

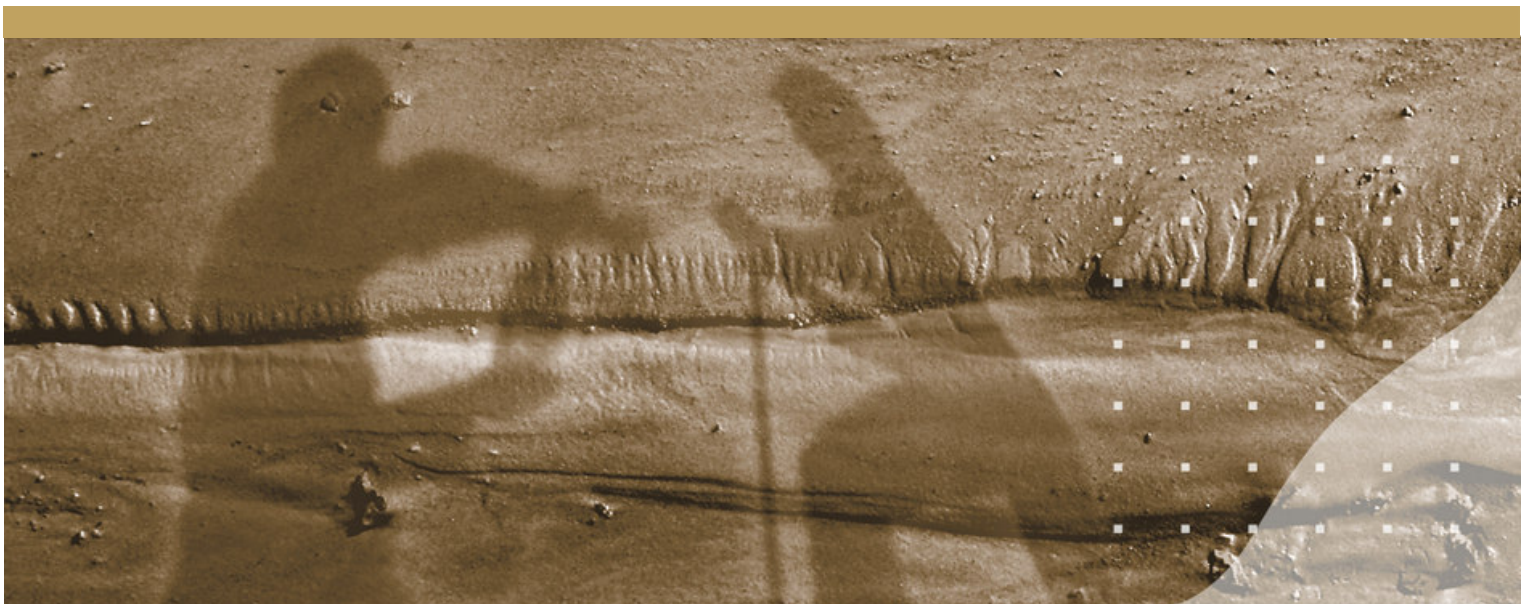
Bioforsk Rapport

Vol. 1 Nr. 19 2006

Tiltaksmetoder for nedbrytning av DDT i sedimenter

Trine Eggen, Hans Martin Hanslin, Arne Sæbø

Bioforsk Jord og miljø



Tittel/Title: Tiltaksmetoder for nedbrytning av DDT i forurensede sedimenter
Forfatter(e)/Author(s): Trine Eggen, Hans Martin Hanslin (Bioforsk Vest Særheim), Arne Sæbø (Bioforsk Vest Særheim)
Kvalitetssikrer: Roald Sørheim

Dato/Date: 08.02.06	Tilgjengelighet/Availability: Åpen	Prosjekt nr./Project No.: 4168	Arkiv nr./Archive No.:
Rapport nr./Report No.: Vol.1 Nr.19	ISBN: ISBN-10-nummer. 82-17-00017-4 ISBN-13-nummer. 978-82-17-00017-4	Antall sider/Number of pages: 27	Antall vedlegg/Number of appendix:

Oppdragsgiver/Employer: Statens forurensningstilsyn	Kontaktperson Contact person: Hanne Aronsen
---	---

Stikkord: DDT, sediment, tiltak Keywords sediment, pollutants, treatment, DDT	Fagområde: Miljøgifter og behandling Field of work: Environment pollution and treatment
--	--

Sammendrag:
 Ulike metoder for å stimulere deklorering av DDT i sedimenter er undersøkt; *ex-situ* behandling av oppgravde masser i biopiles (hauger), *in-situ* behandling for strandkantmaterialer (*in-situ* land) og under vann (*in-situ* vann). Behandlingene ble optimalisert for å oppnå reduserende forhold og for å stimulere reduktiv omdanning av DDT til DDD. Under behandlingsforhold i dette prosjektet, var 30 ukers behandlingstid for kort tid til å bekrefte omdanning av DDT, kun trender ble observert. Kombinasjonen innstråling og plastdekke viste at en kan opprettholde en temperatur på 25-30°C i store deler av ranken ved lufttemperaturer rundt 10°C. Disse temperaturene er funnet gunstige for nedbrytning av DDT. Også ved synkende lufttemperatur opprettholdes en temperatur høy nok til å stimulere nedbrytning. Underlag med 5 cm isopor hadde god evne til å hindre reduksjon i jordtemperaturen i nedre lag av jordmassene i ranken. Ulike tilsetningsmaterialer for å skape anaerobe forhold ble sammenlignet. Kumøkk og potetrev (biprodukt fra potetindustrien) gav størst reduksjon i oksygennivå.

Summary:
Ex-situ (biopile) and *in-situ* treatment methods for stimulating reductive dechlorination of DDT have been performed with DDT-contaminated lake sediment. DDT degradation was not verified within thirty weeks treatment period at the given conditions, only trends were observed. In windrow treatment, the combination of sunlight and cover with dark plastic. At air temperature around 10°C the soil temperature was kept at 25 - 30 °C. Five cm expanded polyester layer under the windrow prevented temperature reduction in the lower soil layer. Manure and potato mash (by-product from potato industry) gave best reduction in the oxygen level.

Ansvarlig leder/Responsible leader

Prosjektleder/Project leader

.....
 Roald Sørheim

.....
 Trine Eggen

Forord

Flere tiår etter at DDT ble forbudt brukt finnes det i miljøet. Omsetningen av DDT skjer langsomt i temperert klima og i Norge er DDT i senere tid påvist i høye konsentrasjoner i både sedimenter og biota i Ørsjøen, samt i biota i Sørfjorden. Nedbrytning av DDT stimuleres ved anaerobe forhold og økt temperatur. I forbindelse med tiltaksvurdering av sedimenter i Ørsjøen har Statens forurensningstilsyn, SFT, finansiert et prosjekt hvor en har vurdert praktiske metoder for å stimulere nedbrytning av DDT. Prosjektet er finansiert ut 2005 og behandlingstiden for tiltakene som er vurdert har vært opptil 30 uker. Prosjektet er gjennomført av Bioforsk Jord og miljø og med praktiske forsøk utført ved Bioforsk Vest. Det er benyttet DDT-forurenset sediment fra Ørsjøen.

Innhold

1. Sammendrag	4
2. Innledning	5
3. Undersøkelse av behandlingstiltak.....	7
3.1 DDT-forurensset sediment	7
3.2 Tilsetningsmaterialer	8
3.3 Biopiles	10
3.4 In-situ nedbrytning på land – behandling av strandsone	12
3.5 In-situ behandlingstiltak av sediment i vann	13
3.6 Oppstart, prøvetaking og DDT-analyser.....	14
3.7 Pilotskalastudie for vurdering av temperatur og oksygenforhold.....	14
3.7.1 Rankeforsøk med tilsetning av graskutt.....	14
3.7.2 Batchforsøk med tilsetning av organisk materiale.....	16
4. Resultater	17
4.1 Biopiles – <i>ex situ</i> behandling	17
4.2 In-situ behandling av sediment på land	20
4.3 In-situ behandling av sediment i vann	21
4.4 Pilotskala studie av temperatur og anaerobe forhold.....	22
5. Diskusjon og konklusjoner	25
6. Referanser.....	27

1. Sammendrag

Ulike metoder for å stimulere nedbrytning av DDT i sedimenter er sammenlignet. Metoder for *ex-situ* behandling (oppgravde masser) i biopiles (hauger), *in-situ* (på stedet) for strandkant behandling og *in-situ* under vann er undersøkt.

Behandlingsmetodene ble optimalisert for å oppnå reduserende forhold og for å stimulere reduktiv omdanning av DDT til DDD. I to biopilebehandlinger ble lettomsattelig organisk materiale (potetrev og myse) tilsatt for å stimulere til mikrobiell aktivitet og for å gi reduserende forhold i sedimentet. I en av biopilebehandlingene ble olivin tilsatt som reduserende middel.

Tilsvarende studie for å undersøke om en kan stimulere til reduktiv omdanning av DDT i forurensede strandkantmasser *in-situ* ble utført ved tildekking av sedimentene med lettomsattelig organisk materiale (tilsvarende det som ble brukt i biopilebehandling) og olivin. Umoden kompost ble brukt som toppdekke i begge undersøkelsene. Tildekking av forurenset sedimenter med olivin for å stimulere reduktiv deklorering av DDT til DDD *in-situ* under vann ble også undersøkt.

Undersøkelsen er gjennomført i med ca. 25 kg sediment i hver biopile. I alle tre biopilebehandlingene økte DDD-konsentrasjonen over tid, men uten at en tilsvarende nedgang i DDT-konsentrasjonen ble påvist i biopile 1 og 2. I en av biopilene (biopile 3) er det en nedadgående trend i DDT-nivået men det er stor usikkerhet i analysedataene.

Resultatene fra *in-situ* behandling på land følger samme trend som for biopile; en økning i DDD-nivået men ingen tilsvarende nedadgående trend i DDT-nivået.

For *In-situ* behandling i vann, ble det kun prøvetatt en gang, etter 30 ukers behandling, men dette gir ikke grunnlag til å vurdere effekten av behandlingen.

Ulike tilsetningsmaterialer for å skape anaerobe forhold ble sammenlignet. Kumøkk og potetrev (biprodukt fra potetindustrien) gav størst reduksjon i oksygenivå.

Rankeforsøk for å undersøke effekten av sollys, tildekking av plast, og tilsetning av graskutt på jordtemperaturen ble gjennomført. Tilsetning av graskutt som den ble tilført i denne behandlingene hadde liten effekt på jordtemperaturen og ingen effekt på oksygenivået.

Kombinasjonen innstråling og plastdekke kan opprettholde en temperatur på 25-30°C i store deler av ranken ved lufttemperaturer rundt 10°C. Disse temperaturene er funnet gunstige for nedbrytning av DDT. Også ved synkende lufttemperatur opprettholdes en temperatur høy nok til å stimulere nedbrytning. Systemet er avhengig av en betydelig innstråling for å opprettholde temperaturen når lufttemperaturen går ned, men gjennom et år vil slike små ranker kunne opprettholde en temperatur som stimulerer nedbrytning i store deler av vår, sommer og høst. Underlag med 5 cm isopor hadde god evne til å hindre reduksjon i jordtemperaturen i nedre lag av jordmassene i ranken.

Under de behandlingsforhold (temperatur ca. 18 °C) som er undersøkt i dette prosjektet, var 30 ukers behandlingstid for kort tid til å bekrefte nedbrytning av DDT.

Av de parametere som er fokusert i dette prosjektet kan følgende oppsummeres i forhold til biologiske behandlingsmetoder av DDT-forurensede masser:

- anaerobe forhold kan oppnås ved hjelp av tilsetning av lettomsattelige organisk materialer, kumøkk og potetrev gav beste resultat.
- tildekking av jorden med svart plast i sommerhalvåret vil være av stor betydning. For oppgravde masser og *ex-situ* behandling vil utlegging av ranger på isopor hindre temperaturreduksjon i de nedre jordmassene.

2. Innledning

DDT er et mye brukt insektmiddel inntil det ble forbudt i 1970 - 72 i de fleste vestlige land. I forbindelse med kampen mot gransnutebillen og dets skader på skogplantetrær ble det gitt dispensasjon for bruk av DDT ved skogplanteskoler fram til 1989. Ved skogplanteskoler er forurensningen av DDT knyttet til deponier for DDT-slam, spill av DDT-væske på behandlingssteder og spredning av DDT-rester via dressystem fra behandlingsstedene.

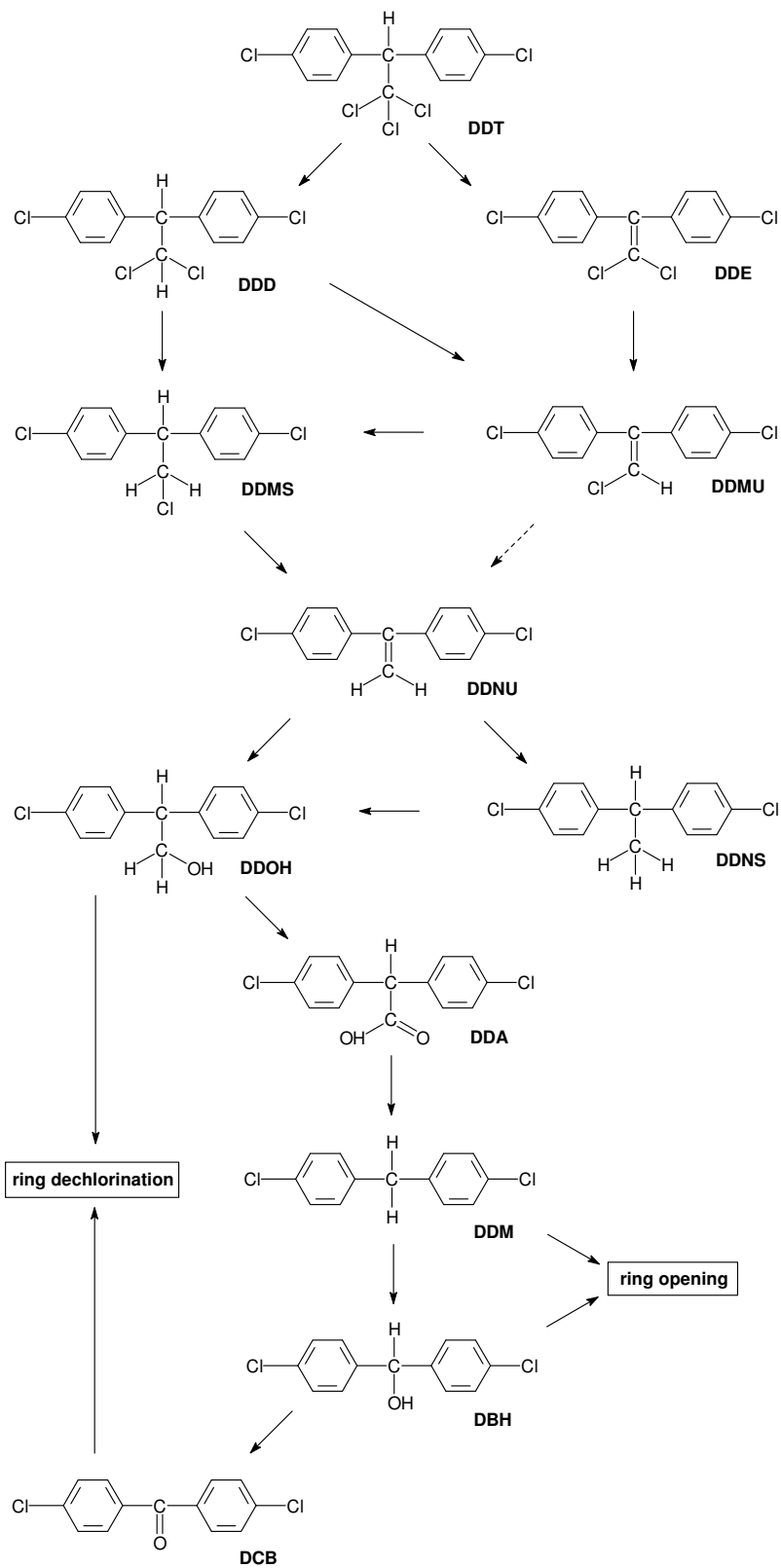
Diffus arealforurensning av DDT oppsto ved at DDT-slam (særlig før 1972) på en del steder ble tømt tilfeldig på jorder i tilknytning til behandlingsstedene (Sæland, 2002 A, B). Dette førte til at DDT-restene ble blandet med andre masser og tynnet ut i matjordlaget ved vanlig jordarbeiding. Det samlede arealet av slike områder er relativt lite, men DDT-innholdet i jordsmonnet kan flekkvis være høyt. Diffus arealforurensning av DDT oppsto også ved at DDT-suspensjon ble påført granplantene med sprøytebom på traktor (såkalt båtsprøyte eller LTI-metoden) i planteseng på friland eller i veksthus før plantene ble tatt opp for pakking og salg.

DDT ble også brukt i frukt- og bærhager, men status for DDT-nivåer i slike områder er langt mindre. Nyere undersøkelser viser at blåskjell i Sørfjorden har forhøyet DDT-nivået. Dette kan ha sammenheng med tidligere bruk av DDT i fruktdyrking rundt Sørfjorden, men også et generelt høye forbruket av DDT som insekticid i vanlig folks hverdagslivet kan også være en faktor. Prøver fra overflatejord i frukthage fra Sørfjorden tatt i våren 2005 viser DDT-konsentrasjoner opp til 11 mg/kg (Måge, 2005), som må betraktes som urovekkende ettersom det er mer enn 30 år siden DDT ble forbudt.

Under anaerobe forhold omdannes DDT til DDD ved reduktiv deklorering (figur 1). Under aerobe forhold foregår det en dehydroklorering og DDT omdannes til DDE. I mange år var DDE antatt å være et nedbrytningsprodukt uten videre nedbrytning ("dead-end" produkt), helt inntil på slutten av 90-tallet hvor studier viste at DDE under anaerobe forhold undergikk en reduktiv deklorering og dannet DDMU (Quencen et al., 1998). Anaerob nedbrytning er langsommere enn aerob nedbrytning.

For mer informasjon om tidligere undersøkelser om DDT-nedbrytning henvises det til rapport Eggen et al. (2003).

Prosjektets mål har vært å teste ulike metoder for å stimulere nedbrytning av DDT i sediment. Ved prosjektstart var det planlagt å gjennomføre uttesting både med ferskvann- og marinesedimenter. På grunn av vanskeligheter med å skaffe marint sediment som planlagt ble ikke inkludert i prosjektet.



Figur 1. Nedbrytningsveier for DDT (Aislabbie et al., 1997; Quensen et al., 1998; 2001).

3. Undersøkelse av behandlingstiltak

Tre typer behandling inngår i prosjektet:

- Biopile - biologisk behandling av oppgravde forurensede masser lagt i haug.
- *In-situ* tildekking av masser på land; behandling av forurenset masse i strandsonen
- Nedbrytning av DDT i sedimenter under vann, *in-situ*

Tiltak *in-situ* tildekking i strandsonen ble inkludert i prosjektet med spesiell tanke på de forurensete strandsonematerialet i Sørfjorden (Sørli og Ness, 1998) som opprinnelig var tenkt inngå i prosjektet. Når ikke DDT-forurenset strandsonemateriale i Sørfjorden ble funnet og dermed utgikk fra prosjektet, ble denne tiltaksformen testet med DDT-forurenset sediment fra Ørsjøen. Tiltakene er rettet mot å stimulere nedbrytning av DDT-forurensning. Tiltak i vann inkluderer derfor ikke å undersøke redusert spredning av DDT ved tildekking.

3.1 DDT-forurenset sediment

Ferskvannsediment

DDT-forurenset sediment fra Ørsjøen (sørøst for Halden, Østfold) er brukt i dette arbeidet. Sedimentet ble tatt fra området som er vist å ha høyest DDT-konsentrasjon. Analyser fra Ørsjøsedimenter tatt i 2004 viste konsentrasjoner for total DDT ($\Sigma p,p'$ DDT + o,p' DDT + p,p' DDD + o,p' DDD + p,p' DDE + o,p' DDE) opptil 2 532 mg/kg TS (Eggen et al., 2004). Dette området ligger helt i vannkanten og er i stor grad dekket med mye kvist. Sediment ble hentet fra dette området i desember 2004.

Ca. 120 kg sediment fra Ørsjøen, fordelt i 6 sekker/bøtter (batcher), ble mottatt i to forsendelser; batch 1 - 4 i første forsendelse og batch 5 og 6 i andre forsendelse. Sediment fra første forsendelse var hentet nede i vannkanten og hadde et tørrstoffinnhold på rundt 21 % TS. Sediment fra andre forsendelse var hentet ovenfor vannkanten og hadde et høyere tørrstoffinnhold, rundt 50 % TS. Sedimentprøver fra de ulike batchene ble analysert for DDT og startkonsentrasjoner er vist i tabell 1. I batch 1 til 4 var gjennomsnittlig startkonsentrasjon av DDT lavere enn DDD-konsentrasjonen, henholdsvis 11 mg DDT/kg (n = 13, std 2,5) og 33 mg DDD/kg (n = 13, std 8,0). I batch 5 og 6 var DDT- og DDD konsentrasjonen henholdsvis 55 mg/kg (n = 5, std 5,5) og 25 mg/kg (n = 5, std, 5,4). Sedimentet hadde en pH rundt 6,5, et totalt organisk karboninnhold på rundt 12% og et totalt nitrogen innhold på rundt 6200 mg/kg.

Marint strandsonemateriale

Det er i tidligere foreslått tiltak på DDT-forurensete masser fra en strandsone i Sørfjorden (Sørli og Ness, 1998), var materialer fra dette området var planlagt brukt i dette prosjektet. Tre prøver fra strandsonen viste en total DDT-konsentrasjon på 10 - 13,5 mg/kg TS ($\Sigma p,p'$ DDT + o,p' DDT + p,p' DDD + o,p' DDD + p,p' DDE + o,p' DDE) (Sørli og Ness, 1998). Arbeidet med å anskaffe til veie materiale fra dette området startet i desember 2004. Etter en tid viste det seg at tidligere prøvetatt og analysert materiale var kvist/grener fra et bål i strandsonen. Dette materialet var ikke relevant for prosjektet og ettersom dette området var svært steinete, ble det forsøkt å finne bedre egnede masser ved Sørfjorden. Etter diskusjoner med Amund Måge som både er lokalkjent i området og har kjennskap til DDT-problematikken i Sørfjorden, ble strandmateriale fra et område lengre inn i fjorden vurdert. Dette området var ikke tidligere kartlagt, men materiale var mindre steinete enn det første området. Rundt 80 kg masse ble gravd opp og oversendt i slutten av april 2005. Materialet ble analysert og resultatene viste at massen ikke inneholdt DDT. Det ble da vurdert hvorvidt en

skulle tilsette kommersielt DDT-preparat til materialet fra Sørfjorden og gjennomføre nedbrytningsforsøk med det. I samråd med SFT ble det bestemt at det ikke skulle gjøres. Nedbrytningsforsøk av DDT i marint sediment ble derfor ikke en del av prosjektet.

Tabell 1. Startkonsentrasjonen i sediment fra de ulike batchene fra Ørsjøen, oppgitt i mg/kg TS. Prøvene er analysert for p,p'-DDT og nedbrytningsproduktene p,p'-DDD, p,p'-DDE, p,p'-DDMU, p,p'-DDM og p,p'-DDOH.

Startbatch		p,p'-DDM	p,p'-DDMU	p,p'-DDE	p,p'-DDOH	p,p'-DDD	p,p'-DDT
#1 - 4 (n = 15)	min - maks	0,00 - 0,44	0,30 - 0,71	1,58 - 2,77	0,05 - 12,45	20,38 - 42,99	5,97 - 14,57
	avg ± std	0,22 ± 0,12	0,51 ± 0,13	2,17 ± 0,38	5,03 ± 5,59	33,88 ± 7,63	11,04 ± 2,44
#5 og 6 (n = 5)	min - maks	0,00 - 0,00	0,00 - 0,78	4,81 - 5,68	0,21 - 10,60	15,98 - 30,11	48,84 - 61,09
	avg ± std	0,00 ± 0,00	0,52 ± 0,32	5,43 ± 0,36	7,39 ± 4,25	25,05 ± 5,45	54,61 ± 5,50

3.2 Tilsetningsmaterialer

Lettomsettelig organisk materiale

Lettomsettelig organisk materiale tilsettes for å stimulere mikrobiell aktivitet. Økt mikrobiell aktivitet øker oksygenforbruket og uten ny tilførsel, vil dette føre til anaerobe forhold. Organisk materiale som er undersøkt som tilsetningsmaterialer i dette prosjektet er myse, et biprodukt av melkindustrien (avfall fra hvitost produksjonen) og potetrev, et biprodukt fra potetindustrien (restprodukt av potetmel). Produktene er tilsatt i biopilebehandling 1 og 3 og i tiltak *in-situ* på land. Kjemisk sammensetning av myse og potetrev er vist i tabell 2.

Husdyrgjødsel er brukt som dekklag over biopilene for å redusere inntrenging av oksygen i haugene. I forsøkene med *in-situ* tildekking av masser på land, ble umoden kompost brukt som topplag. I en av behandlingene ble umoden kompost lagt over lag med olivin. Husdyrgjødsel antas i en slik sammenheng å være mindre egnet enn umoden kompost.

Olivin som reduksjonsmiddel

Olivin, $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$, er et mineral med høyt innhold av jern. Under reduktive forhold vil jern foreligge som toverdige-jern og vil kunne deklorere DDT. Reduktive jernholdige mineraler er vist å kunne redusere ulike klorerte løsemidler, og elementært jern, Fe^0 , har vist å stor effekt på deklorerings hastigheten av DDT i Ørsjøsedimenter (Eggen og Majcherzyk, 2006). Olivin er godkjent til bruk i økologisk landbruk. Olivin er anvendt som innblandingmaterialet i sediment i biopilebehandling. Olivin er også brukt som et dekklag over sedimentet i *in-situ* på land tiltak og i *in-situ* tiltak i vann.

Tabell 2. Sammensetning av tilsetningsstoffene potetrev og myse.

	Potetrev	Myse
Sammensetning	Stivelse ca. 40% av TS, råprotein ca. 15% av TS, celleveggstoff ca. 30% av TS, mineraler ca. 20% TS	Melkesukker 70 - 80% av TS, råprotein ca. 13% av TS, fett ca. 5% av TS, mineraler ca. 8-9% av TS (mest Ca).
Tørrstoff	11,9 %	7,28 %
pH	4,11	4,99
Total organisk karbon	41,0 g/100 g	20 500 mg/l
Total N	2,02 g/100 g	1 130 mg/l
Nitrat + Nitritt	7,34 mg/kg TS	
Ammonium NH ₄	2180 mg/kg TS	



Bilde 1. Potetrev, lettomsettelig organisk materiale, biprodukt fra potetindustrien.



Bilde 2. Myse, lettomsettelig organisk materiale, biprodukt fra meieri.

3.3 Biopiles

Det ble utført 3 biopilebehandlinger med ca. 25 kg forurenset sediment i hver haug. Biopile 1 og 3 har lik behandling, biopile 1 med sediment fra første forsendelse og biopile 3 med sediment fra andre forsendelse. Biopile 3 ble startet 10 uker senere enn de andre behandlingene.

To behandlingsregimer er undersøkt:

- Biopile 1 og 3. Sediment og potetrev i blandingsforholdet 5:1 i våtvekt
- Biopile 2. Sediment og olivin blandingsforholdet 6:1 i våtvekt

Biopilebehandlingene foregikk ved romtemperatur, rundt 20°C. Etter innblanding av tilsetningsstoffene ble haugene dekket med et lag av husdyrgjødsel og kledd med tynn plast for å hindre uttørking og oppsprekking. Ved prøvetaking ble ytre lag med husdyrgjødsel fjernet og sedimentprøve ble tatt ut med skje.



Bilde 3. Innblanding av olivin i DDT-forurenset sediment (biopile 2).



Bilde 4. Biopile med DDT-forurenset sediment før overdekking av husdyrgjødsel.



Bilde 5. Biopile med påbegynt tildekking av husdyrgjødsel.

3.4 In-situ nedbrytning på land - behandling av strandsone

Sediment ble lagt i 25 x 43 x 35 cm kasser (b x d x h). Behandlingen foregikk ved romtemperatur, rundt 20°C.

Behandlingskasse 1: Tilsetning av organisk materiale (*in-situ* land 1).

DDT-forurenset sediment ble lagt i en høyde på rundt 8 cm. Myse ble helt over sedimentet og et 3 cm tykt lag potetrev ble lagt over. Et 5 cm lag med umoden kompost ble brukt som topplag.

Behandlingskasse 2: Tilsetning av olivin (*in-situ* land 2)

DDT-forurenset sediment ble lagt i en høyde på rundt 6 cm. Over sedimentet ble et 1,5 - 2 cm tykt lag med olivin lagt. Også her ble et 5 cm lag med umoden kompost brukt som topplag.

Forsøk i senere tid har vist at tang kan ha en positiv effekt på DDT-nedbrytning i jord (Kantachote et al., 2004). Det var planlagt å undersøke tilsetning av tang i *in-situ* tiltak i strandsonen. Ved nærmere vurdering av resultatene med tang, ble dette utelatt ettersom effekten var knyttet til endring av jordaggregater basert på en økning i ionekonsentrasjoner og dermed økt biotilgjengelighet av DDT i jordmateriale.



Bilde 6. Forsøkskasser med DDT-forurenset sediment. Fremste kasse er dekket med et lag olivin (*in-situ* land 2) og bakerste kasse er tilsatt myse og dekket med et lag potetrev (*in-situ* land 1).

3.5 In-situ behandlingstiltak av sediment i vann

For å stimulere nedbrytning av DDT *in-situ* i sediment under vann ble tildekking med olivin undersøkt. Et lag med 1,5- 2 cm olivin ble lagt over sedimentet (Bilde 8). Denne behandlingen ble utført ved to temperaturer; ca 20°C og 7 - 9°C. Hensikten med dette oppsettet/behandlingen var ikke å bestemme redusert transport og spredning av DDT fra sedimentet, men å stimulere til DDT-deklorering i de øvre sedimentlagene.



Bilde 7. *In-situ* tiltak for nedbrytning av DDT i sediment under vann (*in-situ* vann). Forurenset sediment med et lag olivin før tilsetning av vann.

3.6 Oppstart, prøvetaking og DDT-analyser

I prosjektet var det planlagt felles tilrettelegging/oppstart for masser fra Ørsjøen og Sørfjorden, ettersom det er tids- og kostnadsbesparende. På grunn av problemene med å skaffe egnet materiale fra Sørfjorden, ble derfor oppstart betydelig forsinket. Planlagt oppstart var tidlig januar 2005 (parallelt med oppstart av nedbrytningsforsøk av DDT i landbruksjord som startet uke 1 2005), men ble utsatt til slutten av april. Det er planlagt prøvetaking ved tre tidspunkt; 15, 25 og 40 uker. På grunn av forsinket oppstart er det prøvetatt ved 10, 20 og 30 uker.

Det viste seg at prøvetaking av sediment i *in-situ* behandling under vann var vanskelig å foreta uten forstyrrelse av sedimentlaget. For å unngå at prøvetaking på for tidlig tidspunkt kunne reduserer kvaliteten på videre analysere, ble det bestemt å vente med prøvetaking fra disse behandlingene.

Alle analyser inkluderer para,para isomere (p,p') av DDT og nedbrytningsproduktene DDD, DDE, DDM, DDMU og DDOH. Analysene er utført av Universitetet i Göttingen.

3.7 Pilotskalastudie for vurdering av temperatur og oksygenforhold

I løpet av prosjektet ble det i samråd med oppdragsgiver bestemt å inkludere å undersøke hvilke effekter innstråling og tilsetning av lett nedbrytbart organisk materiale har på temperatur i ranker. Effekten av å legge ranker på isopor ble også undersøkt. Graskutt som tilsetningsmaterialet for å øke temperatur og senke oksygenivået ble undersøkt i pilotskala rankeforsøk. Graskutt ble valgt fordi dette er et avfall som vil være gratis og samtidig er lett å anskaffe.

En serie innblandinger av ulike organiske materialer i jord ble gjennomført for å undersøke deres evne til å skape anaerobe forhold i jord. Dette ble utført i mindre skala.

3.7.1 Rankeforsøk med tilsetning av graskutt

Ranke 1 og 2 - effekten av graskutt: To ranker på 40 (h) x 100 (b) x 200 (l) cm ble anlagt, en med og en uten tilsatt graskutt. Graskutt ble lagt lagvis med 10 cm gras per 10 cm jord. Begge disse rankene var lagt på et lag 5 cm isopor.

Ranke 3 og 4 - effekten av isopor i bunnen: To ranker på 20 (h) x 100 (b) x 200 (l) cm ble anlagt, den ene lagt på isopor, den andre uten.

Temperatursensorer (iBCod, Alpha Mach) ble plassert i 5, 15, 25 og 35 cm dybde sentral i ranke 1 og 2. For de laveste rankene, 3 og 4, ble det bare benyttet sensorer på 5 og 15 cm. I ranke 1 og 2, ble det plassert oksygensensorer (PicoTechnologies) montert i drenerør i den øverste sentrale halvdel av ranken. Alle rankene ble dekket med svart plast. Rankene var plassert under veksthusarmatur slik at en kunne simulere ulike innstrålingsregimer. I starten av forsøket ble innstråling satt lik gjennomsnittlig innstråling i juli (280 W m^{-2}) i 18 timer per døgn. Etter 5 uker ble innstrålingen halvert. Temperatursensorene ble logget med punktverdier hver 2. time, mens oksygensensorene ble lest av med lengre intervall.



Bilde 8. Lagvis utlegging av jord og graskutt på isopor.



Bilde 9. Utlagt rankeforsøk

3.7.2 *Batchforsøk med tilsetning av organisk materiale*

Organiske materialer ble blandet med jord i forholdet 50:50 (volumbasis) og plassert i 90 L beholdere. Jord uten tilsetning inngikk som kontroll. Graskutt, hestemøkk, potetrev og kumøkk ble undersøkt som tilsetningsmaterialer. Oksygensensorer ble plassert i nederste halvdel av massene og lest av med jevne mellomrom.

I batcher med potetrev og kumøkk ble væske presset ut av blandingen, og disse to blandingene ble derfor lagt ut som hauger for å tillate drenering og for å forhindre væske å komme i kontakt med sensorene. Haugene ble dekket med plast. Kontrolljord og blandinger med gras og hestemøkk ble vannet (etter 17 og 29 dager) for å holde blandingene jevnt fuktige.



Bilde 10. Oksygensensor under påfylling av jord blandet med potetrev. Oksygensensor ble plassert i nederste halvdel av massene.

4. Resultater

Startkonsentrasjonen for biopilebehandling 1 og 2 samt *in-situ*-behandlingene er vist som gjennomsnitt av 15 prøver tatt fra startbatchene 1 - 4. Disse startbatchene kom som første forsendelse og felles for disse sedimentbatchene er at DDT-konsentrasjonen var langt lavere enn DDD-konsentrasjonen, henholdsvis gjennomsnittlig 11 mg DDT/kg TS og 33 mg DDD/kg TS.

Analysedataene presentert som laveste (min) og høyeste (maks) verdier er sammenstilt i tabeller. Resultatene presentert i figurer er vist som gjennomsnittsverdier med standardavvik. Det var generelt store variasjoner i analyseverdiene. Ettersom det er gjennomført forsøk i relativt stor skala er det ikke uventet ettersom det med homogene masser er vanskelig å oppnå, og en stor utfordring når en skal verifisere nedbrytning av langsomme nedbrytningsreaksjoner i større volum.

4.1 Biopiles - *ex situ* behandling

Resultatene, oppgitt i mg/kg TS, fra biopilebehandlingene er vist som laveste og høyeste verdier (tabell 3) og som gjennomsnittverdier i figur 2 - 4.

Konsentrasjonen av de polare DDT-nedbrytningsproduktene, DDM og DDMU var lave og høyest målte konsentrasjon var henholdsvis 0,18 og 0,62 mg/kg TS. DDOH, en annen polar nedbrytningsforbindelse hadde konsentrasjonsnivåer oppmot 15 - 20 mg/kg TS. Siste uke som var analysert var konsentrasjonene svært lave i alle biopile-behandlingene.

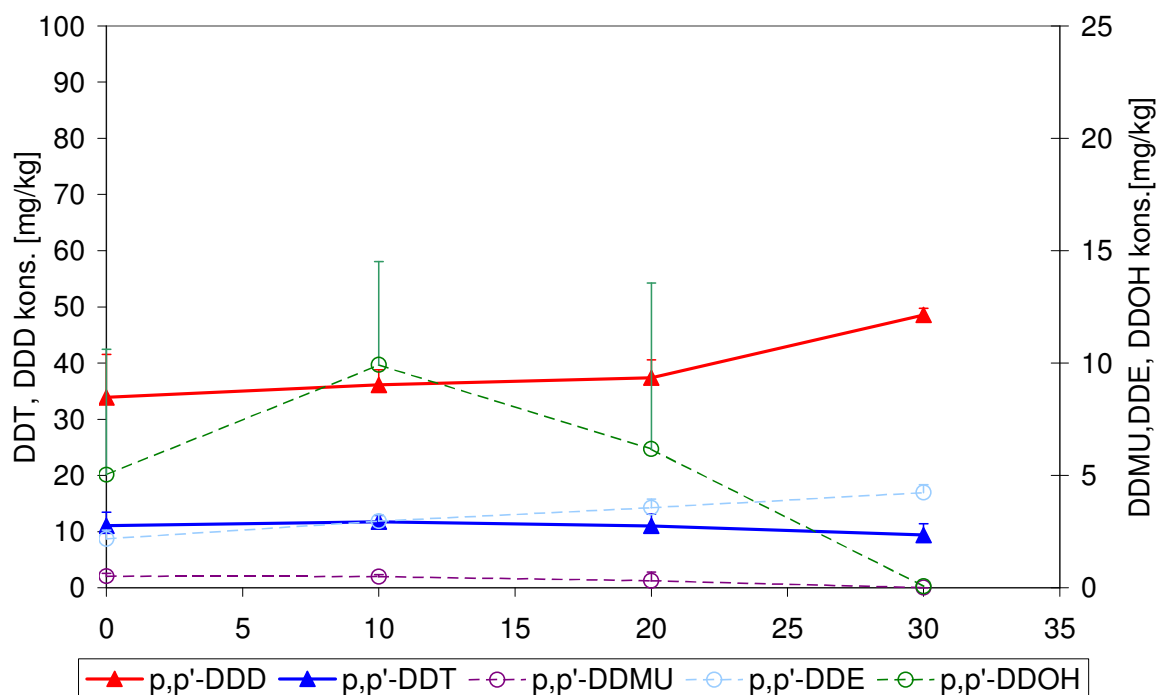
Konsentrasjonsnivået av DDE var relativt likt over hele forsøksperioden i biopile 2, mellom 1,6 - 4, mg/kg TS. Det kan synes som det er en svak tendens til økning i DDE-konsentrasjonen i biopile 1 og 3.

DDD-konsentrasjon i biopile 1 og 2 varierte mellom 20 og 40 mg/kg TS, gjennomsnitt rundt 30 mg/kg TS, og en tendens til økning i konsentrasjonsnivået ved siste måling ved uke 30. Biopile 3 ser ut til å ha en gradvis økning i DDD-nivået i løpet av hele forsøksperioden, men også her er det stor spredning i analyseresultatene.

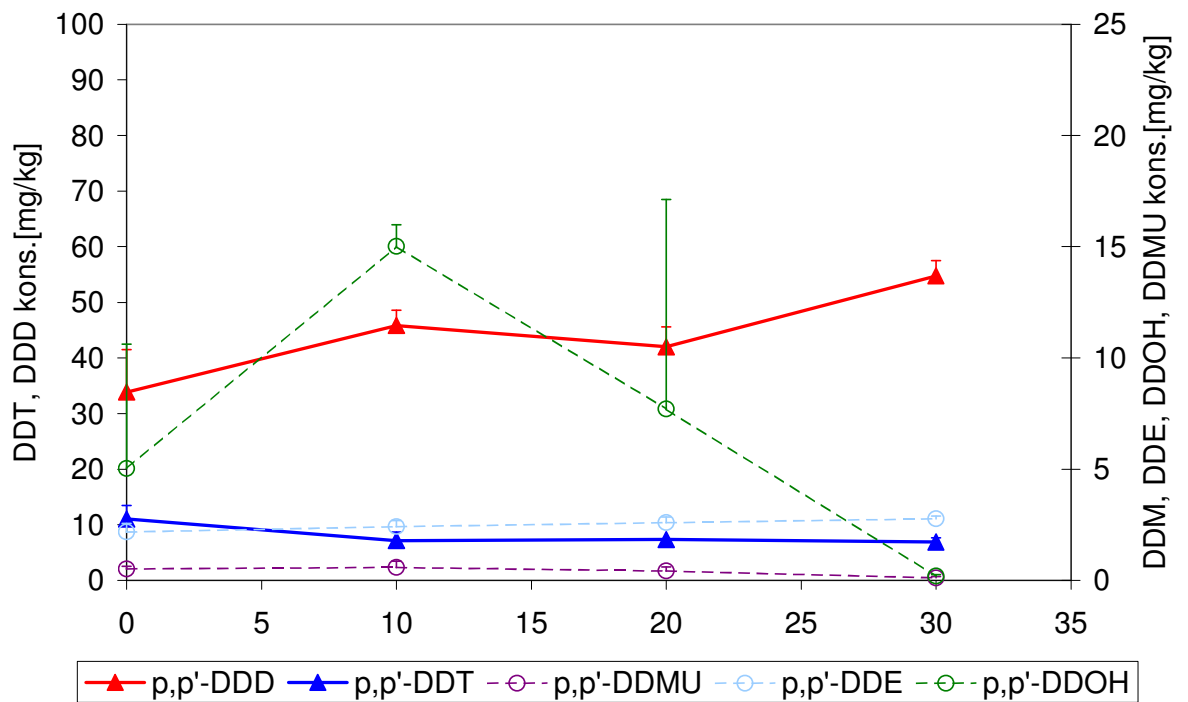
DDT-nivået i biopilebehandlingene viste ingen tendens til nedgang i løpet av de 30 ukene behandlingen pågikk. I biopilebehandling 1 og 2 varierte konsentrasjonen mellom 5 og 12 mg/kg TS, mens i biopile 3 var konsentrasjonen høyere og lå rundt 50 - 60 mg/kg TS ved start og etter 3 ukers behandling. Analysene ved uke 10 var lavere, rundt 30 mg/kg TS, mens etter 20 uker behandling var det stor variasjon i analysene, 30 - 60 mg/kg TS, og det er ikke klart om det er en tendens til DDT-nedgang eller ikke.

Tabell 3. Analyseresultatene av biopilebehandlingene vist som laveste (min) og høyeste (maks) verdier for de ulike prøvetakingstidspunktene, oppgitt som mg/kg TS.

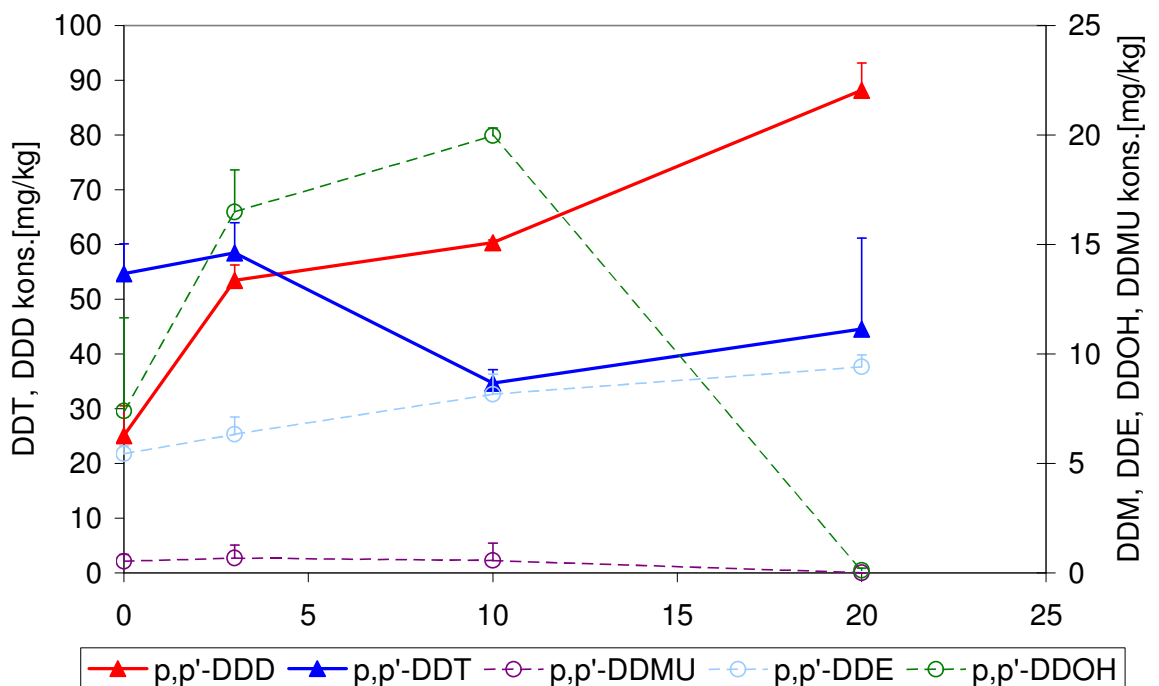
Behandling og prøvetakingstidspunkt	p,p'-DDM	p,p'-DDMU	p,p'-DDE	p,p'-DDOH	p,p'-DDD	p,p'-DDT
Start Biopile 1 og 2	0,00 - 0,44	0,30 - 0,71	1,58 - 2,77	0,05 - 12,45	20,38 - 42,99	5,97 - 14,57
Biopile 1 - 10 uker	0,00 - 0,06	0,39 - 0,62	2,54 - 3,27	0,65 - 12,53	32,42 - 40,52	10,06 - 12,97
Biopile 1 - 20 uker	0,00 - 0,05	0,03 - 0,59	3,29 - 3,83	0,95 - 11,40	35,08 - 39,64	9,57 - 12,47
Biopile 1 - 30 uker	0,00 - 0,00	0,00 - 0,00	3,86 - 4,55	0,00 - 0,18	47,63 - 49,83	7,24 - 11,22
Biopile 2 - 10 uker	0,00 - 0,18	0,00 - 0,83	2,17 - 2,39	13,68 - 15,09	41,72 - 45,51	5,76 - 6,82
Biopile 2 - 20 uker	0,00 - 0,00	0,29 - 0,55	2,40 - 2,78	1,03 - 14,37	39,44 - 44,55	7,33 - 7,40
Biopile 2 - 30 uker	0,00 - 0,00	0,05 - 0,17	2,68 - 2,91	0,12 - 0,27	51,69 - 56,83	6,33 - 7,74
Start Biopile 3	0,00 - 0,00	0,00 - 0,78	4,81 - 5,68	0,21 - 10,60	15,98 - 30,11	48,84 - 61,09
Biopile 3 - 10 uker	0,00 - 0,00	0,00 - 1,02	5,84 - 7,23	14,31 - 17,96	50,11 - 55,30	52,58 - 63,50
Biopile 3 - 20 uker	0,00 - 0,00	0,00 - 1,12	7,50 - 8,91	19,72 - 20,21	59,96 - 60,63	32,84 - 36,39
Biopile 3 - 30 uker	0,00 - 0,00	0,00 - 0,00	8,78 - 9,73	0,00 - 00,21	82,74 - 92,67	34,26 - 63,72



Figur 2. Biopile-behandling av DDT-forurenset sediment fra Ørsjøen. Biopile 1 er sediment innblandet potetrev som organisk materiale og dekket med husdyrgjødsel og plast.



Figur 3. Biopilebehandling av DDT-forurenset sediment fra Ørsjøen. Biopile 2 er sediment innblandet olivin som reduktiv middel og dekket med husdyrgjødsel og plast.



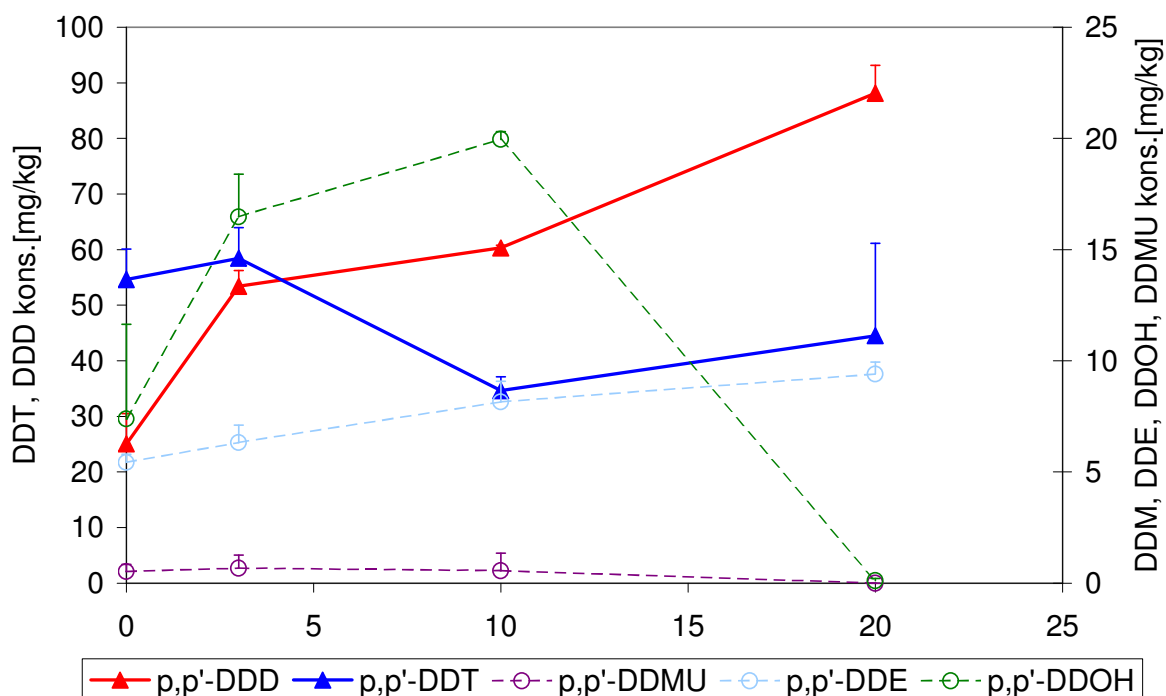
Figur 4. Biopilebehandling av DDT-forurenset sediment (startbatch 5 og 6) fra Ørsjøen. Biopile 3 er sediment innblandet potetrev som organisk materiale og dekket med husdyrgjødsel og plast.

4.2 In-situ behandling av sediment på land

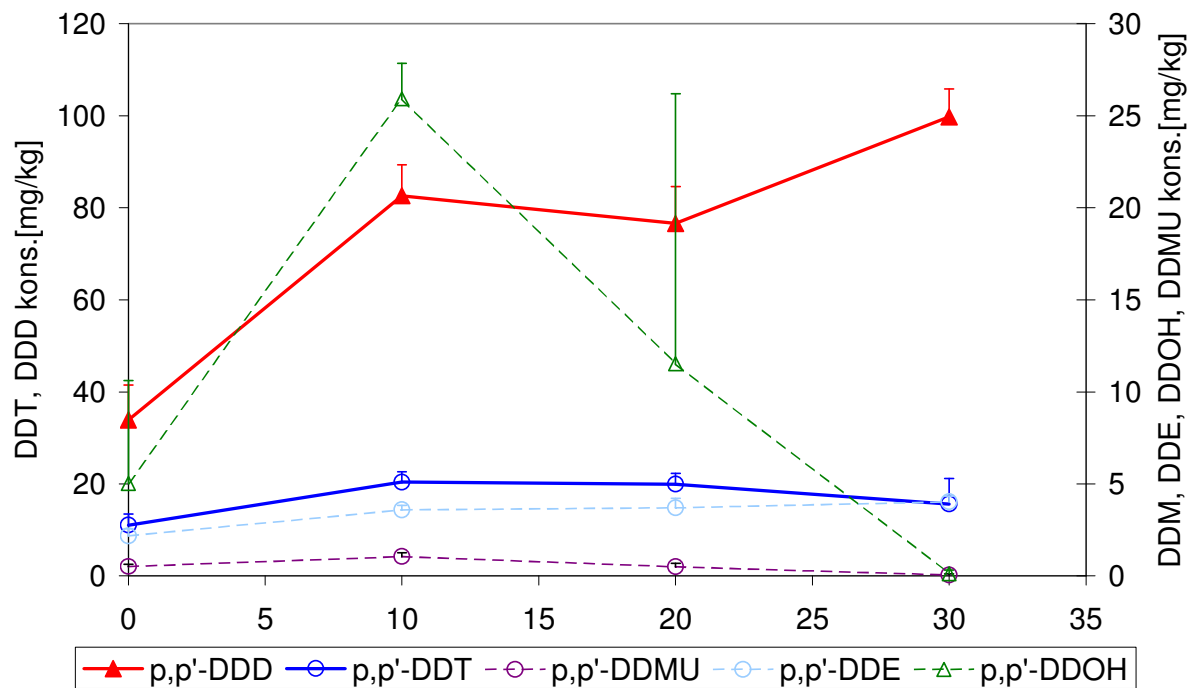
Resultater av *in-situ* behandling på land er vist i tabell 4 og figur 5 og 6. Resultatene fra de to *in-situ* behandlingene viste samme trend; en sterkt økning i DDD-nivået, men uten en tilsvarende nedgang i DDT-konsentrasjonen. Som i biopilebehandlingene var konsentrasjonen av den polare DDT-nedbrytningsforbindelsen DDOH lav i den siste prøvetakingen, 30 uker.

Tabell 4. Analyseresultatene av biopilebehandlingene vist som laveste (min) og høyeste (maks) verdier for de ulike prøvetakingstidspunktene, oppgitt som mg/kg TS.

Behandling og prøvetakingstidspunkt	p,p'-DDM	p,p'-DDMU	p,p'-DDE	p,p'-DDOH	p,p'-DDD	p,p'-DDT
Start <i>in-situ</i> behandling	0,00 - 0,44	0,30 - 0,71	1,58 - 2,77	0,05 - 12,45	20,38 - 42,99	5,97 - 14,57
In-situ beh. 1 - 10 uker	0,09 - 0,33	0,90 - 1,05	3,50 - 3,94	0,65 - 25,40	78,1 - 85,96	13,62 - 17,66
In-situ beh. 1 - 20 uker	0,00 - 0,00	0,64 - 1,01	3,78 - 4,02	0,93 - 1,17	75,2 - 80,03	13,16 - 14,97
In-situ beh. 1 - 30 uker	0,00 - 0,00	0,00 - 0,26	3,50 - 4,26	0,00 - 0,00	98,6 - 106,0	20,30 - 35,07
In-situ beh. 2 - 10 uker	0,00 - 0,00	0,63 - 1,24	3,31 - 3,89	23,07 - 28,21	72,0 - 89,9	17,78 - 23,43
In-situ beh. 2 - 20 uker	0,00 - 0,00	0,37 - 0,62	3,32 - 4,06	1,16 - 21,89	70,9 - 82,3	18,20 - 21,61
In-situ beh. 2 - 30 uker	0,00 - 0,00	0,00 - 0,13	3,69 - 4,28	0,00 - 36	93,5 - 105,7	11,24 - 21,98



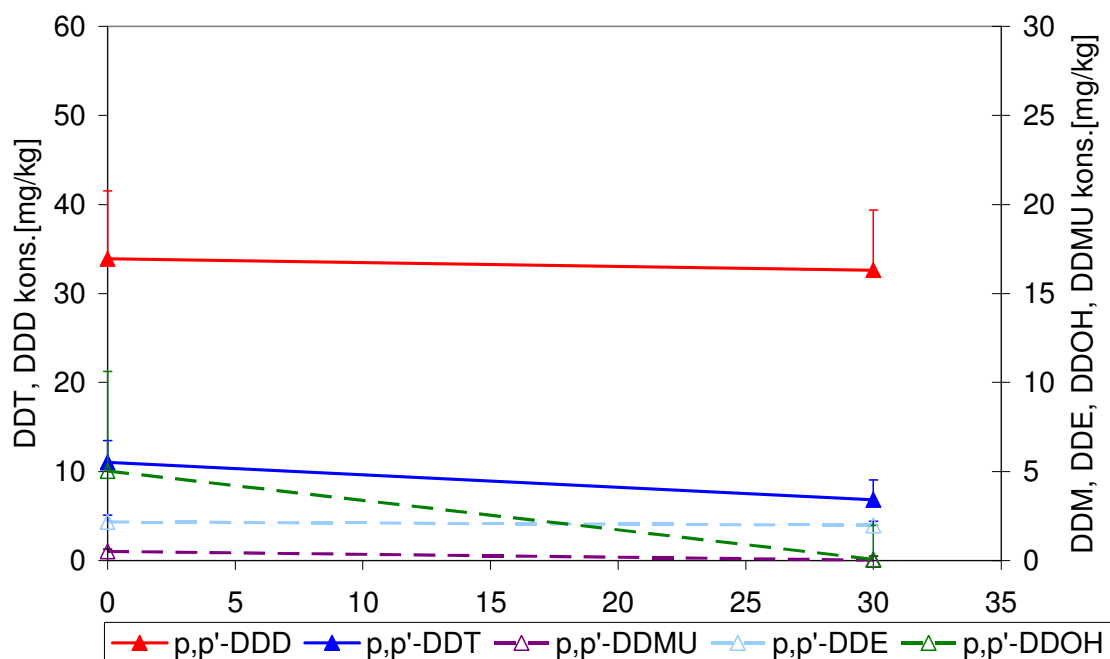
Figur 5. *In-situ* behandling av sediment på land. Sediment er tilsatt lettomsettelig organisk materialet på toppen og tildekt med et lag med umoden kompost (*in-situ* land 1).



Figur 6. *In-situ* behandling av sediment på land. Et lag med olivin over sedimentet og et topplag med umoden kompost.

4.3 In-situ behandling av sediment i vann

Tildekking av sediment under vann (*in-situ* vann) er kun prøvetatt på et tidspunkt, 30 uker. Basert de resultatene (figur 7) var den samme nedgangen av den polare DDT-metabolitten DDOH synlig men ellers ingen signifikante nedbrytningseffekter.



Figur 7. *In-situ* behandling i vann. Over sedimentet er det lagt et lag med olivin. Nedbrytning av DDT i sediment over tid.

4.4 Pilotskala studie av temperatur og anaerobe forhold

Jordtemperatur avtok innover i ranker på 40 cm, med forskjeller opp mot 10 °C fra 5 til 35 cm inn i ranke (Figur 8). For ranker på 20 cm avtok temperaturen nedover i ranke uten isopor, mens temperaturen var jevn i ranker lagt på isopor (Figur 9). Temperaturgradienten innover i ranken avtok ved halvering av innstråling (markert med pil i Figur 8).

Det var en døgnvariasjon i jordtemperaturen og denne variasjonen avtok innover i ranken; en døgnforskjell på 4-5 °C 5 cm inn i ranken, 2-3 °C ved 15 cm og 1-2 °C ved 25 og 35 cm inn i ranken.

Innblanding av gras i ranke ga rundt 5 °C høyere jordtemperatur enn uten innblanding av gras (Figur 10). Denne effekten avtok over tid og varte fram til rundt 15 dager etter start. Effekten av gras var lik for de øverste 25 cm av ranken, mens det i bunnen av ranken ikke ble registrert noen effekt av gras. Underlag med isopor ga 5-6 °C høyere jordtemperatur 15 cm ned i ranke enn i ranke uten isopor under.

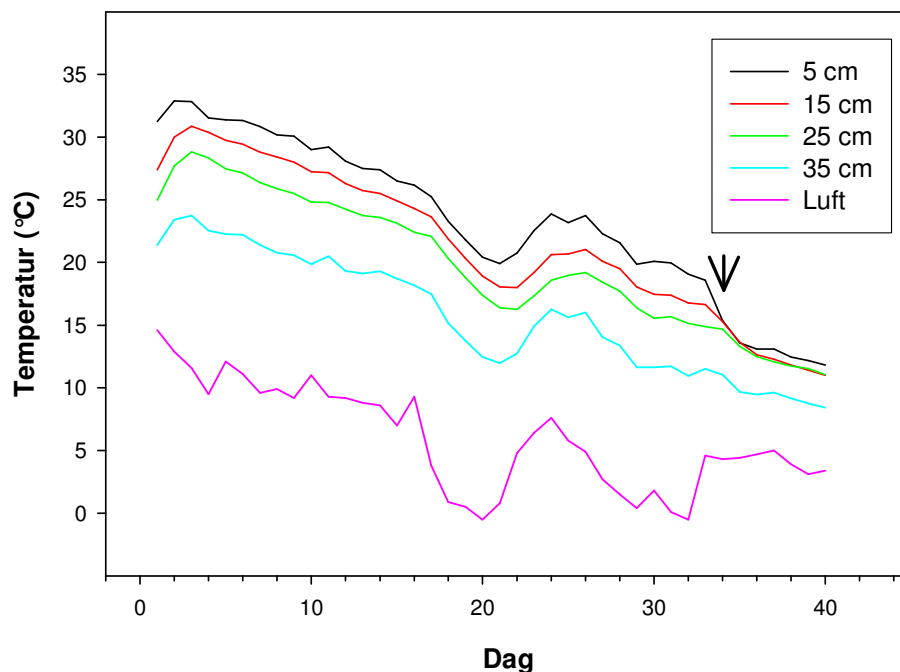
Innblanding av hestemøkk og gras ga en liten midlertidig senking av oksygenkonsentrasjonen i forhold til kontroll (Tabell 5). Konsentrasjonen ble senket med rundt 8 prosentpoeng i en periode på 8-10 dager. Innblanding av potetrev og kumøkk ga betydelig større effekt på oksygenivået. Sensorene i disse blandingen sluttet og viste signaler og de ble tatt ut og kontrollert og funnet i orden. Signal fra sensor opphører når oksygenkonsentrasjonen kommer ned mot nedre grenseverdi for måleområdet, dvs. 0 % oksygen. Tilsetning av kumøkk hadde best effekt og oksygenivået var lavt hele forsøksperioden igjennom, rundt 30 dager.

Oksygenmålingene i ranker med og uten graskutt viste en jevn stigning fra 10 til 15 % oksygen i ranke med graskutt over en 30-dagers periode. En feil med sensor i ranke uten gras, gjorde at vi ikke har data for den utviklingen.

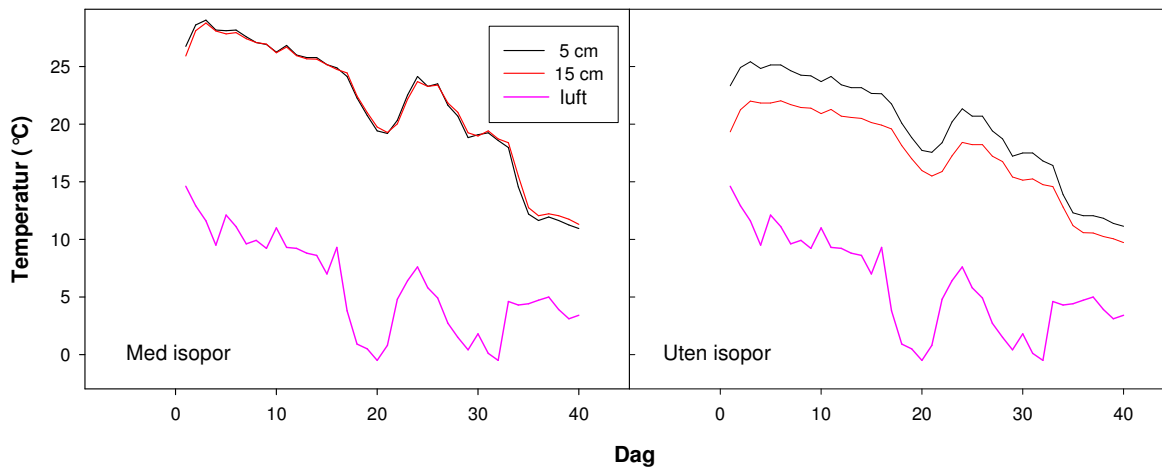
Tabell 5. Oksygenkonsentrasjoner målt i jordblandinger med innslag av 50 % (per volum) av graskutt, hestemøkk, potetrev og kumøkk.

Dag	Gras	Hestemøkk	Potetrev	Kumøkk	Kontroll
0	18,9	19,6	19,5	18,6	21,0
1	14,5	13,8	is	13,6	21,0
2	11,6	13,0	is	7,8	21,0
3	11,6	15,3	Is	is	21,3
4	11,9	16,1	is	is	21,3
7	13,2	14,2	is	is	20,9
8	14,8	16,4	is	is	20,9
9	16,6	17,8	is	is	21,0
10	17,7	19,4	is	is	21,3
11	18,7	20,1	is	is	21,5
17	18,6	18,4	is	is	20,9
23	20,1	20,6	13,0	is	21,3
29	20,1	20,6	14,0	1,9	21,4
32	20,8	21,8	16,3	2,3	22,0

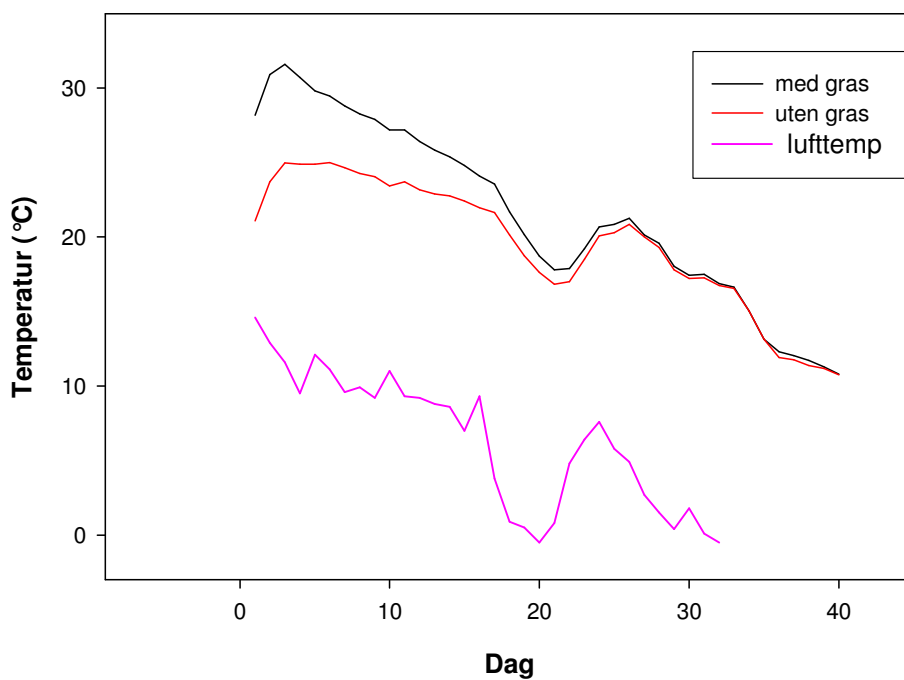
is - ikke signal fra oksygensensor, oksygenkonsentrasjonen mot nedre grenseverdi for måleområdet, dvs. 0 % oksygen.



Figur 8. Temperaturprofil i 40 cm ranke med innblandet graskutt i ulike avstander fra overflaten. Lufttemperatur er også gitt. Innstråling (belysningen) ble redusert til det halve etter 33 dager, vist med pil i figur.



Figur 9. Effekten av isolasjon med isoporunderlag på temperaturforhold i ranke (20 cm).



Figur 10. Effekten av innblandet gras på temperaturen i ranke.

5. Diskusjon og konklusjoner

Ved prosjektstart var det planlagt å gjennomføre uttesting både med ferskvann- og marine sedimenter. På grunn av vanskeligheter med å skaffe marint sediment som planlagt, ble dette ikke inkludert i prosjektet. Dette forsinket også oppstarten av behandling med ferskvannsediment og prosjektets behandlingsperiode ble kun 30 uker. Sediment fra Ørsjøen ble brukt i behandlingsforsøkene. Startkonsentrasjon for de polare DDT-nedbrytningsproduktene DDM og DDMU var svært lave, $< 0,6$ mg/kg TS, mens DDOH-konsentrasjonen var høyere, oppimot 20 mg/kg TS. DDE-konsentrasjonen var lav, rundt 2 - 5 mg/kg TS, mens DDD-konsentrasjonen varierte rundt 15 - 40 mg/kg TS. I en del av sedimentet (første forsendelse, startbach 1-4) var DDT-konsentrasjonen rundt 10 mg/kg TS, mens den andre delen (andre forsendelse, startbach 5,6) var den langt høyere, 50 - 60 mg/kg TS. Sum p,p'-DDT, p,p'-DDD, p,p'-DDE var 47 mg/kg TS i første forsendelse og 85 mg/kg TS i andre forsendelse.

I alle tre biopilebehandlingene er det en økning av DDD-konsentrasjonen over tid. Det er stor variasjon i analysedataene. I biopile 3, sediment med høy startkonsentrasjon av DDT og tilsatt potetrev som organisk materiale, var startkonsentrasjonen gjennomsnittlig $54,6 \pm 5,5$ mg/kg ($n = 6$), etter 3 uker $58,4 \pm 5,5$ mg/kg ($n = 3$), etter 10 uker $34,6 \pm 2,5$ mg/kg ($n = 2$) og etter 20 uker $44,5 \pm 16,7$ mg/kg ($n = 3$). Det var stor spredningen i dataene etter 20 ukers behandling, to prøver var rundt 35 mg/kg (34,3 og 35,5) og en 63,7. Den ene prøven med høy verdi trekker gjennomsnittsverdien kraftig opp. Ved 10 ukers behandling var begge prøvene rundt 30 - 35 mg/kg. Dette gir indikasjoner på at det kan skje en omdanning av DDT til DDD i denne behandlingen. Temperaturen i biopilebehandlingene lå rundt 18 °C, og som vist i forsøk med nedbrytning i jord går omdanningsprosessen langt langsommere rundt 18°C enn ved 25 - 30 °C (Eggen og Harbo, 2005). En nedbrytningseffekt vil kunne ta lengre tid å dokumentere. Tidligere forsøk med samme sediment fra Ørsjøen har vist en klar sammenheng mellom nedgang i DDT-konsentrasjonen og økning i DDD-konsentrasjonen (reduktiv deklorering av DDT) (Eggen og Majcherzyk, 2006). Det polare nedbrytningsproduktet DDOH ble ikke påvist i noen av behandlingene i prøver fra sisteprøvetaking og viser at behandlingen har stimulert til omdanning av DDOH.

Verifisering av nedbrytningsprosesser i stor skala, særlig i faste våte/fuktige masser, er en utfordring og det krever mange analyser. Å dokumentere langsomme nedbrytningsprosesser krever både stort antall analyser og tilstrekkelig behandlingstid. Under de behandlingsforhold som er undersøkt i dette prosjektet, var 30 ukers behandlingstid for kort tid til å dokumentere nedbrytning, kun peke på trender.

In-situ behandling i vann er kun analysert ved siste prøvetaking, 30 ukers behandling, og gir ikke grunnlag til å vurdere noen effekt av behandlingen.

Rankeforsøk dokumenterte at bestråling og tildekking med plast ga en betydelig økning i jordtemperatur i forhold til lufttemperatur et godt stykke inn i ranken. Isolasjon under ranke ga mindre gradienter inne i ranken enn uten isolasjon. Effekten av plastdekket ble ikke testet spesielt, men det er godt dokumentert hvilke effekter dekke med ulike materialer har på jordtemperatur. Vi valgt derfor å benytte mørk plast direkte, som den mest effektive måten å øke temperaturen på.

Kombinasjonen isolasjon under og innstråling med plastdekke over vil gi en betydelig temperaturøkning i ranker som ikke overstiger en kritisk tykkelse. Vi kan ikke ut fra dette forsøket si noe om hvilke dimensjoner en ranke maksimalt bør ha for å ha optimal temperaturøkning i hele ranken, men en ser at 35 cm inne i de høyeste rankene begynner temperaturen å falle.

Kombinasjonen innstråling og plastdekke kan opprettholde en temperatur på 25-30°C i store deler av ranken ved lufttemperaturer rundt 10°C. Disse temperaturene er funnet gunstige for nedbrytning av DDT. Ved lufttemperatur rundt 0 - 5 °C var jordtemperaturen rundt 10 - 15 °C. Også ved synkende lufttemperatur opprettholdes en temperatur høy nok til å stimulere nedbrytning. Systemet er avhengig av en betydelig innstråling for å opprettholde temperaturen når

lufttemperaturen går ned, men gjennom et år vil slike små ranker kunne opprettholde en temperatur som stimulerer nedbrytning i store deler av vår, sommer og høst. Noe avhengig av hvor en er i landet kan det dreie seg om en sammenhengende periode på rundt 6 måneder. Små ranker med isolasjon og plastdekke kan derfor være et alternativ til behandling.

Innblanding av gras ga bare en kortvarig effekt på temperaturen og vil neppe være aktuelt som tiltak. Slikt behandlingen ble utført her, lagt lagvis jord og gras, hadde graskutt liten effekten når det gjelder å skape anaerobe forhold. Det kan hende at graslaget førte til en "luftkanal" inn i massen, og at effekten ville ha vært større hvis graslaget ikke hadde gått helt ut til ytterkanten. I batchforsøk ble gras, hestemøkk, kumøkk og potetrev vurdert for deres evne til å skape anaerobe forhold. Kumøkk og potetrev viste best resultat. Vi vet foreløpig ikke hvordan innblanding av potetrev eller kumøkk i ranker vil påvirke temperaturen.

En innblanding av potetrev eller kumøkk i DDT kontaminert jord lagt i små ranker med plastdekke og isolasjon under, ser ut til å være den mest gunstige kombinasjonen av behandlinger undersøkt i denne studien.

Basert på erfaringer innhentet i dette prosjektet sammen med prosjektet om DDT-nedbrytning i jord, er følgende punkter konkludert som viktige for bruk av biologiske behandlingsmetoder av DDT-forurensede masser:

- oppnå anaerobe forhold (stimulere omdanning av DDT til DDD). Dette kan gjøres ved tilsetning av lettomsettelige organisk materialer, for eksempel kumøkk og potetrev. I sammenhenger hvor det er aktuelt er vannmetning av jord og tildekking av jord med umoden kompost også tiltak som vil kunne ha en effekt.
- øke temperaturen. For tiltak *in-situ* vil tildekking av jorden med svart plast i sommerhalvåret vil være av stor betydning for å øke jordtemperaturen. For oppgravde masser og *ex-situ* behandling er tildekking tilsvarende viktig for å øke samt holde på temperaturen viktig. Utlegging av ranger på isopor hindre temperaturreduksjon i de nedre jordmassene.

6. Referanser

- Aislabie, J.M., Richards, N.K., Boul, H.L. 1997. Degradation of DDT and its residues - a review. *N.Z.J. Agric. Res.* 40:269-282.
- Eggen, T, Majcherzyk, A. 2006. Effects of zero-valent iron (Fe^0) and temperature on the transformation of DDT and its metabolites in lake sediment. *Chemosphere*. Akseptert og i trykk.
- Eggen, T., Brevik, E., Lien, L., Schaanning, M., Sletta, A., Snilsberg, P. 2004. Kartlegging og risikovurdering av DDT i Ørsjøen. *Jordforsk rapport nr. 91/04*.
- Eggen, T., Eklo, O.M., Haraldsen, T., Källqvist, T., Stuanes, A., Uhlig, C. 2003. Utredning av tidligere arealspredd DDT på skogplanteskoler med hensyn til konsekvenser og behov for tiltak. *Jordforsk rapport nr. 110/03*.
- Eggen, T., Harbo, O. 2005. Praktiske tiltak for stimulering av nedbrytning av DDT i jord. *Jordforsk rapport nr. 99/05*.
- Kantachote D., Naidu R., Williams B., McClure N., Megharaj M, Singleton I. 2004. Bioremediation of DDT-contaminated soil: enhancement by seaweed addition. *J. of Chemical Technology and Biotechnology.* 79; 632-638.
- Måge, A. 2005. DDT i Sørfjorden - rapport frå feltarbeid på leit etter DDT. *ASES-rapport nr. 08/2005*.
- Sæland, S. 2002 A. Landbruksdepartementet. Handlingsplan for kartlegging og risikovurdering av DDT-deponi ved skogplanteskulane. Oppsummering og evaluering av feltundersøkingar. Innstilling om vidare arbeid og gjennomføring av tiltak.
- Sæland, S. 2002 B. Landbruksdepartementet og Statens forureiningstilsyn. Handlingsplan 2002-2003 for tiltak ved DDT-deponi på skogplanteskulane.
- Sørli, J.E., Ness, M. 1998. Kartlegging og risikovurdering av DDT. Frukthager på Kvalneset i Ullensvang. *NGI rapport nr. 984058-AD*.
- Quensen III, J. F., S. A. Mueller, Jain, M.K., Tiedje, J.M. 1998. Reductive dechlorination of DDE to DDMU in marine sediment microcosms. *Science* 280: 722-724.
- Quensen III, J. F., Tiedje, J.M., Jain, M.K., Mueller, SA. 2001. Factors controlling the rate of DDE dechlorination by zero-valent iron. *Environmental Science Technology.* 35: 286-291.