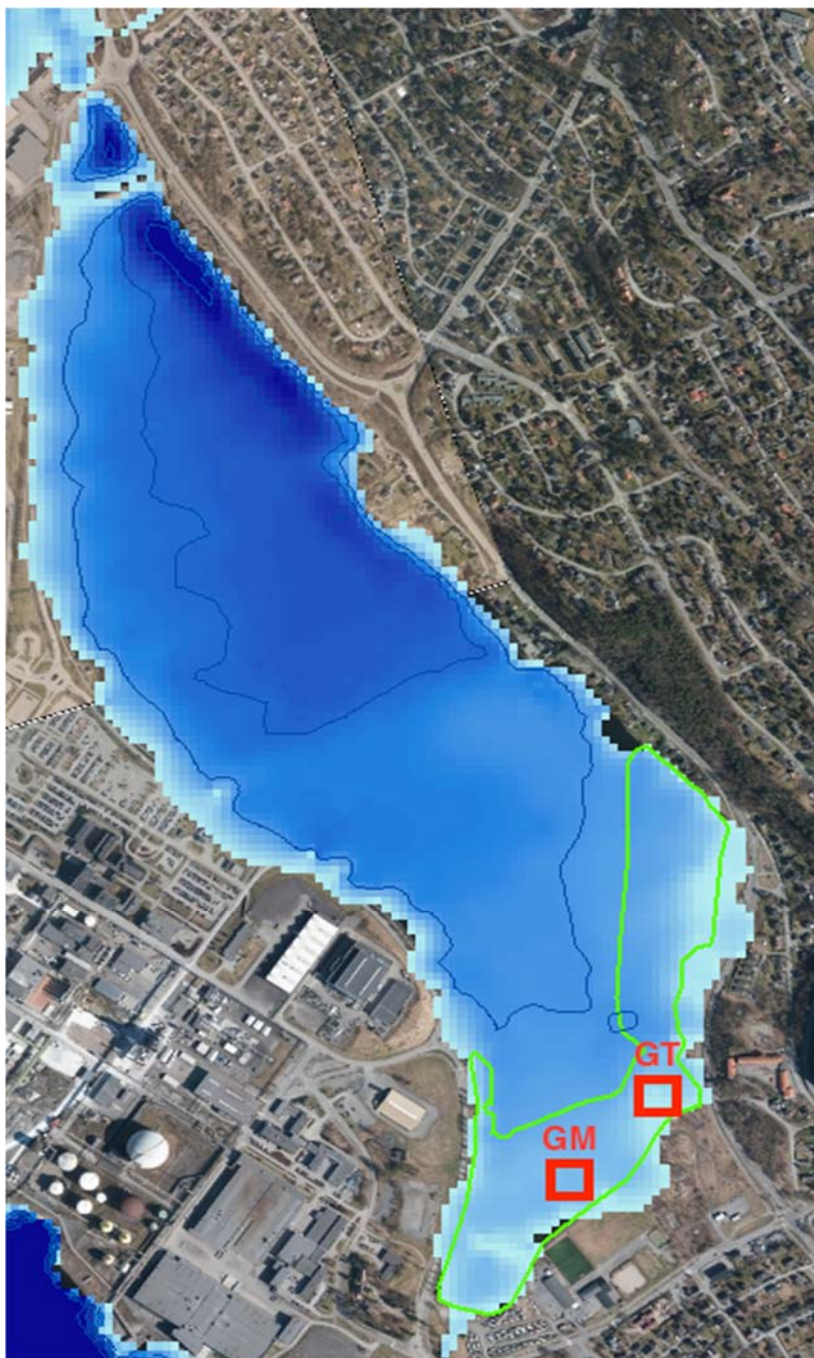
1.2 Formål

Formålet med forsøket har vært å undersøke om tilsetning av AC i pulverform og i granulert form har effekter på vekst eller tetthet av planter i form av dekningsgrad (sekundære effekter). Knust kalkstein har vært inkludert i forsøket som et alternativt tildekkingsmateriale. I tillegg er effekten av tildekking på konsentrasjonen av kvikksølv (TotHg) og metylert kvikksølv (MeHg) i porevannet i sedimentet undersøkt (primære effekter).

2. Material og metode

Det ble i juli 2014 etablert to forsøksfelt (GM og GT) i undervannsvegetasjonen i Gunneklevfjorden (Figur 1).

I forsøksfeltene ble det tilsatt ulike tildekkingsmasser, og deretter ble dekningsgrad av planter dokumentert ved fotografering over en periode på ca. 3 mnd. I oktober 2014 ble det samlet inn prøver av plantene for måling av lengde og for eventuelle senere kjemiske analyser av kvikksølv (Hg), og det ble tatt kjerneprøver av sediment for kjemisk analyse av TotHg og MeHg i porevannet. Det ble gjennomført en ny fotografering av dekningsgrad i august 2015. Tidsplanen for gjennomføring av aktivitetene er vist i Tabell 1.



Figur 1. Forsøksfelt GM og GT i Gunneklevfjorden, for studie av primære og sekundære effekter av behandling med aktivt kull i undervannsvegetasjon. Undervannsgas utbredelse er angitt ved grønn linje og er avgrenset av dybdekote 3 m samt registreringer i Naturbase. Sjøkartverkets dybdemodell overlapper landkartverkets kystlinje, slik at deler av strandsonen er skjult av dybdemodellen. Kart: Trine Bekkby, NIVA.

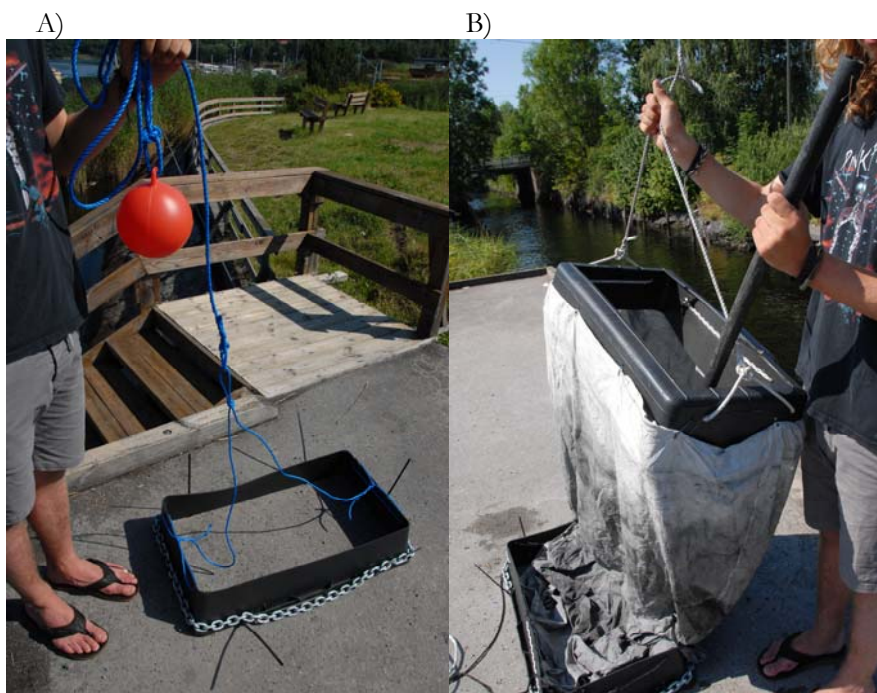
Tabell 1. Etablering, fotografering og innsamling av sediment og plantemateriale i tildekkingsforsøk i Gunneklevfjorden i perioden juli 2014 – august 2015.

Aktivitet	Juli 2014	Aug 2014	Sept 2014	Okt 2014	Aug 2015
Etablering	X				
Foto		X X	X		X
Innsamling				X	

2.1 Etablering av feltforsøk

De to forsøksfeltene GM og GT ble etablert i brakkvannsenga i Gunneklevfjorden med ca. 200 m avstand. Hvert felt dekket ca. 20 x 20 m. Vanndybden i de to feltene er 1,5-2 meter. Forsøksfelt GM er dominert av kransalgen skjørkrans (*Chara virgata*) og langskuddsplanten krustjønnaks (*Potamogeton crispus*) mens feltet GT i er dominert av skjørkrans.

Innenfor hvert felt ble det plassert ut 12 rammer (80 x 120 cm) med 5-10 m avstand. Rammene hadde en 15 cm høy kant og var konstruert ved å fjerne bunnen av murebaljer i plast og feste kjetting rundt kanten som vekt for å holde rammene nede på sjøbunnen (Figur 2a). Hver ramme var markert med bøye til overflaten. I 9 rammer innenfor hvert felt ble det lagt ut tildekkingsmasse av 3 forskjellige typer (A, B, C). Hver masstype ble lagt ut i 3 rammer (1, 2, 3). De 3 gjenværende rammene (K) i hvert felt var uten behandling. Tildekkingsmassene ble ført ned til ca. 30 cm over sjøbunnen ved hjelp av et plastrør, og for å begrense spredning av masser utenfor rammene det benyttet en pose av lerretsduk som var festet på rammen og gikk helt opp til vannoverflaten (Figur 2b). Posen ble montert på hver enkelt ramme og ført ned sammen med denne ved utplassering. Etter at én ramme var plassert og tildekkingsmasse ført ned, ble posen løsnet, trukket opp og montert sammen med neste ramme for utplassering. Rammene ble plassert tilfeldig innenfor de to feltene (Figur 3).



Figur 2. A) Ramme plassert ut på sjøbunnen innenfor vegetasjonsområdet i Gunneklevfjorden. B) Pose og plastrør for nedføring av tildekkingsmasser. Foto: Marianne Olsen, NIVA.

GM					GT				
		A3	C3		C3	B1	A3		
K2		A1	B2	K3	K2		B3	C1	
A2	B3	C2			A2		A1	C2	K1
K1		C1	B1					B2	K3

Figur 3. Plassering av rammer med ulike behandling på sjøbunnen innenfor feltene GM og GT i Gunneklevfjorden. Behandlingene er angitt ved bokstavene A: AC pulver, B: AC granulat, C: kalkstein og K: ubehandlet. For hver behandling er det 3 replikater (A1-3, B1-3, C1-3, K1-3).

Følgende tildekkingsmasser ble benyttet:

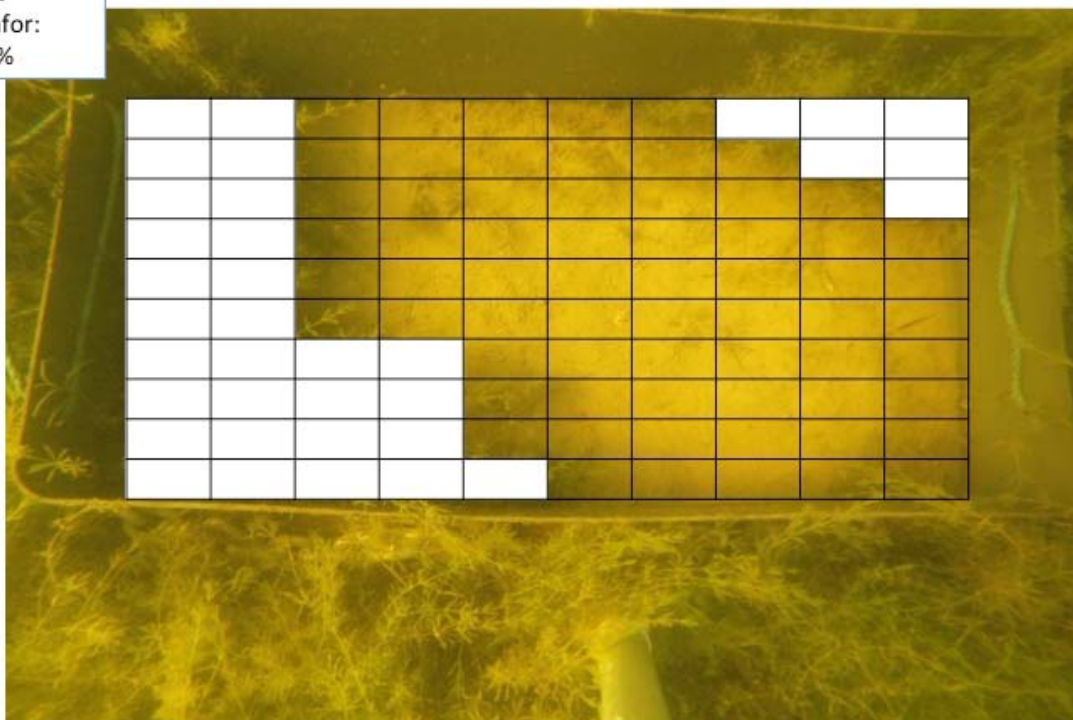
Ramme	Massetype	Produkt	Tykkelse	Mengde
A 1-3	Aktivt kull, pulver	Jacobi Carbon, BP2	5-10 mm	1 kg/m ²
B 1-3	Aktivt kull, granulat	Jacobi Carbon	5-10 mm	2 kg/m ²
C 1-3	Knuste masser	Norstone kalkstein 0-8 mm	1-3 cm	0,05 m ³ / m ²
K 1-3	Ingen			

2.2 Fotodokumentasjon og bildetolkning

Dokumentasjon av dekningsgrad av planter innenfor rammene ble gjort ved å fotografere hver ramme ovenfra med et vanntett GoPro Hero3+ Black edition kamera. Kamerahuset ble festet til en stang og ført ned i vannet til ca. 30 cm over hver enkelt ramme. Det ble tatt 1 bilde/2 sekund. Fotograferingen ble gjennomført ved tre anledninger i perioden 6.8. til 29.9.2014 og en gang i august 2015.

Bildene ble tolket ved å kvantifisere dekningsgrad av vegetasjon som prosentvis areal i rammene dekket av vegetasjon. Dette ble gjort manuelt ved hjelp av et rutenett plassert over bildet av rammene, som vist i Figur 4. Som referanse for hver enkelt ramme ble dekningsgrad på samme måte kvantifisert for det ubehandlede arealet rett utenfor hver enkelt ramme. Differansen mellom dekningsgrad utenfor og innenfor rammene ble benyttet som mål på effekt av tildekkingsmassene. Ved sammenligning av dekningsgrad mellom behandlingene ble det korrigert for variasjon i generell plantetetthet innenfor feltene GM og GT ved å angi dekningsgrad i rammene som % av dekningsgrad utenfor rammene. I de ubehandlede rammene (K) ble differansen mellom dekningsgrad utenfor og innenfor rammen lagt til grunn for en vurdering av mulig effekt av rammen.

GT K3
29.Sept 2014
35 %
Utenfor:
100 %



Figur 4. Manuell metode for bestemmelse av dekningsgrad av planter innenfor ramme som prosent areal med vegetasjonsdekke, anslått ved hjelp av rutenett. Foto: Marianne Olsen, NIVA.

2.3 Innsamling og analyse av sediment og plantemateriale

Plantemateriale og sedimentkjerner ble samlet inn i oktober 2014 ved hjelp av dykkere. Dykkerne klippet planter ved sedimentoverflaten i hver ramme for måling av plantelengde, og la plantene direkte ned i glidelåsposer under vann. Plantene ble artsbestemt og målt før materialet ble frosset ned for eventuell senere kjemisk analyse.

Til innsamling av sediment ble det benyttet plastrør med lengde ca. 25 cm og diameter ca. 10 cm. Sedimentkjernene ble stemplet ut manuelt av dykkerne, tettet med gummipropper og plassert direkte i oppsamlingskasser under vann (Figur 5). Kjernene ble oppbevart kjølig under transport til lab. På lab ble de øvre 0-4 cm av kjernene snittet og sentrifugert for uttak av porevann til kjemisk analyse av TotHg og MeHg (Figur 6). Sedimentsnittene ble sentrifugert ved 1000 omdreininger pr min i 20 minutter. Det utpressede porevannet ble deretter sugd opp med en sprøyte og filtrert, og umiddelbart frosset ned for senere kjemisk analyse.



Figur 5. Innsamling av kjerneprøver av sediment fra Gunneklevfjorden.
Foto: Janne Kim Gitmark, NIVA.



Figur 6. Kjerneprøve av sediment fra Gunneklevfjorden, klar for snitting av øvre 0-4 cm. Foto: Marianne Olsen, NIVA.

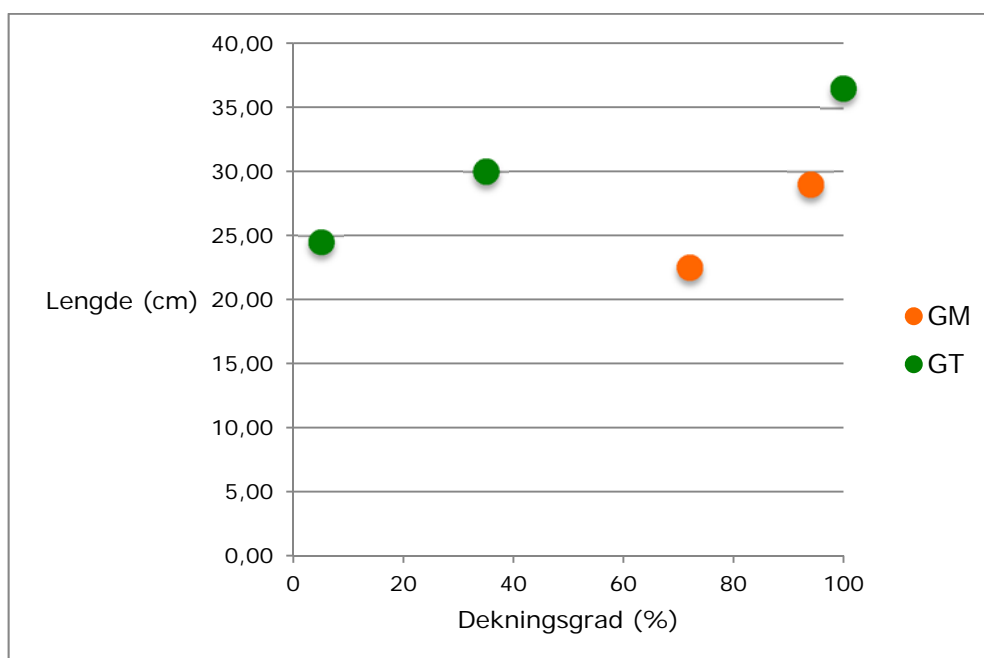
Porevannet ble senere tint og analysert for TotHg og MeHg ved NIVAs laboratorium etter metode beskrevet av H.F.V.Braaten (pers.med.):

“The methods for determining total mercury (TotHg) and methylmercury (MeHg) in water is based on The United States Environmental Protection Agency (USEPA) Method 1631 (USEPA 2002) and USEPA Method 1630 (USEPA 1998) respectively. In short, MeHg is determined by distillation, aqueous ethylation, purge and trap, and cold vapor atomic fluorescence spectrometry (CVAFS) and TotHg by oxidation, purge and trap and CVAFS. The method detection limits (MDL) are 0.02 ng/L for MeHg and 0.1 ng/L for TotHg (3 standard deviations (STD) of blanks). Precision (as relative standard deviation (RSD) of parallel samples) is < 10 % for both methods.”

3. Resultater

3.1 Korrelasjon mellom dekningsgrad og lengde av planter

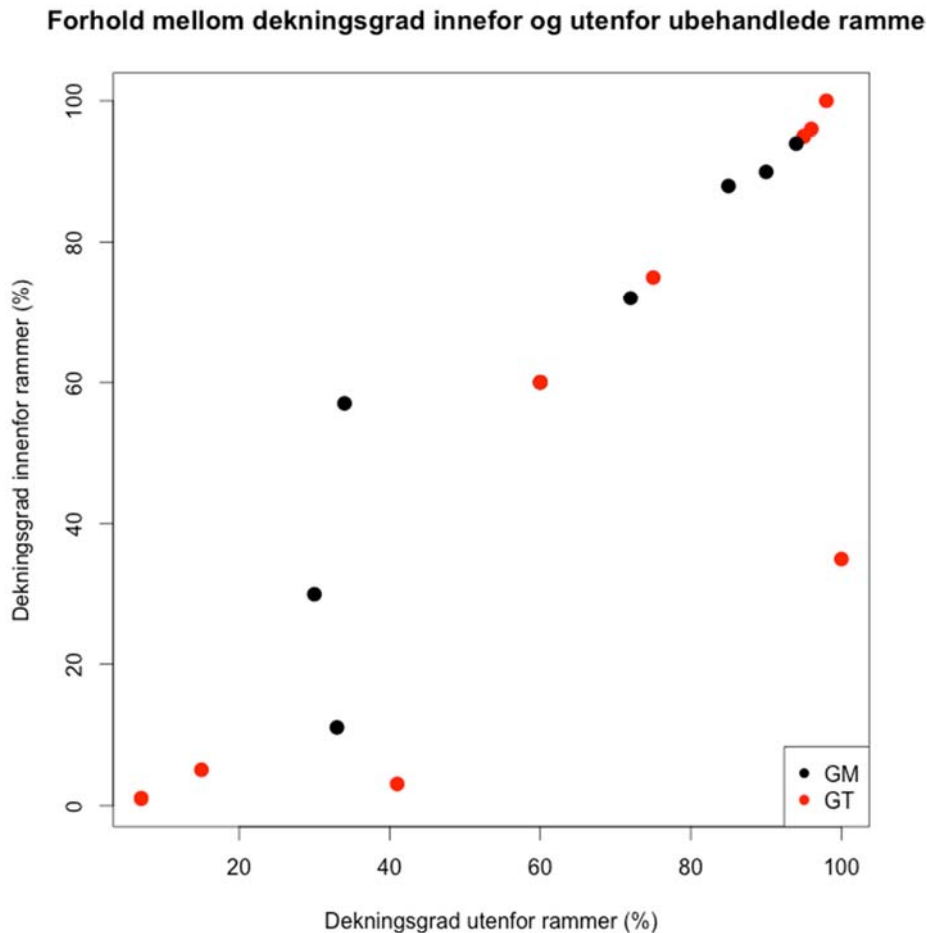
De ubehandlede rammene (K) ga mulighet til å vurdere om dekningsgrad kan ha betydning for lengdevekst hos planter. Resultatene indikerer positiv korrelasjon ($r=0,51$, $p<0,5$) mellom dekningsgrad og lengde av planter i de ubehandlede rammene (uten tildekkingsmasser) ved avslutning av feltforsøket (Figur 7). For de tre replikatene i GT isolert sett er korrelasjonen sterkere ($r=1,0$, $p<0,1$). For feltet GM foreligger det kun to rammer for sammenligning og det gir ikke mening å beregne korrelasjon. Korrelasjonen mellom lengde og dekningsgrad i datasettet gir en indikasjon på at det kan være relevant å korrigere for varierende dekningsgrad ved sammenligning av lengde som respons på behandling med ulike tildekkingsmasser.



Figur 7. Korrelasjon mellom dekningsgrad og lengde av planter i ubehandlede rammer ved avslutning av forsøk i Gunneklevfjorden i 2014.

3.2 Effekt av forsøksdesign på dekningsgrad

De ubehandlede rammene (K) ga mulighet til å undersøke om forsøksdesignet med plassering av rammer på sjøbunnen i seg selv har påvirkning på dekningsgrad av planter. Det ble påvist sterk korrelasjon mellom dekningsgrad innenfor og utenfor K-rammene ved alle kontroller ($r=0,84$, $p<0,001$), og ikke signifikant forskjell i dekningsgrad innenfor og utenfor rammene (t-test, $p=0,57$) (Figur 8). Det er derfor ikke grunnlag for å anta at rammene har påvirket plantenes vekst eller dekningsgrad, og det er følgelig ikke korrigert for rammeeffekt i tolkningen av resultatene.



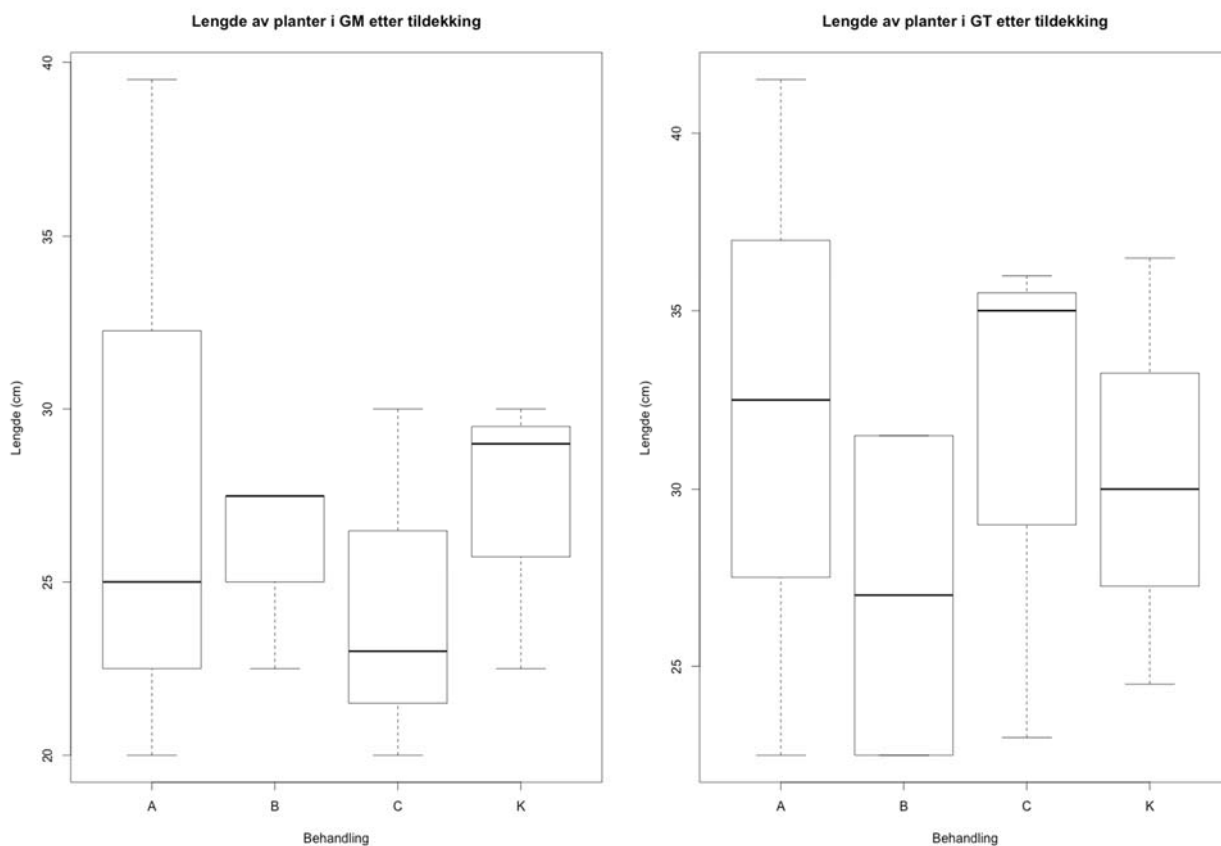
Figur 8. Dekningsgrad av planter i de ubehandlede rammene (K) viser korrelasjon innenfor og utenfor rammene, og ingen tydelig indikasjon på at rammene innvirker på dekningsgrad. De to feltene GM og GT er vist med henholdsvis svarte og røde prikker, som representerer 3 kontroller av 3 replikater innenfor hvert felt utført i perioden 6.8. – 29.9.2014. Noen prikker er overlappende med rød over svart.

3.3 Sekundære effekter av tildekking på planter

3.3.1 Lengdevekst hos planter etter tildekking

De lengste plantene ble funnet i rammene behandlet med AC i pulverform, men det var ikke signifikant forskjell i lengde mellom de ulike behandlingene i oktober 2014. Det var heller ikke signifikante forskjeller når hver av feltene GM og GT ble vurdert separat (Figur 9). Normalisering til dekningsgrad, jfr. kapittel 3.1, ga heller ikke signifikante forskjeller mellom behandlingene. Forsøket gir derfor ikke grunnlag for å anta at

tildekking med AC, verken i pulverform eller i granulatform, eller med kalkstein, har noen innvirkning på plantenes lengdevekst.

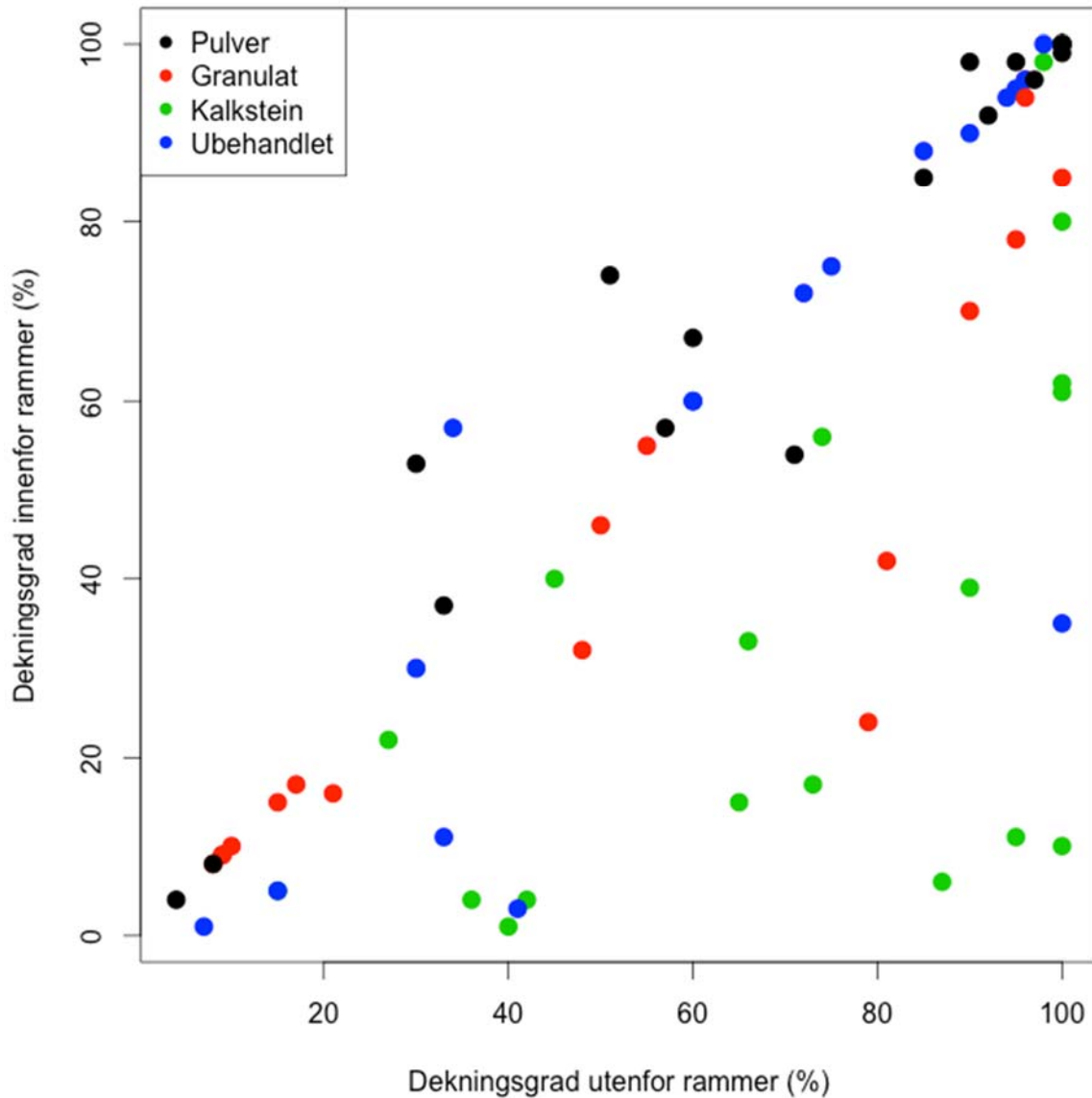


Figur 9. Lengde av planter målt ca. 3 mnd. (15.10.2014) etter tildekking med forskjellige masser i feltene GM og GT i Gunneklevfjorden: A) aktivt kull i pulverform, B) aktivt kull i granulatform, C) kalkstein, K) ingen tildekking.

3.3.2 Dekningsgrad av planter etter tildekking

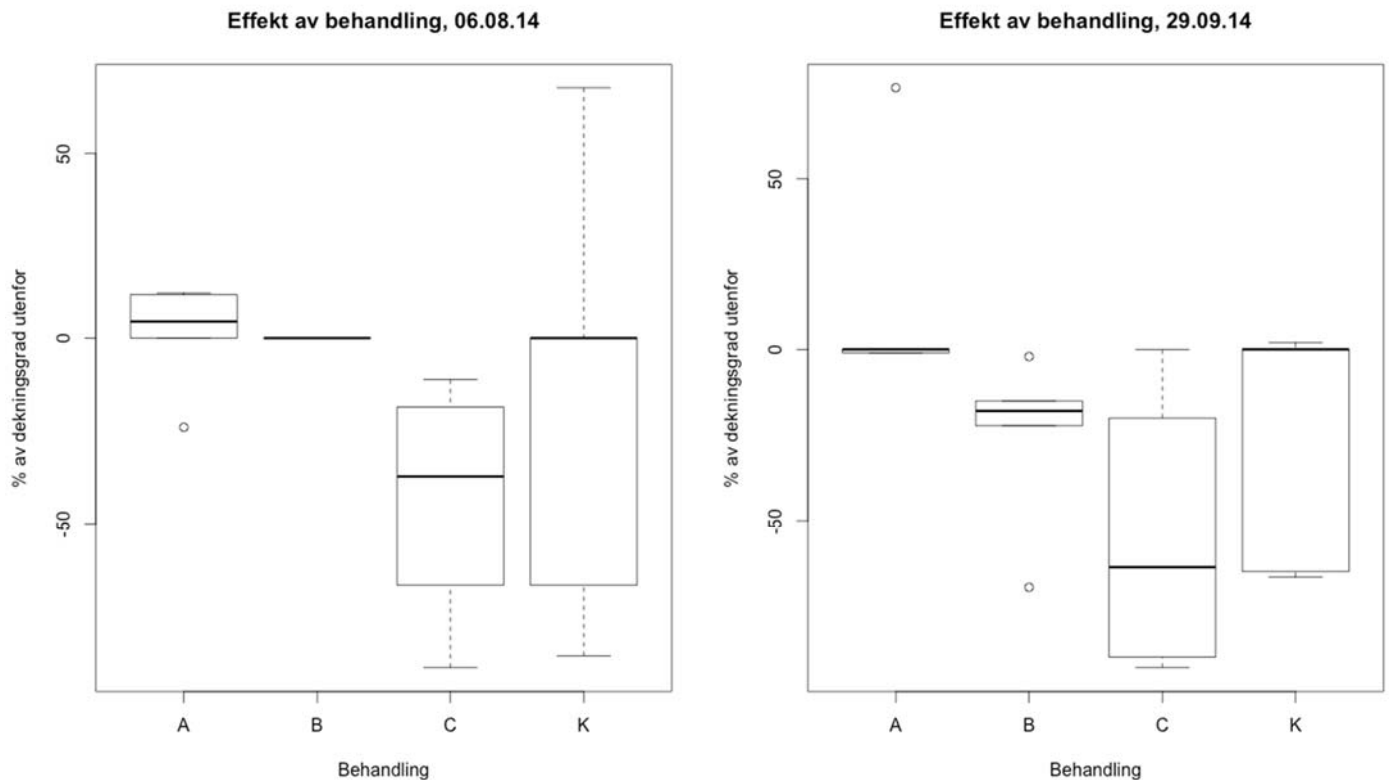
Korrelasjon i dekningsgrad innenfor og utenfor hver ramme når hele forsøksperioden og alle behandlingene plottes sammen, viser at behandling med kalkstein og til dels AC granulat har lavere dekningsgrad innenfor rammer enn utenfor, mens ubehandlet og behandling med AC pulver viser tilsynelatende god korrelasjon mellom dekningsgrad innenfor og utenfor rammer, dvs. liten påvirkning av behandlingen (Figur 10).

Effekt av behandling, hele forsøksperioden



Figur 10. Forholdet mellom dekningsgrad innenfor og utenfor rammene som effekt av de forskjellige behandlingene (aktivt kull pulver, aktivt kull granulat, kalkstein og ubehandlet) i 2014. Det er ikke skilt mellom feltene GM og GT eller mellom de tre kontrolltidspunktene 6.8., 27.8. og 29.9.2014.

Dekningsgraden innenfor rammene med kalkstein er signifikant forskjellig fra utenfor ($p < 0,05$) både rett etter tildekkingen (6.8.) og noen uker senere (29.9.), mens det ikke er påvist noen signifikant forskjell mellom innenfor og utenfor for de to AC-behandlingene pulver og granulat. Ved sammenligning av behandlingene korrigeres det for varierende dekningsgrad utenfor rammene ved å angi dekningsgrad innenfor rammene som % av dekningsgrad utenfor rammene (Figur 11a-b). Sammenligning av de forskjellige behandlingene rett etter tildekking (06.08.) ved hjelp av en parvis t-test viser at tildekking med kalkstein er signifikant forskjellig fra begge AC behandlingene og fra ubehandlede rammer ($p < 0,1$), mens AC pulver og AC granulat ikke skiller seg fra ubehandlet ramme. Noen uker senere (29.09.) var det signifikant forskjell i effekt mellom kalkstein og AC pulver ($p < 0,1$), men ikke for øvrige sammenligninger. Ett år senere, i august 2015, var det ingen effekt på dekningsgrad for noen av behandlingene

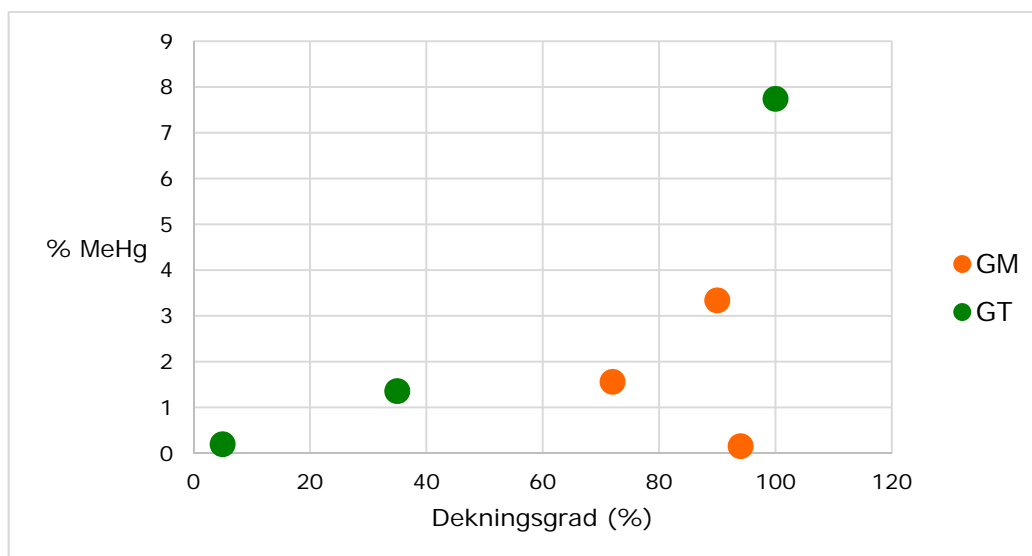


Figur 11a-b. Effekt av behandling målt som dekningsgrad innenfor rammene i % av dekningsgrad utenfor rammene a) rett etter tildekking (6.8.14) og b) ved avslutning av forsøket (29.9.14) for de fire behandlingene A: AC pulver, B: AC granulat, C: kalkstein og K: ubehandlet.

Ved visuell sammenligning av figurene i Figur 11a og b kan synes som om AC pulver ikke har påvirket dekningsgrad verken umiddelbart etter tildekking eller etter noen uker, mens det var en tendens til negativ utvikling for AC granulat og noe mer for kalkstein fra første observasjon til avslutning av forsøket. Denne utviklingen er imidlertid ikke statistisk påvist. Basert på de foreliggende resultatene gir ikke forsøket grunnlag for å anta at tildekking med AC i pulver eller i granulatform har innvirkning på dekningsgrad av undervannsvegetasjonen, men tildekking med kalkstein kan ha negativ effekt i løpet av de første ukene etter tildekking.

3.4 Korrelasjon mellom dekningsgrad av planter og MeHg i porevann

Det er vist positiv korrelasjon ($r= 0,51$, $p=0,29$) mellom dekningsgrad av planter og MeHg (ng/L) i porevannet i ubehandlede rammene (K) i oktober 2014. Det er også vist positiv korrelasjon ($r= 0,55$, $p=0,25$) mellom dekningsgrad av planter og metyleringsrate målt som % MeHg av TotHg (ng/L) i porevannet i de samme ubehandlede rammene (Figur 12). Dette er en indikasjon på at vegetasjonen og dekningsgraden kan ha betydning for metyleringen av Hg. Lineære regresjonsmodeller for konsentrasjon av MeHg i porevann og for % MeHg som funksjon av dekningsgrad viser at dekningsgrad forklarer henholdsvis 26 % og 30 % av variabiliteten i dataene. Dette forteller som forventet at også andre variable må ha betydning for konsentrasjonen av MeHg og for metyleringsraten. Det synes derfor relevant å korrigere for dekningsgrad av planter ved sammenligning av konsentrasjon av MeHg og % MeHg i porevann mellom forskjellige tildekkingsmasser.



Figur 12. Korrelasjon mellom metyleringsrate i sediment, uttrykt som % MeHg av TotHg (ng/L) i porevann, og dekningsgrad av planter i to felt (GM og GT) i undervannsvegetasjonen i Gunneklevfjorden i 2014.

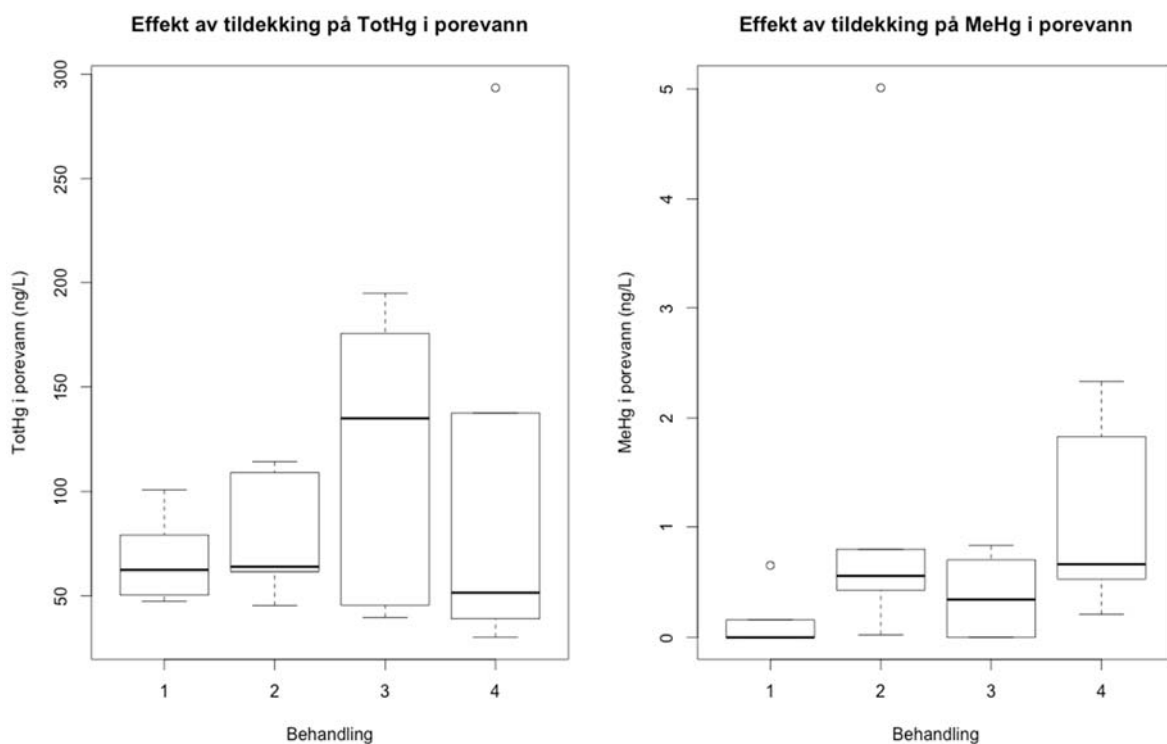
3.5 Primære effekter av tildekking på kvikksølv i sediment

3.5.1 TotHg og biotilgjengelig MeHg etter tildekking

Generelt ble de laveste gjennomsnittskonsentrasjonene av TotHg (ng/L) og MeHg (ng/L) for hvert felt (GM og GT) målt i rammene behandlet med AC pulver (Tabell 2). I feltet GM er TotHg (ng/L) omtrent lik for ubehandlede rammer som for rammer med AC pulver, men i GT viser AC pulver betydelig lavere konsentrasjoner av TotHg (ng/L) enn i ubehandlede rammer. MeHg (ng/L) er betydelig lavere for rammene med AC pulver enn for de ubehandlede rammene i begge felt. For AC granulat og kalkstein er ikke resultatene like entydige. I feltet GM er både TotHg og MeHg høyere for AC granulat enn for de ubehandlede rammene, mens for kalkstein er TotHg høyere og MeHg lavere enn ubehandlede rammer. I feltet GT er alle gjennomsnittlige konsentrasjoner for både TotHg og MeHg lavere enn i ubehandlede rammer. De observerte forskjellene mellom behandlingene er imidlertid ikke signifikante (Figur 13a-b), verken uten eller med normalisering til dekningsgrad, jfr. Kap. 3.4.

Tabell 2. Gjennomsnittlig konsentrasjon av TotHg og MeHg i porevann (ng/L) etter behandling med ulike tildekkingsmasser i to forskjellige felt (GM og GT) i Gunneklevfjorden. Prosent avvik fra gjennomsnittlig konsentrasjon for ubehandlet sediment er vist i parentes.

	TotHg (ng/L)				MeHg (ng/L)			
	AC pulver	AC granulat	Kalkstein	Ubehandlet	AC pulver	AC granulat	Kalkstein	Ubehandlet
GM	80,49 (+0,44 %)	95,64 (+19,33 %)	127,74 (+59,39 %)	80,14	0,001 (-99,89 %)	1,943 (+ 109 %)	0,024 (-97,37 %)	0,929
GT	48,89 (-59,55 %)	53,38 (-55,84 %)	114,08 (-5,62 %)	120,87	0,405 (-64,58 %)	0,495 (-56,71 %)	0,716 (-37,32 %)	1,14



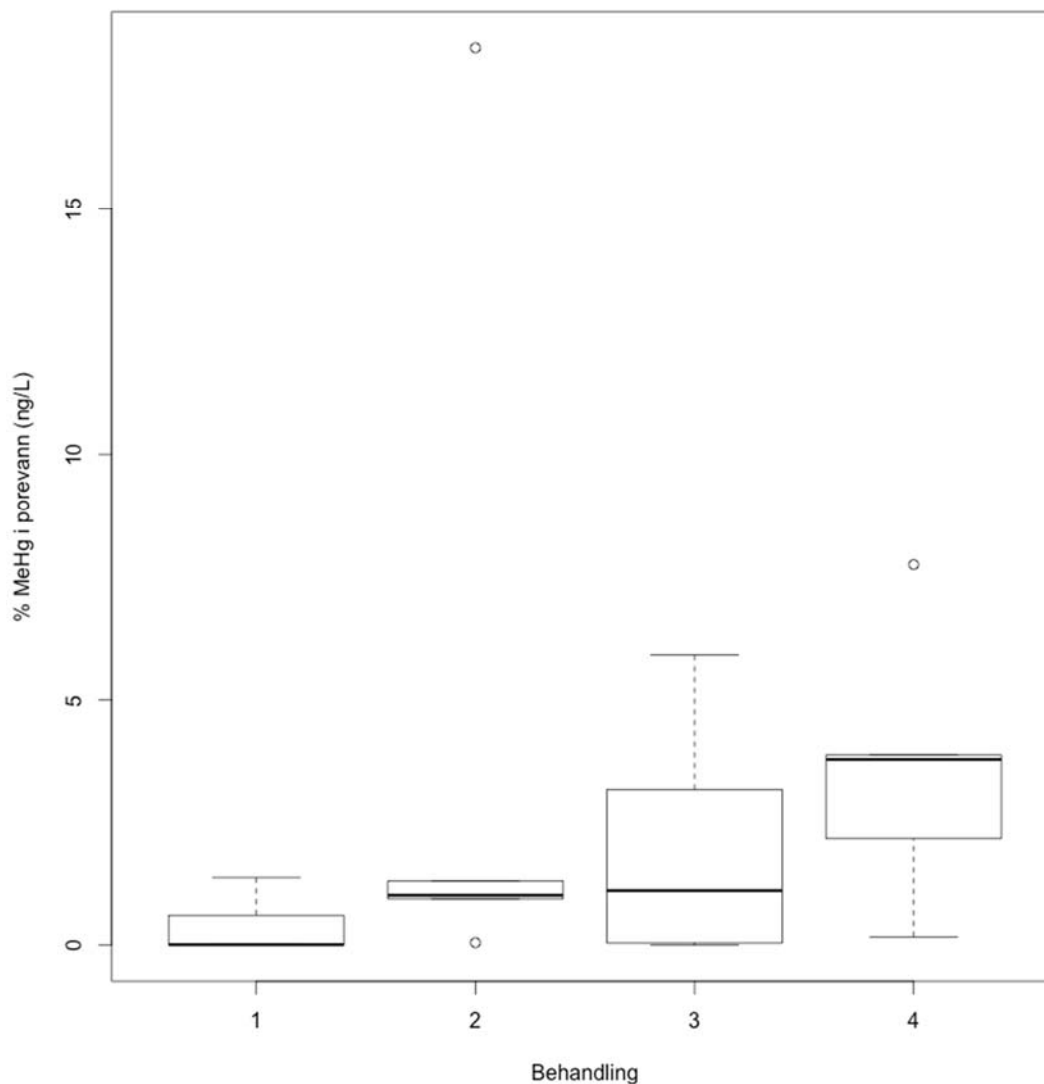
Figur 13a – b. Konsentrasjon av TotHg og MeHg (ng/L) i porevann etter ulike behandlinger i form av forskjellige tildekkingsmasser: 1: AC pulver, 2: AC granulat; 3: kalkstein; 4: ubehandlet. Fet sort strek viser median.

De laveste konsentrasjonene av MeHg ble funnet etter behandling med AC pulver og antyder en positiv effekt på biotilgjengelighet av Hg. AC granulat har ikke vist samme tendens, men det kan ikke utelukkes at tidsaspektet kan ha betydning for ulik respons for AC pulver og AC granulat. Selv om det ikke ble påvist signifikante forskjeller mellom behandlede rammer og ubehandlede rammer gir ikke forsøket grunnlag for å avvise at AC pulver har effekt på biotilgjengelighet av Hg.

3.5.2 Metyleringsrate (% MeHg) etter tildekking

For sammenligning av effekt på metyleringsrate benyttes % MeHg av TotHg som mål på metyleringsrate. Det ble ikke påvist signifikant forskjell mellom behandlingene, heller ikke når % MeHg ble normalisert til dekningsgrad, jfr. kapittel 3.4. Medianene for metyleringsratene i porevann etter de forskjellige behandlingene antyder imidlertid en effekt av tildekking der forholdet mellom metyleringsratene er som følger: AC pulver < AC granulat < kalkstein < ubehandlet (Figur 14).

Effekt av behandling på % MeHg i porevann, korrigert for dekningsgrad



Figur 14. Metyleringsrate vist som % MeHg i porevann etter ulike behandlinger i form av forskjellige tildekkingsmasser: 1: AC pulver, 2: AC granulat; 3: kalkstein; 4: ubehandlet.

4. Oppsummering

Forsøket gir ikke grunnlag for å anta at tildekking med aktivt kull i pulver eller i granulatform har innvirkning på lengdevekst eller dekningsgrad av undervannsvegetasjonen, men tildekking med kalkstein har gitt redusert dekningsgrad i forsøket i de første ukene etter tildekking. Det er kun gjennomført noen få studier på sekundære effekter av aktivt kull på undervannsvegetasjon, og påviste effekter har vært svært begrenset (Kupryianchyk et al., 2012, Beckingham et al., 2013). Resultatene har imidlertid ikke vært entydige, og har vist både redusert og stimulert lengdevekst hos planter (Beckingham et al., 2013, Lau et al., 2008). Det er spekulert i at effekter kan ha vært knyttet til fortynningseffekter eller endring i tetthet av sediment. Effekter som følge av endring i næringstilgang er diskutert men ikke fullt ut forstått. Det er rapportert om at tilsetning av aktivt kull til sediment kan redusere tilgjengelige næringsstoffer (Beckingham

et al., 2013), men samtidig er det også observert at tilsetning av aktivt kull til jord eller sediment kan øke tilgjengelig nitrogen gjennom interaksjon med bakterier (Lau et al., 2008, Berglund et al., 2004). Resultatene fra dette studiet er et bidrag til økt forståelse for sekundære effekter av tildekking med aktivt kull på undervannsvegetasjon, men det er fortsatt behov for mer kunnskap for å forstå hvilke faktorer som påvirker effektene, og hvilke virkninger aktivt kull kan ha på tilgjengelighet av næringsstoffer.

Feltforsøket ga ikke signifikant forskjell i porevannskonsentrasjonen av MeHg (ng/L) mellom behandlingene, men de laveste gjennomsnittlige konsentrasjonene av MeHg i porevann ble funnet etter behandling med aktivt kull i pulverform, og disse var til dels betydelig lavere enn i ubehandlet sediment. Tidligere studier av AC pulver og AC granulater har vist forskjellig responstid avhengig av kornstørrelse, noe som kan bidra til å forklare variasjoner i resultatene (Zimmermann et al., 2005, Lehmann et al., 2011). Det bør også bemerkes at det er usikkerhet knyttet til sammenligningen av porevannskonsentrasjoner etter behandling med ubehandlet sediment istedenfor med porevannskonsentrasjon før behandling for hver enkelt ramme, siden det kan ha vært variasjoner i utgangskonsentrasjonene. Dette er tydeliggjort ved den relativt store variasjonen mellom de ubehandlede rammene, både for TotHg (30,11 – 293,46 ng/L) og MeHg (0,21 – 2,33 ng/L).

Det ble ikke vist signifikant forskjell i metyleringsrate (% MeHg). Medianene for metyleringsratene i porevann etter de forskjellige behandlingene antyder imidlertid en effekt av tildekking der metyleringsratene er som følger: AC pulver < AC granulater < kalkstein < ubehandlet.

Effekt av aktivt kull på utlekking av kvikksølv fra sediment fra Gunneklevfjorden er undersøkt i mesokosmer på Solbergstrand (Schaanning et al., 2014). Utlekking av TotHg og MeHg til overliggende vann ble målt før og etter tildekking, og det ble funnet redusert utlekking for både TotHg og MeHg etter tildekking. Aktivt kull i pulverform reduserte utlekkingen av TotHg og MeHg med henholdsvis 66,4 % og 87,1 %, mens aktivt kull i granulatform reduserte utlekkingen med henholdsvis 24,8 % og 18,4 %. Siden forsøket på Solbergstrand målte utlekking av kvikksølv til vann over sedimentet mens feltforsøket i Gunneklevfjorden målte tilgjengelig MeHg i porevann, er ikke resultatene direkte sammenlignbare. Resultatene fra feltforsøket utelukker imidlertid ikke den positive effekten av aktivt kull på biotilgjengelighet av kvikksølv som ble påvist i mesokosm-forsøket, selv om det ikke er funnet signifikante forskjeller for MeHg eller % MeHg mellom behandlingene i feltforsøket.

5. Referanser

- BECKINGHAM, B., BUYS, D., VANDEWALKER, H. & GHOSH, U. 2013. Observations of limited secondary effects to benthic invertebrates and macrophytes with activated carbon amendment in river sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32, 1504-1515.
- BERGLUND, L., DELUCA, T. & ZACKRISSON, O. 2004. Activated carbon amendments to soil alters nitrification rates in Scots pine forests. *Soil Biol. Biochem.*, 36, 2067-2073.
- JAKOB, L., HARTNIK, T., HENRIKSEN, T., ELMQUIST, M., BRÄNDLI, R. C., HALE, S. E. & CORNELISSEN, G. 2012. PAH-sequestration capacity of granular and powder activated carbon amendments in soil, and their effects on earthworms and plants. *Chemosphere*, 88, 699-705.
- JANSSEN, E. M. L. & BECKINGHAM, B. A. 2013. Biological Responses to Activated Carbon Amendments in Sediment Remediation. *Environmental Science & Technology*, 47, 7595-7607.
- KUPRYIANCHYK, D., PEETERS, E. T. H. M., RAKOWSKA, M. I., REICHMAN, E. P., GROTENHUIS, J. T. C. & KOELMANS, A. A. 2012. Long-Term Recovery of Benthic Communities in Sediments Amended with Activated Carbon. *Environmental Science & Technology*, 46, 10735-10742.
- LAU, J. A., PULIAFICO, K. P., KOPSHEVER, J. A., STELTZER, H., JARVIS, E. P., SCHWARZLÄNDER, M., STRAUSS, S. Y. & HUFBAUER, R. A. 2008. Inference of allelopathy is complicated by effects of activated carbon on plant growth. *New Phytologist*, 178, 412-423.
- LEHMANN, J., RILLIG, M., THIES, J., MASIELLO, C., HACKADAY, W. & CROWLEY, D. 2011. Biochar effects on soil biota - A review. *Soil Biol. Biochem.*, 43, 1812-1836.
- MJELDE, M. 2015. Vannvegetasjon i brakkvann, med spesiell vekt på Gunneklevfjorden i Telemark. Delrapport fra aktivitet 2a, Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden.
- OLSEN, M. 2014. Naturtyper i Gunneklevfjorden. Delrapport fra aktivitet 1, Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden.: NIVA.
- SCHAANNING, M., OLSEN, M. & NDUNGU, K. 2014. Biotilgjengelighet av kvikksølv og dioksiner i sediment og effekter av behandling med aktivt kull. Beslutningsgrunnlag og tiltaksplan for forurensede sedimenter i Gunneklevfjorden. Delrapport fra aktivitet 4. NIVA rapport 6795-2015.: NIVA.
- ZIMMERMANN, J., WERNER, D., GHOSH, U., MILWARD, R., BRIDGES, T. & LUTHY, R. 2005. Effects of dose and particle size on activated carbon treatment to sequester polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in marine sediments. *Environ. Toxicol. Chem.*, 24, 1594-1601.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no