



Fylkesmannen i
Telemark

RAPPORT 1/2012

På vei mot rein fjord i Grenland

Sluttrapport fra Prosjekt BEST



Miljøvernavingdelinga

RAPPORT

Rapportnr. 2012-1

På vei mot rein fjord i Grenland

Dato:	Mars 2012
ISBN nr:	82-90959-21-4
Tilgang:	Åpen
Forfatter:	Marianne Olsen
Prosjektutarbeidelse:	Fylkesmannen i Telemark, Miljøvernavdelingen
Antall sider:	77
Opplag:	50 + internett

Kort sammendrag

Denne rapporten oppsummerer Fylkesmannens prosjekt BEST (Beslutningsgrunnlag for tynnsjikttildekking som tiltaksmetode) som har pågått i perioden 2007-2012. Formålet med prosjektet BEST har vært å framskaffe et beslutningsgrunnlag om tynnsjikttildekking er en egnet tiltaksmetode for forurenset sjøbunn i Grenland, og å gi en anbefaling fra Fylkesmannen til Klima- og forurensningsdirektoratet. Et omfattende kunnskapsgrunnlag er framskaffet gjennom prosjektet, med vesentlige bidrag fra prosjektene Thinc (NIVA) og Opticap (NGI). Fylkesmannen anbefaler å gå videre i beslutningsprosessen med sikte på å dekke til de mest forurenkede områdene i Grenlandsfjordene. Tiden er inne til å ta et aktivt valg mellom overvåket naturlig forbedring eller gjennomføring av tiltak i form av tynnsjikttildekking. Vår vurdering er at tynnsjikttildekking kan være egnet som tiltaksmetode og at tiltaket kan være samfunnsøkonomisk lønnsomt. For å redusere usikkerhet i beslutningsgrunnlaget anbefaler vi å inkludere resultater fra forlenget overvåkning av felttesten, og å vurdere konkrete tiltaksløsninger i forhold til beslutningskriteriene.

EMNEORD NORSK

- Grenland
- fjorder
- forurenset sediment
- tynnsjikttildekking
- tiltak

KEYWORDS ENGLISH

- Grenland
- fjords
- contaminated sediments
- thin layer capping
- remediation

Marianne Olsen
Prosjektleder

Morten Johannessen
Avdelingsdirektør

Arne Malme
Assisterende fylkesmann

På vei mot rein fjord i Grenland

Sluttrapport fra prosjekt BEST

Beslutningsgrunnlag for tynnsjikttildekking som tiltaksmetode

2007-2012

Forord

Denne rapporten er resultatet av Fylkesmannens arbeid i prosjekt BEST, gjennomført på oppdrag fra Klima- og forurensingsdirektoratet (Klif). Prosjektet har vært finansiert av Klif. Prosjektet har framlagt kunnskap og erfaringer om tildekking av forurenset sjøbunn med tynne sjikt av rene masser. Arbeidet har vært nært knyttet til aktivitetene i prosjektene Thinc (NIVA) som Norsk Hydro har finansiert, og Opticap (NGI) som har vært finansiert av Norges forskningsråd sammen med Klif, prosjektpartnerne Norsk avfallshåndtering (NOAH), Agder Marine, Secora, Hustadmarmor og Norsk Hydro. Morten Thorne Schaanning (NIVA) har vært prosjektleder for Thinc og Espen Eek (NIVA) for Opticap. Prosjekt BEST har koordinert sin aktivitet med Thinc og Opticap. Prosjektleder for BEST har vært Marianne Olsen ved miljøvernavdelinga hos Fylkesmannen i Telemark.

De mest sentrale fagpersonene i arbeidet med å framskaffe kunnskapsgrunnlaget for prosjektet har vært:

NIVA: Morten Thorne Schaanning, Kristoffer Næs, Tuomo Saloranta, Ian Allan, Jarle Molvær, Trine Bekkby, Hans C. Nilsson, Bjørnar A. Beylich
NGI: Espen Eek, Magnus Sparrevik, Gerard Cornelissen
Høgskolen i Telemark: Espen Lydersen
Det Norske Veritas: Gjermund Gravir

Mange andre fagpersoner både ved de nevnte faginstituttene og andre samarbeidende institutter har bidratt til at kunnskapsgrunnlaget er bredt og omfattende.

Sverre Olav Lie har vært sentral som representant for Norsk Hydro og Kai Thorsen Dalene har fulgt prosjektet fra Langesund fiskerlag. Langesund fiskerlag har vist stor interesse og vilje til samarbeid i prosjektperioden. Jens Laugesen fra Det Norske Veritas har bidratt i faglige diskusjoner i koordineringsgruppen og som ordstyrer ved Fjordforum. En rekke representanter fra andre virksomheter og interessegrupper har bidratt i diskusjoner om prosjektet, og fulgt prosjektet enten i referansegruppen eller ved deltagelse i Fjordforum. Avdelingsdirektør Morten Johannessen har medvirket i arbeidet med forurenset sjøbunn i Grenland siden begynnelsen og har sikret en historisk forankring av arbeidet. Han har vært hovedansvarlig for formulering av Fylkesmannens anbefaling. Hilde Beate Keilen har vært prosjektets kontaktperson hos oppdragsgiver Klif, og prosjektleders nærmeste diskusjonspartner.

Alle takkes for innsatsen!

Skien, 1.3.2012

Marianne Olsen

Innhold

Sammendrag.....	6
1 Innledning.....	7
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Formål	9
1.3 Målsetninger.....	10
2 Organisering	10
3 Aktiviteter og utredninger	13
4 Gjennomføring og resultater	16
4.1 BEST	16
4.1.1 Kilder og tilførsler fra land.....	16
4.1.2 Miljøgiftkonsentrasjon i sediment.....	17
4.1.3 Miljøgiftkonsentrasjon i suspendert partikulært materiale.....	19
4.1.4 Strømningsmønster.....	21
4.1.5 Bunnsubstrat og topografi	23
4.1.6 Naturtyper.....	28
4.1.7 Forekomst av biologiske ressurser	30
4.1.8 Scenarier.....	30
4.1.9 Miljøregnskap (LCA).....	34
4.1.10 Kunnskapskart.....	35
4.2 Norsk Hydros utredningsarbeid	37
4.2.1 Kalibrering og usikkerhetsanalyse av modell for simulering av dioksindynamikken i Grenlandsfjordene – Sedflex	37
4.2.2 Tykkelse på aktivt overflatelag	38
4.2.3 Overvåket naturlig forbedring – dioksin i sedimentene	39
4.2.4 Transport av dioksin over Breviksterskelen.....	41
4.3 Tynnsjikttildekking (Opticap og Thinc).....	42
4.4 Thinc: sedimentoppvirvling under reketråling.....	50
4.5 Skipsverft, industri- og trafikkhavner	51
5 Sammenstilling av beslutningsgrunnlag.....	53
5.1 Effekt	53
5.2 Konsekvens	59
5.3 Nytte	61
5.4 Kostnad.....	64
5.5 Konklusjon og diskusjon.....	66
5.6 Forslag til beslutningsprosess for valg av tiltaksløsning.....	67
6 Oppsummering og anbefaling fra Fylkesmannen	70
7 Referanser.....	74
Vedlegg 1 Delrapporter BEST	77

Sammendrag

Fylkesmannen i Telemark har siden 2003 arbeidet på oppdrag fra Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) med helhetlig tiltaksplan i Grenlandsfjordene. Grenlandsfjordene er et av de prioriterte områdene i regjeringens handlingsplan for forurenset sjøbunn jf. St. meld. nr. 14, 2006-2007. Fjordene i Grenland har høye nivåer av flere miljøgifter i sjøbunnen, og nivåene av dioksiner og furaner i fisk og skalldyr har ført til at Mattilsynet har innført kostholdsråd.

Denne rapporten oppsummerer Fylkesmannens prosjekt BEST (Beslutningsgrunnlag for tynnsjikttildekking som tiltaksmetode) som har pågått i perioden 2007-2011. Prosjektet utgjør fase 3 av arbeidet med helhetlig tiltaksplan. Formålet med prosjektet BEST har vært å fremskaffe et beslutningsgrunnlag om tynnsjikttildekking som tiltaksmetode i Grenland, og å gi en anbefaling fra Fylkesmannen til Klif om metodens egnethet i Grenland.

Kunnskapsgrunnlaget som prosjektet har fremskaffet bygger på resultater fra Fase 1 der eksisterende data ble samlet inn og Fase 2 der det ble gjort supplerende undersøkelser, sammen med de tiltaksforberedende undersøkelsene i Fase 3. I tillegg er det lagt til grunn resultater fra andre relevante prosjekter som presenteres i rapporten. Det er spesielt prosjektene Thinc (NIVA) og Opticap (NGI) som har bidratt med vesentlig kunnskap om tynnsjikttildekking fra studier i laboratorium, fra boksforsøk og fra felttest med i Eidangerfjorden og Ormefjorden.

Det er gjennomført omfattende studier for å forstå effekt av tynnsjikttildekking ved bruk av ulike typer av tildekkingsmasser, og hvilke konsekvenser tildekking kan ha for livet på sjøbunnen. Kunnskapsgrunnlaget er strukturert i forhold til de fire beslutningskriteriene effekt, konsekvens, nytte og kostnad. Fylkesmannen har vurdert kunnskapsgrunnlaget i forhold til hvilket kunnskapsnivå som er oppnådd, hvilken kvalitet og sikkerhet som ligger i datagrunnlaget og om foreliggende kunnskap taler for eller imot tynnsjikttildekking i Grenland. Det er ikke gjort noen vektning av beslutningskriteriene i forhold til hverandre.

Det er Fylkesmannens vurdering at kunnskapsnivået generelt sett er langt på vei tilfredsstillende, og kvaliteten er moderat god. Selv om det er forhold som taler for bruk av metoden er det likevel noe usikkerhet om beslutningsgrunnlaget samlet sett gir støtte til tynnsjikttildekking som tiltaksmetode i Grenland. Usikkerheter knyttet til varighet av effekt og konsekvens kan reduseres ved å forlenge overvåkingen av tildekkingsforsøket i Eidangerfjorden og Ormefjorden. Usikkerheter knyttet til nytte vil reduseres når økt kunnskap om varighet av effekt sammen med spesifisering av konkrete tiltaksalternativ gir grunnlag for nye simuleringer av utvikling over tid med og uten tiltak. Større sikkerhet for kostnader må bygge på konkrete tiltaksalternativ der masstype, tildekkingstykkelse og tiltaksareal er definert.

Fylkesmannen anbefaler å gå videre i beslutningsprosessen med sikte på å dekke til de mest forurensede områdene i Grenlandsfjordene. Vår vurdering er at tynnsjikttildekking kan være egnet som tiltaksmetode og at tiltaket kan være samfunnsøkonomisk lønnsomt. For å redusere usikkerhet i beslutningsgrunnlaget anbefaler vi å inkludere resultater fra forlenget overvåking av felttesten, og å vurdere konkrete tiltaksløsninger i forhold til beslutningskriteriene.

1 Innledning

Denne rapporten oppsummerer Fylkesmannens prosjekt BEST (Beslutningsgrunnlag for tynnsjikttildekking som tiltaksmetode) som har pågått i perioden 2007-2011. Prosjektet gir innspill til arbeidet med helhetlig tiltaksplan for forurenset sjøbunn i Grenland.

Beslutningsgrunnlaget som prosjektet har fremskaffet omfatter resultater fra Fase 1 der eksisterende data ble samlet inn, Fase 2 der det ble gjort supplerende undersøkelser og Fase 3 med tiltaksforberedende undersøkelser. I tillegg er det lagt til grunn resultater fra andre relevante prosjekter og de mest sentrale resultatene fra disse som presenteres i rapporten. Fylkesmannen gir sin anbefaling til Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) om videre arbeid med forurenset sjøbunn i Grenland, basert på en vurdering av kunnskapen som er sammenstilt.

1.1 Bakgrunn

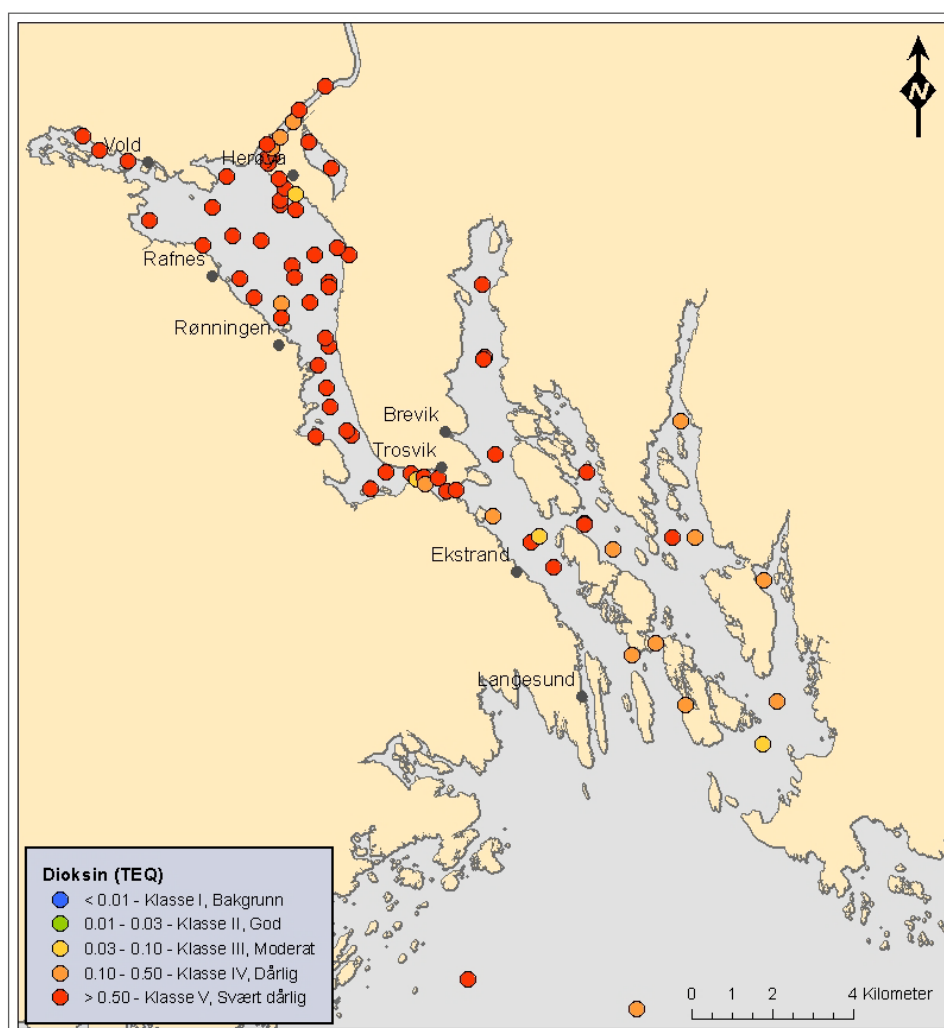
Grenlandsfjordene har høye nivåer av flere organiske miljøgifter og kvikksølv i sjøbunnen, og nivåene av dioksiner i fisk og skalldyr har ført til at Mattilsynet har innført kostholdsråd. Gjennom årlige undersøkelser overvåkes utviklingen i fisk og skalldyr. Dioksiner i torskelever fra Frierfjorden har ikke vist systematisk endring etter 2002. Dioksiner i krabbesmør i Frierfjorden har vist en nedadgående trend siden 1988. I Langesundsfjorden ligger dioksinnivåene for de fleste arter lavere enn det som er funnet i Frierfjorden, men nivåene har endret seg lite over de siste 10 - 15 årene. Forskjellene mellom de to fjordområdene begynner å bli liten. For blåskjell fra Helgeroa og Klockartangen, samt for krabbe (skallinnmat) fra Jomfruland, har det vært liten endring i dioksinnivået de siste 7 år (Ruus m.fl., 2011).

Grenlandsfjordene er et av de prioriterte områdene i det landsomfattende arbeidet med forurenset sjøbunn jf. St. meld. nr. 14, 2006-2007. Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) har det koordinerende ansvaret for utarbeidelse og iverksetting av helhetlige tiltaksplaner i de prioriterte områdene, og Fylkesmannen i Telemark har siden 2003 arbeidet på oppdrag fra Klif med en helhetlig tiltaksplan for Grenlandsfjordene. Fylkesmannens arbeid har gjennomgått flere faser, harmonisert med Klifs overordnede plan for de prioriterte områdene.

I **Fase 1** (2003-2004) ble eksisterende data på miljøgifter i bunnsedimenter i Grenlandsfjordene sammenstilt, og det ble fremskaffet oversikt over bidrag av miljøgifter fra kilder og tilførsler i nedbørfeltet. Målet var å peke ut høyrisikoområder og områder med behov for videre kartlegging. Grunnområdene utenfor flere av de store kaiene i Frierfjorden og Eidangerfjorden ble vurdert som potensielle høyrisikoområder, med behov for supplerende informasjon for noen av disse. Det ble identifisert mangelfull kunnskap om tilførsler fra deponier og forurenset grunn, direkte til sjø og via hovedvassdraget, samt overflateavrenning fra byene Porsgrunn og Skien. Dioksiner og furaner ble pekt på som de gruppene av miljøgifter som det knytter seg størst utfordringer til, både fordi kostholdsråd er begrunnet med konsentrasjonene av disse miljøgiftene i fisk og skalldyr, og fordi høye konsentrasjoner er funnet i sedimentet over det meste av fjordområdet. Supplerende undersøkelser ble foreslått for å vurdere behovet for og nytten av tiltak, for å kunne avgrense mulige tiltaksområder og for å bedre grunnlaget for en risikovurdering.

Dioksiner brukes i denne rapporten som en samlebetegnelse for de klorerte forbindelsene i gruppene dioksiner og furaner. Som regel angis konsentrasjonen av disse forbindelsene som TE eller TEQ (Toxic Equivalent), basert på en omregning i forhold til relativ giftighet av forbindelsene.

Figur 1 viser en samlet oversikt over steder der det gjennom tidene er tatt prøver av sedimentet og analysert for dioksin. Konsentrasjonen av dioksin gir grunnlag for å klassifisere tilstanden i sedimentet etter Klifs klassifiseringsveileder TA 2229/2007, og fargene i figuren angir hvilken tilstand sedimentet har. Over det meste av fjordarealet er tilstanden svært dårlig med hensyn på dioksiner. Dette fremgår av fargen på prikkene i figuren, der rødt tilsvarer svært dårlig tilstand.



Figur 1. Dioksinkonsentrasjoner ($\mu\text{g TEQ/kg}$) målt i sedimentet i fjordene i Grenland, klassifisert etter Klifs tilstandsklasser (TA 2229/2007). Fargene på prikkene angir forurensningstilstand.

Arbeidet ble videreført i **Fase 2** (2005-2006) i form av prosjekt Rein fjord, der behovet for og mulighetene til å gjennomføre tiltak ble vurdert. Utredningene i Rein fjord omhandlet dioksinsituasjonen spesielt. En risikovurdering viste overskridelse av grenseverdier for miljørisiko i alle fjordavsnitt der det forelå dioksinanalyser, og at over 75 % av

overskridelsene skyldtes dioksin sammenlignet med polyklorerte bifenyler (PCB), polyaromatiske hydrokarboner (PAH) og tributyltinn (TBT). Sentralt i arbeidet videre stod simulering av utviklingen av dioksinkonsentrasjoner i sediment og i fisk og skalldyr med og uten tiltak. Konklusjonen var at det må gjøres omfattende tiltak over store arealer for å kunne påvirke dioksinkonsentrasjonene i fisk og skalldyr på bestandsnivå. Imidlertid var usikkerhetene knyttet til både kostnader, nytteverdi og miljømessig virkning så store at igangsetting av fullskala oppryddingsprosjekt ikke kunne anbefales. Fylkesmannen anbefalte isteden en trinnvis tilnærming til tiltak, med utprøving av tildekking i et begrenset område for å vinne erfaringer og utvikle gode metoder. Egnede massetyper for tildekking, tildekkingstykkelse, utleggingsløsninger og virkning i miljøet lokalt, ble beskrevet som sentrale tema for videre utredning.

Anbefalingene fra Fylkesmannen og påfølgende diskusjoner mellom myndigheter og Norsk Hydro dannet grunnlaget for å utrede tynnsjikttildekking som tiltaksløsning i Grenland. Tildekking er en tiltaksmetode som kan være egnet for å redusere miljøgiftkonsentrasjoner i partikler og porevann i overflatesediment der bunnlevende dyr oppholder seg, og slik reduserer risiko for miljøgiftopptak i organismer. Tiltak kan være aktuelt der nytt sedimenterende materiale på sjøbunnen ikke er forurensset, men der gravende organismer i sjøbunnen bidrar til å opprettholde høye miljøgiftkonsentrasjoner i øvre lag av sedimentet ved å bringe forurensede partikler fra dypere liggende lag opp til overflaten. I forhold til tradisjonelle tiltaksmetoder som mudring og isolerende tildekking med flere titalls centimeter tykke lag tildekkingsmasse, vil tynnsjikttildekking kunne redusere kostnadene vesentlig. I tillegg er det vist i tidligere studier at jo større mengde ny masse som legges på sjøbunnen, jo større kan konsekvensene for miljøet bli. De uønskede konsekvensene av tiltak betyr mer jo større tiltaksområdet er, og i så måte kan tynnsjikttildekking være en mer egnet tiltaksmetode for store arealer enn isolerende tildekking.

Fylkesmannens arbeid ble videreført i **Fase 3** (2007-2011) med etablering av prosjekt BEST (Beslutningsgrunnlag for tiltaksmetode tynnsjikttildekking), for å utrede mulighetene for å dekke til med tynne sjikt i Grenlandsfjordene. Parallelt igangsatte Norsk Hydro prosjektet Thinc med Norsk institutt for vannforskning (NIVA) som utøvende faginstitut, og Norges geotekniske institutt (NGI) startet prosjektet Opticap med finansiering fra Norges forskningsråd (NFR) og partnerne Hustadmarmor, Secora, Agder Marine, NOAH og Klif. Det har vært flere eksterne aktiviteter som har bidratt til etablering av beslutningsgrunnlaget i prosjekt BEST, men Thinc og Opticap nevnes spesielt fordi de har vært svært sentrale leverandører av kunnskap. Fylkesmannen har koordinert sin aktivitet med disse prosjektene.

1.2 Formål

Formålet med prosjektet BEST har vært å fremskaffe et beslutningsgrunnlag om tynnsjikttildekking som tiltaksmetode i Grenland, og å gi en anbefaling fra Fylkesmannen til Klif om metodens egnethet i Grenland.

Gunnkleivfjorden er ikke vurdert i denne sammenheng. Fjorden ligger relativt isolert fra Frierfjorden med et smalt sund i nord-vest og en kanal i sør-øst. Den har lav saltholdighet med organismer som er mer typisk for ferskvann og brakkevann, og det er usikkert i hvor stor grad den er en del av næringsnettet i Frierfjorden.

1.3 Målsetninger

Målsetningene i prosjektet har vært å

- Vurdere metodens egnethet gjennom praktisk utprøving av tynnsjikttildekking
- Få forståelse for hvilke positive effekter og negative konsekvenser som kan forventes av tynnsjikttildekking i et stort fjordsystem
- Få forståelse for hvilke faktorer som kan påvirke tiltakets effektivitet
- Foreslå en prosess for beslutning om tiltak
- Gi en anbefaling om tynnsjikttildekking egner seg som tiltak i Grenland og om mulig foreslå en videre prosess

2 Organisering

Organiseringen av alle tre faser av arbeidet med forurenset sjøbunn er omtalt nedenfor. Organiseringen har vært omfattende og involvert mange parter; industri, ulike statlige og kommunale myndighetsnivåer, NGOer med mer. Spesielt i Fase 2 og 3 har det vært lagt vekt på å involvere berørte parter i saken og å holde en åpen dialog om aktiviteter og resultater.

Fase 1

Arbeidet i Fase 1 ble gjennomført av NIVA på oppdrag fra Fylkesmannen i Telemark. Prosjektleder hos NIVA var Aud Helland. Berørte parter var ikke formelt knyttet til prosjektet, men både kommuner og virksomheter bidro med relevant informasjon. Arbeidet ble i sin helhet finansiert av Klif (den gang SFT).

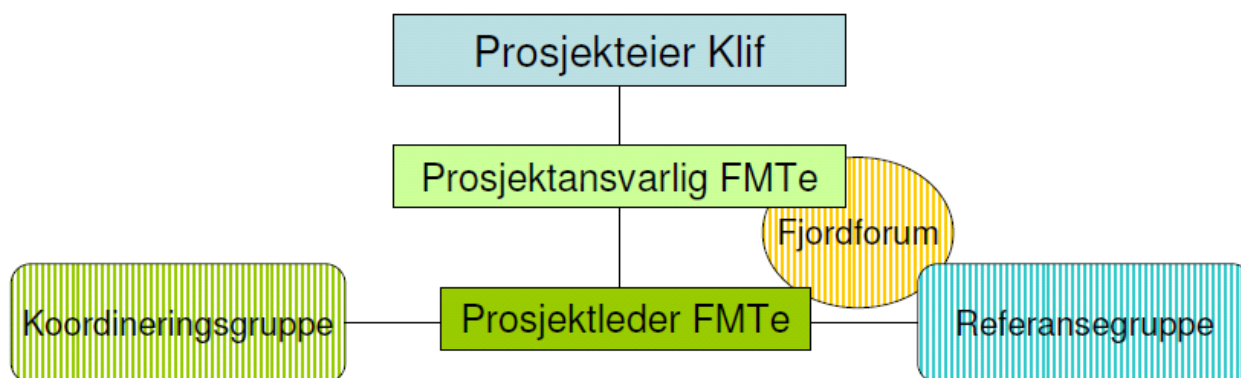
Fase 2 – Prosjekt Rein fjord

Fase 2 ble organisert som et avgrenset prosjekt der Fylkesmannen hadde prosjektansvar og ivaretok prosjektledelsen med ansvar for å koordinere arbeidet, sikre framdrift og rapportere til Klif (SFT). Det ble etablert en referansegruppe for prosjektet bestående av berørte kommuner, havnevesen, industrivirksomheter langs fjordene og interessegrupper, totalt 13 personer. I tillegg ble det etablert en faggruppe satt sammen av representanter fra hovedleverandørene til prosjektet; Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Norges geotekniske institutt (NGI) og Universitetet for miljø og biovitenskap (UMB), for å sikre god koordinering mellom aktivitetene i prosjektet.

Arbeidet ble finansiert av Klif med bidrag fra industrivirksomhetene langs fjorden og kommunene.

Fase 3 – Prosjekt BEST

Fase 3 ble organisert som et nytt prosjekt, prosjekt BEST, med langt på vei samme form som Fase 2, se Figur 2.



Figur 2. Organisering av prosjekt BEST – Beslutningsgrunnlag for tiltaksmetode tynnsjikttildekking.

En koordineringsgruppe ble etablert for å koordinere aktivitetene i BEST med aktivitetene i prosjektene Thinc (NIVA) og Opticap (NGI). For å sikre god koordinering med Opticap valgte Klif å gå inn som partner i dette prosjektet, i tillegg til å delfinansiere en felttest med prøvetildekking i Grenlandsfjordene sammen med Norsk Hydro. Prøvetildekkingen ble gjennomført av Opticap og koordinert med aktivitetene i Thinc.

Koordineringsgruppen har bestått av faste representanter fra prosjektene, samt en fagperson utenfor de involverte prosjektene (Tabell 1). Gruppen har trukket inn ressurspersoner fra de pågående aktivitetene etter behov.

Tabell 1. Faste deltagere i koordineringsgruppa for prosjekt BEST - Beslutningsgrunnlag for tiltaksmetode tynnsjikttildekking.

Marianne Olsen	FMTe – Prosjektleder BEST
Morten Schaanning	NIVA – Prosjektleder Thinc
Espen Eek	NGI – Prosjektleder Opticap
Sverre O. Lie	Norsk Hydro – Prosjekteier Thinc
Jens Laugesen	DNV* – Fagperson utenfor de involverte prosjektene

* Det norske Veritas

Prosjektet har hatt en referansegruppe bestående av industrivirksomheter, havnevesen, kommuner og fiskerinæringen (Tabell 2).

Tabell 2. Inviterte til referansegruppemøter i prosjekt BEST - Beslutningsgrunnlag for tiltaksmetode tynnsjikttildekking.

Eramet Norway AS	Bernt Jarle Dolmen
Grenland Group AS	Truls Borgersen
Grenland havn IKS	Finn Flogstad
Grenland havn IKS	Sten Ulrik Heines
Hansen & Arntzen Co AS	Allan Arntzen
Hansen & Arntzen Co AS	Geir Arntzen
Ineos Norge AS	Harald Meløy
Kragerø kommune	Elke Karlsen
Kragerø utvikling AS	Harald Nilsen
KS Vestsiden eiendom	Svein Moldvær
Langesund fiskerlag	Kai Thorsen Dalene
Langesund fiskerlag	Ronny Nilsen

NHO	Nikolai Boye
Nils Edw. Larsen AS - Ekstrand verksted	Bent Ninnis Larsen
Norcem AS	Jorunn Gundersen
Norcem AS	Liv Hatlevik
Norsk Hydro ASA	Sverre O. Lie
Porsgrunn kommune	Terje Nygaard
Porsgrunn kommune	Tone Skau Jonassen
Skien kommune	Eigil Movik
STX Norway Offshore AS	Jan Brønsten
STX Norway Offshore AS	Toril Schjelderup

For å sikre informasjonsflyt og åpen dialog med andre interessenter har Fylkesmannen en til to ganger årlig invitert til et åpent heldagsmøte under navnet Fjordforum. Disse møtene har fungert som en møteplass mellom myndigheter og forvaltning, interessegrupper, virksomheter, forskere og konsulenter. I tillegg har prosjektet benyttet en egen prosjektside ("Rein fjord") på Fylkesmannens hjemmeside til å informere om milepæler i prosjektet, og det er etablert en Facebookside for prosjektet. Det har vært jevnlig oppslag i lokal og regional presse om aktivitetene i prosjektet.

Prosjekt BEST har vært finansiert av Klif.

3 Aktiviteter og utredninger

Arbeidet i **Fase 1** omfattet:

- Gjennomgang av eksisterende forurensningsdata
- Kildesporing i form av oversikt over kjente utslipp og tilførsler til fjorden
- Prioritering av delområder for eventuelt videre undersøkelser

Arbeidet fra Fase 1 er rapportert i *Tiltaksplan for forurensede sedimenter i Telemark. Fase 1 – Miljøtilstand, kilder og prioriteringer. Revisjon 2.* (Helland m.fl., 2004)).

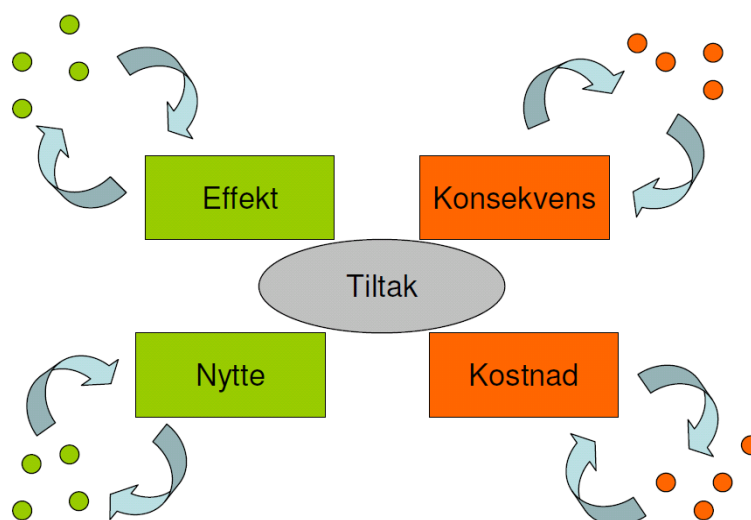
I **Fase 2** igangsatte prosjekt Rein fjord en rekke utredninger utført av forskjellige leverandører. Tabell 3 gir en kort oversikt over utredninger gjennomført i Fase 2. Aktivitetene er i tabellen gruppert i forhold til de *effekt, konsekvens, nytte og kostnad* som utgjør strukturen i beslutningsgrunnlaget i Fase 3, se nedenfor. Arbeidet fra Fase 2 er rapportert i *Fylkesmannens rapport 2006-1; Prosjekt Rein fjord. Tiltaksplan for forurenset sjøbunn i Telemark – Fase 2, rev-01* (Olsen, 2006).

Tabell 3. Oversikt over utredninger gjennomført i Fase 2 av arbeidet med helhetlig tiltaksplan for forurenset sjøbunn i Telemark.

	Utredning	Utførende
Effekt	Sedimentundersøkelser i ytre fjord	NIVA
	Avrenning fra urbane tette flater ved undersøkelser av sandfang i Porsgrunn kommune	NGI
Konsekvens	Miljøriskovurdering trinn1, 2 og 3	NIVA
Nytte	Modellert utvikling av miljøgiftbelastningen i fisk og skalldyr ved hjelp av verktøyet Sedflex	NIVA
	Simulering av alternative tiltaksløsninger og effekten av disse på fisk og skalldyr ved hjelp av verktøyet Sedflex	NIVA
	Betalingsvillighetsstudie	
	Nytte-kostnadsanalyse	UMB*
Kostnad	Alternative tildekkingsmasser og tilgjengelige forekomster	FMTe/NGI

* Universitetet for miljø- og biovitenskap

I **Fase 3** har prosjekt BEST igangsatt delutredninger for å komplettere beslutningsgrunnlaget slik det forelå etter Fase 2, og for å supplere aktivitetene i Thinc og Opticap. Beslutningsgrunnlaget har blitt strukturert i fire elementer; *effekt, konsekvens, nytte og kostnad*. Dette er illustrert i figur 3.



Figur 3. Beslutningsgrunnlag om tynnsjikttildekking som tiltak mot forurenset sjøbunn er basert på kunnskap om effekt, nytte, konsekvens og kostnad av tiltak og hvilke faktorer som har innvirkning på disse fire elementene

Effekt representerer den ønskede virkningen av tiltak i form av redusert utlekking av miljøgifter og redusert opptak i organismer. Konsekvens omfatter de eventuelle negative sidene for miljøet som følger av tiltaksgjennomføringen. Nytte beskriver den positive virkningen av tiltak ved at sediment, fisk og skalldyr har lavere miljøgiftkonsentrasjoner. Kostnadene er de faktiske utgiftene forbundet med gjennomføring av tiltak. Det har vært ønskelig å etablere et beslutningsgrunnlag med høyt kunnskapsnivå som gir god forståelse for alle de fire elementene, og for hvilke faktorer som har innvirkning på disse.

Tabell 4 viser utredningene som er igangsatt innenfor prosjekt BEST for å styrke beslutningsgrunnlaget om tynnsjikttildekking i Grenland.

Tabell 4. Utredninger igangsatt innenfor prosjekt BEST (2007-2011)

	Utredning/aktivitet	Utøvende
Effekt	Kilder og tilførsler fra land; revisjon av Fase 1	HiT*
	Miljøgiftkonsentrasjoner i sediment	NIVA
	Miljøgiftkonsentrasjon i suspendert partikulært materiale	NIVA
	Strømsituasjonen i fjorden	NIVA
	Bunnssubstrat og topografi	NIVA
Konsekvens	Forekomst av ulike naturtyper	NIVA og HI**
	Tilstedeværelse av biologiske ressurser	FMTe og HI
Nytte	Scenarier; utvikling av miljøgiftbelastning i fisk og skalldyr	NIVA
	Miljøregnskap (LCA)	NGI
Kostnad	Kartfesting av eksisterende kunnskap	DNV

* Høgskolen i Telemark, Bø

** Havforskningsinstituttet, Flødevigen

Det samlede beslutningsgrunnlaget er basert på utredningene i BEST sammen med utredninger og aktiviteter i Fase 2 av Fylkesmannens arbeid (Rein fjord), og resultater fra andre relevante aktiviteter og prosjekter.

Tabell 5 gir en samlet oversikt over aktivitetene og utredningene som danner beslutningsgrunnlaget i prosjekt BEST, og tilhørighet til prosjekt eller virksomhet. Utredningene er i tabellen knyttet til elementene i beslutningsgrunnlaget, med utgangspunkt i det elementet som resultatene i første rekke gir økt kunnskap om. Mange av utredningene har imidlertid gitt kunnskap som er lagt til grunn i vurderingen av flere elementer i beslutningsgrunnlaget, og dette tydeliggjøres ved sammenstilling av resultatene i kapittel 5.

Tabell 5. Oversikt over utredninger som er lagt til grunn for beslutningsgrunnlaget i prosjekt BEST, strukturert i forhold til det elementet i beslutningsgrunnlaget som resultatene i hovedsak gir økt kunnskap om.

Beslutningselement	Utredning/aktivitet	Prosjekttilhørighet eller oppdragsgiver for utredningen
Effekt	Tildekkingseffektivitet i lab, bokser og felt	Opticap, Thinc
	Bioturbasjonsdyp	Thinc, Norsk Hydro*
	Miljøgiftkonsentrasjoner i sediment	Rein fjord, Opticap, BEST, Norsk Hydro, havne- og skipsverftseiere
	Bunnssubstrat og topografi	BEST
	Tilstedeværelse av biologiske ressurser	BEST
	Kilder og tilførsler fra land; revisjon av Fase 1	BEST
	Transport av dioksin over Breviksterskelen	Norsk Hydro*
	Resuspensjon ved propelloppvirvling	Havneiere***
	Miljøgiftkonsentrasjon i suspendert partikulært materiale	BEST
	Betydning av tråling	Thinc
	Strømsituasjonen i fjorden	BEST
Konsekvens	Økologisk struktur og funksjon	Opticap, Thinc
	Forekomst av ulike naturtyper	DN**, BEST
	Miljøregnskap (LCA)	Opticap, BEST
Nytte	Miljøriskovurdering	Rein fjord
	Scenarier; utvikling av miljøgiftbelastning i fisk og skalldyr	Rein fjord, BEST, Norsk Hydro*
	Tidsutvikling av dioksiner i sedimentkjerner	Rein fjord
	Betalingsvillighetsstudie	Rein fjord
	Nytte/kostnadsanalyse	Rein fjord
Kostnad	Kostnadsestimat basert på erfaringstall	Opticap
	Forekomster av tildekkingsmasser	Rein fjord
	Kartfesting av eksisterende kunnskap	BEST

* Norsk Hydros prosjekt "Undersøkelser for å styrke modeller knyttet til beslutningsstøtte for tiltak mot forurensede sedimenter i Grenlandsfjordene

** DN = Direktoratet for naturforvaltning

*** Havneiere i Grenland har gjennomført undersøkelser av spredning om følge av propelloppvirvling i forbindelse med havneaktivitet, etter pålegg fra Klif. Gjelder Grenland havn, Herøya Industripark, Rafnes industriområde og Norcem.

4 Gjennomføring og resultater

Gjennomføringen av aktivitetene fra prosjekt BEST og andre relevante aktiviteter er kort beskrevet sammen med en gjengivelse av de viktigste resultatene. For mer detaljert beskrivelse av metodikk og gjennomføring henvises til prosjektdokumentasjon og delrapporter. Se vedlegg 1 for oversikt over delrapporter fra BEST og prosjektene Thinc og Opticap.

4.1 BEST

4.1.1 Kilder og tilførsler fra land

Arbeidet ble gjennomført i 2010 av Espen Lydersen ved Høgskolen i Telemark, avdeling Bø, (Lydersen m.fl., 2010). Hovedhensikten var å oppdatere tilførselsberegningene av næringsstoffer, metaller og andre miljøgifter til Grenlandsfjordene, med utgangspunkt i Fase 1-rapporten (Helland m.fl., 2004). De reviderte tilførslene er basert på overvåkningstall og utslippstall fra 2008, der slike forelå. Følgende tilførselskilder ble kvantifisert:

- Vassdragene med Skienselva som hovedbidragsyter
- Landbasert konsesjonsbelagt industri
- Renseanlegg
- Avrenning fra urbane tette flater
- Forurensset grunn og deponier, inkludert skipsverft

Arbeidet baserte seg på tilgjengelig dokumentasjon, innrapporterte tall og beregninger. Det er til dels betydelig mangel på analysedata, men beregningene er godt dokumentert og begrunnet. Vurdering av datakvalitet, usikkerhet og utsagnskraften i datagrunnlaget inngår i dokumentasjonen.

Tilførselsberegningene av næringsstoffer, metaller og organiske miljøgifter viser at Skienselva er den klart største tilførselskilden for de fleste komponentene. Det forelå ikke grunnlag for å beregne tilførsler av dioksin med Skienselva. Nedstrøms Skotfoss i Skiensvassdraget kommer et betydelig tilførselsbidrag til Grenlandsfjordene fra industri, renseanlegg og urbane tette flater, både når det gjelder metaller og enkelte andre miljøgifter som PCB og PAH. Dioksintilførsler fra avløpsrenseanlegg og ved avrenning fra urbane tette flater er beregnet å være større enn dagens industritilførsler. Tilførsler fra forurensset grunn og deponier er trolig en viktig kilde til tilførsel av en rekke forbindelser, men mer omfattende undersøkelser må til for å verifisere dette. Det er ikke grunnlag for å tro at deponier spiller noen stor rolle for dioksintilførsler.

De totale tilførslene av metaller og organiske miljøgifter til Grenlandsfjordene var betydelig lavere ved gjennomgangen i 2008 sammenliknet med hva som ble rapportert i 2004 (Helland m. fl., 2004). Størst er forskjellen i tilførslene av kvikksølv (Hg, 91 %) og dioksiner (88 %), men også nedgangen i tilførsler av mange metaller er stor; bly (Pb, 87 %), krom (Cd, 69 %), kobber (Cu, 46 %) og sink (Zn, 53 %). Kun tilførslene av nikkel (Ni) og krom (Cr) har økt i 2008 sammenliknet med det som ble estimert av Helland m. fl. i 2004.

Tabell 6 viser utdrag av tilførselsberegningene for næringsstoffer, metaller og miljøgifter til Grenlandsfjordene i 2008. For komplett oversikt over tilførselsdata henvises til Lydersen m. fl., 2010. Det er viktig å merke seg at for PCB og lindan, som bla. måles i Skienselva, var analysene i 2008 under deteksjonsgrensa for metoden. Ved å bruke deteksjonsgrensen som utgangspunkt for beregningene blir tilførselene fra vassdragene trolig betydelig høyere enn de faktiske forhold.

Tabell 6. Tilførsler av næringsstoffer, metaller og miljøgifter til Grenlandsfjordene i 2008. Lydersen m.fl., 2010.

Kilde	TOC tonn/år	Tot-P tonn/år	Tot-N tonn/år	As kg/år	Pb kg/år	Cd kg/år	Cu kg/år	Zn kg/år	Cr kg/år	Ni kg/år	Hg kg/år	Olje ² kg/år	TBT g/år	PAH g/år	PCB g/år	Dioksin ³ mg/år
Skienselva	28313	64	3344	1169	753	108	5473	25418	1801	2567	11,33	i.d.	i.d.	i.d.	20110	i.d.
Andre vassdrag	727	3	151	38	25	17	467	615	107	121	0,26	i.d.	i.d.	i.d.	457	i.d.
Landbasert industri	40,8	8,7	740	5,2	15,5	0,85	101	113	11,1	587	0,21	27,5	i.d.	1000	1	30
Renseanlegg	i.d.	11,4	551	25,8	20,3	2	221	880	83,2	215	1,98	i.d.	i.d.	1450	80	27,6
Urbane tette flater	i.d.	i.d.	i.d.	13,1	54,1	1,07	128,6	463,3	96,1	71,6	0,203	3591	42,2	1344	28,1	13
Avrenning deponi ¹	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	i.d.	5	50	i.d.	i.d.	0,16	i.d.	i.d.	350	70	1,5
Totalt	29081	87,1	4786	1251	881	129	6396	27539	2098	3562	14,1	3619	42	4144	20746	72,1

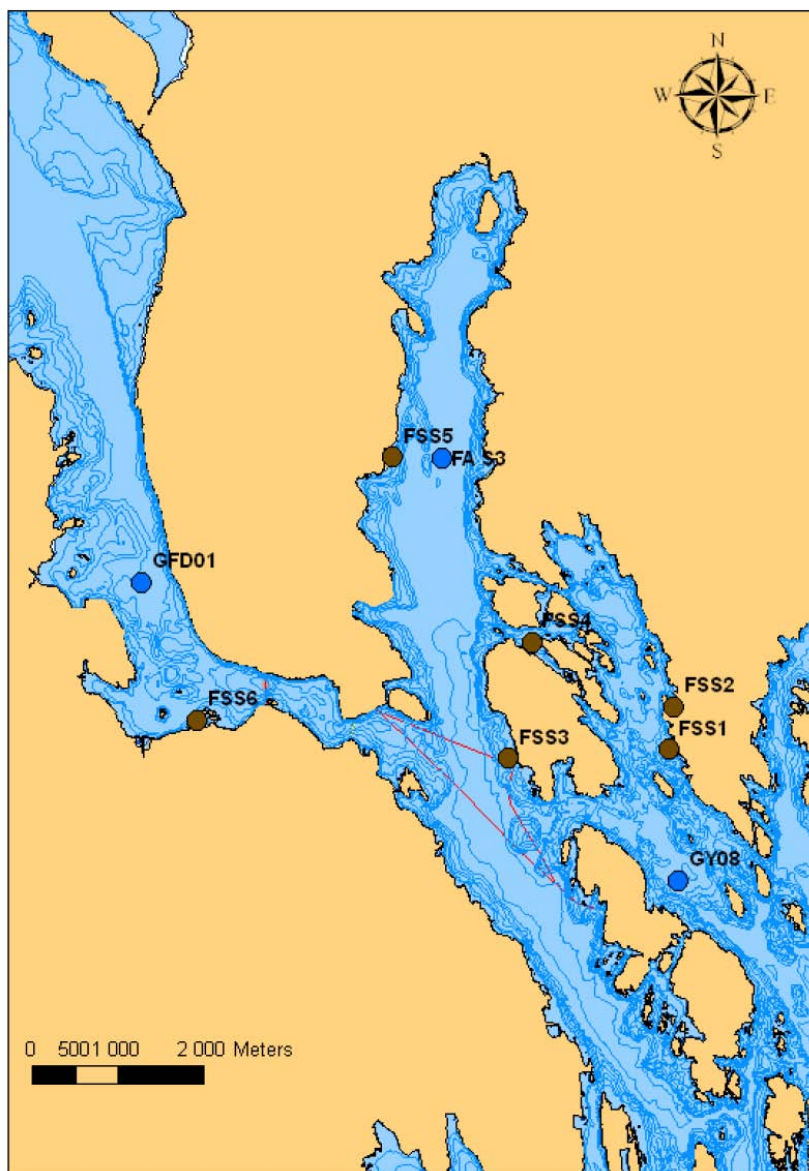
¹ Kun data fra Herøya

² C5-C35

³ TEQ

4.1.2 Miljøgiftkonsentrasjon i sediment

Totalt seks sedimentprøver fra grunne områder i Ormefjorden, i Eidangerfjorden og i Frierfjorden ble innsamlet av NIVA i 2010 (Allan m.fl., 2011) og analysert for dioksiner og furaner (PCDD/F), heksaklorbensen (HCB) og oktaklorstyren (OCS). Stedene som ble valgt som prøvetakingsstasjoner fremgår av figur 4.



Figur 4. Prøvetakingsstasjoner for analyse av dioksin i sediment i grunne områder markert med brune punkter. Blå punkter angir prøvetakingsstasjoner for undersøkelse av suspendert partikulært materiale (fra Allan m.fl., 2010)

En prinsipal komponent analyse (PCA), også kalt mønsteranalyse, ble gjennomført for dioksiner og furaner i prøvene ved hjelp av den multivariate plattformen i JMP 9.0.0. statistical software fra SAS Institute Inc. Prøvene ble tatt innenfor områder med bløtbunn og grunnere enn 10 m. De grunne områdene er leveområder for beitedyr, slik som f.eks strandkrabbe, som i neste ledd er attraktive byttedyr for blant annet torsk. Det var ønskelig å få mer kunnskap om de grunne områdene som kilde til forurensningsbelastningen i fisk og skaldyr.

Konsentrasjon av dioksiner (PCDD/F), heksaklorbensen (HCB), oktaklorstyren (OCS), kadmium (Cd), kobber (Cu), kvikksølv (Hg), bly (Pb) og sink (Zn) i sedimentprøver fra seks prøvetakingsstasjoner i grunne områder fremgår av tabell 7. Tabellen inkluderer også total organisk karbon og fraksjon av partikler med størrelse < 63 µm. Partikkelstørrelse er relevant fordi miljøgiftene i hovedsak er knyttet til de minste partiklene.

Tabell 7. Analyser av seks sedimentprøver fra grunne områder i Grenlandsfjordene i 2010. Prøvene er klassifisert etter Klifs veileder (TA-2229/2007). Fargekoden angir klassene I (blå), II (grønn), III (gul), IV (oransje) og V (rød). Det er ikke etablert klassegrenser for oktaklorstyren.

	Ormfjorden FSS1	Ormfjorden FSS2	Eidangerfjorden FSS3	Eidangerfjorden FSS4	Eidangerfjorden FSS5	Frierfjorden FSS6
Dyp (m)	6	8	8	8	8	9
TOC (mg C g ⁻¹)	9,3	29,8	1,8	5,7	7,2	41,8
% partikler < 63 µm	25	83	2	34	57	95
TEQ (pg g ⁻¹)	111	472	32	148	85	3494
HCB (pg g ⁻¹)	3700	9800	880	3500	2000	97000
OCS (pg g ⁻¹)	210	490	41	200	100	11000
Cd (µg g ⁻¹)	<0,2	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cu (µg g ⁻¹)	8,39	25,1	14,8	5,8	6,29	38,1
Hg (µg g ⁻¹)	0,16	0,8	0,039	0,17	0,14	1,95
Pb (µg g ⁻¹)	21	49,5	7,1	14	12	118
Zn (µg g ⁻¹)	51,9	104	19	32	31	187

Dioksinkonsentrasjonene i prøven fra Frierfjorden er betydelig høyere enn konsentrasjonene i de øvrige prøvene utenfor Breviksterskelen. Resultatene fra mønsteranalysen viste også at sedimentprøvene fra de ytre fjordene (FSS1-5) skilte seg noe fra prøven fra Frierfjorden (FSS6) når det gjelder sammensetningen av dioksiner og furaner. Det er ikke grunnlag for å tro at dette skyldes en annen kilde.

4.1.3 Miljøgiftkonsentrasjon i suspendert partikulært materiale

Prøver av suspendert materiale fra grunne og dype vannmasser ble innsamlet i Frierfjorden, Eidangerfjorden og Kalven, av NIVA i november 2010 (Allan m.fl., 2011).

Prøvetakingsstasjonene fremgår av figur 4. Store volum vann ble pumpet og filtrert for suspendert partikulært materiale gjennom filter med porestørrelse 0,7 µm. Prøvene ble analysert for dioksiner og furaner (PCDD/F), heksaklorbensen (HCB) og oktaklorstyren (OCS). Det ble gjennomført en mønsteranalyse (PCA) for den relative fordelingen av de 17 PCDD/F-komponentene som ble analysert. Hensikten med undersøkelsen var å få en bedre forståelse for transport og omsetning av miljøgifter knyttet til suspenderte partikler.

Resultater fra ekstraksjon og analyse av filtre etter prøvetaking av vann i Eidangerfjorden, Kalven og Frierfjorden er presentert i tabell 8. Alle data er på tørrvektsbasis. Konsentrasjoner av dioksin er gitt som sum TEQ basert på mengde av de enkelte forbindelsene assosiert med suspendert partikulært materiale per volum vann. For en komplett oversikt over analyseresultatene henvises til Allan m.fl., 2011.

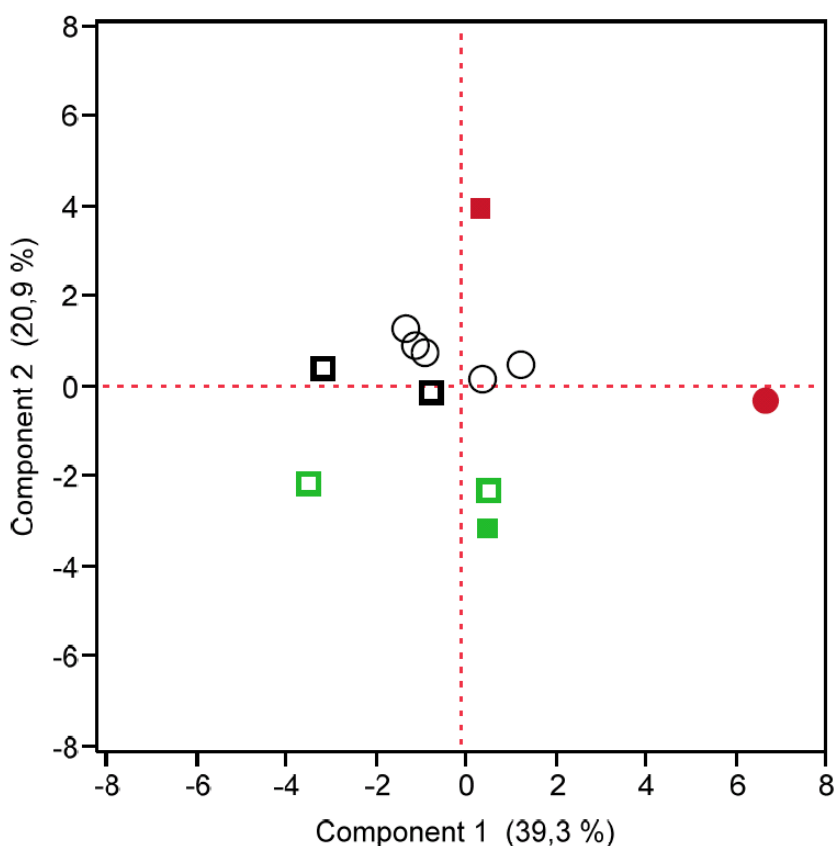
Tabell 8. Resultater fra ekstraksjon og analyse av filtre etter prøvetaking av vann i Eidangerfjorden, Kalven og Frierfjorden. Dioksin er oppgitt som TEQ.

	Eidangerfjorden FA S3		Kalven GY 08		Frierfjorden GFD 01	
	dyp	grunn	dyp	grunn	dyp	grunn
Dyp (m)	90	5	40	5	8	4
TEQ _{max} (pg l ⁻¹)*	0,84	0,13	0,51	0,07	0,36	0,24
TEQ _{min} (pg l ⁻¹)*	0,75	0,12	0,49	0,06	0,21	0,17
HCB (pg l ⁻¹)	1,2	0,30	14	3,0	15	30
OCS (pg l ⁻¹)	0,26	0,21	0,93	0,26	1,2	3,3

* min/max verdier basert på om data under deteksjonsgrense er gitt henholdsvis verdi = 0 eller grense for deteksjon og toksisitets ekvivalensfaktor TEF fra WHO 1998.

Prøven fra de grunne vannmassene (4 m) i Frierfjorden er benyttet for å estimere transport av dioksin over terskelen, med utgangspunkt i en gjennomsnittlig vannstrøm i Skienselva på $270 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Dette gir en årlig transport av dioksin (TEQ) over Breviksterskelen til de ytre fjordområdene på 1,8 - 2,1 g TEQ år^{-1} .

Mønsteranalysen (PCA) for dioksin-/furanforbindelser i vannprøvene ble gjort sammen med sedimentdataene som er beskrevet ovenfor. Resultatene viser at de to prøvene fra dypt vann i ytre fjord, ved Kalven og i Eidangerfjorden, har større likhet med sedimentprøvene fra de grunne områdene i ytre fjord (FSS1-5) enn med partiklene som ble filtrert fra vannprøvene nær Breviksterskelen (Frierfjorden). Dette ville være som forventet dersom partiklene i de dypere vannmassene i hovedsak stammet fra oppvirket sjøbunn på stedet, og ikke fra transport med vannmasser fra Frierfjorden. Dette fremgår av figur 5, hentet fra Allan m. fl., 2011, der nærhet mellom prøvetakingsstasjonene i figuren antyder likhet i sammensetningen av dioksiner og furaner i prøvene.



Figur 5. PCA plot som viser relativ fordeling av PCDD/F forbindelser i 6 sedimentprøver (sirkler) og suspendert materiale (kvadrater) samlet i november 2010. Figuren viser score for PCA1 og PCA2 for fordeling av dioksin- og furanforbindelser ved hver prøvetakingsstasjon. Tomme symboler viser stasjoner i ytre fjord (Eidangerfjorden, Kalven og Ormefjorden). Fulle symboler viser stasjon i Frierfjorden nær Breviksterskelen. Nærhet mellom stasjoner i figuren antyder likhet mellom sammensetningen av dioksiner og furaner i prøvene. Allan m.fl., 2010.

4.1.4 Strømningsmønster

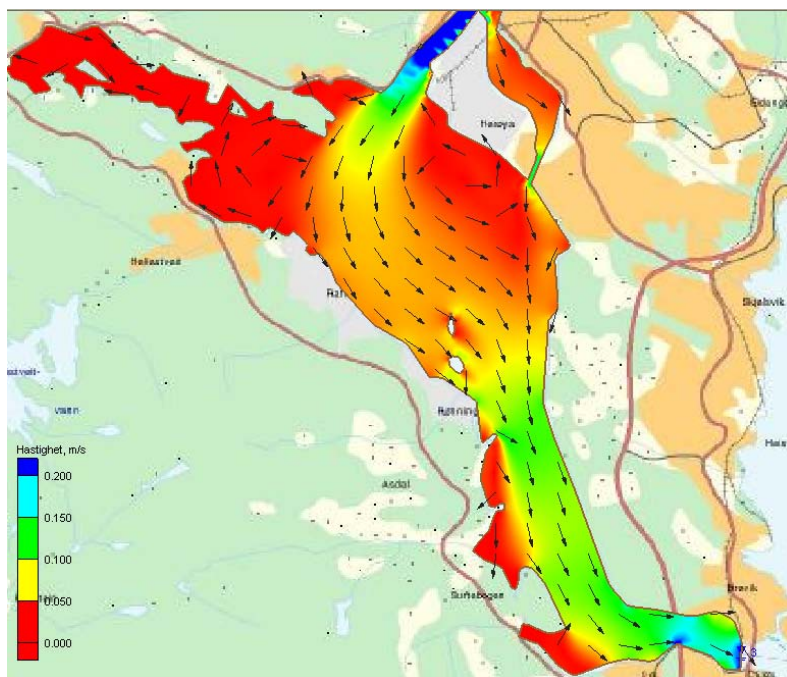
Det har vært ønskelig å få en forståelse for strømningsmønsteret i både indre og ytre fjord, og hvilken betydning det kan ha for utlegging av tildekkingsmasser og på forstyrrelse av tildekkingslaget. Det har imidlertid ikke blitt prioritert å gjennomføre omfattende kartlegging av strømsituasjonen i fjordene. Tilnærmingen har vært å benytte tidligere kunnskap. Følgende er lagt til grunn for en forståelse av strømsituasjonen:

- Jarle Molvær ved NIVA gjorde i 2010 en vurdering av kunnskapsgrunnlaget i Grenlandsfjordene og mulig behov for strømdata i en tildekkingsssituasjon, basert på generell kunnskap og historiske data fra området (Molvær, 2010).
- I forbindelse med en studie av tråleaktivitetens betydning for forurensningssituasjonen (Molvær m.fl., 2012) ble det i 2008 gjennomført strømmålinger i Eidangerfjorden. Strømmålingene ble gjort ca 2 m over bunnen i 4 posisjoner, der et målerpar ble plassert ca 1200 m fra et annet. Målerne var av typen Aanderaa RCM9 som registrerte med 1 minuts intervall over en tidsperiode på 2 døgn. Sedimentoppvirvling som følge av tråling ble overvåket før, under og etter tråling, og de oppvirvlede sedimentenes bevegelser over sjøbunnen ble kartlagt ved hjelp av turbiditetsmålinger, akustikk og vannprøver.
- Under utlegging av tildekkingsmasser på sjøbunnen i forbindelse med prøvetildekking ble turbiditet overvåket i vannsøylen (Eek m.fl., 2011). Sammen med målinger av tildekkingslagets tykkelse kartlagt med sedimentprofilkamera (SPI) og en analyse av fordelingen av de utlagte massene, ga dette en forståelse for strømsituasjonen og strømmens betydning for nedføring av masser.

I følge Jarle Molvær (NIVA) er det hensiktsmessig å skille mellom 3 forskjellige vannlag som har ulike hydrofysiologiske forhold:

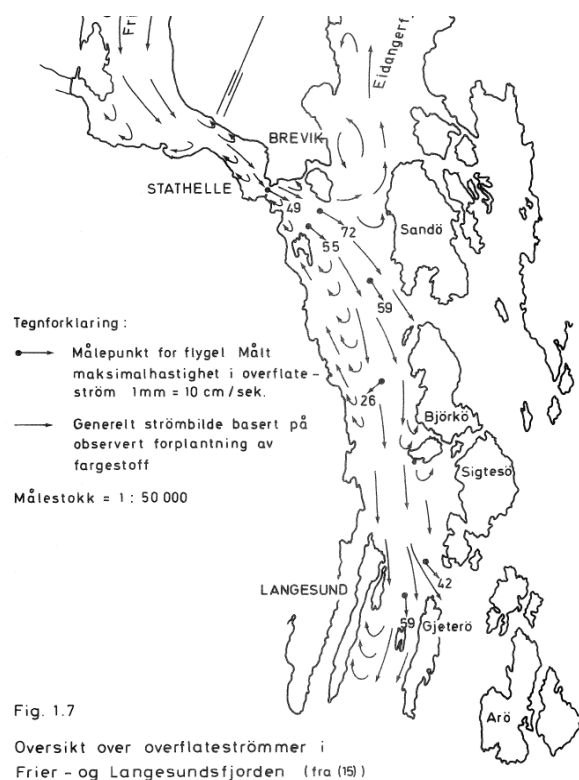
1. Brakkvannslag som strømmer ut av fjorden og som avgrenses i dybden av sprangsjiktet (overgang til underliggende vann med større saltholdighet)
2. Mellomlag som begynner under sprangsjiktet og strekker seg ned til terskeldyp. Det er god vannutskiftning og med inngående sjøvannsstrøm som erstatter vannet som transporteres ut med brakkvannsstrømmen.
3. Bassengvann fra terskeldyp og til største dyp i bassenget innenfor. Grenlandsfjordene har i hovedsak fire bassenger: Frierfjorden, Eidanger- og Langesundsfjorden, Ormefjorden og Håøyafjorden.

Brakkvannslaget i Frierfjorden er relativt godt kartlagt og modellert. Figur 6 gir et bilde på strømningsmønsteret i Frierfjorden modellert ved hjelp av Surface Modelling System (SMS), presentert av Jarle Molvær i Fjordforum 12.2.2009.



Figur 6. Strømmønster i brakkvannslaget i Frierfjorden. Fra Jarle Molvær, NIVA, Fjordforum 12.2.2009.

For de ytre fjordene foreligger det eldre dokumentasjon av strømmønsteret i brakkvannslaget, basert på strømmålinger og utslipp av fargestoff, se figur 7.



Figur 7. Overflatestrømmer i Frier- og Langesundsfjorden. Vassdrags- og havnelaboratoriet, 1965. Hydrografiske undersøkelser i Frier- og Langesundsfjorden. Rapport for oppdragsnr. 600235.

For mellomlaget er datagrunnlaget praktisk talt fraværende. Imidlertid er det bassengvannet som i størst grad vil kunne påvirke både tiltaksgjennomføring og tildekkingslaget, forutsatt at nedføring av tildekkingsmasser ikke skjer ved slipp av masser fra overflaten. Datagrunnlaget for bassengvannet begrenser seg til målinger og erfaringer forbundet med trålstudien i 2008 (Molvær m.fl., 2012) og tildekkingsforsøket i 2009 (Eek m.fl., 2011), og har sin begrensning ved at disse målingene ikke avdekker variasjoner i tid og rom.

Målingene under trålstudien i 2008 (Molvær m.fl., 2012) viste samlet sett et bilde der det halvdaglige tidevannet driver en langsam bevegelse i bunnvannet ut og inn av Eidangerfjorden. I tillegg til denne hovedbevegelsen oppstår variasjoner der strømmen periodevis går i vestlig eller østlig retning, og sannsynligvis også med dannelse av langsomme virvler. Strømhastigheten på 95 m dyp hadde en median på 2 m/s, og ca 90 % av verdiene var under 4 m/s. Største hastighet var 7 m/s.

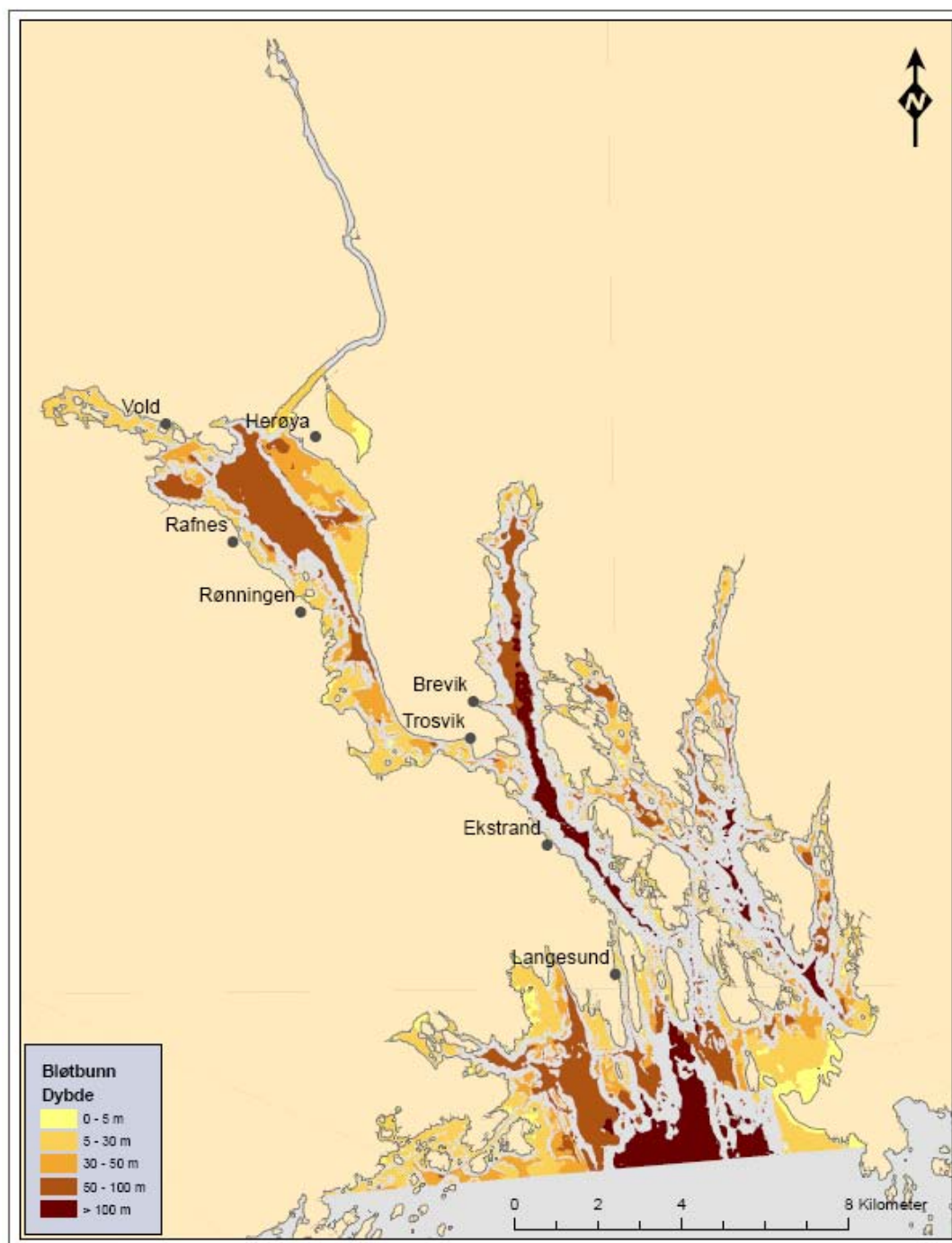
Under utlegging av tildekkingsmasser i 2009 viste overvåkningen av turbiditet at massene fordelte seg som en sky i vannet under utslippspunktet like over bunnen (Eek og Stølen, 2011). Det var noe transport av masser langs sjøbunnen i nord-sør retning, som er sammenfallende med den dominerende strømrretningen i området og med resultatene fra strømmålingene under trålstudien. Måling av tykkelse i tildekkingslaget med SPI-kamera innenfor og utenfor tildekkingsfeltene sammen med beregninger viste at 20 – 58 % av massene hadde spredd seg utenfor feltene. Spredning på utsiden av feltene ble ikke systematisk kartlagt på alle feltene. Resultatene indikerer størst spredning i sydlig retning, noe som er rimelig i forhold til den dominerende strømrretningen samtidig som bunnen heller svakt mot syd. I Ornefjorden ble masser identifisert 50 m fra feltet, mens det ikke ble funnet masser verken 90 m eller 125 m syd for feltet. I Eidangerfjorden ble det observert spredning til 375 m syd for feltet og 75 m nord for feltet. Det er anslått at 400 m tilsvarer omtrent så langt en partikkel kan transporteres i løpet av en 12 timers tidevannsperiode med en strømhastighet på 0,01 m/s.

4.1.5 Bunnsubstrat og topografi

Det har vært ønskelig å få en god forståelse for topografi, helning på sjøbunnen og forekomst av hardbunn og bløtbunn i fjorden. Disse forholdene har betydning både for å forstå hvordan de forurensede massene er fordelt i fjordene, hvilke områder som bør prioriteres for tiltak og hvilke områder som evet. ikke egner seg for tiltak. Innhenting av data og tilrettelegging av gode kart har derfor vært en prioritert oppgave. Tilnærmingen til en bedre forståelse av forekomst og utstrekning av bløtbunn og hardbunn har vært modellering siden det ikke var realistisk innenfor prosjektet å igangsette en omfattende kartlegging av bunnsubstrat. NIVA utviklet i 2010 flere ulike kartlag for bløtbunnsområder ved ulike bølgeeksponeringsklasser og dybdeklasser, samt kombinerte en romlig prediktiv modell for akkumulasjonsbunner med ulike skråningsgrader, dybdekategorier og klasser av bølgeeksponering. Akkumulasjonsbunn er de bløteste områdene av sjøbunnen der de fineste partiklene sedimenterer, med stor sannsynlighet for å finne høye konsentrasjoner av miljøgifter. Modellene ble utviklet i ArcGIS 9.2 ved hjelp av "Spatial analyses" (Bekkby, 2010).

Bløtbunnsområder ble modellert som områder med mindre enn 7° skråning, uavhengig av dyp eller eksponeringsgrad, men ble også kombinert med ulike dybdeklasser (tidevannssonen, 0-5 m, 5-10 m, 10-20 m, 20-30 m, 30-50 m, 50-100 m, over 100 m). Totalt areal for modelleringsområdet ble satt til 98,8 km², med den avgrensningen som fremgår av kartet i figur 8, og som strekker seg noe utenfor grensen for kostholdsrad (fra Mølen til Såstein).

Bløtbunnsområdene utgjorde ca 47 km², tilsvarende ca 47,5 % av totalarealet. Modellert utbredelse av bløtbunn kombinert med dybdeklasser er vist i figur 8. Arealfordelingen av bløtbunn i forhold til dybdeklasser er vist i tabell 9.

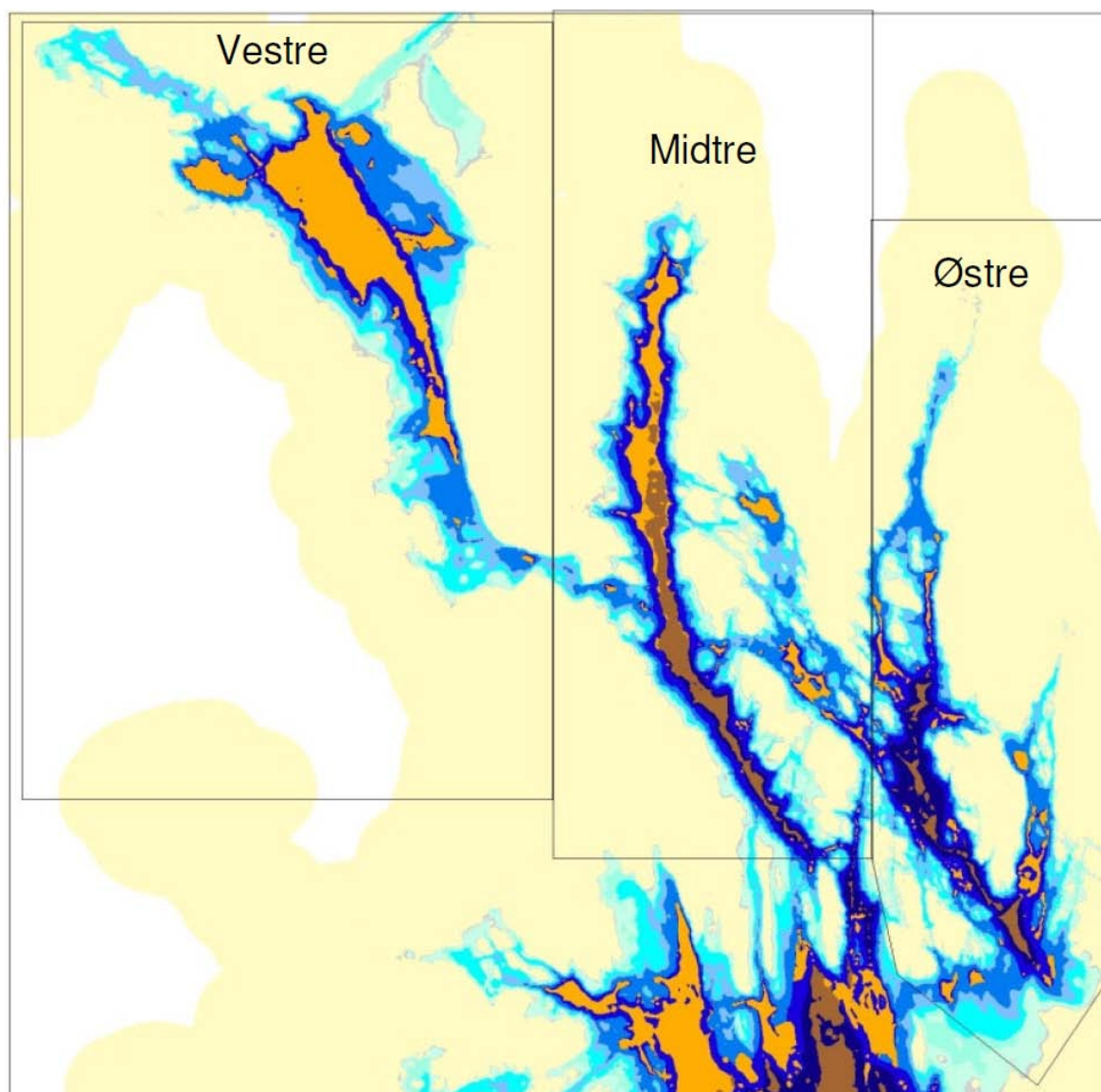


Figur 8. Modellert bløtbunn i kombinasjon med dybdeklasser (Bekkby 2012).

Tabell 9. Modellert areal av bløtbunn innenfor ulike dybdeklasser i hele studieområdet

Dybdeklasser	Areal bløtbunn km ²	% av totalt areal bløtbunn
Tidevannssonen (0-2 m opp på land)	0,8	1,7
0-5 m	6,4	13,6
5-10 m	4,3	9,2
10-20 m	5,8	12,3
20-30 m	4,9	10,3
30-50 m	6,8	14,5
50-100 m	12,0	25,5
> 100 m	6,2	13,0
Totalt	47	100

En nærmere analyse av arealene med inndeling i fjordavsnitt viser at bløtbunnsarealene innenfor Langesund utgjør ca 29 km². Dette fremgår av figur 9 og tabell 10.



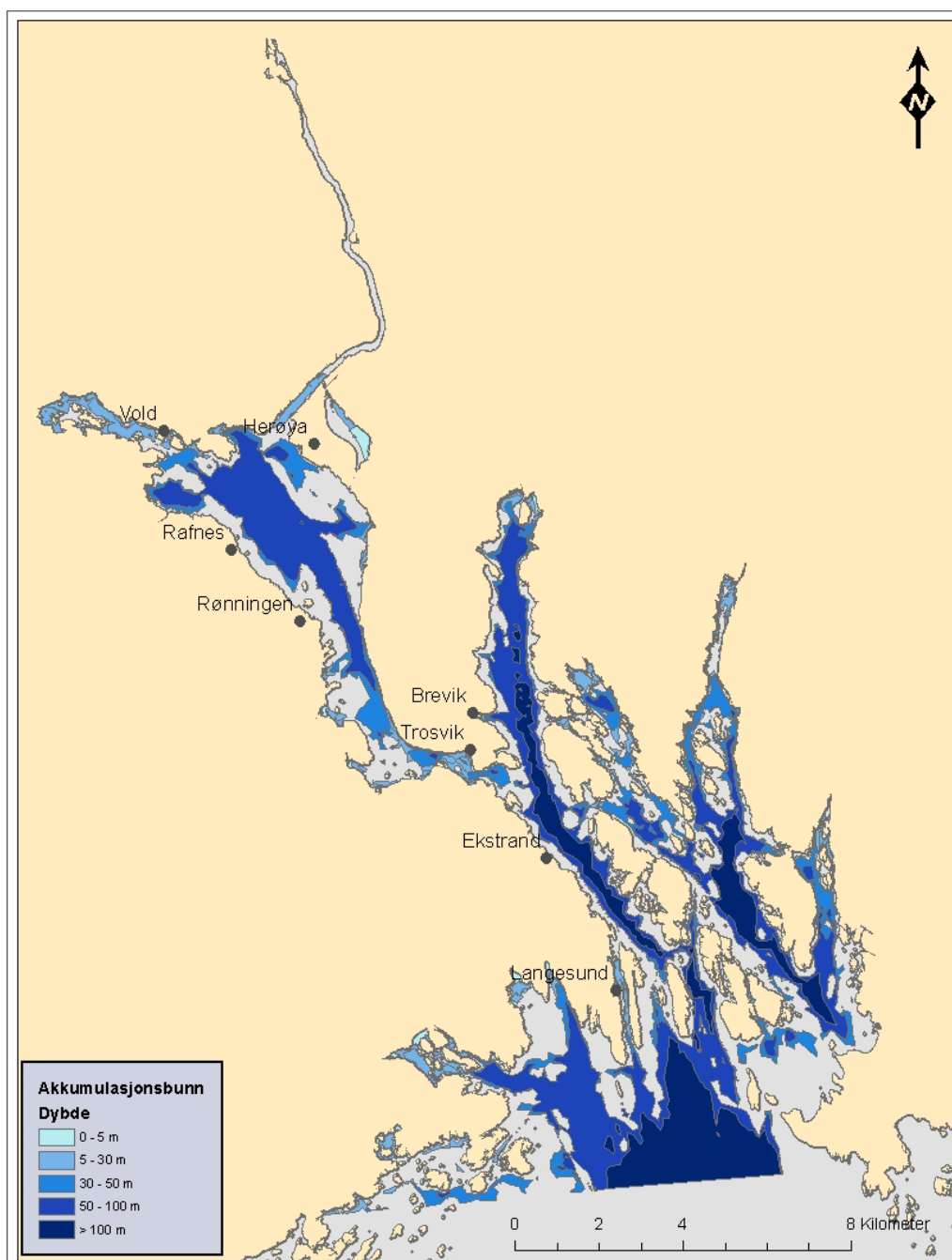
Figur 9. Analyse av bløtbunnsareal utført av Trine Bekkby (NIVA). Rektanglene angir henholdsvis vestre, midtre og østre deler av fjordsystemet innenfor Langesund. Fra Morten Schaaning, workshop

NIVA 7.2.2012. Fargene blått og brunt angir bløtbunnsområder der grad av blått viser økende skråning i terreng.

Tabell 10. Fordeling av modellert bløtbunnsareal i fjordavsnitt i Grenlandsfjordene, beregnet av Trine Bekkby (NIVA). Vestre tilsvarer Frierfjorden, midtre tilsvarer Eidangerfjorden, Breviksfjorden og Ormefjorden, mens østre tilsvarer Langangsfjorden, Mørjefjorden og Helgeroafjorden, slik det også fremgår av figur 9. Fra Morten Schaanning, workshop NIVA 7.2.2012

Areal (m2)	Vestre (1)	Midtre (2)	Østre (3)	Total
Tidevannssonen	142 903	311 942	118 045	572 890
0-5 m	1 299 324	1 370 118	1 952 197	4 621 640
5-10 m	1 481 453	460 634	1 018 096	2 960 182
10-20 m	1 676 355	560 966	1 089 910	3 327 231
20-30 m	1 928 909	653 758	731 457	3 314 124
30-50 m	2 619 691	762 327	1 324 441	4 706 459
50-100 m	4 863 152	1 763 935	786 300	7 413 387
Dypere enn 100 m	4 966	1 650 291	483 190	2 138 447
Totalt	14 016 752	7 533 971	7 503 636	29 054 359

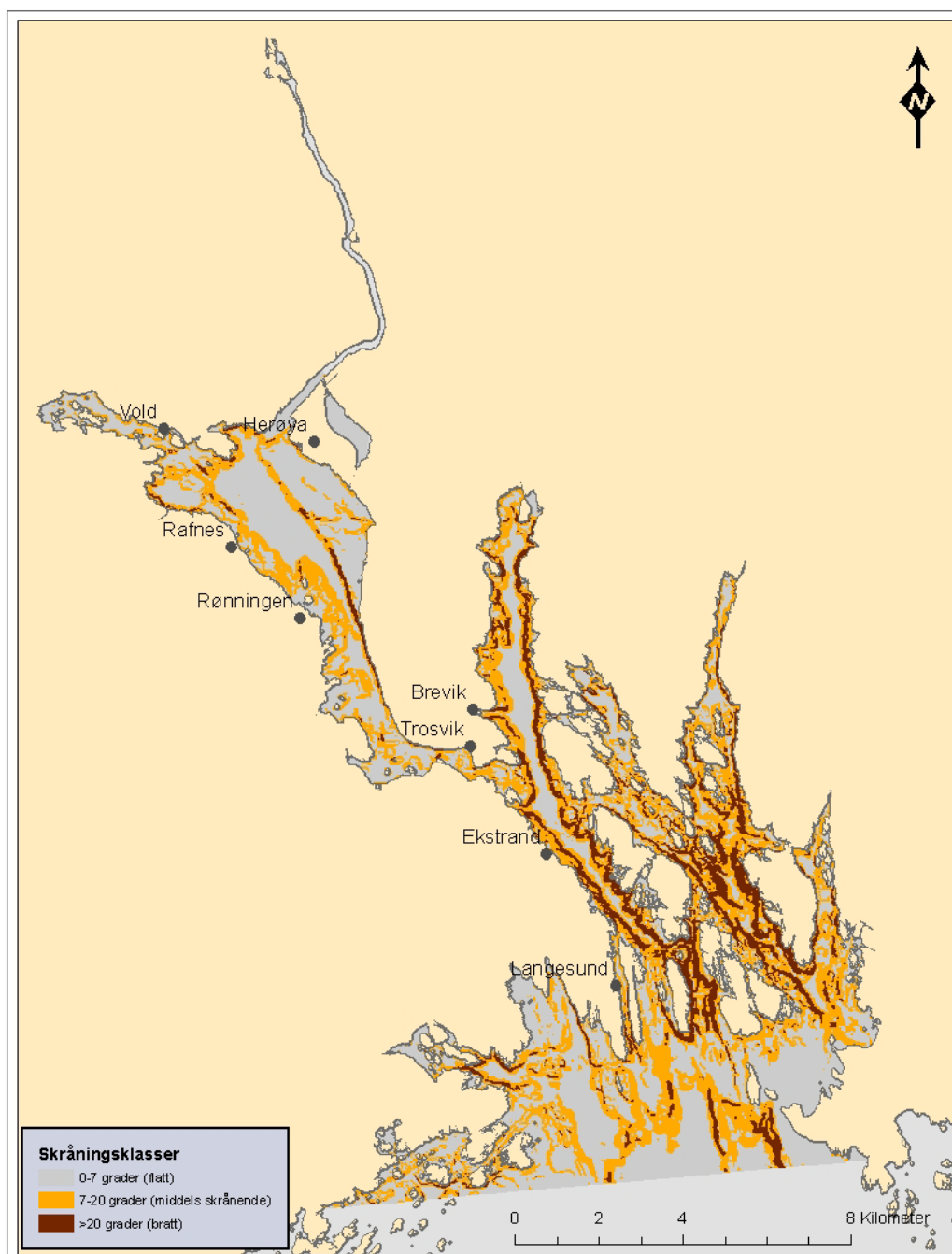
Modelleringen av akkumulasjonsbunn ble gjort uavhengig av skråning, og resultatet for denne modelleringen gir derfor et større areal enn bløtbunnsarealet som ble modellert for terreng med mindre skråning enn 7°. Modellering av akkumulasjonsbunn er vist i figur 10.



Figur 10. Modellert akkumulasjonsbunn i kombinasjon med dybdeklasser (Bekkby, 2010).

Ved å kombinere akkumulasjonsbunn med skråning får man et mer realistisk tall for forekomstene av akkumulasjonsbassenger, og for hvilke arealer som kan egne seg for tildekking. Det totale arealet akkumulasjonsbunn er beregnet til 53 km² i hele studieområdet, men kombinert med skråning viser modellen at

- 7,5 km² er brattere enn 20°,
- 18,5 km² er mellom 7° og 20°
- 27,6 km² er mindre bratt enn 7°, tilsvarende ca 58 % av det totale arealet bløtbunn innen denne skråningskategorien. Skråningsklasser vises i figur 11.



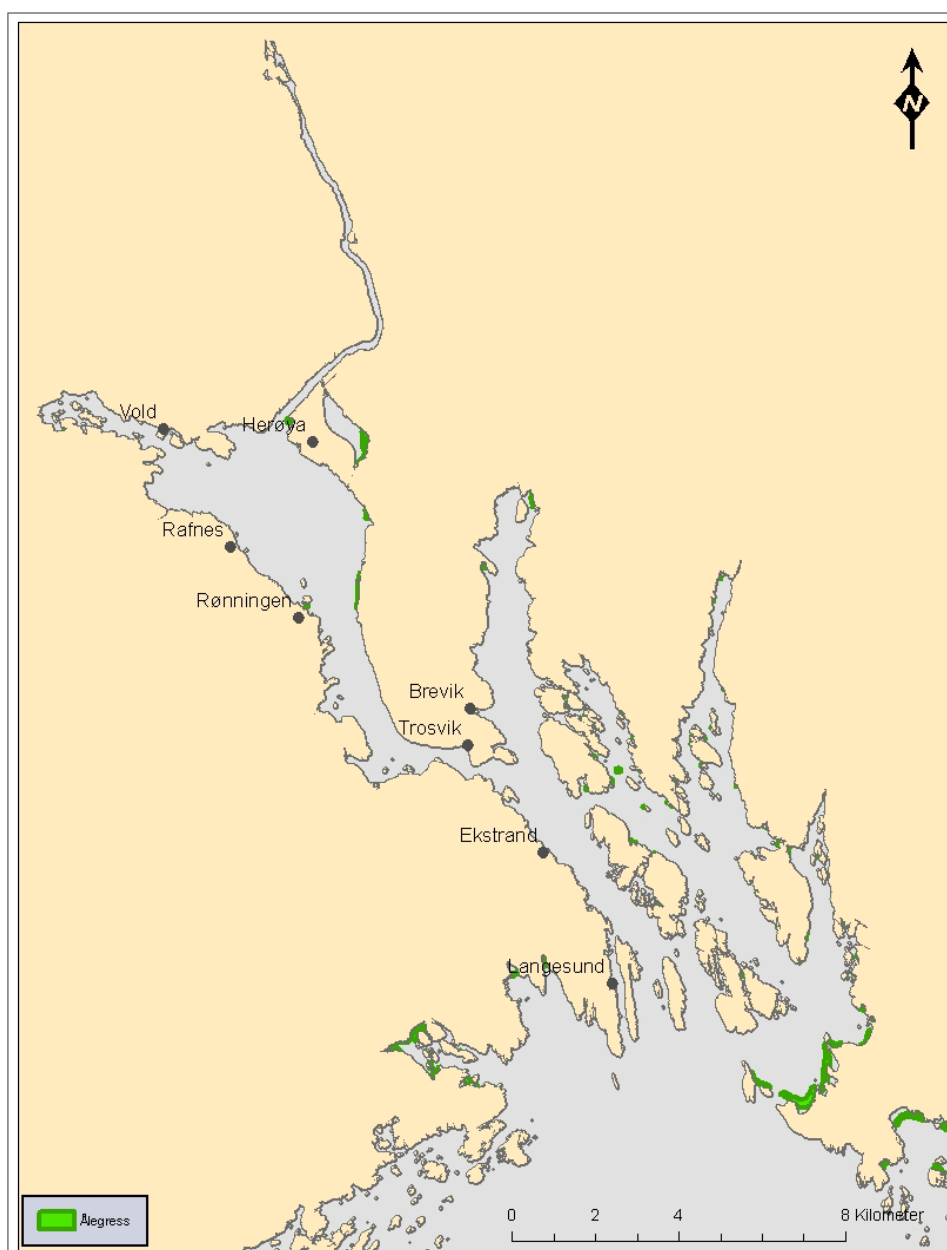
Figur 11. Modellerte skråningsklasser i Grenlandsfjordene (Bekkby, 2010).

4.1.6 Naturtyper

Kunnskap om forekomst av ulike naturtyper har betydning for tiltaksgjennomføringen i den forstand at det kan være områder som bør enten prioriteres eller utelates fra tiltaksplanarbeidet av hensyn til naturtypens viktighet eller sårbarhet. Direktoratet for naturforvaltning har i perioden 2007-2010 gjennomført kartlegging av marine naturtyper langs deler av norskekysten, inkludert Telemark. Prosjekt BEST har i samarbeid med kystkommunene i Telemark supplert det nasjonale kartleggingsarbeidet for å sikre at registrering og kartfesting av ålegressenger og bløtbunnsområder omfatter C-lokaliteter (lokalt viktige) i tillegg til A-lokaliteter (nasjonalt viktige) og B-lokaliteter (regionalt viktige). Kartlegging og kartfesting

har blitt gjennomført av NIVA (bløtbunn) og Havforskningsinstituttet (ålegress). Registreringene er tilgjengelige i Naturbase.

Havforskningsinstituttets kartlegging av ålegress i Grenlandsfjordene har vist at det er relativt få store forekomster av ålegress (A og B-lokaliteter) i det potensielle tiltaksområdet, men det er registrert en del mindre forekomster (C-lokaliteter). Av A-lokalitetene, dvs. svært viktige lokaliteter med nasjonal verdi, er det kun registrert én ålegresseng innenfor det mulige tiltaksområdet i Telemark. Registreringen er i Gunnekleivfjorden i Porsgrunn kommune. Det er ellers flere A-lokaliteter lenger sør langs Telemarkskysten, men disse er utenfor det potensielle tiltaksområdet. På Vestfoldsidene er det registrert A-lokaliteter i Mølen-Helgeroa området, noe som fremgår av figur 12.



Figur 12. Forekomster av ålegressenger registrert under Direktoratet for naturforvaltnings kartlegging av marine naturtyper. Registreringene er tilgjengelige i Naturbase.

4.1.7 Forekomst av biologiske ressurser

Prosjektet har ønsket økt kunnskap om forekomst og fordeling av biologiske ressurser horisontalt og vertikalt i fjordene, og om hvor beitetrykket i fjorden er størst. Dersom slike områder lar seg identifisere kan det være et innspill til hvilke områder som bør prioriteres som tiltaksområder. På dette feltet er det imidlertid ikke gjennomført nye studier, og problemstillingen er kun i begrenset grad belyst gjennom litteraturstudier.

Registrering av vertikale døgnvandring av fisk gir et inntrykk av i hvilke dyp fisken beiter og hvilken beitestrategi den har. Espeland m.fl. (2010) har gjennomført en studie i arendalsområdet der de merket torsk med akustiske transmittere og fulgte fiskenes vandring over en periode på opptil 387 dager. Generelt ble fiskene registrert i alle dyp tilgjengelig innenfor studieområdet (ca 3 km²), men de dypest tilgjengelige habitatene (25-30 m) ble kun benyttet i vintermånedene fra januar til mars. Generelt oppholdt torsk seg i dype vannmasser gjennom dagen og svømte opp til grunne områder på natten, typisk i tang- eller ålegrasområder. Studien foreslår at det er næringstilgang og temperatur som styrer de vertikale døgnvandringene. Natten er den primære beiteperioden og beitingen skjer i hovedsak på grunne områder (<10m) der det forventes å finne størst tettheter av krepsdyr og små fisk, mens dagtid er mer preget av hvile på større dyp.

Bergstad og Knutsen (2004) har beskrevet marin fauna i Grenlandsfjordene, og næringsvalget til torsk, skrubbe, sjøørret og pelagisk fisk (i de frie vannmasser). Næringsvalget til fisk sier noe om hvilke type habitater og områder de foretrekker å beite i. Artssammensetningen i den bunnære fiskefaunaen ble funnet å være ulik innenfor og utenfor Breviksterskelen, med langt lavere artsrikdom i Frierfjorden enn i Eidangerfjorden. Dette kan skyldes flere forhold, men mest trolig ulik saltholdighet og vegetasjon innenfor og utenfor Breviksterskelen. I de frie vannmassene, pelagialen, er artssammensetningen mer lik. Fødevalget til liten og stor torsk, skrubbe og sjøørret, brisling og sild ble studert ved analyse av mageinnholdet, og hovedresultatene var:

- De pelagiske artene beitet praktisk talt bare på planktoniske krepsdyr
- Skrubbe hadde i begge fjordavsnitt en diett dominert av børstemark og små muslinger
- Små torsk (mindre enn 30 cm) spiste børstemark om våren i begge fjorder, og i Frierfjorden var dette et viktig byttedyr hele året sammen med bl. a. strandkrabbe. I Eidangerfjorden var dietten mer variert, og strandkrabbe var vanligst sammen med noen krepsdyr og fisk.
- Stor torsk (større enn 30 cm) hadde en diett sterkt dominert av strandkrabbe i begge fjordavsnitt, supplert med ulike arter av fisk.

Ut i fra artene som ble funnet i denne diettstudien og deres byttedyr, bekreftes det generelle inntrykket av at torsk velger byttedyr som er knyttet til tarebeltet og i hovedsak knyttet til bunnen. Dette er i overensstemmelse med døgnvandringstudien beskrevet ovenfor. Med tanke på overføring av miljøgifter fra sjøbunn til næringskjeden, kan kunnskapen om beiteadferd indikere at det ikke bare er de dypeste akkumulasjonsbassengene med høye konsentrasjoner av miljøgifter som er viktige, men også de grunnere områdene siden de synes å være attraktive beiteområder spesielt for torsk.

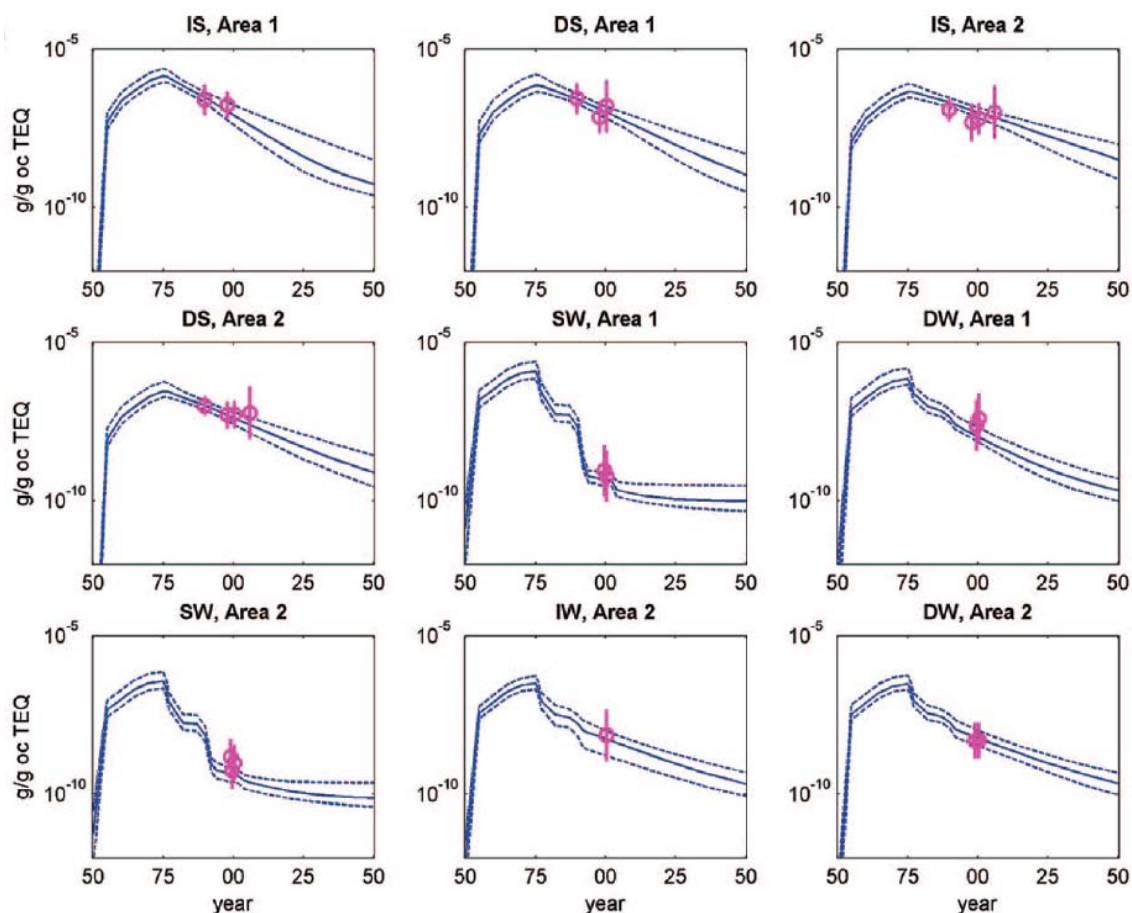
4.1.8 Scenarier

Prosjektet DiG (Dioksiner i Grenland) var et tverrinstitusjonelt prosjekt finansiert av NFR (Norges forskningsråd) og Norsk Hydro i perioden 2000-2004. Ved avslutningen i 2004

hadde prosjektet utviklet en modell for å beskrive prosesser og transport av dioksiner i Grenlandsfjordene, satt sammen av en abiotisk og en biotisk del for å forstå sammenhengen mellom forurensningsbelastningen i resipienten og i organismer (Næs m.fl., 2004). Ved hjelp av modellen ble det mulig å simulere utvikling i fjordene med og uten tiltak. Etter DiG-prosjektet har NIVA utviklet og kalibrert modellen videre til verktøyet Sedflex (Saloranta m.fl., 2006) som ble benyttet i Fase 2 av tiltaksplanarbeidet i Grenland (Olsen, 2006). Simuleringene i Fase 2 viste at uten tiltak ville torsk og krabbe med 95 % sannsynlighet kunne nå EUs grenseverdi for dioksin i sjømat på 4 ng TEQ/kg våtvekt i henholdsvis år 2035 og år 2045. Simuleringene viste at det var mulig å fremskynde forbedringen og nå grenseverdien i løpet av noen få år etter tiltak, forutsatt at tiltak gjennomføres for store arealer. Simuleringene viste også at tiltak kun i Frierfjorden ikke ville kunne fremskynde utviklingen i ytre fjord, slik at evt. tiltak må gjøres i det fjordavsnittet der man ønsker effekt.

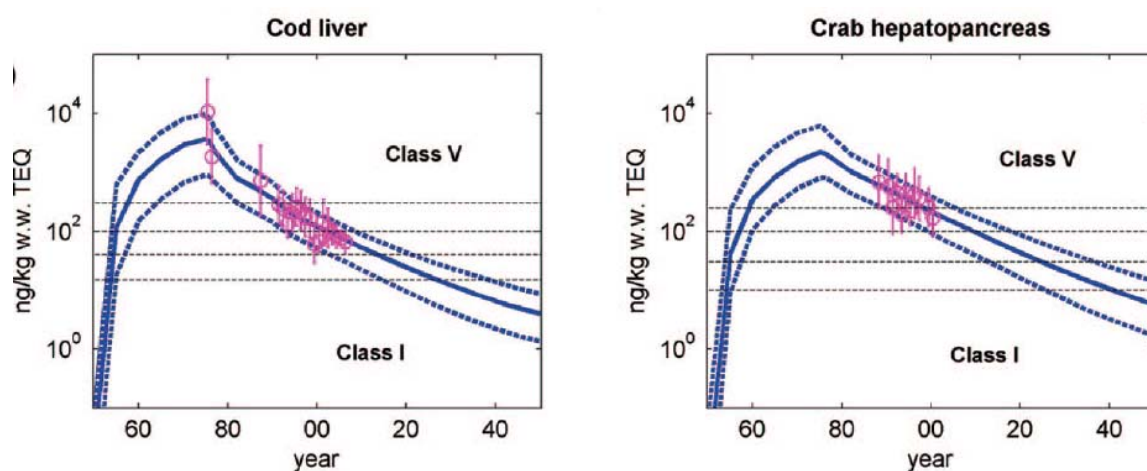
Etter Fase 2 har NIVA med støtte fra Norsk Hydro videreutviklet modellen ved hjelp av en avansert modellkalibrerings- og usikkerhetsanalysemetode, kalt Markov Chain Monte Carlo (MCMC). Kalibreringen gjør at modellresultater og deres usikkerhet er i samsvar med faktiske observasjoner av PCDD/F (dioksiner og furaner) i vann, sediment, torskelever og krabbesmør, og med usikkerheter i disse observasjonene. Nye simuleringer av tiltak viste generelt samme respons til de forskjellige tiltakene som i Fase 2-simuleringene. Dette er nærmere omtalt i kapittel 4.2.1.

I 2008 gjorde NIVA ytterligere forbedringer i modellen og kjørte nye simuleringer (Saloranta m.fl., 2008). Simuleringer av utvikling i dioksinkonsentrasjon i sedimentet og i vannmassene i Frierfjorden uten tiltak for perioden fra 1950 til 2050 er vist i figur 13. Simuleringene er gjort for to delområder hvor det ene er nærområdene til Herøya (Area 1) og det andre er øvrige deler av Frierfjorden (Area 2). Figuren viser resultater for ulike dyp, angitt som IS (intermediate sediment) og DS (deep sediment), og IW (intermediate water) og DS (deep water). Simuleringene er sammenholdt med målte verdier i sediment- og vannprøver, og viser god overensstemmelse med disse.



Figur 13. Simulert tidsutvikling av dioksinkonsentrasjon i sediment og vann i ulike områder innenfor Frierfjorden. Area 1 er nærområdene til Herøya, mens Area 2 er øvrige deler av Frierfjorden. Simuleringene er gjort for ulike dyp, angitt som IS (intermediate sediment), DS (deep sediment), IW (intermediate water) og DW (deep water). Fra Saloranta m. fl., 2008.

Det ble også vist godt sammenfall mellom modellresultatene og målte verdier i torskelever og krabbesmør, som det fremgår av figur 14.



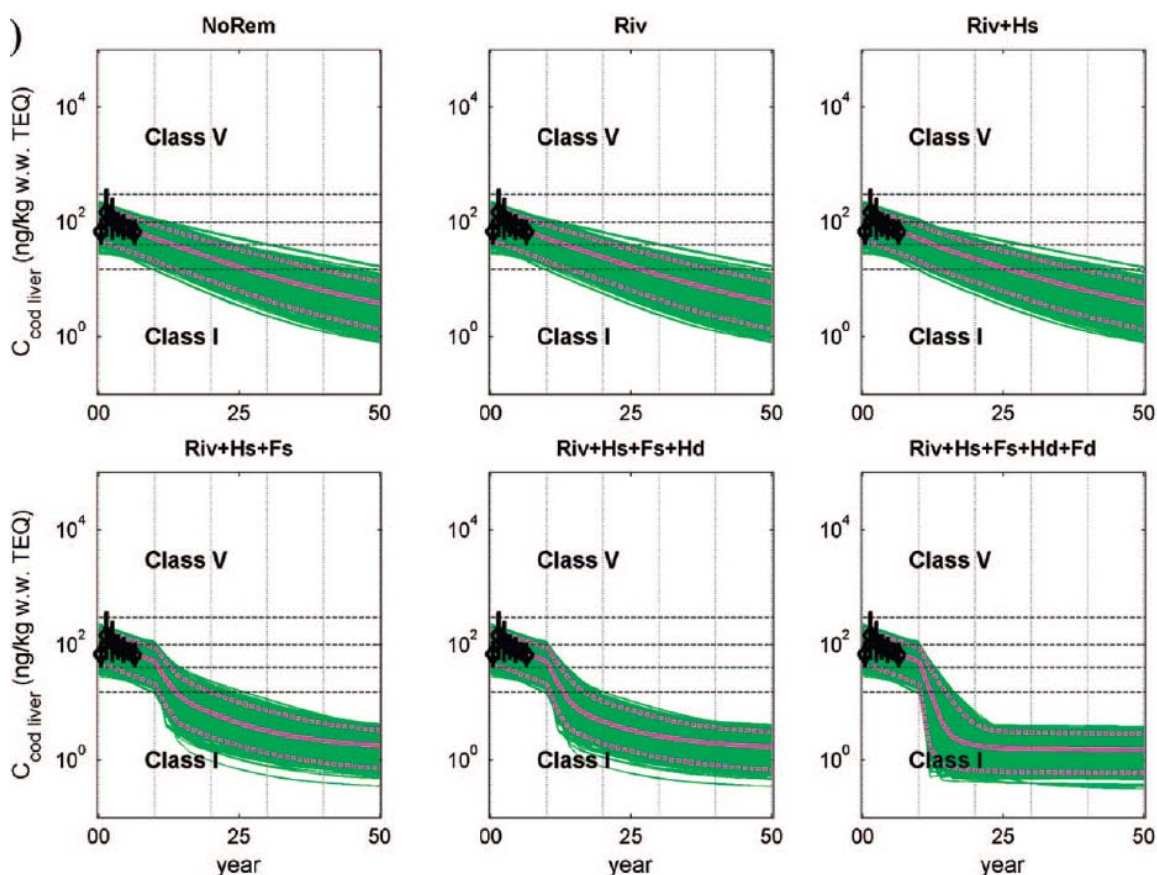
Figur 14. Simulert tidsutvikling for dioksinkonsentrasjon i torskelever og krabbesmør i Frierfjorden, sammenholdt med målte verdier. De horisontale linjene angir Klifs tilstandsklasser for dioksinkonsentrasjoner i organismer (TA 1467/1997). Fra Saloranta m.fl., 2008.

De samme tiltaksalternativene som har fulgt prosjektet siden Fase 2-simuleringene ble lagt til grunn for nye tiltakssimuleringer i 2008, med resultater som fremgår av figur 15.

Tiltaksalternativene er

NoRem	Ingen tiltak
Riv	Tiltak i Skiensselva
Riv + Hs	+ grunnområder ved Herøya
Riv + Hs + Fs	+ grunnområder hele Frierfjorden
Riv + Hs + Fs + Hd	+ dype områder ved Herøya
Riv + Hs + Fs + Hd + Fd	Tiltak i hele Frierfjorden

Simuleringene viste som tidligere at det er kun ved arealmessig store tiltak som minimum omfatter alle grunnområder (Riv + Hs + FS) i hele Frierfjorden at det blir en framskyndet nedgang i dioksinkonsentrasjon i torskelever.



Figur 15. Simulering av tidsutvikling for dioksinkonsentrasjon i torskelever i Frierfjorden ved seks forskjellige tiltaksalternativer, modellert med modellverktøyet Sedflex. Tiltakene er

NoRem	Ingen tiltak
Riv	Tiltak i Skiensselva
Riv + Hs	+ grunnområder ved Herøya
Riv + Hs + Fs	+ grunnområder hele Frierfjorden
Riv + Hs + Fs + Hd	+ dype områder ved Herøya
Riv + Hs + Fs + Hd + Fd	Tiltak i hele Frierfjorden

Tidslinjen går fra år 2000 og tiltaket er simulert i år 2010. Heltrukket linje angir medianverdier av 2000 modellkjøringer, og stiplede linjer angir 2,5- og 97,5 – percentilene. Samtlige 2000 kjøring er vist som grønne linjer. Median for årlige målte verdier i torskelever fra Frierfjorden er vist som sorte sirkler.

Dioksinkonsentrasjonen er oppgitt som sum av 17 dioksinforbindelser. De horisontale linjene angir Klifs tilstandsklasser for dioksinkonsentrasjon i organismer (TA 1467/1997). Fra Saloranta m.fl., 2008.

For en studie i 2009 ble modelloppsettet igjen oppdatert noe ved å inkludere data fra ytre fjord i MCMC simuleringer (kalibrering og usikkerhetsanalyse) og ved å justere noen av parametrene (Bakke m.fl., 2009). I disse siste simuleringene er det imidlertid ikke satt opp scenarier for ulike tiltak. De siste simuleringene for utvikling i torskelever uten tiltak er i vist i tabell 11, der de sammenholdes med EUs grenseverdi for dioksin og dioksinlignende PCB i torskelever.

Tabell 11. Simulert årstall for når gjennomsnittskonsentrasjon av dioksiner i torskelever forventes å nå EUs grenseverdi på 25 ng/kg våtvekt uten tiltak. Tabellen angir median og 90 % konfidensintervall (i parentes) av 2000 modellkjøringer gjennomført i usikkerhetsanalysen. Fra Bakke m.fl., 2009.

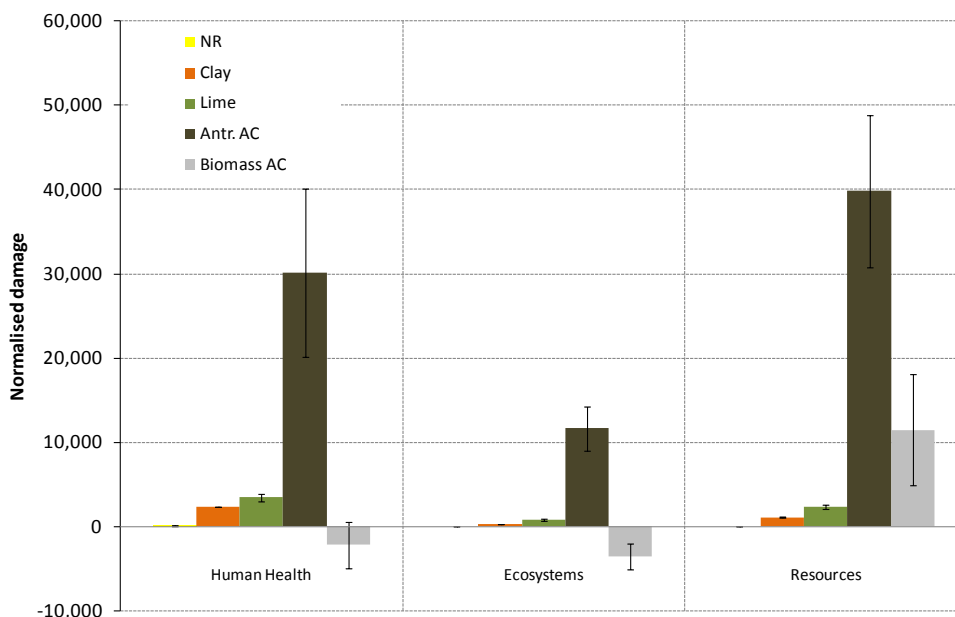
	År for nådd EU-grense
Torskelever, Frierfjorden	2043 (2035-2055)
Torskelever, ytre fjord	2042 (2031-2058)

4.1.9 Miljøregnskap (LCA)

Som en tilnærming til å belyse konsekvenser av ulike tiltaksløsninger på human helse, økosystem og ressurskostnader i et globalt perspektiv, ble det gjennomført en livsløpsanalyse (LCA) for tiltak i Frierfjorden. Analysen ble gjennomført av Magnus Sparrevik fra NGI som en del av hans doktorgradsarbeid, finansiert gjennom prosjektet Opticap og med tilskudd fra BEST(Sparrevik, 2011).

LCA er en metode som vurderer alle faser av et produkt eller en tjeneste og inkluderer ressursbruk, transport, bruk og håndtering etter bruk. Analysen legger til grunn alle ressurser og energi både inn og ut gjennom livsløpet, og vurderer dette i forhold til human helse og miljø. Belastningene kan sees i et lokalt, regionalt og globalt perspektiv. Livsløpsanalysen ble gjennomført for fire ulike tiltaksløsninger, der det ene alternativet var "ingen tiltak", mens det for de tre andre alternativene ble sett på ulike typer tildekkingsmasser; knust kalkstein, aktivt kull og leire. Dette er de samme tildekkingsmassene som ble benyttet i felttesten i Opticap. I tillegg ble biobasert aktivt kull vurdert opp mot mineralsk (antrasittbasert) aktivt kull som en mulighet for å binde CO₂.

Vurdering av miljøkonsekvensene er basert på toksisitet, klimaendringer, eutrofiering, og arealbruk, og effekten måles som reduksjonen i antall arter pr år. Konklusjonen etter gjennomføring av LCA for ulike tiltaksløsninger er at metoden kan være et nyttig verktøy for å vurdere miljøkonsekvenser i sedimentoppdyddingsprosjekter i et helhetlig perspektiv. Resultatene fra analysen viser ikke uventet at tildekkingsalternativene som er lagt til grunn alle sammen har større negativ betydning enn naturlig restituerende, når man tar inn i vurderingen alle prosesser forbundet med tildekkingsmassenes livsløp. Med andre ord er summen av fare for miljøkonsekvenser forbundet med uttak av masser, transport, utlegging osv større enn faren forbundet med miljøgiftene i sedimentet, når man vurderer ved hjelp av en livsløpsanalyse. Resultatene fra livsløpsanalysen er oppsummert i figur 16.



Figur 16. Skadepotensialet ved forskjellige tildekkingsmasser for tre målepunkt (human helse, økosystem og ressursbruk) beregnet ved hjelp av livsløpsanalyse (LCA), sett i forhold til ingen tiltak. Fra Sparrevik, 2011.

Det ble vist relativt store forskjeller i belastning på miljøet mellom de forskjellige tiltaksløsningene, og det er ulike forhold som er utslagsgivende i analysen ved de ulike alternativene, som det fremgår av Tabell 12.

Tabell 12. Prosesser knyttet til tildekking av forurenset sediment som har størst relativ påvirkning på human helse, økosystem og ressurser i livsløpet ved bruk av ulike tildekkingsmasser. Fra Sparrevik, 2011.

Tiltaksalternativ	Prosess med størst påvirkning på human helse, i %		Prosess med størst påvirkning på økosystem, i %		Prosess med størst påvirkning på ressurser, i %	
Naturlig restitusjon	Spredning fra sedimentet	99,7	Spredning fra sedimentet	96	-	
Leire	Tildeckingsoperasjonen	58	Tildeckingsoperasjonen	47	Råoljeforbruk	92
Kalkstein	Uttak av kalkstein	32	Tildeckingsoperasjonen	38	Råoljeforbruk	92
Antrasitt AC	Energi produksjon av kull	50	Produksjon av kull	39	Kullforbruk	78
Biomasse AC	Energi produksjon av kull	50	Energi produksjon av kull	44	Kullforbruk	56

Analysen viser imidlertid at det er mulig å optimalisere et tiltak og betydelig redusere miljøbelastningen dersom man benytter tildekkingsmasser som binder CO₂, slik som biobasert aktivt kull fremfor antrasittbasert aktivt kull. I denne studien ga bruk av biobasert kull seg utslag i en netto positiv effekt for økosystemet ved å inkludere effekten av karbonlagring i sedimentene.

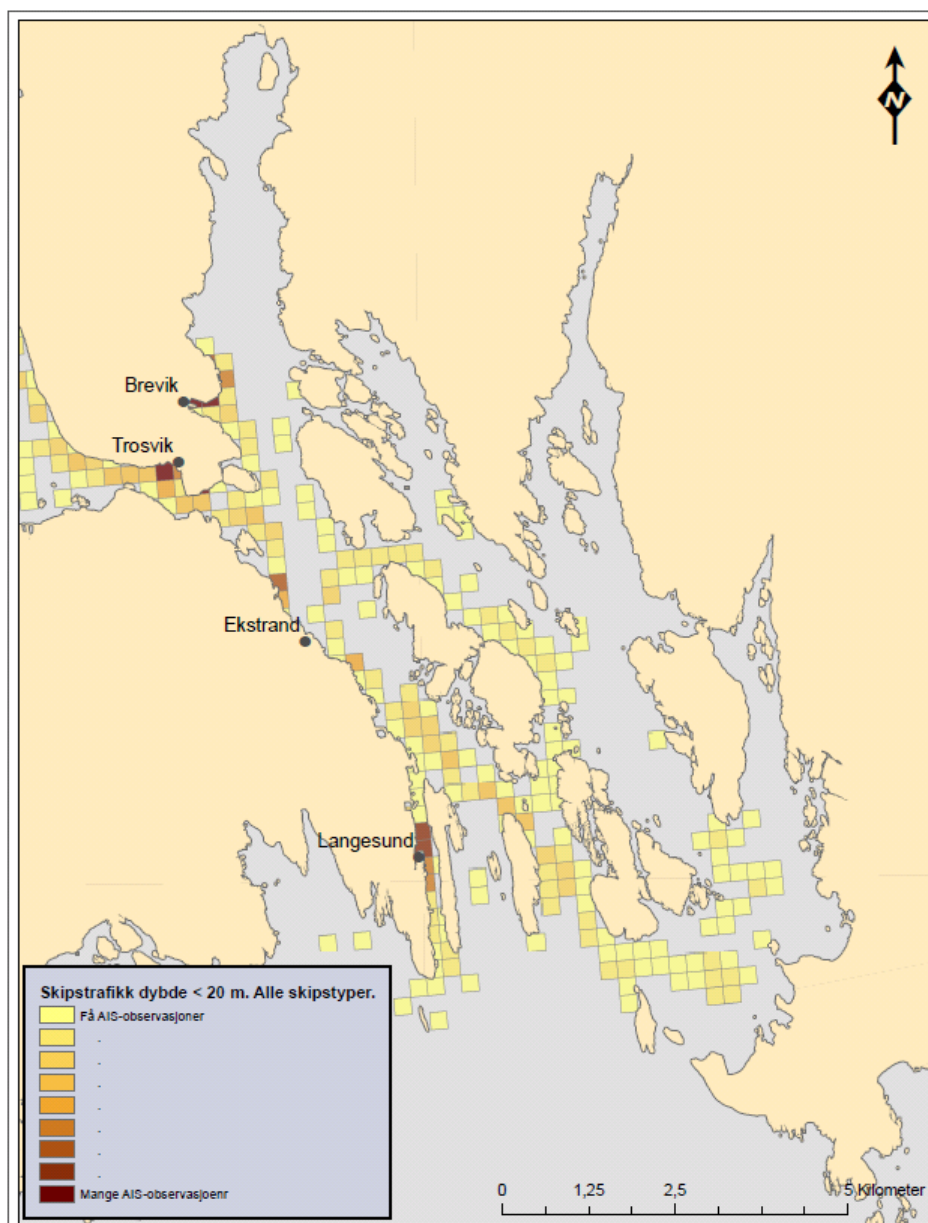
En følsomhetsanalyse viste at effektiviteten av tildeckingsoperasjonen kan påvirke miljøbelastningen fra leire og kalkstein signifikant, mens mengden tildekkingsmasse påvirker belastningen ved bruk av mineralsk aktivt kull mest.

4.1.10 Kunnskapskart

Med hjelp fra Gjermund Gravir hos DNV (Det Norske Veritas) har prosjektrelatert kunnskap om Grenlandsfjordene blitt samlet og kartfestet i et Arc Gis prosjekt, enten ved å hente data fra eksisterende databaser eller basert på data lagt inn i tilknyttede tabeller. Temaene som er

kartfestet er resultater fra sedimentundersøkelser, resultatene fra modellering av bunnsubstrat, registrerte naturverdier, dybdekonturer og skipstrafikk.

Kartene som er produsert på bakgrunn av tilgjengelig kunnskap om fjordene i Grenland er nyttige for å illustrere forholdene i fjordene, men også for arealanalyse og vurdering av mulige tiltaksområder. Eksempel på informasjon som er relevant for vurdering av mulig tiltaksareal er vist i figur 17, hvor skipstrafikk i kombinasjon med dyp i de ytre fjordene i Grenland er synliggjort. Klifs veileder til risikovurdering av forurenset sediment (TA 2808/2011) legger til grunn at sedimenter som ligger på vanddyp grunnere enn 20 m kan spres som følge av propelloppvirvling. Områder grunnere enn 20 m som berøres av skipstrafikk er i figur 17 markert med fargekode i forhold til hyppighet av skipstrafikk. Dette er områder som kan være uegnet for tildekking pga forstyrrelse av tildekkingslaget. Registreringer av skipstrafikk er basert på AIS-data fra 2008.



Figur 17. Eksempel på kunnskapskart for Grenland. Kartet viser områder i de ytre fjordene i Grenland som er grunnere enn 20 m og som ut i fra AIS-data fra 2008 er berørt av skipstrafikk.

4.2 Norsk Hydros utredningsarbeid

NIVA har gjennomført flere utredninger, finansiert av Norsk Hydro, for å styrke beslutningsgrunnlaget for eventuelle tiltak mot dioksinforurensede sedimenter i fjordområdene i Grenland. Disse utredningene er sammenfattet i rapporten *Undersøkelser for å styrke modeller knyttet til beslutningsstøtte for tiltak mot forurensede sedimenter i Grenlandsfjordene* (Næs m.fl., 2009). Hovedresultater fra de forskjellige aktivitetene er kort presentert her.

4.2.1 Kalibrering og usikkerhetsanalyse av modell for simulering av dioksyndynamikken i Grenlandsfjordene – Sedflex

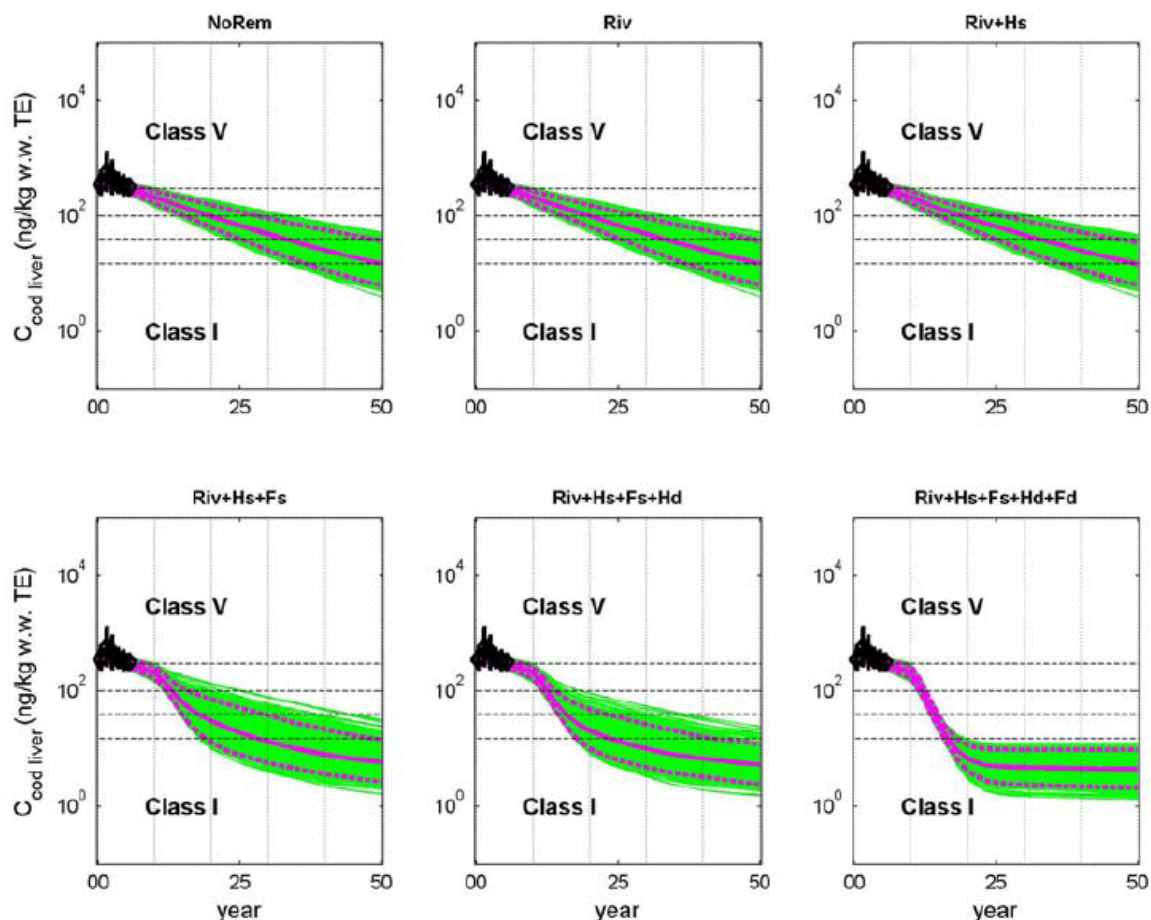
For detaljert beskrivelse av arbeidet med modellkalibrering og usikkerhetsanalyse ved hjelp av Markov Chain Monte Carlo (MCMC), henvises til NIVAs rapport (Næs m.fl., 2009). Arbeidet med modellen ble basert på observerte tidsserier i Frierfjorden, og tilsvarende kalibrering ble ikke gjennomført for de ytre fjordområdene i denne studien. I forhold til tidligere simuleringer av tiltak i Frierfjorden med modellen Sedflex ga bruken av MCMC-metoden følgende resultat:

- Redusert prediksjonsusikkerhet på nye estimater av effekt av tiltak på innholdet av dioksiner og furaner i torskelever og krabbesmør
- Mer solid forankring av modellprediksjoner til faktiske observasjoner av konsentrasjoner av dioksiner og furaner i vann, sediment, torskelever og krabbesmør i perioden 1975-2005, og dermed økt kvalitet på disse prediksjonene
- Muligheter for lett å oppdatere og raffinere modellsimuleringer og deres usikkerhet i fremtiden ved hver ny observasjon av konsentrasjoner i vann, sediment og i organismer.

Simulering av ulike tiltaksalternativer viste generelt samme type respons til de forskjellige tiltaksarealene som tidligere simuleringer gjennomført i Fase 1 av arbeidet i Grenland (Saloranta m.fl., 2006). Se figur 18 for resultater av de nye simuleringene.

Tiltaksalternativene er de samme som i tidligere simuleringer, vist i figur 15:

NoRem	Ingen tiltak
Riv	Tiltak i Skienselva
Riv + Hs	+ grunnområder ved Herøya
Riv + Hs + Fs	+ grunnområder hele Frierfjorden
Riv + Hs + Fs + Hd	+ dype områder ved Herøya
Riv + Hs + Fs + Hd + Fd	Tiltak i hele Frierfjorden



Figur 18. Modellsimuleringer av utviklingen av dioksin- og furan-konsentrasjoner (TEQ) i torskelerver i Frierfjorden under seks forskjellige tildekkings tiltak:

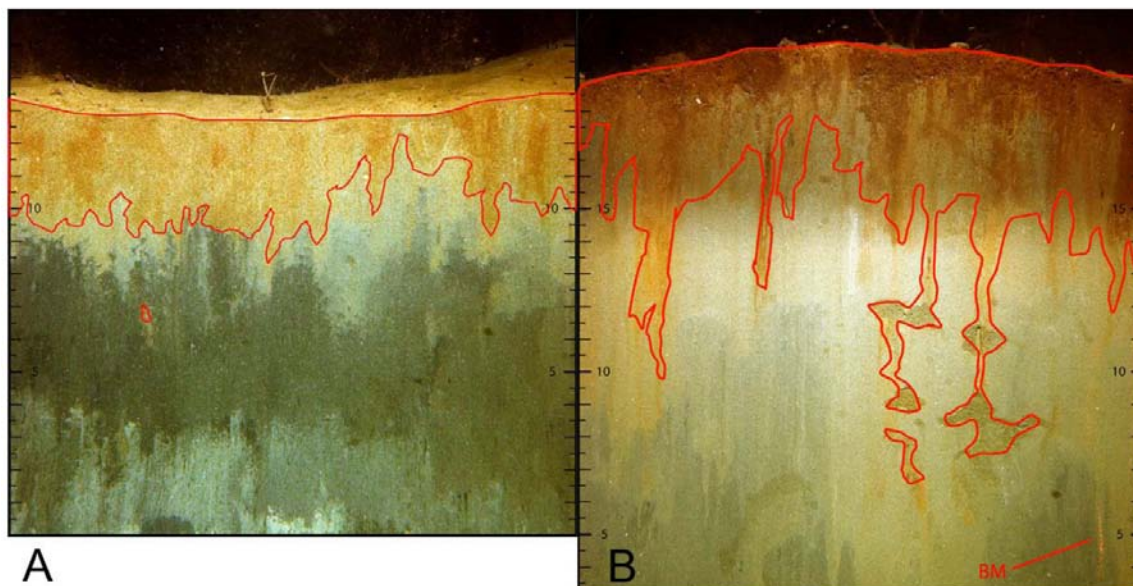
NoRem	Ingen tiltak
Riv	Tiltak i Skienselva
Riv + Hs	+ grunnområder ved Herøya
Riv + Hs + Fs	+ grunnområder hele Frierfjorden
Riv + Hs + Fs + Hd	+ dype områder ved Herøya
Riv + Hs + Fs + Hd + Fd	Tiltak i hele Frierfjorden

Grønne linjer viser 2000 simuleringer basert på modellparameterverdier som er blitt tilfeldig resamplet fra konvergent parameterkjede, heltrukket rød linje viser medianen og stiplede linjer viser 2,5- og 97,5-percentilen av disse simuleringene. Tilsvarende observasjoner i perioden 2000-2005 er også vist i venstre del av kurven, og errorbarene viser deres estimerte 95 % konfidensgrenser. De horisontale stiplede linjene viser Klifs klassegrenser for dioksiner og furaner i torskelerver (TA-1467/1997). Fra Næs m.fl., 2009.

Det er en signifikant effekt av tiltak på konsentrasjoner av dioksiner og furaner i torskelerver når tildekkings tiltak minimum dekker alle flater av Frierfjorden ned til 24 m (Riv + Hs + Fs). Tiltak i Frierfjorden påvirker ikke konsentrasjonene i for eksempel torsk i fjordområdene utenfor Breviksterskelen.

4.2.2 Tykkelse på aktivt overflatelag

Basert på analyse av sedimentprofilbilder (SPI; Sediment Profile Imaging) fra 39 prøvetakingsstasjoner i Frierfjorden, Eidangerfjorden og Ormefjorden, ble oksidert sjikt av sedimentet identifisert som et mål på bioturbasjonsdypet, som er det øvre laget av sedimentet der organismene graver. Middel for hele området var 3,6 cm, med variasjon mellom 0 og 6 cm (Næs m.fl., 2009). Figur 19 viser eksempel på identifisering av bioturbasjonsdyp ved analyse av SPI-bilde.

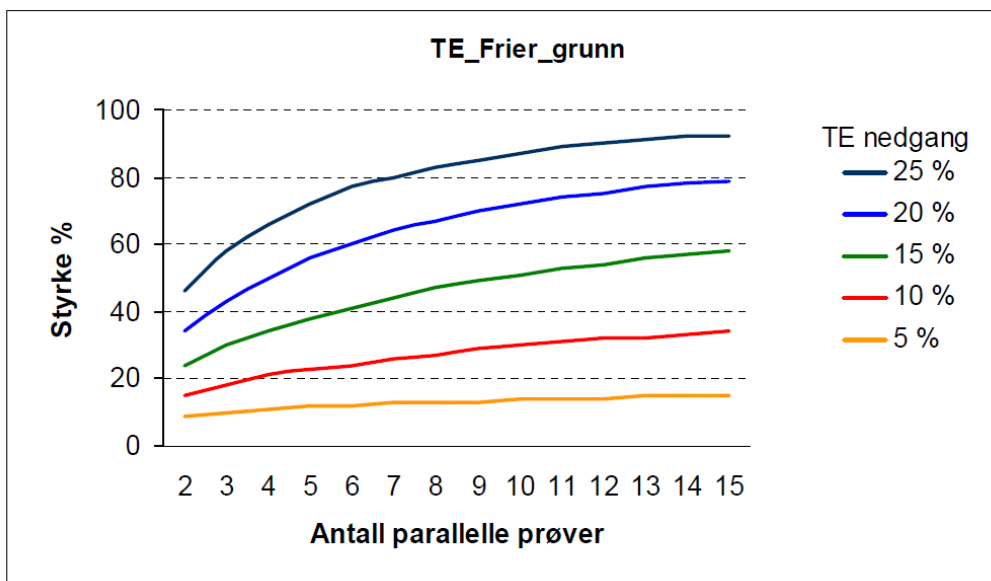


Figur 19. Figuren viser to forskjellige SPI-bilder hvor sjiktet mellom sedimentoverflaten og grensen for det bioturberte sjiktet er markert med en rød polygon. Middelverdi for det bioturberende sjiktet på bilde A er 2,9 cm, men varierer mellom 0,6 cm og 4,3 cm. På bilde B er middelverdi 4,0 cm, men varierer mellom 1,2 cm og 12,7 cm. En børstemark er merket med BM og viser biologisk aktivitet på 15,1 cm. Fra Næs m.fl., 2009.

4.2.3 Overvåket naturlig forbedring – dioksin i sedimentene

For å kunne bedømme endring i konsentrasjon i sedimentet over tid på faste stasjoner med kjent varians, ble det etablert to overvåkingsstasjoner i Frierfjorden og én i Kalven i ytre fjordområde. Både analytisk og naturlig variasjon i konsentrasjon innenfor overvåkingsstasjonen ble utredet. De fleste sedimentprøver analyseres som en blandprøve av flere paralleller nettopp for å utjevne naturlig variasjon innen samme prøvetakingsstasjon. Resultatene viste at den analytiske variasjonen var liten, med et gjennomsnitt på 3712 pg TE/g og et standardavvik på 80 (Næs m.fl., 2009).

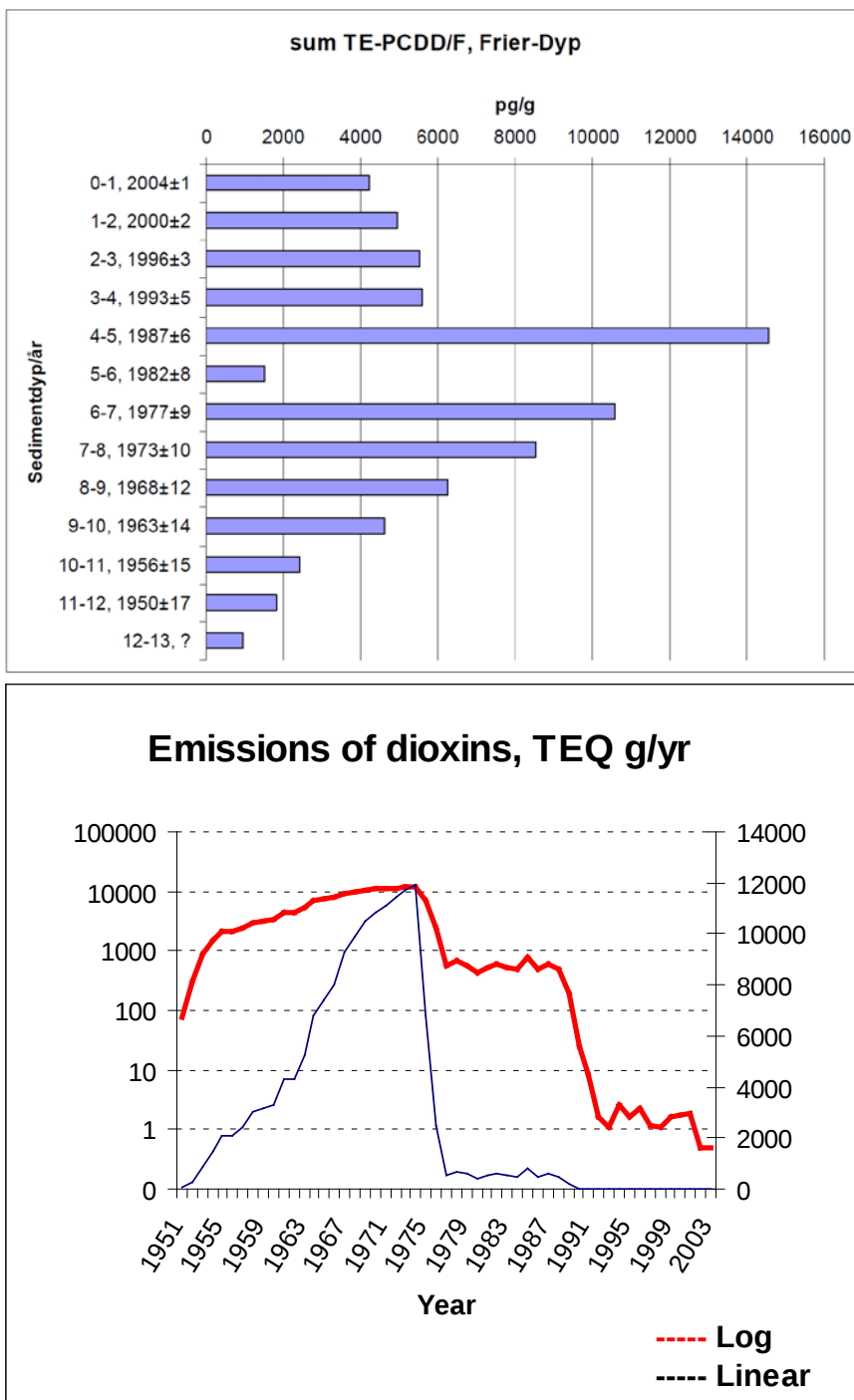
Den naturlige variasjonen, dvs variasjon mellom prøver av sediment tatt på samme prøvetakingsstasjon, var forskjellig på de tre stasjonene. Størst variasjon i konsentrasjon ble funnet på den grunne stasjonen i Frierfjorden og mindre variasjon på de dype stasjonene i Frierfjorden og i Kalven, med gjennomsnittsverdi og standardavvik på henholdsvis 5784 pg TE/g og 1120 på den grunne stasjonen i Frierfjorden, 4003 pg TE/g og 382 på den dype stasjonen i Frierfjorden, og 1385 pg TE/g og 159 på den dype stasjonen i Kalven. Variasjonen ga seg ikke utslag i ulike tilstandsklassifisering av parallelle prøver innen samme prøvetakingsstasjon basert på Klifs veileder TA 2229/2007 og ansees derfor ikke som vesentlig ved kartlegging og klassifisering av forurensningssituasjonen, med mindre man nærmer seg grenseverdiene mellom klassene. For dioksin ligger grenseverdien mellom klasse IV og V på 500 pg TE/g. Med en styrkeanalyse ble det beregnet at man for den grunne stasjonen i Frierfjorden ved neste undersøkelse med 10 parallelle prøver, med 80-90% sannsynlighet kan detektere ca 25 % nedgang. Lavere nedgang vil selv med flere prøver vanskelig kunne påvises pga den naturlige variasjonen. Forholdet mellom antall prøver, nedgang i konsentrasjon og styrken/sannsynligheten for å detektere denne på den grunne stasjonen i Frierfjorden, er vist i figur 20.



Figur 20. Styrkeanalyse av dioksin i overflatesediment på grunn (ca 15 m) overvåkningsstasjon i Frierfjorden (Næs m fl, 2009).

På de dype overvåkningsstasjonene i Frierfjorden (ca 40 m) og i Kalven (ca 40 m) kan man med større sikkerhet detektere nedgang, siden variansen der var mindre. Med mer enn 80 % sannsynlighet vil man ved neste prøvetaking med 10 parallelle prøver analysert fra hver stasjon, kunne detektere en nedgang på kun 10-15 %.

Tidsutvikling i sedimentet ble belyst ved vertikal konsentrasjonsfordeling i en aldersdatert sedimentkjerne fra den dype overvåkningsstasjonen i Frierfjorden. Fordelingen viste som forventet en økning i konsentrasjonene fra 1950-tallet til midten av 1980-tallet for deretter å avta, noe som harmonerer med utslippshistorikken knyttet til Norsk Hydros magnesiumfabrikk på Herøya. Figur 21 viser vertikalprofilen i den daterte sedimentkjernen og en beregnet utslippshistorikk for magnesiumfabrikken på Herøya (Trond Gulbrandsen, Norsk Hydro). Fra slutten av 1980-tallet er dioksinkonsentrasjonene i utslippene basert på målinger. Utslippene var trolig på sitt høyeste midt på 1970-tallet for så å avta i takt med iverksetting av utslippsreducerende tiltak. Utslippsreduksjonene forklarer mest sannsynlig nedgangen i dioksinkonsentrasjon i sedimentet og en tidsforskyvning i forhold til utslippsreduksjonene er vurdert å være sannsynlig.



Figur 21. Øverst vises vertikalprofil av dioksininnhold i en aldersdatert sedimentkjerne fra ca 40 m i Frierfjorden. Y-aksen angir cm ned i sedimentet med tilhørende alder (Næs m.fl. 2009). Nederst vises historiske utslipp av dioksin fra Norsk Hydros magnesiumfabrikk på Herøya. Utslippene fram til slutten av 1980-tallet er beregnede verdier (Trond Gulbrandsen), og etter ca 1990 er det målte og rapporterte verdier.

4.2.4 Transport av dioksin over Breviksterskelen

Nettotransporten i både løst og partikulær fase ble bestemt ved bruk av passive prøvetakere, konsentrasjonen av organisk karbon i vannmassene samt vanntransport estimert ut fra

vannføringen i Skienselva. Målingene ga en nettotransport av dioksiner ut av Frierfjorden på 0,9 g TEQ per år (Næs m.fl., 2009).

4.3 Tynnsjikttildekking (Opticap og Thinc)

Prosjektene Thinc (NIVA) og Opticap (NGI) har hatt til dels overlappende formål og har utfyllt hverandre i utredningene av tynnsjikttildekking. Sentrale deler av utredningsarbeidet i de to prosjektene har vært knyttet til gjennomføring av en felttest med utlegging av ulike tildekkingsmasser i Grenlandsfjordene. Opticap var ansvarlig for gjennomføringen av felttesten.

Formålet med **Thinc** har vært å utrede hvordan tynnsjikttildekking kan gjennomføres i ytre deler av fjordområdet i Grenland for å oppnå størst mulig reduksjon av spredning av miljøgifter fra sedimenter til vannmassene og organismer i området, og samtidig i størst mulig grad unngå skadevirkninger på bunnlevende organismer og bunndyrssamfunnet.

Thinc har

- utredet fordelingskoeffisienter i sediment fra Frierfjorden og i dekkmasser med og uten aktiv substans
- undersøkt effekt av tildekking med tynnsjikt i boksforsøk
- modellert og klassifisert bløtbunn i tiltaksområdet
- vurdert betydningen av trålfiske for oppvirvling av sediment
- bidratt til gjennomføringen av Opticaps felttest av tynnsjikttildekking
- undersøkt effekter av tynnsjikttildekking på bunndyrssamfunn fra felttesten i Grenlandsfjordene koordinert med Opticap

Prosjektet **Opticap** har hatt til formål å øke kunnskapen om nye materialer og metoder for utlegging av tynn tildekking på forurenset. Opticap har studert utlegging, egnethet av ulike typer tildekkingsmaterialer (effektivitet) og bi-effekter av tynnsjikttildekking. Dette er gjort ved modellering, laboratorieundersøkelser, boksforsøk og i felttest. I tillegg til felttest i Grenland har Opticap gjennomført felttest ved Fiskarstrand verft i Møre, gjennomført studier av første tildekkingslag på dypvannsdeponiet i indre Oslofjord (tiltakshaver Oslo havn KF) og undersøkt porevannskonsentrasjoner av PCB i sediment behandlet med aktivt kull ved Hunters point i California, USA (prosjekt ved Stanford University). Aktivitetene i Opticap fremgår av tabell 13.

Tabell 13. Oversikt over metoder og aktiviteter i NGIs prosjekt Opticap. Aktiviteter merket * er utført av NIVA og koordinert med prosjektet Thinc. Aktiviteter merket ** er gjennomført av både NIVA og NGI, med ulike metoder.

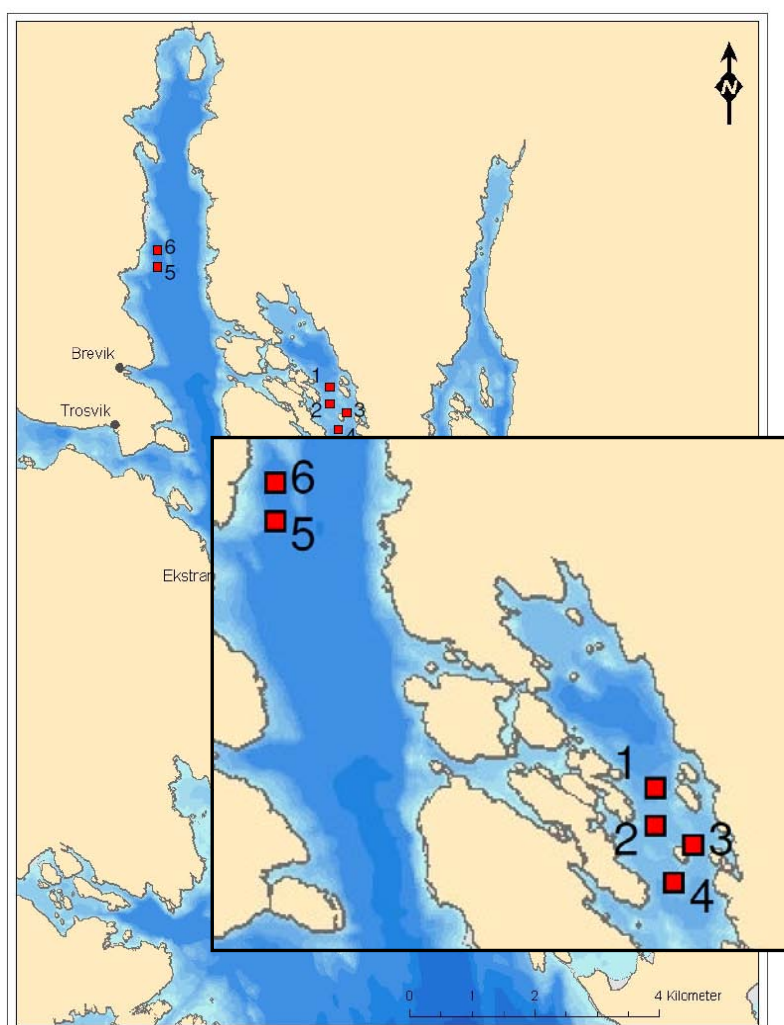
	Utlegging	Effektivitet	Bi-effekter
Modellering	Utlegging fra lekter	Diffusjonstransport gjennom tildekking	Livsløpsanalyse (LCA)
Laboratorieundersøkelser	Sedimentasjon av leire	Diffusjonstester med og uten tildekking	Utlekking
Boksforsøk	Effekt av bioturbasjon på tynntildekking*	Bioakkumulering og fluks*	Respons av tildekking på bunnfauna*
Felttest	Tildekkingstykkelse**	Utlekking** Bioakkumulering*	Respons av tildekking på bunnfauna*

Som det fremgår av tabell 13 har de to prosjektene koordinert sine undersøkelser av utlagte tildekkingsmasser i Grenlandsfjordene. Klif og Norsk Hydro har bidratt økonomisk til gjennomføringen av felttesten, og arbeidet har vært koordinert med prosjekt BEST.

Felttesten i Grenland ble igangsatt høsten 2009 med utlegging av forskjellige tildekkingsmasser på ett felt i Eidangerfjorden og tre felt i Ormefjorden. Oversikt over feltene og tildekkingsmasser er vist i tabell 14 og i figur 22.

Tabell 14. Oversikt over konstruksjon av testfelt i Grenlandsfjordene høsten 2009. Aktivt kull er forkortet AC.

Felt	Dyp (m)	Areal (m ²)	Type masse	Mengde	Lagtykkelse (cm)
Ormefjorden 1	30	10 000	Knust kalk fra NOAH	750 tonn ts	2,1±1,2
Ormefjorden 2	30	10 000	Mudret leire	440 tonn ts	3,7±1,1
Ormefjorden 3	30	10 000	Mudret leire og AC	211 tonn ts + 20,4 tonn AC	1,1±0,6
Ormefjorden 4	30	10 000	Referansefelt	-	-
Eidangerfjorden 5	100	40 000	Mudret leire og AC	891 tonn ts + 58,8 tonn AC	1,2±0,3
Eidangerfjorden 6	100	40 000	Referansefelt	-	-

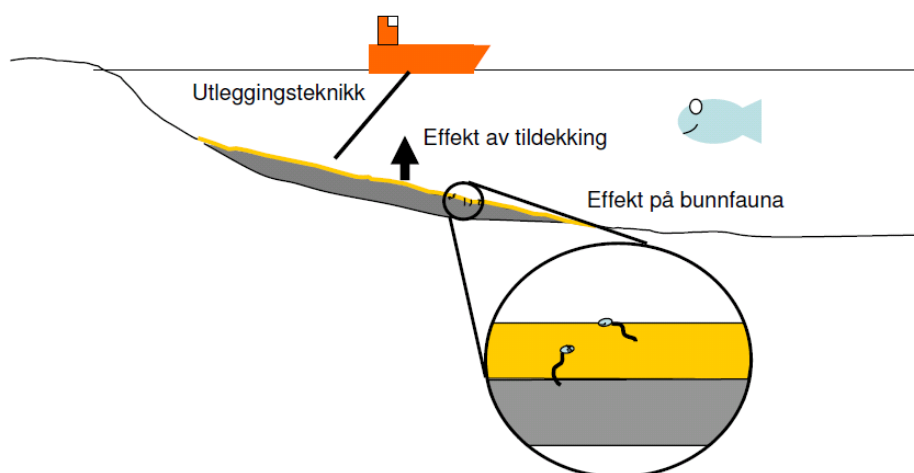


Figur 22. Plassering av testfelt i Ormefjorden (Felt 1-4) og i Eidangerfjorden (Felt 5-6). Felt 4 og 6 er referansefelt.

Som det fremgår av tabell 13 hadde felttesten tre hovedformål:

- Utlegging av tynntildekking på 30 og 100 m vanndyp
- Undersøke effekt av tynntildekking på tilgjengelighet og spredning av miljøgifter
- Undersøke effekten av tynntildekking på bunnfauna

Dette er illustrert i figur 23.



Figur 23. Felttest i Grenland, gjennomført av Opticap og Thinc. Hovedformål med felttesten var utprøving av utleggingsteknikk, undersøkelser av effekt av tildekking og av effekt på bunnfauna. Etter Espen Eek, NGI.

Resultatene er presentert i delrapporter fra NIVA og NGI, i tillegg til å være samlet i en sluttrapport fra prosjektet Opticap(Eek m.fl., 2012). Hovedresultatene gjengis her, men for detaljer henvises til prosjektrapportene. Se vedlegg 1 for oversikt over dokumentasjon.

Utlegging

Tildekkingsmassene ble ført ned og sluppet like over sjøbunnen ved å pumpe omvendt vei gjennom sugearm fra et sugemudringsfartøy, der massene ble holdt kontinuerlig i suspensjon i lasterommet. Se bilder fra utleggingen i figur 24. Massene ble lagt ut på testfeltene langs striper med bredde 5-7,5 m, varierende med massetype. Overvåkning av turbiditet under utlegging av tildekkingsmassene viste at massene fordelte seg som en turbiditetssky i vannet under utslippspunktet like over bunnen. Det var også noe spredning av masser langs sjøbunnen i nord-sør retning, som er sammenfallende med den dominerende strømrretningen i området. Det ble observert lite turbiditet (spredning av tildekkingsmasser) høyere opp i vannmassene enn utslippspunktet.



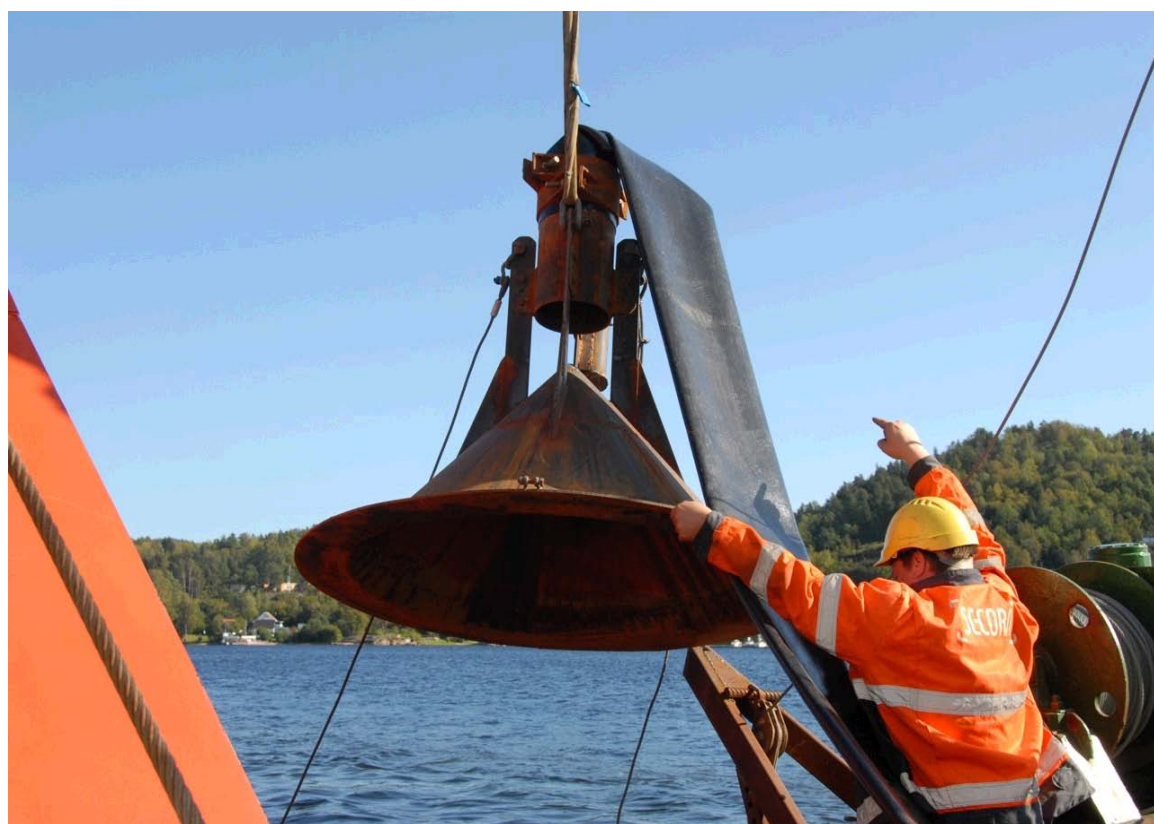
Rein leire sugemudres til lasterommet i Agder Marines sugemudringsfartøy Arena.



Sekker med kull og salt på kaia i Brevik, klare for innblanding med mudret leire.



Kull blandes inn i mudret leire i lasterommet på Arena.



Nedføringsrøret for utleggingsmassene med en diffusor påmontert heises ned i sjøen.



Kalksteinholdes i suspensjon i lasterommet på Arena før utlegging.



Suspender kalkstein pumpes ut via nedføringssrøret til venstre i bildet, mens massene fortsatt sirkuleres i lasterommet.

Figur 24. Bilder fra utlegging av tildekkingsmasser i Grenlandsfjordene høsten 2009. Foto: Marianne Olsen

Måling av tykkelse av tildekkingslaget ble gjort med NIVAs SPI-kamera (Sediment Profile Imaging). Dette kameraet tar bilder i et snitt i sedimentet, som vist i figur 25.



Figur 25. Snitt ned i sedimentet fotografert med NIVAs SPI-kamera. Bildet viser opprinnelig sjøbunn i Ormefjorden dekket med et lag ren leire. Tildekkingslaget varierer mellom ca 2 og 5 cm. Foto: Bjørnar A. Beylich, NIVA.

Resultatene av målt tykkelse av tildekkingslag er vist i tabell 13. Faktisk oppnådd tykkelse var mindre enn planlagt tykkelse på 5 cm. Verifisering av tykkelse ble gjort ved måling av vertikalfordeling av kvikksølv, redoksforhold og innhold av TOC. Beregninger viste at 42-80% av utlagte masser ble gjenfunnet innenfor feltene. Målinger bekreftet spredning av både aktivt kull og leire til fjordbunnen utenfor feltene, og sammen med betydelig usikkerhet i både beregnet og målt lagtykkelse kan gjenfangst av 42-80% anses å være et rimelig resultat.

Konklusjonen etter utprøving av metodikk er at tynn tildekking kan legges ut med tilgjengelig utstyr.

Kostnader forbundet med tildekkingsforsøket

Kostnadene med utlegging av testfelt i Grenlandsfjordene er summert i tabell 13 (Eek m.fl., 2011). Kostnadene varierte mellom testfeltene, avhengig av bl.a. masstype og tidsbruk, slik det fremgår av tabell 15.

Tabell 15. Oversikt over kostnader for hvert enkelt testfelt i Grenlandsfjordene. AC = aktivt kull. Fra Eek m.fl., 2011.

Massetype	Totalkostnad (NOK)	Areal (m ²)	NOK /m ²
NOAH kalk	462 000	10 000	46
Mudret leire	513 000	10 000	51
Mudret leire og AC, Ormefjorden	554 000	10 000	55
Mudret leire og AC, Eidangerfjorden	3 014 000	40 000	75
Felttest samlet	4 543 000	70 000	65

Endring i utlekking

Innenfor prosjektet Opticap er det gjort både modellstudier, laboratoriestudier, studier av sediment i bokser og studier i felt for å forstå effekten av tynnsjikttildekking på transport av miljøgifter fra sedimentet. Reduksjon av utlekking av dioksiner og furaner for alle testene er oppsummert i tabell 16, sammen med en vurdering av mekanismer som kan påvirke utlekkingen.

Tabell 16. Effektivitet av tynntildekking, angitt som reduksjon i utlekking av dioksiner og furaner (TEQ). Fra Eek m.fl., 2012.

Målemetode	Effektivitet (% reduksjon)	Mekanismer som kan påvirke utlekkingen
Modellert effektivitet (teoretisk)	90 - 99	Uforstyrret tildekking, bare diffusjon
Laboratorietester	90 - 99	Uforstyrret tildekking, bare diffusjon
Boksforsøk	40 - 97	Bioturbasjon
Felttester	52 - 88	Bioturbasjon, re-sedimentering av forurenset materiale, ujevn tildekking

Resultatene fra felttesten viste at effektivitet målt ved hjelp av passive prøvetakere (SPMD) var størst på tildekkingsfelt med knust kalk og minst på feltet med aktivt kull blandet med leire. Noe av forklaringen kan være at tykkelsen av tildekkingslaget på feltet med aktivt kull blandet med leire var tynnere enn på de øvrige testfeltene. Det kan også være at det tar noe tid før effekten av aktivt kull blir tydelig. Bruk av passive prøvetakere i boksforsøk for å måle utlekking, viste god effekt av aktivt kull (Schaanning og Allan, 2012). Både tykkelse og innhold av aktivt materiale ser ut til å ha betydning for å få god effekt av tildekking.

Effekt på og respons i bunnfauna

Etter utlegging av masser på testfeltene målte NIVA reduksjon i utlekking av dioksiner (PCDD/F), hexaklorbensen (HCB) og oktaklorstyren (OCS) fra sediment til vannmasser og bioakkumulering i vannlevende organismer. I tillegg ble det undersøkt effekter på habitat og samfunnsstruktur. Alle målinger av utlekking og bioakkumulering ble utført i bokser med sediment hentet ut fra testfeltene i Grenland. Utlekking og bioakkumulering ble målt ved passive prøvetakere i boksene og ved faktisk opptak i to arter av bunnlevende organismer; den

dypt-gravende børstemarken *Nereis (Hediste) diversicolor* og sneglen *Hinia reticulata* som oppholder seg nærmere sedimentoverflaten (Schaanning og Allan, 2012).

Funksjonell respons ble også målt som utveksling av oksygen og næringssalter mellom sedimenter og vannmasser. Flukser av oksygen og nitrogenholdige næringssalter (ammonium og nitrat) var ikke signifikant påvirket av tildekkingen på noen av feltene.

Ved målinger en måned etter at tildekkingen fant sted var bioakkumuleringen av dioksiner i sneglen redusert med mellom 67 og 91 % på alle tildekkingsfeltene sammenlignet med referansefeltet som ikke var dekket til. Året etter var denne effektiviteten imidlertid redusert til 46 % på kalkfeltet og 21 % på feltet dekket med ren leire. Årsaken kan være tilførsel av forurenset sediment (rekontaminering eller bioturbasjon) til tildekkingslaget. På begge feltene som var dekket med aktivt kull og leire var effektiviteten fortsatt høy eller høyere, dvs 83 % i Eidangerfjorden og 86 % i Ormefjorden, året etter. Aktivt kull så dermed ut til å fungere effektivt også for dioksiner som eventuelt var tilført tynnsjiktene etter utlegging (rekontaminert). Funn i passive prøvetakere og i børstemark bekreftet i hovedtrekk betydningen av aktivt kull for å oppnå høy effektivitet. Dette gjaldt imidlertid ikke for børstemark på feltet med leire og aktivt kull i Eidangerfjorden, der disse ble funnet å inneholde 2-5 ganger mer dioksin enn børstemarkene på referansefeltet like ved. De biologiske undersøkelsene har vist at mange organismer er følsomme for aktivt kull og en mulig forklaring på forskjellen mellom børstemark på feltene med aktivt kull og leire i de to fjordavsnittene er at dyra kan ha respondert forskjellig for å unngå eksponering for aktivt kull (Schaanning og Allan, 2012).

Testfeltene og referansefeltene ble undersøkt med SPI-kamera hver 6. måned fra mai 2009 til mai 2011. Habitatene ble beskrevet på grunnlag av SPI-bilder og målinger av vertikalprofiler av oksygen og redokspotensialer. For hvert tokt ble det analysert 20-40 bilder for hvert felt for bestemmelse av bentisk habitat kvalitetsindeks (BHQ). I mai 2009, før tildekking, viste indeksen gode forhold på alle feltene og ingen signifikante forskjeller mellom feltene. På begge feltene som var dekket til med leire og aktivt kull ble tilstanden i mai 2011 karakterisert som mindre god og signifikant dårligere enn de respektive referansefeltene. På de andre feltene var BHQ uendret eller bedre enn før tildekkingen (Schaanning m fl., 2011).

Full makrofaunaundersøkelse ble utført 1 måned etter tildekking og igjen drøyt ett år etter. Undersøkelsen viste bunndyrsamfunn preget av forstyrrelse på begge feltene behandlet med aktivt kull, med negativt respons på antall dyr, antall arter og diversitet sammenlignet med referansefeltene. Den negative utviklingen observert med SPI-kamera fra 2009 til 2010 ble bekreftet i Ormefjorden på 30 m, men ikke like klart i Eidangerfjorden på 100 m. Resultatene fra feltene med kalkstein og med mudret leire viste at faunaen har god evne til å motstå utlegging av tynne sjikt med disse materialene og med lagtykkelse under 5 cm (Schaanning m fl., 2011).

4.4 Thinc: sedimentoppvirvling under reke-tråling

For å studere omfanget av resuspensjon av sedimenter under bunntråling gjennomførte NIVA en studie i Eidangerfjorden i 2008 (Molvær m.fl., 2012). Trålingen ble gjennomført i en lengde på 3600 m og samtidig ble det gjort målinger av strømhastighet og – retning, turbiditet og partikkelkonsentrasjon. Resultatene viste oppvirvling av sediment til en høyde av 15-18 m over bunnen. Skyen med partikler forflyttet seg med strømmen med stor variasjon i retning. Typisk bredde av skyen ble anslått til ca 150 m. En stor del av partiklene som trålen virvlet

opp, sank sannsynligvis til bunns i løpet av ett døgn, gitt teoretisk sammenheng mellom partikkelstørrelse og synkehastighet. De minste partiklene kan teoretisk ha holdt seg svevende i flere døgn og fordelt seg over storparten av Eidangerfjorden. Oppvirvlet mengde dioksin ble anslått til størrelsesorden 5-20 mg TEQ pr tråltrekk som ble undersøkt. Det ble ut fra dette anslått at årlig oppvirvlet mengde dioksin kan være 300-1200 mg TEQ. Det er imidlertid antatt at det meste vil resedimentere i Eidangerfjorden, mens en mindre andel knyttet til små partikler kan spres videre og ut i Breviksfjorden (Molvær m.fl., 2012).

4.5 Skipsverft, industri- og trafikkhavner

Som en del av regjeringens prioritering av forurensset sjøbunn har både prioriterte skipsverft, industri- og trafikkhavner fått pålegg fra henholdsvis Fylkesmannen og Klif om å gjøre undersøkelser og utrede risiko for spredning av forurensning som følge av sine aktiviteter.

I Telemark har sju skipsverft fått pålegg om å kartlegge forurensningssituasjonen på land og i sjø, og om å utrede risiko for spredning fra land til sjø. Av disse skipsverftene ligger fem innenfor tiltaksplanområdet. Undersøkelser av sjøbunnen nær de prioriterte skipsverftene har ikke inkludert dioksinanalyser, siden verftene ikke er aktuelle kilder til dioksinforurensning i fjorden. Mange av forbindelsene forbundet med skipsverft finnes spredd over store områder, slik som TBT som også har sin kilde i skiptrafikken, mens andre forbindelser, spesielt tungmetaller, kan knyttes mer direkte til skipsverftene og finnes lokalt. Fylkesmannen har koordinert arbeidet med skipsverftene med tiltaksplanarbeidet for øvrig, og har ønsket å vente på ferdigstillingen av prosjekt BEST før tiltak i sjø utenfor skipsverftene vurderes.

Havnene har gjort utredninger for å avklare spredning av forurensset sjøbunn som følge av propelloppvirvling, og vurdere om opprydding er nødvendig.

I grenlandsområdet har disse utredningene blitt pålagt Norcem AS i Brevik, Grenland havn med sine virksomheter ved Herøya, Skien havneterminal, Brevikterminalen og Langesund fergeterminal, bedriftene tilknyttet Rafnes industriområde (Ineos Bamble AS, Ineos Norge AS og Noretyl AS), bedriftene tilknyttet Herøya industripark med havneanlegg og Eramet Norway AS på Herøya. Eramet har samarbeidet med Herøya industripark og Grenland havn om utredningene for havneanleggene på Herøya.

Det har blitt gjennomført undersøkelser av sedimentene ved alle havneanleggene, og i hovedsak er Klifs veileder for risikovurdering av forurensset sediment (TA-2230/2007) benyttet for å beregne fare for spredning etter propelloppvirvling. Dette gjelder imidlertid ikke risikovurderingen fra Norcem.

Det er beregnet risiko fra farled og langs kaier med vanddyp grunnere enn 20 m.

Beregning av spredning av dioksin som følge av skipsoppvirvling ved havnene er oppsummert i tabell 17.

Tabell 17. Oppsummering av skipsoppvirvling ved industri- og trafikkhavnene i Grenland.

Havneanlegg	Mengde oppvirvlet sediment	Oppvirvlet mengde dioksin
Norcem AS	Ikke beregnet. Konsekvens vurdert som grad av oppvirvling fra "noe" til "betydelig" og med varierende spredning fra helt lokalt til ute i fjordsystemet. Propellstrøm er beregnet for å angi spredningsområdet. Ingen anløpssituasjoner er vurdert til å medføre annet enn lokal oppvirvling og heller ikke spredning ut fra indre havnebasseng.	Ikke beregnet. Sedimentundersøkelser har vist høye dioksinkonsentrasjoner (klasse V) men likevel lavere innerst ved kaiene enn lengre ut i fjordene.
Grenland Havn IKS: Skiensterminalen, Breviksterminalen og Langesund fergeterminal. Kai ved Herøya inkludert i utredning for Herøya industripark	Bare beregnet for Skiensterminalen og for Langesund fergeterminal med driftstall fra 2007, henholdsvis 974 tonn/år og 2335 tonn/år.	Mengde pr år ikke beregnet for dioksin. Det ble ikke målt verdier av dioksiner/furaner over klasse II ved hverken Skien havneterminal, Breviksterminalen eller Langesund fergeterminal
Rafnes industriområde, inkludert Ineos Bamble AS, Ineos Norge AS og Noretyl AS	4400 tonn/år	1,6 g TE/år oppvirvlet. Transport av oppvirvlet dioksin med vannmassene ut over Brevikterskelen antatt å være ca 20 %, tilsvarende ca 0,3 g TE/år
Herøya industripark, inkludert Eramet Norway AS og Grenland Havns anlegg på Herøya	7538 tonn/år til Skienselva og 157 tonn/år til Frierfjorden	0,51 g TE/år, hvorav 0,46 g TE/år fra trafikken i Skienselva.

5 Sammenstilling av beslutningsgrunnlag

Hovedspørsmålet i prosjekt BEST har vært om tynnsjikttildekking er en egnet tiltaksmetode for å framskynde naturlig forbedring av forurensningssituasjonen i Grenlandsfjordene. I dette kapitlet sammenstilles og vurderes beslutningsgrunnlaget for å kunne gi et svar på dette spørsmålet. Utredningene og resultatene fra prosjekt BEST og øvrige prosjekter som er presentert i kapittel 3 og 4, utgjør kunnskapsgrunnlaget for de fire elementene som beslutningsgrunnlaget er bygget på; *Effekt, Konsekvens, Nytte og Kostnad*.

Vurdering av beslutningsgrunnlaget er gjort ved hjelp av en semikvantitativ analyse av de *vesentlige faktorene* som har betydning for hvert av de fire beslutningselementene. Den foreliggende kunnskapen er vurdert i forhold til *kunnskapsnivået* som er nådd gjennom prosjektet, hvordan *datakvaliteten* er, inkludert sikkerhet og variasjon som ligger i dataene, og i hvilken grad resultatene *støtter anvendelsen av tynnsjikttildekking* som tiltaksmetode i Grenland. Dette er gjort ved å tilordne poeng etter en skala fra 1 til 5, og etter kriteriene som fremgår av tabell 18. De vesentlige faktorene tilordnes deretter et poenggjennomsnitt basert på det samlede kunnskapsgrunnlaget. Dette er igjen utgangspunktet for den endelige vurderingen av beslutningsgrunnlaget på et overordnet nivå. Vurderingen er basert på Fylkesmannens skjønn.

Tabell 18. Kriterier for tilordning av poeng for vurdering av beslutningsgrunnlaget om tynnsjikttildekking som tiltaksmetode i Grenlandsfjordene.

Poeng	Kunnskapsnivå	Datakvalitet og usikkerhet	Støtte til tiltaksmetoden
1	Utilstrekkelig	Svært dårlig	Støtter ikke
2	Store mangler	Dårlig	Usikker støtte
3	Noe mangelfullt	Moderat kvalitet	Kan tale for
4	Tilfredsstillende	God kvalitet	Betinget støtte
5	Svært tilfredsstillende	Svært god kvalitet	Ubetinget støtte

Grunnlaget for tilordning av poeng til de vesentlige faktorene er resultatene som er omtalt i kapittel 4, sammen med annen relevant kunnskap. Faktorenes relative betydning er ikke vektlagt ved tilordning av poeng.

5.1 Effekt

Samlet effekt av tildekking vil bl.a. bestemmes av hvor effektivt tiltaket reduserer utlekking av miljøgifter fra sedimentet og reduserer opptak i biota. **Tildekkingseffektivitet** er derfor en vesentlig faktor som igjen påvirkes av hvilke tildekkingsmasser som benyttes, hvor tykke lag som legges ut og hvor store areal som lar seg dekke til. Tiltaksarealene er videre styrt av utbredelsen av miljøgifter i sedimentet, bunnsubstrat og topografi, forekomst av biologiske ressurser og naturtyper som eventuelt skal tas hensyn til, og eventuelle konfliktaktiviteter, som kan være skipsfart og tråling.

Nye tilførsler av miljøgifter vil kunne redusere effekten av tiltak over tid og er dermed en vesentlig faktor, med kilder som kan være diffuse utslipp fra land, avrenning via nedbørsfeltet, utslipp til sjø eller omfordeling av resuspendert forurenset sediment.

Resuspensjon er i seg selv en vesentlig faktor som kan påvirke effekten av tiltak og som kan være forårsaket av tråling eller skipspropeller, eller eventuelt strømsituasjonen langs bunnen.

Tildekkingseffektivitet

Effekten av ulike masstyper og tykkelse på tildekkingslaget er godt dokumentert gjennom prosjektene Opticap og Thinc, både ved studier i laboratorium, i boksforsøk og i felttest. Statistisk har det vært mulig å påvise god respons av tildekking, men det er også vist tydelige forskjeller i effekt både med masstype og tykkelse. Effekten av aktivt kull i tildekkingsmassen er tydeligere positiv på opptak og bioakkumulering enn på utlekking målt med passive prøvetakere. Resultatene fra felttest er generelt mindre tydelige og reflekterer at det er vanskeligere å kontrollere alle miljøforhold i felt enn i kontrollerte labforsøk. Samtidig gir feltforsøk resultater med større relevans for en storskala tildekking ved nettopp å vise effekten av flere mekanismer samlet. Kort oppsummert viser forsøkene at

- Tynn tildekking kan gi betydelig reduksjon i biotilgjengelighet av dioksiner
- Masser tilsatt aktivt kull gir mer effektiv tynnsjikttildekking enn passive masser
- Økt lagtykkelse gir mer effektiv tynnsjikttildekking
- Både tykkelse og innhold av aktivt materiale ser ut til å være viktig for effektivitet av tynntildekking

Grunnlaget for å avgrense tiltaksareal er tilgjengelig i form av forståelse for *miljøgiftutbredelsen* i fjordene horisontalt og til dels også vertikalt. Nye sedimentundersøkelser av grunne områder sammen med undersøkelsene av dioksiner i suspendert partikulært materiale har gitt økt forståelse for fordelingen av miljøgifter og dynamikken som bidrar til spredning av dioksiner. De høyeste konsentrasjonene i sedimentet er funnet i Frierfjorden, i Eidangerfjorden, i Ormefjorden og i Breviksfjorden ut mot Langesund, se figur 1, og verdiene tilsier at tiltak bør vurderes.

Arbeidet som er gjort med å modellere *bunnsbunn* gir et grunnlag for å identifisere områder som er mer eller mindre egnet for tildekking. Akkumulasjonsbunn med helning over 20 grader er trolig lite egnet for tildekking, mens arealene med helning under 7 grader trolig vil være best egnet. De flateste og bløteste partiene er estimert til å utgjøre ca 27,6 km² av hele fjordsystemet. Arealet av bløtbunn i områdene med de høyeste dioksinkonsentrasjonene (se ovenfor) summerer seg til ca 4,9 km² i Frierfjorden og 7,5 km² utenfor Breviksterskelen. Dette er områder som minimum bør prioriteres i en tiltaksplan. Til sammenligning utgjør bløtbunnsarealene i hele studieområdet totalt ca. 47 km², mens bløtbunnsarealet innenfor Langesund utgjør 29 km². Frierfjorden alene utgjør 14 km² og fjordene mellom Breviksterskelen og Langesund utgjør 15 km².

Kartleggingen av *marine naturtyper* er gjennomført systematisk og med de standardiserte metodene som Direktoratet for naturforvaltning har lagt opp til. Det er spesielt bløtbunnsområder og ålegressenger som er relevante naturtyper å ta hensyn til ved tiltaksplanlegging. Kartleggingen langs kysten av Telemark har gitt få registreringer av ålegress innenfor studieområdet for prosjekt BEST. Det er generelt liten kunnskap om ålegressengers sårbarhet for nedslamming og forstyrrelser, og derfor grunn til å vise aktsomhet selv ved små forekomster.

Fylkesmannens vurdering er at de begrensede forekomstene av ålegress ikke vil ha noen vesentlig betydning for det samlede tiltaksarealet, selv om man skulle velge å vise varsomhet med tiltaksløsninger i umiddelbar nærhet av ålegressenger.

Den foreliggende kunnskapen om fiskenes *beiteadferd, byttedyr og habitatvalg* som er hentet inn gir ikke grunnlag for å utelukke verken grunne eller dype områder som aktuelle tildekkingsområder, siden beiting tilsynelatende foregår på ulike dyp til ulike tider. Datagrunnlaget er imidlertid begrenset og i hovedsak basert på generell kunnskap.

Arealene som utgjør potensielle *konfliktområder* med aktiviteter som skipsfart og tråling, er bare til en viss grad identifisert. AIS-data sammenholdt med dyp kan være en egnet tilnærming til å identifisere potensielle områder der skipstrafikken kan medføre forstyrrelse av tildekkingslag pga propellaktivitet. Arealene som er identifisert i prosjekt BEST utgjør relativt store arealer hvis man inkluderer alle registreringer av skip, men en grundigere analyse av skipstrafikken bør gjøres ved en evt. prosjektering av tildekking. Hvor stor del av det modellerte bløtbunnsarealet som berøres av skipstrafikk er ikke analysert, og trålområder er heller ikke kartfestet. Ut i fra muntlig opplysninger fra aktive fiskere vil det imidlertid være mulig å definere tråltrekkene, som i første rekke berører de dype bløtbunnsområdene i Eidangerfjorden og Breviksfjorden.

Vurderingen av kunnskapsgrunnlaget for **tildekkingseffektivitet** som en vesentlig faktor for forståelsen av effekt av tiltak i Grenlandsfjordene, er oppsummert i tabell 19. Det er Fylkesmannens vurdering at kunnskapen som har fremkommet gjennom prosjektene Thinc og Opticap gir svært tilfredsstillende kunnskap om betydningen av massetyper og tykkelse av tildekkingslag. Resultatene taler for tynnsjikttildekking som metode, men viser viktigheten av å optimalisere et tildekkingstiltak gjennom konkret prosjektering av lagtykkelse og massetype. Grunnlaget for å identifisere tiltaksareal foreligger til dels som målte verdier, dels som observasjoner og dels som modellerte beregninger. Kunnskapsgrunnlaget om tiltaksareal kan sies å være noe mangelfullt. Det er usikkerhet rundt betydningen av konfliktaktiviteter for det endelige tiltaksarealet og for den samlede effekten av tiltak dersom arealene reduseres vesentlig i forhold til beregnet utvikling av dioksinkonsentrasjoner i fisk og skalldyr ved full tildekking.

Tabell 19. Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for tildekkingseffektivitet som en vesentlig faktor for forståelsen av effekt av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet og usikkerhet 1-5	Støtter 1-5
Effekt; tildekkingseffektivitet			
Massetyper	5	3	4
Tildekkingstykkelse	5	3	4
Tiltaksareal (gj.snitt av faktorene under)	3,25	3,25	3,5
Utbredelse av miljøgifter i sedimentet	4	4	4
Bunnssubstrat	3	3	4
Biologiske ressurser	3	3	4
Konfliktområder	3	3	2
Tildekkingseffektivitet	4,41	3,08	3,83

Kilder og tilførsler

I Fase 1 ble det presisert at kontroll på kilder og tilførsler er en vesentlig forutsetning for gjennomføring av tiltak i sjø, og at det på det tidspunktet var uavklart hva det diffuse bidraget av organiske miljøgifter fra nedbørsfeltet var. DIG-prosjektet påviste ved målinger i år 2000 høye dioksinkonsentrasjoner i Skienselva nedstrøms Porsgrunn by (Ishaq m.fl, 2009). I en senere studie ble det satt ut passive prøvetakere for å spore mulige kilder (Berge, m.fl., 2004). I dette forsøket ble det målt høyere verdier i vannmassene ved bunnen av elva ved Frednesbrua enn i overflatevannet, og høyere enn på stasjonen lengre opp i elva. Det ble

vurdert som sannsynlig at de høye konsentrasjonene skyldtes oppvirvling og transport av forurenset sediment fra bunnen oppover i elva med kompensasjonsstrømmen.

Ved gjennomgangen av tilførsler og kilder i prosjekt BEST er det i det alt vesentlige gjort rede for tilførselsstrømmene til fjorden. Tilførslene av dioksin med Skienselva er imidlertid ikke kvantifisert og eventuelle virkninger av økt nedbør og økt utvasking av dioksin fra land er ikke kjent. Basert på Fylkesmannens kunnskap om virksomhetene i dag og tidligere, er det likevel ikke grunn til å mistenke ukjente aktive kilder som kan tilføre dioksin til fjordene via Skienselva i en størrelse som er av vesentlig betydning.

Simuleringene som er gjennomført med modellverktøyet Sedflex viser godt samsvar mellom modell og observasjoner for utvikling av dioksinforurensning i sedimentet, noe som indikerer at det ikke er grunn til å mistenke andre vesentlige kilder enn de som er kjent og ivaretatt i modellsimuleringene.

Sedimentundersøkelsene fra de grunne områdene i Eidangerfjorden og Ornefjorden viste konsentrasjoner av dioksin som ligger lavere enn konsentrasjoner målt på større dyp i samme fjordavsnitt, og undersøkelsene gir ikke grunnlag for å mistenke aktive kilder i øvre vannmasser i ytre fjord. Dioksinkonsentrasjonene på den grunne stasjonen i Frierfjorden er imidlertid i samme størrelsesorden som tidligere undersøkelser på større dyp i Frierfjorden, noe som kan tyde på resuspensjon av sediment innad i Frierfjorden.

Norsk Hydros undersøkelser av variasjon innenfor samme sedimentstasjon viser viktigheten av å ha tilstrekkelig antall prøver for statistisk å kunne påvise en endring over tid. Variasjonen har imidlertid ikke vesentlig betydning for kartlegging og klassifisering av forurensningssituasjonen selv om det foreligger færre parallelle prøver enn det som skal til for å avdekke endringer over tid.

Modellberegninger og målinger av transport av dioksin over Breviksterskelen fra Frierfjorden sammenfaller godt, og gir ikke grunn til å mistenke ukjent tilførsler til fjorden. Beregningen av transport av dioksin over terskelen basert på måling av suspendert partikulært materiale ($1,8 - 2,1 \text{ g TEQ år}^{-1}$) er i samsvar med transport simulert og estimert til $1,2 \text{ g}$ ($0,6 - 2,0 \text{ g TEQ år}^{-1}$) ved hjelp av Sedflex-modellen, og transport beregnet på grunnlag av passive prøvetakere plassert ut nær Breviksterskelen ($0,9 \pm 0,6 \text{ g TEQ år}^{-1}$). Grove overslagsberegninger indikerer at vedvarende forhøyet nivå av dioksiner i blåskjell i ytre fjord kan forklares med beregnet transport av dioksin fra Frierfjorden over Breviksterskelen (Bakke m.fl., 2012). Mekanismene som forårsaker transporten over terskelen er ikke fullt ut forstått. Beregninger av skipsoppvirvling i Frierfjorden er i samme størrelsesorden som den beregnede transporten over terskelen, men det er ikke gjennomført undersøkelser som kan bekrefte noen sammenheng.

Undersøkelsene av dioksinkonsentrasjon i suspendert materiale gir heller ikke grunnlag for å mistenke nye tilførsler til ytre fjord. De høyeste konsentrasjonene av partikkelbundet dioksin (PCDD/F) ble funnet i dypvannet i Eidangerfjorden og Kalven, der vannet inneholdt 4-9 ganger mer dioksin enn vann innsamlet i overflatelaget. Brakkvannslaget ytterst i Frierfjorden inneholdt ikke vesentlig mer dioksin enn prøvene innsamlet på tilsvarende dyp i Kalven og Eidangerfjorden. Undersøkelsene og analysene indikerer at resuspensjon av sedimenter i ytre fjord betyr mer for dioksin knyttet til partikulært materiale i ytre fjord, enn nytt tilført materiale fra Frierfjorden.

Samlet vurdering av grunnlaget om kilder og tilførsler:

Med den gjennomgangen som er gjort av kilder og tilførsler til fjorden, er det Fylkesmannens vurdering at forståelsen for tilførslene av miljøgifter til fjordene er tilfredsstillende. For tilførsler fra deponier, er imidlertid datagrunnlaget for beregningene noe mangelfullt. Simuleringene med modellverktøyet Sedflex er godt dokumentert og selv om det er variasjoner i datamaterialet som gir seg utslag i usikkerhet i simuleringene, er det gjort et betydelig arbeid med å minimere usikkerhetene og kalibrere modellen mot observerte verdier. Det er Fylkesmannens vurdering at kunnskapsgrunnlaget om forurensningen av dioksiner og furaner i fjordene i Grenland er tilfredsstillende. Datagrunnlaget gir totalt sett et logisk bilde av sedimentforurensningen i fjorden. Det er vist variasjon i konsentrasjon mellom parallelle sedimentprøver fra samme stasjon som vil kunne ha betydning for planleggingen av langtidsovervåkning der formålet er å registrere endringer over tid.

Fylkesmannen vurderer videre at estimatene som er gjort for transport over terskelen har god kvalitet og sammenfall av resultater ved ulike tilnærminger styrker tilliten til estimatene. Det er grunnlag for diskusjon om beregningsmetoder for skipsoppvirvling og de foreliggende rapportene fra havneiere har noe ulik tilnærming. Fylkesmannen vil ikke legge vesentlig vekt på estimatene av oppvirvlet dioksin som årsaksforklaring for transport over Breviksterskelen. Betydningen av skipsoppvirvling for resuspensjon internt i Frierfjorden er ikke klar, og er relevant å få avklart før tiltak i Frierfjorden kan vurderes. Fylkesmannen vurderer kunnskapen om partikulært materiale til å være tilfredsstillende. Datasettet har imidlertid noen begrensninger siden det er relativt få prøvesteder og ingen årstidsvariasjon for måling av partikulært materiale. Tabell 20 oppsummerer Fylkesmannens vurdering av kunnskapsgrunnlaget for kilder og tilførsler.

Tabell 20. Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for kilder og tilførsler som en vesentlig faktor for forståelsen av effekt av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet og usikkerhet 1-5	Støtter 1-5
Effekt ; Kilder og tilførsler			
Nye tilførsler	3	2	3
Simuleringer	4	3	3
Sedimentundersøkelser	4	4	4
Transport over terskelen	4	4	4
Skipsoppvirvling	3	2	2
Dioksin i suspendert materiale	4	3	4
Kilder og tilførsler	3,66	3,0	3,33

Resuspensjon

At forurensning av tildekkingslaget (rekontaminering) som følge av oppvirvling (resuspensjon) kan motvirke effekten av tildekking, er en kjent problemstilling. Resultatene fra felttesten indikerer at rekontaminering av tildekket område kan være årsaken til at effekten av passive tildekkingsmasser (ikke tilsatt aktivt kull) på bioakkumulering ble redusert over tid. Mekanismene for resuspensjon er bare delvis utredet og kvantifisert i dette beslutningsgrunnlaget, gjennom studien av oppvirvling i forbindelse med trållaktivitet, skipsoppvirvling og betraktningene rundt strømsituasjonen i fjordene.

Studien av tråloppvirvling ble gjennomført ved hjelp av flere anerkjente metoder, men studien i seg selv er unik. Kunnskapsnivået om tråloppvirvling er med denne studien økt betydelig og dataene gir tydelige resultater, selv om det blir gjort noen antagelser med en ikke ubetydelig usikkerhet rundt estimatene for oppvirvlet mengde dioksin.

Det er knyttet en del usikkerhet til beregningene av skipsoppvirvling og betydningen for resuspensjon av dioksin, og kunnskapsgrunnlaget er begrenset. Beregningsmetodene som er gitt i Klifs veileder gir imidlertid grunnlag for å anta en relativt stor omfordeling av masser lokalt som følge av propellpåvirkning.

Det er ikke gjort studier spesielt for å kartlegge strømningsmønsteret og dets betydning for gjennomføring av tildekking. Resultater og erfaringer fra relevante studier og aktiviteter antyder imidlertid at strømforholdene i dypvannet bare i liten grad vil påvirke utlegging av tildekkingsmaterialer, så lenge utleggingen foregår innenfor et relativt avgrenset basseng og hensikten er å oppnå spredning over et stort areal. Nedføring av masser til like over bunnen reduserer påvirkningen av strøm i høyere vannlag. Fylkesmannen vurderer det slik at strømningsmønsteret i fjordene ikke har vesentlig betydning for mulighetene til å gjennomføre tynnsjikttildekking.

Samlet vurdering av grunnlaget om resuspensjon

Totalt sett er det et noe mangelfullt kunnskapsnivå om mekanismer for resuspensjon og betydning av disse på effekt av tildekking. Kvaliteten av den kunnskapen som foreligger er imidlertid relativt god (moderat). Det er til dels stor usikkerhet i datamaterialet, spesielt knyttet til skipsoppvirvling som baserer seg på sjablongverdier fra Klifs veileder, mens usikkerheten i forhold til strømsituasjonen synes å være lav (god sikkerhet). Imidlertid er det ingenting som tyder på at strømsituasjonen vil ha avgjørende betydning for gjennomføringen av et tildekkingstiltak. Kunnskapen om resuspensjon totalt sett kan tale for støtte til tiltaksmetoden.

En samlet vurdering av resuspensjon er vist i tabell 21.

Tabell 21. Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for resuspensjon som en vesentlig faktor for forståelsen av effekt av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet og usikkerhet 1-5	Støtter 1-5
Effekt: Resuspensjon			
Tråloppvirvling	3	3	2
Skipsoppvirvling	3	2	2
Strømsituasjonen	3	4	5
Resuspensjon	3	3	3

Samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget for effekt av tiltak

Vurdering av kunnskapsgrunnlaget samlet for effekt av tiltak er sammenstilt i tabell 22, basert på vurderingen av kunnskapsgrunnlaget for de vesentlige faktorene.

Tabell 22. Samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget for effekt av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet og usikkerhet 1-5	Støtter 1-5
Effekt			
Tildekkingseffektivitet	4,41	3,08	3,83
Kilder og tilførsler	3,66	3,00	3,33
Resuspensjon	3,00	3,00	3,00
Samlet for effekt	3,69	3,02	3,38

Oppsummert angir poengene at kunnskapsgrunnlaget for effekt av tiltak er nærmer seg tilfredsstillende, og at kvaliteten av data er moderat god. Kunnskapen kan tale for støtte til tiltaksmetoden.

5.2 Konsekvens

Gjennomføring av tiltak i sjø kan ha uønskede økologiske konsekvenser ved at det tilføres fremmede masser til sjøbunnen. **Skade på bunndyrsamfunnet** er derfor en vesentlig faktor som avgjør konsekvensen av et tiltak. Skaden kan fremstå som endringer i habitatkvalitet eller i den økologiske tilstanden til bunndyrsamfunnet, men også som endringer i økosystemfunksjoner eller ved forringelse av naturtyper. Hvilke type masser som legges ut, i hvilke tykkelser og over hvor store areal kan ha betydning for hvor stor konsekvensen blir for bunnsamfunnet totalt sett. I et større perspektiv kan tiltak bidra til **globale konsekvenser** for miljøet gjennom ressursbruk, energibruk og utslipp eller annen forstyrrelse forbundet med gjennomføringen av tiltaket

Skade på bunndyrsamfunnet

Habitatkvalitet ble målt ved tolkning av SPI-bilder og beregning av en habitatskvalitetsindeks (BHQ). Denne indeksen er basert på observerte strukturer i sedimentet og tykkelsen av det oksiderte overflatelaget, sammenholdt med etablerte stadier i utviklingen av bunnfauna fra svært dårlig til svært god tilstand. Dette er en rask metode for å vurdere tilstanden i et sediment og et bunndyrsamfunn, men med noe usikkerhet siden metodikken til dels baseres på faglig skjønn ved observasjoner og klassifisering av tilstand. Siden metoden er enkel og rask er det mulig å hente inn bilder fra mange stasjoner, og derfor ansees metoden som egnet for å få et inntrykk av forskjeller i tilstand mellom områder, og endring i tilstand over tid. Materialet fra felttestene omfatter bildeanalyser fra totalt 204 prøvesteder fordelt på alle testfelt og referansestasjoner, og fem forskjellige undersøkelser over en periode på to år. Det har blitt påvist signifikante forskjeller mellom felt og over tid, med negative konsekvenser av tildekking innenfor det tidsrommet som undersøkelsene er gjennomført. Endringene i habitatkvalitet har vist seg sammenfallende med endringer i biodiversitet.

Biodiversitet er en vanlig måte å beskrive kvaliteten av bunndyrsamfunn på, basert på makrofaunaundersøkelser. Det er en svakhet for resultatene av makrofaunastudien på tildekkingsfeltene at det ikke ble gjennomført undersøkelser av tilstanden før tildekking, og dermed er det usikkerhet om hvor store forskjellene var mellom referansefelt og tildekkingsfelt i utgangspunktet. SPI-bildene viste imidlertid ingen signifikante forskjeller mellom feltene før tildekking, selv om det ble observert noe lavere BHQ på referansefeltene i begge fjorder sett i forhold til feltene som skulle dekkes til. Imidlertid viste makrofaunaundersøkelsen og de statistiske analysene at alle tildekkede felt var forskjellige fra de respektive referansefeltene, selv om det bare var mulig å knytte forskjellene for feltene med aktivt kull (AC) til tildekkingen. Endringene i AC-feltene ser ut til å støtte tidligere

studier (Näslund m.fl., 2011) der overlevelse var dårligere etter tildekking med aktivt kull enn med sand eller ingen tildekking. Studier fra USA har derimot vist liten konsekvens av aktivt kull på bunnfauna (pers.med. Upal Ghosh). Det er antatt at biomassebasert aktivt kull (fra kokosskall) har mindre negativ innvirkning på bunnfauna enn antracittbasert kull (Jakob m.fl., in prep). Det er ikke uventet at økologisk status for et bunndyrsamfunn endres og forverres etter et tiltak, men det er avgjørende for alvorlighetsgraden om samfunnet restitueres og hvor lang tid det tar. Studien i Grenland er gjort relativt kort tid etter tildekking, og det er derfor usikkerhet knyttet til varigheten av de konsekvensene som denne studien har observert. Det er ønskelig med ytterligere data for å få kunnskap om varighet og utvikling av de observerte konsekvensene.

Økosystemfunksjoner ble undersøkt for å vurdere om tildekkingen hadde noen vesentlig konsekvens for omsetningen av organisk materiale i sedimentet. Studien ble gjennomført ved måling av oksygen og næringssalter etter standardmetoder, og det ble ikke funnet signifikant påvirkning av tildekkingen.

Skade på spesielle naturtyper som en konsekvens av tildekking er ikke direkte undersøkt, men det er gjort et arbeid for å kartlegge forekomst av ålegressenger innenfor det mulige tiltaksområdet. Dette arbeidet har ikke ført til registreringer av noen større forekomster av ålegressenger innenfor det aktuelle området. Det er usikkerhet rundt hvilken betydning tildekking kan ha på forekomster av ålegress. Ålegress begrenses av tilgangen på lys og finnes i hovedsak fra 7 meter og grunnere. Den begrensede utbredelsen sammen med få registrerte forekomster tilsier at potensialet for skade er begrenset.

Det er vist at type masse og tykkelse av tildekkingslag har betydning for konsekvensen av tildekking. Konsekvensene må derfor vurderes ut i fra en konkret tiltaksprosjektering. Tildekkingslag som er tykkere enn det aktive overflatelaget vil trolig ha større konsekvenser for gravende organismer enn tildekking som er tynnere. Bioturbasjonstypet, eller tykkelsen av aktivt overflatelag, ble kartlagt ut i fra SPI-bilder ved 39 prøvesteder i flere fjordavsnitt og definert med et gjennomsnittet på 3,6 cm, og med en variasjon mellom 0 og 6 cm. Dette gir støtte til den tildekkingstykkelse som er utprøvd i felttesten (se tabell 14).

Samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget for mulig skade på bunndyrsamfunn fremgår av tabell 23. Kunnskapen om konsekvenser for bunnfauna vurderes som tilfredsstillende og kvaliteten av data er moderat god selv om begrenset varighet av tidsseriene for overvåkning etter utlegging trekker ned. Det medfører at det er usikkerhet om resultatene kan gi støtte til tiltaksmetoden.

Tabell 23. Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for mulig skade på bunndyrsamfunn som en vesentlig faktor for forståelsen av konsekvens av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet og usikkerhet 1-5	Støtter 1-5
Konsekvens: Bunndyrsamfunn			
Habitatkvalitet	4	3	2
Biodiversitet	4	3	2
Økosystemfunksjon	4	4	3
Forstyrrelse av naturtyper	4	4	3
Bunndyrsamfunn	4	3,50	2,50

Globale konsekvenser

Tildekking av sjøbunnen i store deler av fjordene vil i følge livsløpsanalysen innebære betydelig bruk av globale material- og energiresurser, som vil ha konsekvenser både for human helse og økosystemet i et globalt perspektiv. Analysen viste også at det er ulike prosesser knyttet til forskjellige massetyper som bidrar med størst påvirkning, og slik kan analysen være et hjelpemiddel til å optimalisere prosjekteringen av tiltak. Det er forskjeller mellom massetypene, og ved valg av biobasert aktivt kull viser analysen at det kan det være en netto positiv effekt av tiltaksgjennomføringen pga binding av CO₂.

Det er ikke vanlig å benytte livsløpsanalyser i beslutningsprosesser for forurenset sjøbunn. Analysen er basert på en rekke forutsetninger og antagelser og det knytter seg relativt stor usikkerhet til resultatene. Den gir likevel et grunnlag for å vurdere ulike masser opp mot hverandre, og bringer inn det globale perspektivet.

Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for globale konsekvenser fremgår av tabell 24.

Fylkesmannen har valgt en konservativ tolkning av resultatene og i denne vurderingen av konsekvenser sett bort i fra positive effekter som kan oppstå ved valg av biobasert aktivt kull. Kunnskapsnivå og kvalitet av data blir vurdert til henholdsvis noe mangelfullt og til moderat godt.

Tabell 24. Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for globale konsekvenser som en vesentlig faktor for forståelsen av konsekvens av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet og usikkerhet 1-5	Støtter 1-5
Konsekvens: Globale konsekvenser			
Miljøregnskap (LCA)	3	3	1
Globale konsekvenser	3	3	1

Samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget for konsekvens av tiltak

Den samlede vurderingen av kunnskapsgrunnlaget for konsekvens av tiltak er vist i tabell 25.

Tabell 25. Samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget for konsekvens av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet og usikkerhet 1-5	Støtter 1-5
Konsekvens			
Skade på bunndyrsamfunn	4	3,50	2,50
Globale konsekvenser	3	3	1
Samlet for konsekvens	3,50	3,25	1,75

Poengene fra vurderingen angir at kunnskapsnivået om konsekvenser av tiltak overordnet sett er moderat god og til dels nærmer seg tilfredsstillende, og kvaliteten av data er moderat god. Imidlertid er det usikkert og til dels ikke støtte til tiltaksmetoden. Det må påpekes at det er lagt til grunn en konservativ vurdering av de globale konsekvensene, og ikke tatt hensyn til muligheten for å oppnå netto positive effekter av tiltak ved valg av biobasert aktivt kull som tildekkingsmasse.

5.3 Nytte

Nytten ved å gjennomføre tiltak kan være konkret ved at definerte **miljømål** blir nådd, f.eks i form av definerte konsentrasjoner i sediment eller organismer, eller ved at utlekking reduseres

med en viss prosent. Nytte kan også være knyttet til en reell eller opplevd **reduisert risiko** for egen eller fremtidige generasjoner. Nytte kan også være en gevinst i form av **positive ringvirkninger av tiltak**, slik som økte inntekter fra kommersielt fiske som følge av lavere konsentrasjoner i fisk og skalldyr, eller høyere verdi på boliger og hytter. Andre positive ringvirkninger kan være økologisk nytte i form av rikere fauna lokalt eller globale gevinster ved at tildekkingsmassen bidrar til å binde CO₂, slik som biobasert aktivt kull kan gjøre.

Oppnåelse av miljømål

Simuleringene som ble gjennomført i Fase 2 av tiltaksplanarbeidet ga prognoser for tidsforløpet fram til ønskede grenseverdier i fisk og skalldyr ble oppnådd. Utvikling av modellen Sedflex og simuleringer som er kjørt med modellen i ettertid har ikke gitt vesentlig forskjellige resultater, og hovedkonklusjonen er fortsatt at det kan være mulig å fremskynde forbedring av forurensningstilstanden i fjorden med arealmessig omfattende tiltak. Resultatet av tiltak vil imidlertid avhenge av hvor store arealer som kan dekkes til. Usikkerhetene som ligger i datamaterialet og i modellen gir relativt grove estimater for tidspunkt for når grenseverdier vil bli nådd. Det er imidlertid en styrke at modellen gir uttrykk for variasjon og usikkerhet, samt at det er gjort følsomhetsanalyser som identifiserer de mest sentrale parameterne.

Simulering av et konkret prosjektert tiltak med et klart definert tiltaksareal og tildekkings effektivitet basert på felttesten er ikke gjennomført, men det ligger til rette for å gjøre det med modellen slik den foreligger.

Fylkesmannens vurdering er at kunnskapsgrunnlaget for å kunne modellere oppnåelse av miljømål er svært tilfredsstillende, med god datakvalitet og god sikkerhet. Resultatene fra de tidligere simuleringene taler for gjennomføring av tiltak siden det har vist seg teoretisk mulig å fremskynde naturlig forbedring vesentlig med store tiltak. Justerte tiltaksareal og en lavere tildekkings effektivitet enn de 100 % som er benyttet for de første simuleringene vil få betydning for tidsutviklingen av dioksin i fisk og skalldyr. På det grunnlaget som foreligger og inntil det eventuelt er gjennomført nye simuleringer basert på spesifikke tiltaksalternativer, er det Fylkesmannens vurdering at kunnskapen om oppnåelse av miljømål taler for tiltaksmetoden.

Tabell 26. Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for oppnåelse av miljømål som en vesentlig faktor for forståelsen av nytte av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet og usikkerhet 1-5	Støtter 1-5
Nytte; oppnåelse av miljømål			
Sedflex-simuleringer	5	4	3
Oppnåelse miljømål	5	4	3

Redusert risiko

Helse- og miljørisiko kan vurderes ved hjelp av Klifs veileder (TA 2802/2011). Dette ble gjort i Fase 2 basert på en tidligere versjon av veilederen, men er ikke gjennomført for å vurdere evt. redusert risiko som følge av fremtidige tiltak. Risikovurderingsmodellen er basert på sammenligning med grenseverdier og akseptkriterier for spredning og eksponering. I veilederen er det lagt opp til bruk av sjablongverdier for beregning a spredning og eksponering dersom man ikke har spesifikke verdier. Bruk av sjablongverdier har i mange tilfeller vist seg å innebære relativt store avvik fra beregninger med lokalspesifikke verdier. Dersom miljørisiko skal vurderes for en fremtidig situasjon, må denne baseres på ønskede konsentrasjoner (miljømål) eller beregnede, slik som verktøyet Sedflex kan gi.

Det er ikke gjennomført noen miljørisikovurdering for Grenlandsfjordene etter Klifs veileder basert på simuleringene av tiltak med Sedflex. Imidlertid er resultatene fra simuleringer av tidsutvikling med Sedflex, der konsentrasjoner i fisk og skalldyr sammenlignes med EUs grenseverdier også en form for risikovurdering; Risikovurdering er i sin enkleste form prinsipielt en sammenligning av konsentrasjon i miljøet opp mot grenseverdier (PEC/PNEC).

Nytteverdien ved en opplevd risikoreduksjon ble utredet i Fase 2 gjennom en betalingsvillighetsstudie. Basert på samfunnsøkonomiske metoder ble et utvalg av befolkningen forelagt ulike tiltaksalternativer med ulikt utfall. Studien ga den gang en betalingsvillighet som holdt opp mot estimerte kostnader ga en samfunnsøkonomisk nytte. Premissene for undersøkelsen har endret seg noe, bl.a. ved at det i undersøkelsen ble lagt til grunn en tidsutvikling for konsentrasjoner i fisk og skalldyr med og uten tiltak som var basert på tidlige simuleringer med Sedflex, der naturlig forbedring var beregnet å ta kortere tid enn i senere simuleringer. Responstiden på forbedring etter tiltak var imidlertid relativt lik også i senere simuleringer, og disse ga dermed økt antall år med gevinst i form av framskyndet måloppnåelse enn de simuleringene som lå til grunn for betalingsvillighetsundersøkelsen. Nyttevurderingen i betalingsvillighetsundersøkelsen ble derfor vurdert til å være konservativ. Gyldigheten av undersøkelsen kan imidlertid diskuteres siden måloppnåelsen ble beskrevet som opphevelse av kostholdsråd, noe som ikke direkte følger selv om man oppnår grenseverdier for dioksin i fisk og skalldyr. Det er Mattilsynet som vurderer grunnlaget for å sette eller eventuelt oppheve kostholdsrådene. Samlet vurdering av grunnlaget for å vurdere redusert risiko er at kunnskapsnivået er tilfredsstillende og det er moderat til god kvalitet av data. Det er noe usikkert om resultatene kan sies å støtte tiltaksmetoden, når man inkluderer usikkerheten knyttet til opphevelse av kostholdsråd.

Tabell 27. Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for redusert risiko som en vesentlig faktor for forståelsen av nytte av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet og usikkerhet 1-5	Støtter 1-5
Nytte; redusert risiko			
Miljørisiko; metodikk	4	3	3
Tidsutvikling (Sedflex)	5	4	3
Opplevd risikoreduksjon	3	3	2
Redusert risiko	4,00	3,33	2,66

Positive ringvirkninger

Ringvirkninger av tiltak ble diskutert og vurdert i Fase 2 av tiltaksplanarbeidet, og økte inntekter for yrkesfiskere ble inkludert ved gjennomføring av nytte-kostnadsanalysen. Beregningene vurderes å gi et tilfredsstillende anslag på betydningen av å kunne utøve yrkesfiske uten begrensninger. Andre ringvirkninger som verdiøkning av eiendommer eller større attraksjonskraft for turister var det ikke grunnlag for å kvantifisere i Fase 2-studien. Det er ikke gjort noe videre arbeid for å kvantifisere andre ringvirkninger etter Fase 2. Konklusjonen fra Fase 2 var imidlertid at ringvirkninger antas å være av underordnet betydning i forhold til den opplevde nytten ved opphevelse av kostholdsråd. Selv om kunnskapen er liten og usikkerheten dermed tilsvarende stor, er det imidlertid lite som taler for at ringvirkninger generelt vil kunne bli negative som følge av tiltaksmetoden. Livsløpsanalysen synliggjorde at bruk av biobasert aktivt kull til tildekking vil kunne binde CO₂ og derfor ha en netto positiv effekt på miljø totalt sett, noe som kan sees på som en

positiv ringvirkning av tiltak. Fylkesmannens vurdering er at det er relativt stor usikkerhet knyttet til resultatene av analysen. Metoden gir imidlertid et grunnlag for å synliggjøre både positive og negative følger av et stort sedimentiltak og veie løsninger mot hverandre. En samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget om ringvirkninger fremgår av tabell 28. Kunnskapsnivået er vurdert til å være noe mangelfullt, sikkerheten i dataene er dårlig men det er likevel forhold som kan tale for støtte til tiltaksmetoden, uavhengig om man velger biobasert aktivt kull og oppnår karbonbinding som følge av dette.

Tabell 28. Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for ringvirkninger som en vesentlig faktor for forståelsen av nytte av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet og usikkerhet 1-5	Støtter 1-5
Nytte; Ringvirkninger			
Inntekter yrkesfiskere	4	3	3
Andre ringvirkninger	2	1	3
Miljøregnskap (LCA)	3	2	3
Ringvirkninger	3	2	3

Samlet vurdering av kunnskapgrunnlag for nytte av tiltak

En samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget for forståelse av nytte av tiltak er vist i tabell 29.

Tabell 29. Samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget for nytte av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet og usikkerhet 1-5	Støtter 1-5
Nytte			
Oppnåelse miljømål	5	4	3
Redusert risiko	4	3,33	2,66
Ringvirkninger	3	2	3
Samlet for nytte	4	3,11	2,88

Den samlede vurderingen viser at kunnskapsnivået om nytte på et overordnet nivå er tilfredsstillende, kvaliteten av data er moderat god og resultatene kan tale for støtte til tiltak, dog med noe usikkerhet.

5.4 Kostnad

Vesentlige faktorer som påvirker kostnadene er **pris** og tilgang på egnede masser, transportkostnader og entreprenørkostnader forbundet med utlegging av masser. Størrelse av **tiltaksareal** er dessuten avgjørende for kostnadene for både masser, transport og utlegging, og derfor en vesentlig faktor.

Pris

Grunnlaget for kostnadsestimater vil være erfaringstall så lenge en konkret prosjektering av tiltak ikke er gjennomført. Kostnadene ved gjennomføring av tildekkingsforsøket i Grenlandsfjordene (gj.snitt 65 NOK/m²) kan sees på som maksimum enhetskostnader siden det er å forvente at man vil oppnå lavere kostnader ved tiltak over større arealer. Kostnadstallene som ble lagt til grunn i nytte-kostnadsanalysen i Fase 2, basert på erfaringstall, hadde en forventning på totalt 510 mill kroner for hele Frierfjorden (24 km²) med et spenn på 270 - 810 mill kroner. Dette utgjør 11,25-33,75 NOK /m², med en forventning på 21,25 NOK/m².

Et tidligere notat fra NGI (Hauge, 2005) presenterer erfaringstall fra ulike sedimenttiltak og oppgir retningsgivende kostnader for transport og utlegging av forskjellige type masser. Estimatenes er oppgitt som pris pr m³ utlagt masse, og med utgangspunkt i 5 cm tildekkingslag tilsier estimatene kostnader i størrelsesorden 10-20 NOK/ m². Usikkerhetene forbundet med kostnadsestimater er åpenbart relativt store så lenge det ikke foreligger spesifisering i form av tiltaksareal og type masse. Nytte-kostnadsanalysen fra Fase 2 konkluderte med at kostnader i størrelsesorden 8-900 mill NOK for hele fjorden og ca 300 mill NOK for kun ytre fjord var samfunnsøkonomisk lønnsomt, under de basisforutsetningene som lå til grunn for analysen. Basert på kostnadene fra tildekkingsforsøket, og et maksimalt samlet tiltaksareal for hele fjorden innenfor Langesund på maksimalt ca 29 km² og for ytre fjord på ca 15 km², (se analysen av bløtbunnsareal i kap. 4.1.5), gir dette maksimale totalkostnader på henholdsvis 1 885 mill NOK og 975 mill NOK. Som tidligere nevnt er dette basert på enhetspriser fra tildekkingsforsøket og det er grunn til å tro at kostnadene vil bli lavere i en storskala tildekking. De mest optimistiske estimatene på ca 20 NOK/m² vil gi kostnader på henholdsvis 580 mill og 300 mill NOK.

Vurderingen reflekterer at kunnskapsnivået om pris er noe mangelfullt, det er store usikkerheter i datamaterialet og resultatene gir usikker støtte til tiltaksmetode.

Tabell 30. Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for pris som en vesentlig faktor for forståelsen av kostnad av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet 1-5	Støtte 1-5
Kostnad; Pris			
Pris	3	2	2

Tiltaksareal

Grunnlaget for å avgrense tiltaksareal er drøftet tidligere i dette kapitlet. Kunnskapsgrunnlaget er noe mangelfullt. Det knytter seg noe usikkerhet til betydningen av konfliktaktiviteter for det endelige tiltaksarealet. Samlet sett er det overveiende støtte til tiltaksmetoden ut i fra kunnskapen om tiltaksareal.

Tabell 31. Vurdering av kunnskapsgrunnlaget for tiltaksareal som en vesentlig faktor for forståelsen av kostnad av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet og usikkerhet 1-5	Støtter 1-5
Kostnad; Tiltaksareal			
Utbredelse miljøgifter	4	4	4
Bunnssubstrat	3	3	4
Biologiske ressurser	3	3	4
Konfliktområder	3	3	2
Tiltaksareal	3,25	3,25	3,50

Samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget for kostnader

Den samlede vurderingen av kunnskapsgrunnlaget for forståelsen av kostnader forbundet med tiltak i Grenlandsfjordene er vist i tabell 32.

Tabell 32. Samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget for kostnad av tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet 1-5	Støtte 1-5
Kostnad			
Pris	3	2	2
Tiltaksareal	3,25	3,25	3,50
Samlet for kostnad	3,13	2,63	2,75

Oppsummert angir poengene at kunnskapsgrunnlaget for kostnader av tiltak er noe mangelfullt, kvaliteten av data har tildels store usikkerheter og det er usikkert om kostnadsestimatene kan sies å gi støtte til gjennomføring av tiltak.

5.5 Konklusjon og diskusjon

En samlet vurdering av kunnskapsgrunnlaget som foreligger får vi ved å sammenstille vurderingene av alle beslutningselementene; Effekt, Nytte, Konsekvens og Kostnad. Dette fremgår av tabell 33.

Tabell 33. Overordnet vurdering av beslutningsgrunnlaget og den foreliggende kunnskapen om effekt, nytte, konsekvens og kostnad forbundet med tiltak i Grenlandsfjordene.

	Kunnskapsnivå 1-5	Datakvalitet 1-5	Støtte 1-5
Effekt	3,69	3,02	3,38
Konsekvens	3,50	3,25	1,75
Nytte	4	3,11	2,77
Kostnad	3,13	2,63	2,75
Beslutningsgrunnlag samlet	3,58	3,00	2,66

Det er Fylkesmannens vurdering at kunnskapsgrunnlaget på et overordnet nivå langt på vei er tilfredsstillende. Kvaliteten av data er moderat god. Selv om det er forhold som kan tale for tiltaksmetoden er det er noe usikkerhet om beslutningsgrunnlaget samlet sett gir støtte til tynnsjikttildekking som tiltaksmetode.

På et overordnet nivå later det til at de ønskede effektene av tiltak er større enn de uønskede konsekvensene, mens det er noe mindre forskjell mellom nytte og kostnad. Fylkesmannen velger å konkludere med at det ikke er grunnlag for å forkaste tiltaksmetoden som en mulig tiltaksløsning i Grenlandsfjordene, men at en beslutning om tiltak må baseres på vurdering av konkrete tiltaksalternativer og redusert usikkerhet om tynnsjiktmetodens egnethet.

Vurderingene av beslutningsgrunnlaget er basert på et ikke uvesentlig innslag av skjønn, spesielt om resultatene støtter tynnsjikttildekking eller ikke. Det er ikke gjort noen vektning av de vesentlige faktorene som grunnlag for vurdering av beslutningselementene. Det er heller ikke gjort en vektning av beslutningselementene før den samlede vurderingen av beslutningsgrunnlaget. Vektning vil ha avgjørende betydning for utfallet av en analyse, og bør gjøres i en beslutningsprosess når det foreligger konkrete tiltaksalternativer.

Beslutningsgrunnlaget i denne rapporten er omfattende men metodikken som har blitt valgt gir mulighet for å synliggjøre hvilke vurderinger som er gjort.

Selv om det for flere vesentlig faktorer foreligger tilfredsstillende kunnskapsgrunnlag med god kvalitet og som gir støtte til tiltaksmetoden, gir manglende kunnskap og usikkerheter for andre faktorer seg utslag i denne totalvurderingen. Det er grunn til å tro at økt kunnskapsnivå for noen av faktorene vil gi lavere usikkerhet og tydeligere konklusjon om tiltaksmetodens

egnethet. Konkret kan dette oppnås ved å forlenge overvåkningsperioden for testfeltene slik at kunnskapen om forløp av effekter og konsekvenser blir bedre.

Ved prosjektering av en konkret tiltaksløsning bør man ta sikte på å optimalisere forholdet mellom effekt og konsekvens, nytte og kostnad. Valg av massetype, tildekkingstykkelse og tiltaksarealet vil ha avgjørende betydning for alle beslutningskriteriene. Hvilken tiltaksløsning som er optimal bør vurderes ved sammenligning av flere alternative tiltaksløsninger. Den samlede vurderingen av beslutningsgrunnlaget for tynnsjikttildekking i dette prosjektet omfatter ikke en vurdering av en konkret tiltaksløsning i forhold til det å ikke gjøre tiltak. Ulike varianter av tynnsjikttildekking er heller ikke sammenlignet. Basert på det foreliggende kunnskapsgrunnlaget kan følgende alternative tiltaksløsninger være:

1. Overvåket naturlig forbedring
2. Styrket naturlig forbedring (tynnsjikttildekking) med passive materialer
3. Styrket naturlig forbedring (tynnsjikttildekking) med aktive materialer
4. Styrket naturlig forbedring (tynnsjikttildekking) med aktive materialer med CO₂-gevinst (fra kokosskall)

Innenfor disse løsningene vil det være ulike tiltaksareal som kan være aktuelle å vurdere. En minimumsløsning for vurdering kan være tiltak i ett avgrenset fjordavsnitt rettet mot de mest forurensede områdene av bløtbunnsarealene, unntatt konfliktområder innenfor fjordavsnittet.

En vurdering av flere alternative tiltaksløsninger, der hvert alternativ vurderes ut i fra mange faktorer, kan bli svært komplisert og uoversiktlig. Konsekvenser og nytteverdi kan være vanskeligere å kvantifisere for å integrere i en rent kvantitativ analyse, enn kostnad og effekt. I denne rapporten er det benyttet en relativt enkel semikvantitativ metode for vurdering av beslutningsgrunnlaget for tynnsjikttildekking. Når flere alternative tiltaksalternativer av tynnsjikttildekking skal vurderes blir beslutningsprosessen ytterligere komplisert. Det finnes imidlertid lignende men mer avanserte metoder og verktøy enn det som er benyttet i denne rapporten, og som kan være nyttige for å strukturere mye informasjon, etablere beslutningskriterier og vekte disse for å finne det optimale beslutningsalternativet. I neste kapittel presenteres et eksempel på en metodikk for å gjennomføre en beslutningsprosess der det foreligger flere alternative tiltaksløsninger.

5.6 Forslag til beslutningsprosess for valg av tiltaksløsning

En såkalt flermålsanalyse eller multikriterie beslutningsanalyse (MCDA) kan benyttes for å etablere flere forskjellige beslutningskriterier som vektas mot hverandre for å finne det optimale tiltaksalternativet. Sparrevik m.fl. (2012) har benyttet Grenlandsfjordene som eksempel for gjennomføring av en multikriterieanalyse (MCA) der redusert helserisiko (effekt) og opphevelse av kostholdsråd (nytte) veies opp mot tiltakskostnader (kostnader) og miljøbelastning ved tiltak (konsekvens).

Det er valgt seks ulike tiltaksløsninger med varierende tildekkingsareal, basert på arealinndeling og simuleringer i Sedflex. For alle tildekkingsalternativene er det lagt til grunn tildekking med 5 cm lokalt mudret leire. Tiltaksalternativene og tiltaksarealene som er lagt til grunn i dette eksempelet er følgende:

1. Naturlig forbedring (53 km²)
2. Tildekking av sjøbunn ned til 25 m i indre fjord (Frierfjorden) (11 km²)
3. Tildekking av sjøbunn ned til 50 m i ytre fjord (11 km²)
4. Tildekking av hele indre fjord (24 km²)
5. Tildekking av hele ytre fjord (29 km²)
6. Tildekking av hele fjorden (53 km²)

Effekten av tiltaket i form av redusert helserisiko er i denne studien definert som forventet antall år inntil kostholdsråd kan fjernes. Tiden er beregnet ved hjelp av simuleringer i modellen Sedflex, og det er lagt til grunn at kostholdsrådene fjernes når EUs grenseverdier for dioksin i fisk og skalldyr til konsum er nådd.

Sosioøkonomisk nytte er basert på betalingsvillighetsstudien gjennomført i Grenland under Fase 2 av arbeidet. I denne studien skilles det imidlertid ikke mellom de ulike tiltaksalternativene, og samme betalingsvillighet er derfor benyttet for alle tiltaksalternativene.

Konsekvensen av tiltaket er beskrevet som miljøbelastning vurdert i et livsløpsperspektiv med utgangspunkt i livsløpsanalysen (LCA).

Kostnadene er estimert fra tidligere studier og inkluderer mudring og deponering av muddermasser i kombinasjon med tildekking av indre fjord, samt tildekking i ytre fjord. Kostnadene for de forskjellige tiltaksløsningene er arealjustert.

Det er satt opp tre forskjellige strategier for vekting av kriteriene:

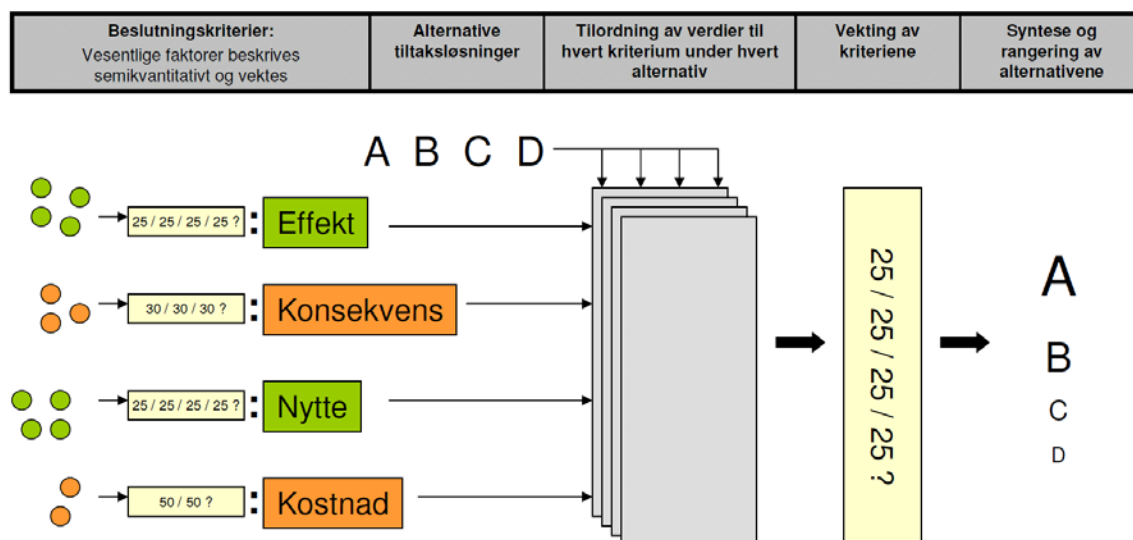
- a) Kost/Nytte vektlegges 50/50
- b) Kost/Effekt vektlegges 50/50
- c) Alle fire beslutningskriterier vektlegges 25/25/25/25

Resultatene i dette eksempelet indikerer en preferanse for tildekking av sjøbunnen ned til 25 m eller 50 m, enten i indre eller ytre fjord, avhengig av hvilken beslutningsstrategi som velges. Ved valg av strategi a) er preferansen tildekking i ytre fjord, mens strategi b) ikke favoriserer noen av alternativene. Ved vektlegging av alle kriteriene likt, strategi c), foretrekkes tiltak ned til 25 m i indre fjord. Sett i forhold til livsløpsanalysen alene gir denne vurderingen et resultat der aktiv tildekking er bedre enn en naturlig forbedring, selv uten å ta hensyn til produksjonsløsningen for aktivt kull.

Denne studien gir et eksempel på at det er mulig å benytte seg av beslutningsverktøy for å gjennomføre en vurdering av ulike tiltaksløsninger. Det forutsetter imidlertid at man har et datagrunnlag som gjør det mulig å sette verdier for alle beslutningskriteriene som skiller mellom de ulike tiltaksløsningene.

Eksempelet med multikriterieanalysen er et teoretisk eksempel for å synliggjøre en mulig beslutningsprosess. Tiltaksløsningene som dette eksempelet ble basert på kan være realistiske for Grenland, men tiltaksarealene er ikke justert for faktorer som bunnsubstrat, skråning og konflikttaktiviteter. Ulike tildekkingsmasser bør vurderes mot hverandre. I dette eksempelet er det valgt å beskrive beslutningskriteriene (effekt, konsekvens, nytte og kostnad) ved hjelp av et begrenset utvalg av faktorer, sett i forhold til det mer omfattende beslutningsgrunnlaget som prosjekt BEST har framskaffet. Et forslag til gjennomføring av en beslutningsprosess ved

hjelp av multikriterieanalyse der beslutningskriteriene er beskrevet ved hjelp av flere vesentlige faktorer, er prinsipielt fremstilt i figur 25.



Figur 25. Forslag til prinsipiell gjennomføring av beslutningsprosess ved hjelp av multikriterieanalyse der beslutningskriteriene er beskrevet ved hjelp av mange faktorer. Faktorene vurderes semikvantitativt og vektes for å gi et uttrykk for kriteriets verdi for hvert tiltaksalternativ. I neste trinn vektes også kriteriene avhengig av hvilken strategi for beslutning som skal legges til grunn.

6 Oppsummering og anbefaling fra Fylkesmannen

Oppsummering av beslutningsprosessen

Fylkesmannen har samlet og vurdert beslutningsgrunnlaget for tynnsjikttildekking av forurenset sjøbunn i Grenlandsfjordene. Utredningen av tynnsjikttildekking er et trinn i arbeidet med helhetlig tiltaksplan for fjordene i Grenland, der man jobber mot et beslutningspunkt om tiltak rettet spesielt mot dioksinforurensningen i fjordene.

Utslipp av klororganiske forbindelser og forhøyet innhold av miljøgifter i sjømat ble kjent fra midten av 1970-tallet. Det var først i 1986 man ble klar over at det hadde vært og fortsatt var store utslipp av dioksiner og furaner, og det ble iverksatt nye utslippsreducerende tiltak. Det var forventninger til at utslippsreduksjoner skulle føre til nedgang av dioksiner i fisk og skalldyr, med målsetting om at kostholdsråd og omsetningsforbud skulle oppheves innen år 2000. På det tidspunktet var ikke kunnskapsgrunnlaget for å vurdere utviklingen i fisk og skalldyr tilstrekkelig etablert og målsettingen ble ikke nådd.

Med erkjennelsen av fortsatt høye dioksinkonsentrasjoner i fisk og skalldyr i år 2000 ble det arbeidet videre med forklaringsmodeller. Dioksinutslippene var da betydelig redusert og forurenset sjøbunn ble identifisert som den mest sannsynlige kilden til fortsatt høye konsentrasjoner i fisk og skalldyr.

Arbeidet med å vurdere tiltak rettet mot arealer med forurenset sjøbunn ble så startet opp. Beslutningskriteriene for tiltak ble definert som kostnad og nytte. Effekten av tiltak over store arealer ble beregnet ved hjelp av en modell som ble utviklet med utgangspunkt i Grenlandsfjordene (Sedflex). Nytte basert på resultater fra modellsimuleringene og erfaringstall for kostnader ved tiltak ble lagt til grunn for en kost/nytteanalyse. På det tidspunktet (2005) ble nytteverdien beregnet til å være omtrent i samme størrelse som kostnad. Ved evaluering av kunnskapsgrunnlaget ble det imidlertid konkludert med at usikkerhetene om praktisk gjennomføring, forventede effekter, konsekvenser naturmangfold og kostnader var for store til å ta beslutning om igangsetting av storstilte tiltak i Grenlandsfjordene. Beslutningskriteriene viste seg med andre ord å ikke være dekkende for de problemstillingene som var relevante i sammenheng med gjennomføring av tiltak, og beslutningsgrunnlaget var mangelfullt.

Utredninger for å styrke beslutningsgrunnlaget fortsatte i prosjekt BEST, konkretisert til utredning av tynnsjikttildekking som tiltaksmetode. I prosjekt BEST, som nå er gjennomført, er det lagt til grunn fire beslutningskriterier, og det er gjort en evaluering av det samlede kunnskapsgrunnlaget som foreligger.

Prosjekt BEST bringer prosessen vesentlig nærmere en beslutning, selv om det gjenstår et par avsluttende trinn før man er ved beslutningspunktet. Dette er synliggjort i tabell 34, som på en skjematisk måte oppsummerer prosessen fra man først ble bevisst den omfattende dioksinforurensningen i fjordene og fram til dagens situasjon.

Tabell 34. Oppsummering av prosessen mot en beslutning om tiltak i Grenland

Beslutningsprosess	1986-2000	2000-2007	2007-2011
Problemet	Dioksiner, Miljørisiko Helserisiko Kostholdsråd Omsetningsforbud	Dioksiner, Miljørisiko Helserisiko Kostholdsråd Omsetningsforbud	Dioksiner, Miljørisiko Helserisiko Kostholdsråd Omsetningsforbud
Alternativene	Utslippsreduksjoner Overvåkning	Mudring Tildekking Naturlig tildekking	Tynnsjikttildekking Naturlig tildekking
Beslutningskriterier	Nytte; spiselige fisk og skalldyr	Kostnad Nytte; spiselige fisk og skalldyr	Effekt Konsekvens Nytte Kostnad
Evaluering	Nytte i form av reduserte dioksinkonsentrasjoner i fisk og skalldyr antatt å følge av utslippsreduksjoner	Nytte og kostnad lot seg beregne. Effekter av tiltak som grunnlag for nytte basert på modellering	Kunnskapen om beslutningskriteriene er tilfredsstillende, men usikkerheten i datamaterialet kan fortsatt reduseres med overvåkning av felttest i 1- 2 år.
Beslutningsmatrix	ingen	Kost/nytte ved isolerende tildekking i ytre fjord	Effekt, konsekvens, kost og nytte bør vurderes for konkrete tiltaksalternativer: areal, masstype og tykkelse av tildekking
Vekting	ingen	50/50	Gjenstår
Syntese	ingen	Nytte beregnet å være i samme størrelse som kostnad. Usikkerhet om praktisk gjennomføring, faktiske effekter av tiltak, konsekvenser og kostnader.	Gjenstår
Beslutning	Utslippsreduksjoner og overvåkning	Nye utredninger og utprøving av tynnsjikttildekking som tiltaksmetode	Gjenstår

Ansvarlig forurensere

Det har vært utslipp fra flere industrikilder til Grenlandsfjordene, både av klorerte hydrokarboner, PAH, andre organiske miljøgifter og tungmetaller. Forurensningssituasjonen er overvåket over lang tid, og det er helt klart at av kjente stoffer er det dioksiner og furaner som har gitt de største overskridelsene av grenseverdier for kostholdsråd og omsetning av fisk og skalldyr. Det er derved den mest alvorlige forurensningen. Hovedkilden til utslipp av dioksiner og furaner stammer fra Magnesiumfabrikken på Herøya, eid av Norsk Hydro. Fabrikken var i drift i perioden 1951 - 2003. Norsk Hydro har selv gjort tilbakeskuende studier av utslippsforløpet gjennom driftsperioden. Utslippsmålinger og overvåking i fjorden viser at fabrikken også var en hovedkilde for andre klorerte hydrokarboner som HCB og OCS. Det er derfor ingen tvil om at i forbindelse med en mulig videre prosess er Norsk Hydro å anse som ansvarlig forurensere av klorerte hydrokarboner.

Fylkesmannens anbefaling

Vi anbefaler å gå videre i beslutningsprosessen med sikte på å dekke til de mest forurensede områdene i Grenlandsfjordene. Tiden er inne til å ta et aktivt valg mellom overvåket naturlig forbedring eller gjennomføring av tiltak i form av tynnsjikttildekking. Vår vurdering er at tynnsjikttildekking kan være egnet som tiltaksmetode og at tiltaket kan være samfunnsøkonomisk lønnsomt. For å redusere usikkerhet i beslutningsgrunnlaget anbefaler vi å inkludere resultater fra forlenget overvåkning av felttesten, og å vurdere konkrete tiltaksløsninger i forhold til beslutningskriteriene.

Modellprognoser viser at dioksinkonsentrasjonene i fisk og skalldyr vil være høyere enn dagens grenseverdier fram til midt på 2040-tallet, hvis det ikke gjøres aktive tiltak. Hvis en forutsetter at forurensningssituasjonen uten tildekking utvikler seg slik prognosen tilsier, er det avgjørende for nytten av tiltak at iverksetting skjer mens det fortsatt er mulighet for å oppnå en vesentlig framskynding av forbedring. Om en del år vil effekten av fremskyndet forbedring være redusert, og det eneste rasjonelle vil da være å ta tiden til hjelp ved å basere seg på naturlig tildekking. Etter vår vurdering viser kunnskapsgrunnlaget i BEST-prosjektet at tynnsjikttildekking kan være egnet som tiltaksmetode. Videre er gjenstående periode etter vår vurdering fortsatt så lang at en fremskyndet forbedring som følge av aktive tiltak kan gi samfunnsmessig lønnsomhet. Tiden er derfor inne til å ta et aktivt valg mellom overvåket naturlig forbedring eller gjennomføring av tiltak i form av tynnsjikttildekking. I første omgang må det tas et valg mellom å fortsette beslutningsprosessen om tynnsjikttildekking, eller ikke. Dersom beslutningsprosessen ikke fortsetter vil overvåket naturlig forbedring være det eneste alternativet for dioksinforurensningen, og videre utredning og planlegging av tiltaksløsninger stanses. Dersom beslutningsprosessen fortsetter må konkrete tiltaksløsninger vurderes i forhold til de definerte beslutningskriteriene. Overvåket naturlig forbedring bør være et av vurderingsalternativene i den videre beslutningsprosessen.

Det er synliggjort usikkerhet i beslutningsgrunnlaget, spesielt om forløp og varighet av effekt og konsekvens for naturmangfold. Vi anbefaler å redusere usikkerheten ved å forlenge overvåkning av felttesten med ett til to år slik at resultatene kan tas inn i beslutningsgrunnlaget. En forlenget overvåking vil ha stor overføringsverdi til andre tildekkingsprosjekter i lang tid framover, og bør gjennomføres uavhengig av om man velger å gå videre i beslutningsprosessen om tiltak..

Målsettingen for tiltak bør være å framskynde forbedringen av dioksinforurensning i fisk og skalldyr. Det er forankret i kystkommunene i Telemark gjennom politiske vedtak i 2005, og er i tråd med Storingsmelding om Rent og rikt hav (2006-2007) som sier at miljøgifter i hovedregelen skal ut av sirkulasjon og gamle forurensninger skal hindres i å spre seg videre eller bli tatt opp i planter, dyr eller mennesker. Vår vurdering er at tiltak i Grenlandsfjordene for å redusere dioksinforurensningen i fisk og skalldyr, vil ha positive ringvirkninger for befolkning og næringsvirksomhet i regionen. Fjorden vil igjen kunne brukes til næringsfiske uten begrensninger og tradisjonen med å bruke fisk og skalldyr i husholdningene kan utvides. Ikke minst vil det gi befolkningen tilbake følelsen av å bo ved en rein og rik fjord, noe mange vil si har betydning for livskvalitet. Videre kan en rein fjord være positivt for Grenlands omdømme og attraksjonskraft i konkurransen om etterspurt arbeidskraft.

Når det gjelder hvilke deler av fjordene som bør tildekkes først, opprettholder vi vår tidligere anbefaling om å prioritere tiltak i ytre fjord. Utredningene i både fase 2 og 3 tilsier at det er liten utveksling av dioksiner mellom Frierfjorden og de ytre fjordene, og at tiltak kan settes inn i de fjordavsnittene der det gir størst nytte. Etter vår vurdering er potensialet for nytte størst i ytre fjord. Prioriteringen er selvfølgelig ikke til hinder for at tiltak også kan settes i gang i Frierfjorden. Det er imidlertid noe uklart om skipsoppvirvling har en vesentlig betydning for omsetningen av dioksin i Frierfjorden. Dette er spørsmål som bør avklares nærmere før man vurderer tiltak i Frierfjorden.

Lokale og arealmessig begrensede tiltak ved skipsverft og i havneområder vil trolig ha liten innvirkning på dioksinforurensningen i fisk og skalldyr. Tiltakene i disse områdene bør derfor ikke knyttes til målsetningen om å framskynde forbedring av dioksinforurensningen i fisk og skalldyr i Grenlandsfjordene. Tiltakene kan med fordel iverksettes før en eventuell tynnsjikttildekking, for å redusere fare for forurensning av nærliggende tildekkede områder.

Tiltak i Gunnekleivfjorden vil etter vår vurdering ha ingen eller marginal betydning for innholdet av dioksiner og furaner i fisk og skalldyr ute i hovedfjordene i Grenland. Tidligere undersøkelser har vist at en større del av arealet i denne fjorden er bløtbunn. Det tilsier at tildekkingsmetoder som er vurdert i BEST kan være egnet også der. Imidlertid kan det være alternative tiltaksløsninger i Gunnekleivfjorden. Det er planer om videre utnyttelse av et relativt stort sjøareal mot Herøya til næringsformål ved utfylling, og i gjeldende arealplaner er det lagt opp til at utfylling kombineres med miljøtiltak. Gjenstående sjøareal kan tildekkes, men det er ikke gitt at tynnsjiktmetoden bør velges. Forutsetningene for gjennomføring av tiltak er annerledes i Gunnekleivfjorden enn ute i hovedfjordene, siden arealet er langt mer begrenset. Nærheten til bymessig bebyggelse tilsier at motivasjonen for opprydding er vel så sterk som i de andre fjordområdene. Tiltak i Gunnekleivfjorden bør derfor utredes separat fra de øvrige fjordområdene, med andre alternative tiltaksløsninger og en spesifikk analyse i forhold til beslutningskriterier.

Vår erfaring er at involvering av interessenter gir tillit og trygghet til prosessen og de beslutningene som tas. I tillegg gir involvering eierskap til problemstillingen og lokal kunnskap kommer arbeidet til nytte. Involvering bør derfor ha høy prioritet også videre i prosessen.

Arbeidet kan koordineres med helhetlig forvaltningsplan etter vannrammedirektivet. Det vil sikre politisk behandling på både kommunalt, regionalt og nasjonalt nivå. Vedtatte forvaltningsplaner skal foreligge i 2014 og gir en realistisk tidsramme for de foreslåtte aktivitetene.

Vi anbefaler at det arbeides videre med følgende aktiviteter:

- **Utarbeide plan for fortsatt involvering av interessenter**
- **Utrede konkrete tiltak med areal, tildekkingsmasse og tildekkingstykkelse, basert på utredningene av tynnsjikttildekking og med sikte på å optimalisere forholdet mellom effekt og konsekvens, nytte og kostnad.**
- **Fortsette overvåkingen av effekt og konsekvens ved testfeltene i 1-2 år**
- **Gjennomføre nye simuleringer for tidsutvikling av dioksinkonsentrasjonene i fisk og skalldyr for de forskjellige tiltaksalternativene og med justerte verdier for tildekkingseffektivitet.**
- **Gjennomføre en vurdering av tiltaksalternativene i forhold til beslutningskriteriene for å identifisere den mest optimale løsningen**

7 Referanser

- Allan, I., Schaanning, M. og Beylich, B.A. 2011. Dioxins associated with suspended particulate matter in the Grenlandsfjords (Norway). NIVA rapport 6144-2011.
- Bakke, T., Bjerkeng, B. Ruus A og Starrfeld, J. 2012. Vurdering av mulige årsaker til tidstrend for PVDD/F i blåskjell fra Grenlandsfjordene. NIVA Notat.
- Bakke, T., Molvær, J., Saloranta, T., Tønnesen, D., Sandbakken, M. og Brooks, S. 2009. Konsekvensutredning for produksjonsanlegg for silika og magnesium på Herøya, Porsgrunn. NIVA rapport 5873-2009.
- Bekkby, T. 2010. Modellerte bunnforhold i Grenlandsfjordene. NIVA rapport 6051-2010.
- Berge, J.A., Hylland, K., Ruus, A. og Schlabach, M. 2004. Burforsøk med torsk i Frierfjorden og Breviksfjorden – akkumulering av PCDF/D i fisk og SPMD, biologiske effekter samt betydning av akkumulering fra vann i forhold til via føde. NIVA rapport 4794-2004.
- Eek, E., Cornelissen, G., Schaanning, M., Beylich, B.A., Evenstad, T.A., Haug, I., Krikhaug, G. og Storholt, P. 2011. Evaluering av gjennomføring av testtildekking i Eidangerfjorden og Ormefjorden. Opticap delrapport. NGI rapport 20071139-5
- Eek, E. og Stølen, M. 2011. Sluttrapport fra arbeidene med å konstruere testfelt i Eidangerfjorden og Ormefjorden. Opticap delrapport. NGI rapport 20071139-00-114-R
- Eek, E., Schaanning, M., Cornelissen, G., Næs, K. med flere. 2012. Nye materialer og metoder for utlegging av tynn tildekking på forurenset sjøbunn, OPTICAP. Sluttrapport. Rapport nr. 20072239-00-129-R, NGI/NIVA
- Espeland, S.H., Thoresen, A.G., Moland Olsen, E., Stige, L.C., Knutsen, H., Gjøsæter, J. og Stenseth, N.C. 2010. Diel vertical migration patterns in juvenile cod from the Skagerrak coast. *Mar.Ecol.Prog.Ser. Vol.405:29-37*.2010.
- Hauge, A. 2005. Tiltaksanalyse for opprydding i forurenset sjøbunn. NGI teknisk notat.
- Helland, A., Olsen, M., Lindholm, O., Uriansrud, F. Traaen, T. og Rygg B. 2004. Tiltaksplan for forurensede sedimenter i Telemark. Fase 1 – Miljøtilstand, kilder og prioriteringer. Revisjon 2. NIVA-rapport 4898-2004.
- Ishaq, R., Persson, N.J., Zebuhr, Y. og Broman, D. 2009. PCNs, PCDD/Fs, and non-orthoPCBs in water and bottom sediments from the industrialized norwegian grenlandsfjords. *Environ. Sci Technol.* 43, 3442. 2009.
- Jakob, L., Hartnik, T., Henriksen, T., Elmquist, M., Brändli, R., Hale, S., Cornelissen, G. (submitted). PAH-sequestration capacity of granular and powder activated carbon amendments in soil, and their effects on earthworms and plants. Submitted Chemosphere.

- Klif, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. TA 1467/1997.
- Klif, 2007. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. TA 2229/2007.
- Klif, 2007. Risikovurdering av forurenset sediment. Veileder. TA 2230/2007.
- Klif, 2011. Risikovurdering av forurenset sediment. Veileder. TA 2808/2011.
- Lydersen, E., Trasti, A. og Sageie, J. 2010. Tilførsler av næringsstoffer, metaller og andre miljøgifter til Grenlandsfjordene – 2008. Høgskolen i Telemark.
- Molvær, J. 2010 Tanker om behov for strømdata i forbindelse med planlegging og gjennomføring av tynnsjikttildekking i Grenlandsfjordene. NIVA Notat.
- Molvær, J., Magnusson, J., Næs, K. og Schaanning, M. 2012. Sedimentoppvirvling under reketråling i Eidangerfjorden juni 2008. NIVA rapport 6282-2012.
- Näslund, J., Samuelsson, G., Gunnarson, J., Nascimento, F, Nilsson, H.C., Cornelissen, G. og Schaanning, M. 2011. A benthic mesocosm study on ecosystem effects of thin layer capping materials suggested for sediment remediation. *Marin.Ecol.Prog.Ser.* 2011.
- Næs, K., Persson, J., Saloranta, T., Andersen, T., Berge, J.A., Hylland, K., Ruus, A., Tobiesen, A., Bergstad, O.A. og Knutsen, J.A. 2004. Dioksiner i Grenlandsfjordene – DiG. Oppsummering av forskningsprosjekt. NIVA rapport 4876-2004.
- Næs, K., Saloranta, T.M., Nilsson, H.C., Cornelissen, G. og Broman, D. 2009. Undersøkelser for å styrke modeller knyttet til beslutningsstøtte for tiltak mot forurensede sedimenter i Grenlandsfjordene. NIVA rapport 5737-2009.
- Olsen, M. 2006. Prosjekt Rein fjord – tiltaksplan for forurenset sjøbunn i Telemark, rev-01. Rapport 2006-01. ISBN 82-90059-09-5.
- Ruus, A., Bakke, T., Bjerkeng, B og Knutsen, H. 2011. Overvåking av miljøgifter i fisk og skalldyr fra Grenlandsfjordene 2010. Statlig program for forurensningsovervåkning. Rapport nr 1104/2011. TA 2836/2011.
- Saloranta, T.M., Armitage, J., Cousins, I., Næs, K. og Barton, D.N. 2006. SFT-tool multimedia package: Modell code description and application examples from the Grenland fjords. NIVA rapport 5216-2006.
- Saloranta, T.M., Armitage, J., Haario, J., Næs, K., Cousins, I. og Barton D.N. 2008. Modelling the effects and uncertainties of contaminated sediment remediation scenarios in a Norwegian fjord by Markov chain Monte Carlo simulation. *Environ. Sci. Technol.*, 42, 200-206. 2008.
- Schaanning, M., Beylich, B.A., Samuelsson, G., Raymond, C., Gunnarsson, J. og Agrenius, S. 2011. Field experiment on thin-layer capping in Ormefjorden and Eidangerfjorden, Telemark. Benthic community analyses 2009-2011. NIVA rapport 6257-2011.

Schaanning, M. og Allan, I. 2012. Field experiment on thin-layer capping in Ormefjorden and Eidangerfjorden, Telemark. Functional response and bioavailability of dioxins 2009-2011. NIVA rapport 6285-2012.

Sparrevik, M., Saloranta, T.M., Cornelissen, G., Eek, E., Fet, A., Breedveld, G. D. og Linkov, I. 2011. Use of life cycle assessments to evaluate the environmental footprint of contaminated sediment remediation. *Environ. Sci. Technol.* 2011.

Sparrevik, M., Barton, D.N., Bates, M.; og Linkov I. 2011. Use of stochastic multi-criteria decision analysis to support sustainable management of contaminated sediments. *Environ. Sci. Technol.* 2011.

Vassdrags-og havnelaboratoriet. 1965. Hydrografiske undersøkelser i Frier- og Langesundsfjorden. Rapport for oppdragsnr. 600235.

Vedlegg 1 Delrapporter BEST

Allan, I., Schaanning, M. og Beylich, B.A. 2011. Dioxins associated with suspended particulate matter in the Grenlandsfjords (Norway). NIVA rapport 6144-2011.

Bekkby, T. 2010. Modellerte bunnforhold i Grenlandsfjordene. NIVA rapport 6051-2010.

Lydersen, E., Trasti, A. og Sageie, J. 2010. Tilførsler av næringsstoffer, metaller og andre miljøgifter til Grenlandsfjordene – 2008. Høgskolen i Telemark.

Molvær, J. 2010 Tanker om behov for strømdata i forbindelse med planlegging og gjennomføring av tynnsjikttildekking i Grenlandsfjordene. NIVA Notat.

Sparrevik, M., Eek, E. og Saloranta, T.M. 2012. Life cycle assessment (LCA) of thin layer capping in the Grenland fjord – Background report. NGI 20071139-00-116-R

Gravir, G. 2009. Kunnskapskart for sedimentarbeidet i Grenland. Brukerdokumentasjon. Det Norske Veritas, ref.nr. 124G149-4.



**Fylkesmannen i
Telemark**

Fylkesmannen i Telemark
Miljøvernavdelinga
Besøksadresse
Gjerpensgt. 14, Bygg F, Skien

Postadresse
Statens Hus, 3708 Skien

Telefon: 35 58 6110
Telefaks: 35 52 85 90

E-post
postmottak@fmte.no

Internett
www.fylkesmannen.no/telemark