

NIVA



RAPPORT LNR 5513-2007

Miljøkonsekvensvurdering

Utslipp av forurensete sedimenter
til overflatelaget i deponiområdet
ved Malmøykalven



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 2218 51 00
Telefax (47) 55 23 24 95

NIVA Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Miljøkonsekvensvurdering - Utslipp av forurensete sedimenter til overflatelaget i deponiområdet ved Malmøykalven	Løpenr. (for bestilling) 5513-2007	Dato 21.12.2007
	Prosjektnr. Undernr. O-27438	Sider Pris 90
Forfatter(e) Morten Thorne Schaanning, André Staalstrøm og Kai Sørensen	Fagområde	Distribusjon Begrenset
	Geografisk område Oslofjorden	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Styret i Secora AS ved Morten Hugo Berger, Wikborg , Rein & Co	Oppdragsreferanse 50657-001 mhb
--	------------------------------------

Sammendrag Secora har siden februar 2006 drevet mudring av forurensete sedimenter i Oslo havn og transport av disse til dypvannsdeponiet ved Malmøykalven. DnVs granskning av bedriften har avdekket et "sannsynlig" utslipp av 1200 m³ stein og forurensete sedimenter fra splittlekere til vannmassen over terskeldyp. Analyser av data innsamlet av turbiditetsmåler ved nedføringsenheten har avdekket 28 episoder med forhøyet partikkelinnhold i vannmassene over terskeldyp. Slike episoder er ikke rapportert som avvik i Oslo Havns kontrollprogram. Overvåking av blåskjell i deponiområdet viser at spredning av miljøgifter i overflatelaget kan utelukkes med rimelig grad av sikkerhet. En gjennomgang av alle tilgjengelige overvåkingsdata har ikke avdekket noen vesentlig spredning av partikler eller miljøgifter ut av deponiområdet over terskeldyp. Spredning via vannmassene i dybdeintervallet mellom innsamlingsdyp for blåskjell (ca 0-2 m) og terskeldyp (42 m) kan likevel ikke utelukkes. Modellberegninger viser at 32 m³ forurenset sediment kan være spredt til områder utenfor Bekkelagsbassenget. Innholdet av miljøgifter tilsvarer 6-15 dagers tilførsler fra elvene som munner ut i tiltaksområdene i havna. Miljøkonsekvensene vurderes ikke som alvorlige. Utslipet gjør imidlertid, at det for enkelte forbindelser, som for eksempel kvikksølv og benzo(a)pyren, ikke kan utelukkes at det kan bli vanskelig å fullføre deponeringen innenfor det eksisterende miljøgiftbudsjettet for dypvannsdeponiet.

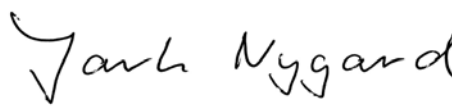
Fire norske emneord 1. Dypvannsdeponi 2. Sedimenter 3. Miljøgifter 4. Mudring	Fire engelske emneord 1. Deep sea disposal 2. Sediments 3. Contaminants 4. Dredging
---	---



Morten Thorne Schaanning
Prosjektleder



Kristoffer Næs
Forskningsleder



Jarle Nygaard
Fag- og markedsdirektør

Miljøkonsekvensvurdering

Utslipp av forurensete sedimenter til overflatelaget i
deponiområdet ved Malmøykalven

Forord

Denne rapporten er skrevet på oppdrag fra styret i Secora AS representert ved Siv Sandvik. Mandatet for oppdraget er utformet av advokatkontoret Wikborg og Rein (WR) på grunnlag av undersøkelser av påstander om irregulær dumping av masse fra splittlekter i dypvannsdeponiet ved Malmøykalven utført av Det Norske Veritas (DnV). Kontrakten ble signert av partene hhv 25.10 og 05.11.2007 og oversendt WR vedlagt brev 06.11.2007. Etter ønske fra Secora AS har NIVA i løpet av prosjektperioden kommunisert med oppdragsgiver via advokat Morten Hugo Berger, WR. I tillegg til forfatterne har NIVA-medarbeiderne Jan Magnusson, Hans Christer Nilsson og John Arthur Berge bistått vurderingene av hhv hydrografiske forhold, sedimentprofilbilder og blåskjell.

Oslo, 21.12.2007

Morten Thorne Schaanning

Innhold

Sammendrag	6
Summary	12
1. Innledning	14
2. Bakgrunnsinformasjon og modell for spredning	15
2.1 Deponiområdet	15
2.2 Partikkelbundet forurensing	15
2.3 Scenario	15
2.4 Håndtering av stein	16
2.5 Nedsynking av sedimenter i sjøvann	16
2.6 Modell basert på laboratorie- og felt-forsøk	19
2.6.1 Utsynking av partikler	19
2.6.2 Restinnhold av miljøgifter	21
2.7 Risiko for skader på organismer	22
3. Observert turbiditet ved nedføringsenhet	24
3.1 Kontrollprogrammets faste målepunkter for turbiditet og strøm	24
3.2 Turbiditetsmåler på nedføringsenheten	24
3.2.1 Kalibrering	25
3.2.2 Validering	25
3.3 Episoder med forhøyet turbiditet ved nedføringsenheten	27
3.3.1 Hendelser type A	28
3.3.2 Hendelser type B	30
3.3.3 Hendelser type C	33
3.3.4 Ferrybox data og observasjoner ved Malmøykalven juli 2007	34
3.4 Oppsummering av identifiserte hendelser	36
4. Påvist spredning	38
4.1 Dypvannsfornyelse og strømmålinger	38
4.2 Beregnet spredning av partikler ved MP3	41
4.3 Sedimentfeller	42
4.4 SPI-kamera	43
4.5 Bentiske foraminiferer	43
4.6 Blåskjell	45
4.7 Passive prøvetakere	47
5. Beregnet spredning over terskeldyp	50
5.1 Usikkerheter og forbehold	50
5.1.1 Indikasjoner på spredning	50
5.1.2 Beregnet spredning	51
5.2 Konklusjoner spredning	53
6. Vurdering av overvåkningsaktivitetene	54
6.1 Kontroll av regulær deponering	54
6.2 Kontroll av irregulære utslipp	54
6.3 Kontroll av spredning fra irregulære utslipp	55

7. Referenser	56
Vedlegg A. SFT utslippstillatelse 20.09.05, pkt 6.	58
Vedlegg B. Utdrag fra NGI's kontrollplan.	59
Vedlegg C. Kronologisk gjennomgang av turbiditet og strømmålinger jan.-nov. 2007	61
Januar 2007	61
Hendelse 15. januar 2007	61
Februar 2007	62
Hendelse 7. februar 2007	63
Hendelse 9. februar 2007	65
Mars 2007	65
Hendelser 23. og 24. mars 2007	66
April 2007	67
Hendelser 23. til 26. april 2007	68
Mai 2007	71
Hendelse 2. mai 2007	72
Hendelser 22. til 25. mai 2007	74
Juni 2007	77
Hendelse 2. juni 2007	77
Perioden 6. til 10. juni 2007	78
Hendelse 11. juni 2007	80
Hendelse 14. juni 2007	80
Juli 2007	81
August 2007	82
Hendelse 8. august 2007	83
Hendelse 10. august 2007	83
Hendelse 15. august 2007	84
Hendelse 23. august 2007	85
September 2007	86
Hendelser 3. til 5. september 2007	87
Oktober 2007	89
November 2007	90

Sammendrag

Bakgrunn og mandat

På oppdrag for Oslo Havn KF har Secora AS siden våren 2006 fjernet sedimenter fra forurensete lokaliteter i havneområdene. Massene fraktes med lektere til Bekkelagsbassenget der de føres ned til deponiet på sjøbunnen utenfor Malmøykalven gjennom et rør med åpning noen få meter over bunnen. Norges Geotekniske Institutt (NGI) har på oppdrag fra Oslo Havn KF den løpende kontrollen med at nedføringen foregår i henhold til utslippstillatelse fra Statens forurensningstilsyn (SFT). SFT finansierer egne undersøkelser av miljøtilstand i mudrings- og deponeringsområdet. Disse utføres av bl.a. NIVA. I tillegg har Neptun finansiert en større undersøkelse av miljøgifter i vannmassene i Indre Oslofjord høsten 2006.

Bakgrunnen for denne rapporten er påstander fremkommet om irregulære utslipp av stein og forurensete sedimenter fra splittlekter til overflatelaget over deponiområdet. Oppdragsgiver har fått utarbeidet et scenario for et mulig utslipp av totalt 1200 m³ stein og forurenset sediment fordelt på 29 enkeltutslipp med volumer mellom 10 og 200 m³. På grunnlag av dette har vårt oppdrag bestått i å vurdere:

- om utslippene til overflaten har medført større spredning av miljøgifter enn forventet dersom nedføring hadde foregått i henhold til utslippstillatelsen og
- om effekter av eventuell spredning er påvist i noen av overvåkningsaktivitetene utført i tilknytning til deponeringsarbeidene.

I tillegg skulle det gjøres en vurdering av

- om utslippene til overflaten har vært fanget opp av kontrollprogrammet, og
- hvis ikke, hvordan programmet kunne vært utformet for å fange opp slike utslipp.

Generelt om batymetri og strømforhold

Selve deponiområdet omfatter et område på 65-70 m dyp lengst syd i Bekkelagsbassenget. Bekkelagsbassenget er omgitt av øyer og sund med terskeldyp 31-42 m. Utenom perioder i vinterhalvåret når tyngre vann utenfra strømmer inn over tersklene, synker ned og skifter ut det lettere bassengvannet, er vannmassen stagnerende med lave strømhastigheter av skiftende retning. Deponiområdet er naturlig avgrenset mot øst, syd og vest med relativt bratt stigende bunn opp til de tre sundene mellom Malmøykalven og Skjælholmene (terskel 42 m), Skjælholmene og Husbergøya (terskel 31 m) og Husbergøya og Langøya (terskel 35 m). Mot nord og nordøst er deponiområdet delvis avgrenset av en lav rygg (55-65 m) med størst vanddyb i to forsenkninger mot nordøst.

Generelt om spredning av miljøgifter

Miljøgifter foreligger i en likevektsfordeling mellom partikkelbundet og oppløste former. I sjøvann er de fleste miljøgifter sterkt bundet til partikler. I den grad en kan anta at konsentrasjonen av miljøgifter i sedimentene som deponeres er konstant vil spredningen av miljøgifter være tilnærmet proporsjonal med spredningen av partikler. Derfor legges det stor vekt på målinger av turbiditet og strømforhold i området rundet deponiet. Hvis overvåking av partikler viser at det ikke har vært spredning i området, kan en utelukke spredning av store mengder miljøgifter, men små mengder vil kunne være spredt som oppløste forbindelser.

Miljøgifter bundet til partikler er relativt lite biotilgjengelige og derfor lite toksiske. Risikoen knyttet til spredning av forurensete sedimenter utenfor deponiområdet er desorpsjon

(utlekking) av toksiske forbindelser fra sedimentpartiklene til vannet og opptak i organismer som kan foregå langsomt og over lang tid etter at partiklene har sedimentert utenfor området. Desorpsjon og opptak i organismer gjør at spredning av forurensete partikler kan spores i form av forhøyet konsentrasjon av miljøgifter i vann og organismer. I tillegg vil miljøgifter som løses ut i en sky av forurensete partikler, ha større potensiale for spredning både horisontalt og vertikalt i vannmassene enn de som sitter igjen på partiklene. Hvis overvåking av miljøgifter i vann og organismer viser lave konsentrasjoner, kan spredning til området der prøvene er tatt utelukkes med rimelig grad av sikkerhet.

Partikkelspredning under terskeldyp

Vertikal, oppadrettet spredning av suspenderte partikler påvirkes av vannets lagdeling og grad av stagnasjon og partiklenes synke-egenskaper. Partikler som innlagres i vannmasser under terskeldyp, vil pga slike faktorer i liten grad spres oppover til terskeldyp. Dette innebærer at partikler som nedføres gjennom et lukket rør og slippes ut noen få meter over bunnen i deponiområdet ved Malmøykalven vanskelig vil kunne spres til områder utenfor Bekkelagsbassenget.

Kontrollprogrammet har fire faste rigger (MP1-MP4) med strøm- og turbiditets-målere plassert mellom 40 og 65 m dyp. Disse måler kontinuerlig og varsler automatisk når turbiditeten overskrider en definert grenseverdi slik at eventuelt pågående nedføring stanses. Varsling utløses således når turbiditeten i en periode på minst 20 minutter overskrider 5 NTU (enhet for turbiditet, 1 NTU tilsvarer ca 1 mg partikler per liter vann) pluss turbiditeten på en referensemåler (Tref) som også måler kontinuerlig på 65m dyp sentralt i Bekkelagsbassenget. Varslingssystemet har etter vår mening fungert tilfredstillende og registreringene har ikke vært beheftet med tekniske problemer utover det som er rimelig å forvente under drifting av et slikt system.

Dersom turbide vannmasser skulle bevege seg sydover langs bunnen og oppover mot terskeldypene vil de med stor grad av sannsynlighet fanges opp av de faste målerne ved MP1 (45 m dyp, 3 m over bunnen) nord for Husbergøya, eller MP4 (43 og 55 m dyp, 18 og 6 m over bunnen) sør for Husbergøya. MP4 viste forhøyet turbiditet en periode under en dypvannsfornyelse i februar, men ellers har disse målerne i løpet av 2007 bare unntaksvis vist økning av turbiditeten til verdier over bakgrunnsnivå på ca 1 NTU. Sjøbunnen stiger bratt opp mot terskelen på 42 m vanddyb sør for Malmøykalven, den dypeste delen av passasjen er trang, og under vannutskifting er det observert innstrømmende vann i dette området. Sannsynligheten for spredning av partikkelholdig vann fra deponiområdet og ut gjennom denne passasjen anses derfor som liten sammenlignet med sannsynligheten for spredning over tersklene ved Husbergøya.

Sannsynligheten for spredning ut av deponiområdet av partikler som slippes ut ved bunnen er klart størst mot nord. Her er to av de fire riggene plassert. MP2 har en måler på 60 m dyp rett nord for deponiet. MP3 har en strøm- og turbiditets-måler på 65 m dyp nordøst for deponiet. Denne riggen har i løpet av 2007 blitt supplert med turbiditetsmålere i 40, 50 m dyp. MP3 ligger strategisk viktig til ved det dypeste området av ryggen som avgrenser deponiet fra resten av Bekkelagsbassenget, og der sannsynligheten er størst for at en eventuell partikkelsky som spres utover bunnen fra nedføringsrøret vil kunne spres videre ut av deponiområdet. MP2 har i likhet med MP1 og MP4 sjelden vist økning av turbiditeten til over bakgrunnsnivå. Det samme gjelder målerne i 40 og 50m dyp på MP3, mens måleren på 65 m dyp ofte har vist

forhøyete verdier. Nesten alle tilfeller av automatisk varslings skyldes overskridelser av turbiditeten på dette målepunktet.

Målerne MP1-MP4 anses velegnet til å fange opp spredning ut av deponiområdet av partikler sluppet ut under terskeldyp. Målerne viser at slik spredning i det alt vesentligste har foregått gjennom det dypeste partiet mot nordøst og i vandyp under 50 m. Denne transporten ble beregnet for perioden 1.1.-1.10.07 på grunnlag av arealet av tverrsnittet under 56 m dyp og de kontinuerlige målingene av turbiditet og strøm i 65 m dyp. Resultatet viste en nettotransport av partikler inn i deponiområdet under dypvannsutskiftingen i januar og februar. I mars og april var strømmretningen i hovedsak ut av deponiet og partikkelspredningen ut av deponiområdet ble beregnet til ca 270 tonn i perioden februar-mai. Etter dette viste strømmåleren stagnerte forhold og nettotransport av partikler var tilnærmet null til tross for relativt høy turbiditet og hyppige overskridelser av grenseverdien. Totalt viste beregningen spredning av 210 tonn partikler (tørrstoff) for hele perioden. Dette var i rimelig god overenstemmelse med sedimentasjonen i området nord for deponiet beregnet på grunnlag av målinger med sedimentfeller 3 m over bunnen våren 2007.

En gjennomgang av turbiditetsmålingene utført av Secora ved nedføringsfartøyet avdekket i samme periode 28 hendelser med utslipp til vannsøylen over terskeldyp. Ved sju av disse tilfellene ble det registrert økt turbiditet på målere i utkanten av deponiområdet på et tidspunkt som ut fra strømhastighet og -retning, gjorde det rimelig å koble utslippet til økt spredning av partikler ut av deponiområdet. Bidraget fra disse hendelsene ble vurdert å utgjøre en ubetydelig andel av en total spredning i størrelsesorden 200 tonn. Denne spredningen vil være omtrent like stor uansett om utslippet skjer irregulært ved overflaten eller regulært ved bunnen.

Vi konkluderer derfor at under terskeldyp har den irregulære deponeringen ikke medført noen vesentlig økt spredning ut av deponiområdet.

Undersøkelser av spredning over terskeldyp

NIVA måler miljøgiftinnholdet i blåskjell innsamlet hver annen måned i strandsonen på Malmøykalven, Skjælholmene, Husbergøya og Langøya. Disse prøvene har ikke vist noen påvirkning fra deponeringen og i henhold til SFTs kriterier har blåskjellene gjennom hele perioden vært *ubetydelig* forurenset med Hg, og *ubetydelig* til *moderat* forurenset med PCB, PAH og BaP. Denne overvåkningsaktiviteten er gjennomført systematisk for hele deponeringsperioden og det er rimelig å konkludere at **den irregulære nedføringen ikke har medført vesentlig spredning av partikler i overflatelaget der blåskjellene blir innsamlet (ca 0-2 m).**

Sedimentprofilbilder har ikke vist tegn til økt sedimentasjon i eller utenfor området ved tersklene inn til Bekkelagsbassenget. Partiklene forventes i liten grad å sedimentere i de relativt strørmsterke terskelområdene. Utenfor Bekkelagsbassenget vil partiklene lett kunne spres over så store områder at økt sedimentasjon vil være vanskelig å detektere uansett hvilken metode man bruker.

Konsentrasjonen av miljøgifter i vannmassen har vært målt med passive prøvetakere satt ut av Exposmeter i to perioder høsten 2006 og av NIVA i en periode våren 2007. I tillegg har kontrollprogrammet målt konsentrasjonen av miljøgifter i vannprøver og på passive prøvetakere ved MP3 og MP4. Med et unntak har disse prøvene ikke vist forhøyete konsentrasjoner av miljøgifter i vannmassene i terskelområdene eller fjorden utenfor som kan spores tilbake til deponeringen. Unntaket var en prøvetaker plassert 3 m over terskelen mellom Husbergøya og Skjælholmene i mai-juni 2007. Denne viste lave konsentrasjoner, men et innbyrdes fordelingsmønster som lignet mønsteret i vann påvirket av deponeringen. I den grad dette ene funnet kan relateres til

deponeringsaktivitetene er det mest sannsynlig at påvirkningen skyldes desorpsjon fra suspenderte partikler i bassengvannet under terskeldyp, vertikal blanding og utstrømning av vann med oppløste miljøgifter. Det er derfor ikke grunnlag for å knytte denne observasjonen til irregulære utslipp til overflaten.

Det er altså ikke gjort noen observasjoner som tyder på vesentlig spredning verken av partikler eller miljøgifter til områder utenfor Bekkelagsbassenget. Verken vannprøver eller passive prøvetakere er godt egnet til å fange opp episodisk spredning av partikler. Det kan derfor ikke utelukkes at slik spredning kan ha skjedd via innlagring og transport i vannlag fra ca 2 m og ned til terskeldyp.

Beregnet partikkelspredning over terskeldyp

Ved utslipp av masser til overflaten vil løste forbindelser og partikler som pga form, størrelse og tetthet har dårlige synke-egenskaper, skales av langs kanten av de nedsynkende massene og bli hengende igjen i vannsøylen, særlig i lag der tettheten av vannet øker raskt. Slik innlagring i tetthetsgradienter kombinert med generelt større strømhastighet over enn under terskeldyp, kan føre til horisontal spredning av partikler utenfor deponiområdet uten at dette vil detekteres av turbiditetsmålerne (MP1-MP4) som omgir deponiområdet fra 40 m og nedover.

På grunnlag av forsøk med utsynking av forurensete sedimenter fra Bjørvika utført i tilknytning til konsekvensutredning for dypvannsdeponiet og under et prøveutslipp fra splittlekter over deponiområdet i november 2005, er det antatt at 2,5% av slam som slippes ut på denne måten vil kunne spres utenfor deponiområdet. I tillegg har vi, skjønnsmessig, antatt at andelen vil kunne øke opp til 5% for små utslipp. Noe av dette materialet vil sedimentere innenfor Bekkelagsbassenget, men vi har ikke grunnlag for å estimere hvor stor en slik andel vil kunne være. Med antatt innhold av miljøgifter tilsvarende sedimentene benyttet i nevnte forsøk, ble det beregnet at utslippene beskrevet i scenariet gitt av oppdragsgiver, kan ha resultert i spredning over terskeldyp av 101 g Hg (kvikksølv), 6 g PCB (polyklorerte bifenyler, sum av 7 enkeltforbindelser) og 719 g PAH (polysykliske aromatiske hydrokarboner ("tjære-stoffer"), sum av 16 enkeltforbindelser) hvorav 65 g BaP (benzo(a)pyren). Den økte spredningen tilsvarer 6-15 dagers tilførsler fra elvene Frognerelva, Akerselva og Alna/Loelva som munner ut i tiltaksområdet. Miljøbudsjettet for dypvannsdeponiet forutsetter at samlede utslipp under deponeringen ikke skal overstige 232 g Hg, 160 g PCB7, 4 159 g PAH16 og 99 g BaP.

Vi konkluderer at den irregulære deponeringen kan ha medført økt spredning av miljøgifter ut av deponiområdet over terskeldyp, tilsvarende 6-15 dagers elvetilførsler. Dette vil ikke kunne sies å medføre alvorlige miljøkonsekvenser. Imidlertid kan det ikke utelukkes at det kan bli vanskelig å fullføre deponeringen innenfor rammen av det eksisterende miljøgiftbudsjettet. Dette gjelder først og fremst forbindelsene kvikksølv og benzo(a)pyren.

Vurdering av kontrollprogrammet

Kontrollprogrammet har vært planlagt og gjennomført på en slik måte at spredning fra utslipp ved bunnen av deponiområdet med stor sannsynlighet har vært fanget opp. Overskridelser har vært varslet i henhold til utslippstillatelse og eventuell nedføring av masser har blitt stanset til forholdene er normalisert.

Under nedføring av masser skal Secora utføre turbiditetsmålinger i hele vannsøylen ved nedføringsfartøyet med et instrument som heves og senkes kontinuerlig mellom overflaten og bunnen. Overskridelser er definert på samme måte som overskridelser på de fastmonterte målerne over bunnen, dvs turbiditet på Tref pluss 5 NTU i mer enn 20 minutter. Ved eventuell overskridelse skal nedføringen stanses, loggføres og avvik skal rapporteres.

Alle målinger lagres og oversendes til NGI som analyserer dataene og gjør rutinemessige beregninger av gjennomsnitt, maksimalverdi, øvre og nedre kvartil for hvert 5 m dybdeintervall. Månedsgjennomsnitt, sammen med nedre og øvre kvartil har vært regelmessig presentert i månedsrapportene som legges ut på www.renoslofjord.no.

Innlagring av partikler etter kortvarige utslipp til overflaten vil bare registreres på turbiditetsensoren en kort periode før de transporteres ut av måleområdet. Muligheten er derfor tilstede for at slike episoder ikke vil gjenspeiles verken i gjennomsnitt eller øvre kvartil. Vår gjennomgang av alle målingene fra instrumentet for perioden 01.01.-05.09.2007 viste i alt 28 episoder med tydelig forhøyet turbiditet i vannmassene over terskeldyp. Ingen av disse episodene kan forklares på grunnlag av naturlige variasjoner av turbiditet og flere av episodene innebar overskridelse av grenseverdien ($T_{ref}+5$ NTU i mer enn 20 minutter) uten at dette har vært avviksrapportert. Flere episoder er nevnt i sammendragene i månedsrapportene, men det fremgår ikke at slike episoder har forekommet over terskeldyp.

Vi konkluderer at kontrollprogrammets turbiditetsmåler på nedføringsfartøyet har fanget opp episodiske utslipp til overflaten, men at disse ikke har blitt avviksrapportert eller på annen måte synliggjort i programmets månedsrapporter.

Dersom en med rimelig grad av sikkerhet skulle kunne utelukke eventuell spredning av miljøgifter fra slike utslipp, hadde det vært nødvendig å supplere overvåkingen av deponiområdet under terskeldyp, med kontinuerlige målinger av turbiditet og strøm i terskelområdene. Dette ville kunne fange opp eventuell spredning ut av Bekkelagsbassenget. Dersom slik overvåking kommer i tillegg til den eksisterende overvåkingen som utføres under kontrollprogrammet vil det kreve betydelige ressurser. Etter vår mening vil det eksisterende kontrollprogrammet sammen med forbedrete rutiner for drift av turbiditetsmåleren på nedføringsfartøyet, og bearbeiding av dataene som genereres av samme, gi en tilfredstillende kontroll med all spredning fra deponiområdet. Dette forutsetter imidlertid at utslipp til vannmassene over terskeldyp kan unngås og at alle forurensete masser føres ned mot bunnen slik som beskrevet i utslippstillatelsen pkt 6.

Konklusjoner

- Gjennomgang av dataene fra turbiditetsmåleren på nedføringsfartøyet har avdekket 28 episoder med forhøyet turbiditet i vannmassene over terskeldyp. Dette var i god overenstemmelse med de 29 enkeltutslippene gitt i mandatets scenario.
 - Utslippene er fanget opp av kontrollprogrammets instrumenter, men ikke rapport som avvik.
 - Utslippene har ikke medført vesentlig spredning av miljøgifter under terskeldyp (42 m) eller i overflatelaget (0-2 m).
 - Det er ikke påvist vesentlig spredning av partikler eller miljøgifter til områder utenfor Bekkelagsbassenget. Spredning kan likevel ikke utelukkes i dybdeintervallet 2-42 m.
 - På grunnlag av resultater fra tidligere utførte laboratorie- og feltforsøk og DnVs estimat for "sannsynlig" utslipp av 1200 m³ forurenset sediment, ble spredning over terskeldyp beregnet til 32 m³, som antas å inneholde bl.a.
 - 101 g Hg, 6 g PCB og 65 g benzo(a)pyren eller
 - miljøgifter tilsvarende 6-15 dager tilførsler til fjorden fra Akerselva, Alna/Loelva og Frognerelva.
-

- Utslipet gjør at det ikke kan utelukkes at det for enkelte forbindelser kan bli vanskelig å fullføre deponeringen innenfor rammen av det eksisterende miljøgiftbudsjettet for dypvannsdeponiet.
- Utslipet anses ikke å ha medført alvorlige konsekvenser for miljøet i noen deler av fjorden.

Summary

Title: Environmental impact assessment - Discharge of contaminated sediments to surface layer in deep sea disposal area at Malmøykalven, Inner Oslofjord

Year: 2007

Author: Schaanning, M., A. Staalstrøm and K. Sørensen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-xxxx-x

1. Innledning

På oppdrag for Oslo Havn KF har Secora siden våren 2006 fjernet sedimenter fra forurensete lokaliteter i havneområdene. Massene fraktes med lektere til et dypvannsdeponi ved Malmøykalven, hvor de føres ned til sjøbunnen gjennom et rør med åpning noen få meter over bunnen. Norges Geotekniske Institutt (NGI) har den løpende kontrollen med at nedføringen foregår i henhold til utslippstillatelse fra Statens forurensningstilsyn (Vedlegg A.). Utdrag fra NGI's kontrollplan er vist i Vedlegg B.

I undersøkelser gjennomført av Veritas (DnV) og advokatfirmaet Wikborg, Rein og co. (WR), er det ifølge mandatet for herværende rapport konkludert med at Secora har dumpet masse ved deponiområdet på Malmøykalven i strid med egne prosedyrer. De ulovlige utslippene skal ha skjedd ved at lektere har blitt åpnet over deponiområdet slik at de forurensete sedimentene, istedenfor å bli nedført til havbunnen gjennom lukket rør, har sunket fritt i vannmassene fra overflaten til bunnen.

Ifølge mandatet utarbeidet av DnV og WR, skal NIVA basere sine vurderinger på et sannsynlig utslipp av 1200 m³ stein og forurensete sedimenter (Løken et al., 2007), fordelt på 29 enkeltutslipp.

Målsettingen har vært å gi en vurdering av

- hvorvidt utslippene til overflaten har medført større spredning av miljøgifter enn forventet ved nedføring i henhold til utslippstillatelsen og
- i hvilken grad effekter av eventuell spredning er påvist i noen av overvåkningsaktivitetene utført i tilknytning til deponeringsarbeidene.

I tillegg skulle det gjøres en vurdering av

- hvorvidt utslippene til overflaten har vært fanget opp av kontrollprogrammet, og
- hvis ikke, gi en vurdering av hvordan programmet kunne vært utformet for å fange opp slike utslipp.

2. Bakgrunnsinformasjon og modell for spredning

2.1 Deponiområdet

Selve deponiområdet omfatter et område på 65-70 m dyp lengst syd i Bekkelagsbassenget. Bekkelagsbassenget er omgitt av øyer og sund med terskeldyp 31-42 m. Utenom perioder i vinterhalvåret når tyngre vann utenfra strømmer inn over tersklene, synker ned og skifter ut det lettere bassengvannet, er vannmassen stagnerende med lave strømhastigheter av skiftende retning. Deponiområdet er naturlig avgrenset mot øst, syd og vest med relativt bratt stigende bunn opp til de tre sundene mellom Malmøykalven og Skjælholmene (terskel 42 m), Skjælholmene og Husbergøya (terskel 31 m) og Husbergøya og Langøya (terskel 35 m). Mot nord og nordøst er deponiområdet delvis avgrenset av en lav rygg (55-65 m) med størst vanddyb i to forsenkninger mot nordøst.

2.2 Partikkelbundet forurensing

Miljøgifter foreligger i en likevektsfordeling mellom partikkelbundet og oppløste former. De fleste miljøgifter, og spesielt de mest toksiske organiske forbindelsene, er sterkt bundet til partikler. I den grad en kan anta at konsentrasjonen av miljøgifter i sedimentene som deponeres er konstant vil spredningen av miljøgifter være tilnærmet proporsjonal med spredningen av partikler. Derfor legges det stor vekt på målinger av turbiditet og strømforhold i området rundet deponiet. Hvis overvåking av partikler viser at det ikke har vært spredning i området, kan en utelukke spredning av store mengder miljøgifter, men små mengder vil kunne være spredt som oppløste forbindelser.

Miljøgifter bundet til partikler er relativt lite biotilgjengelige og derfor lite toksiske. Risikoen knyttet til spredning av forurensete sedimenter utenfor deponiområdet er desorpsjon av toksiske forbindelser til vannet og opptak i organismer som kan foregå langsomt og over lang tid etter at partiklene har sedimentert utenfor området. Desorpsjon og opptak i organismer gjør at spredning av forurensete partikler kan spores i form av forhøyet konsentrasjon av miljøgifter i vann og organismer. I tillegg vil miljøgifter som løses ut i en sky av forurensete partikler, ha større potensiale for spredning både horisontalt og vertikalt i vannmassene enn de som sitter igjen på partiklene. Hvis overvåking av miljøgifter i vann og organismer viser lave konsentrasjoner, kan spredning til området der prøvene er tatt utelukkes med rimelig grad av sikkerhet.

2.3 Scenario

Risiko for spredning av partikler og miljøgifter som følge av mulig utslipp av slam fra splittlekter til vannmassene på 3-4 m dyp over den delen av Bekkelagsbassenget som er regulert til dypvannsdeponi, skal vurderes på grunnlag av scenariet gitt i **Tabell 1**. DnV har i sine undersøkelser konkludert med et verifisert utslipp på 750 m³, et høyt anslag på 2400 m³ og et sannsynlig utslipp på 1200 m³ som er utgangspunktet for vår vurdering av miljøkonsekvenser. Slammet antas å ha en forureningsgrad tilsvarende sedimentet i Bjørvika. Både spredning ut av området for dypvannsdeponiet og spredning ut av Bekkelagsbassenget skal vurderes. Det antas at vanninnblanding og håndtering av slammet ikke har medført endringer i konsistens og synke-egenskaper utover det som ble tilført under forsøk utført ved Marin Forskningstasjon på Solbergstrand (Eek og Schaanning, 2000, Schaanning og Bjerkeng, 2001) og under et prøveutslipp fra splittlekter ved Malmøykalven 29.11.2005 (Schaanning et al., 2006).

Prøveutslippet omfattet 300 m³ forurensete sedimenter fra Bjørvika. Utslippet ble gjort fra splittlekter til ca 4 m dyp uten bruk av nedføringsrør. Partikkelspredningen ble observert på instrumenter utplassert ved bunnen av deponiområdet og på sonder operert manuelt fra overflatefartøyer. I tillegg ble det innsamlet vannprøver for analyser av miljøgifter.

Tabell 1. Scenario for utslipp av 1200 m³ stein og sedimenterbeskrevet i mandatet utarbeidet av DnV og WR.

Antall lektere	m ³ slam	m ³ stein	tot. Slam	tot. stein	periode
3	195	5	585	15	vår -07
2	95	5	190	10	vår/sommer -07
4	45	5	180	20	vinter/vår/sommer -07
20	5	5	100	100	vinter/vår/sommer -07
sum tot.			1055	145	vinter/vår/sommer -07

2.4 Håndtering av stein

Problemet med stein i muddermassene er beskrevet i NGI-notat til Oslo Havn 20.08.2006. Steinen er beskrevet å kunne være stein, brostein, teglstein etc. som følger med under opplasting av lekteren. Steinen blir ikke med ved nedføring gjennom røret i deponiområdet. Dette resulterer i at steinen gradvis fyller opp lekterne slik at fraktevolumet blir redusert tilsvarende et månedlig volum på ca 200-300 m³ stein i løpet av en periode på ca en måned. Dette anslaget antas å variere avhengig av forholdene i det aktuelle mudringsområdet. Steinen vil iflg NGIs notat ved fritt fall gjennom en vannmasse oppnå en konstant hastighet anslått til ca 10 m s⁻¹. På bunnen i deponiet vil tømning av et lass på ca 200 m³ resultere i en haug med et areal på 100-200 m² med gjennomsnittlig tykkelse ca 2 m. Det meste av steinen vil synke ned i det bløte 1-3 m topplaget av sedimentene, men toppen av haugen forventes å bli liggende over slamlaget. NGIs vurdering var at deponering av stein gjennom et rør med munning ved 50 m dyp, ville føre til noe oppvirvling av forurensete sedimenter fra deponiet, men ubetydelig spredning utenfor deponiområdet.

2.5 Nedsynking av sedimenter i sjøvann

Når en splittlekter åpner lukene i bunnen av båten vil massene falle fritt gjennom vannsøylen. I utgangspunktet kan lasset betraktes som en vannpakke med høy partikkeltetthet og betydelig høyere egenvekt enn den omkringliggende vannmassen. Gravitasjonen vil føre til at det dannes en såkalt "turbiditetstrøm" som medfører at lasset synker relativt hurtig ned gjennom vannsøylen. Under nedsynking vil volumet øke ved at vann i ytterkanten av lasset rives med nedover. Samtidig vil partikler rives løs i ytterkantene og bli hengende igjen som et etterslep i vannsøylen. Når hovedmengden av lasset treffer bunnen vil partikler slynges et stykke oppover i vannsøylen. Dette gir horisontale tetthetsgradienter som etter hvert vil jevnes ut ved at partikkelholdige vannmasser siger utover til sidene.

Dersom vanninnholdet er så høyt at det er mer tale om et "tynt-flytende slam" med tetthet tilsvarende sjøvannet der det slippes ut, vil det ikke dannes noen turbiditetstrøm og utsynking vil bare drives av form og tetthet av enkelt-partikler og aggregater (små klumper). Dette vil medføre at en større andel av partiklene holdes tilbake i vannmassene over lengre tid. Risikoen for horisontal spredning vil øke tilsvarende. Horisontal spredning av små utslipp av "slamholdig vann" for eksempel under rengjøring ved spyling, antas relativt større enn ved utslipp av store lass med lite vanninnblanding. Fordi beregningene tar utgangspunkt i volum vått sediment, vil total mengde av partikler og forurensing sluppet ut på denne måten være mindre enn ved utslipp av et tilsvarende volum sediment med lavere vanninnhold.

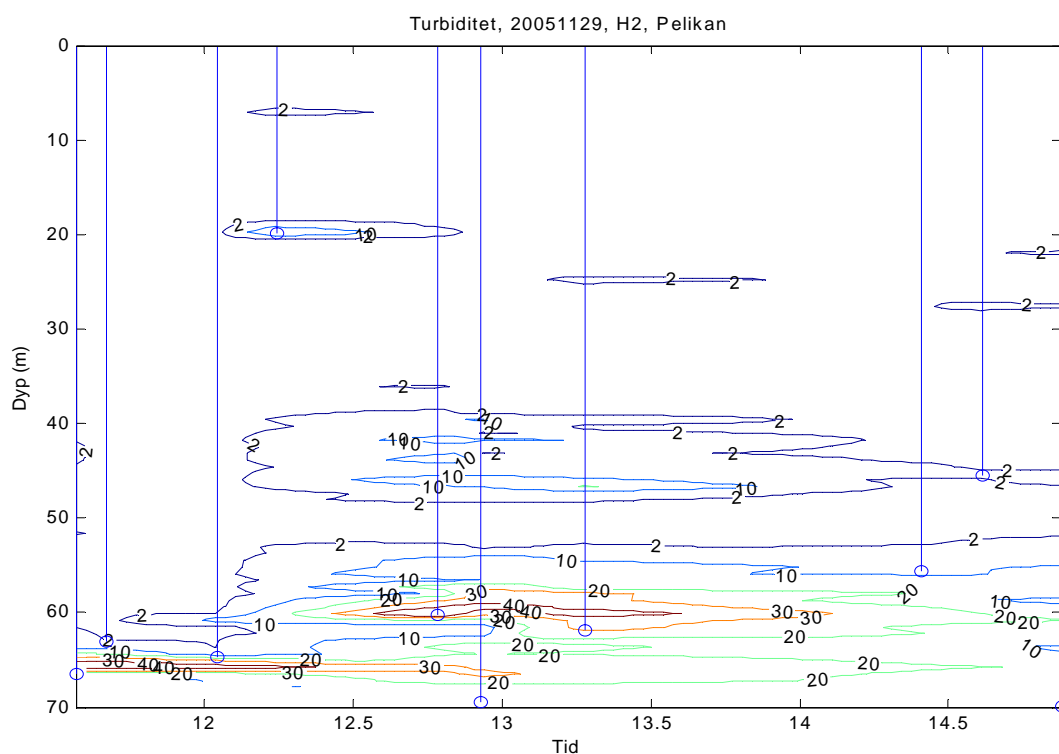
Et bilde tatt under forsøk med utpumping av sediment til sjøvann illustrerer nedsynkning gjennom en ikke lagdelt vannmasse er vist i Figur 1. Figuren viser at det meste av sedimentklumpen som ble skjøvet ut gjennom et rør midt i karet noen få sekunder før bildet ble tatt, er samlet i en liten mørk klump nederst i bildet, mens en hale av avskalete partikler med lavere synkeshastighet henger igjen i vannsøylen. Bildet viser også at det er dannet en "sky" av partikler over bunnen i karet fra utslippene som hadde pågått ca en halv time da bildet ble tatt.

I naturlig sjøvann vil tettheten øke med økende dyp, først og fremst på grunn av økende saltholdighet. Økende tetthet demper den vertikale blandingen. I en vannmasse med sterk lagdeling vil derfor oppvirvlingen over bunnen være mindre enn vist på bildet i Figur 1. På den annen side kan det antas at en sterkere lagdeling ville medføre større horisontal spredning av partikler enn det som vises på dette bildet.

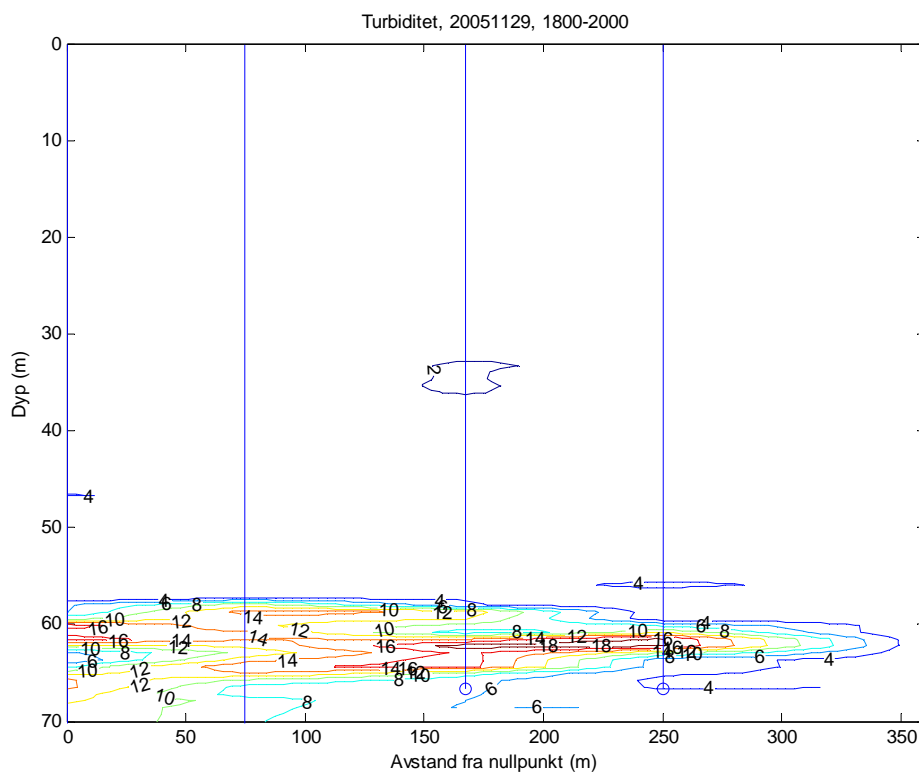
Målingene gjort i utslippsområdet timene etter prøveutslippet fra splittlekter 29.11.2005 (**Figur 2**, **Figur 3**) viser flere partikkelansamlinger i vannsøylen mellom 5 og 35 m dyp. Ansamlingene var trolig av begrenset størrelse og både horisontal forflytning og oppløsning ved fortykning og/eller nedsynkning kan være årsaker til at de sjelden ble observert mer enn en gang fra båten som lå i samme posisjon under hele måleserien vist i **Figur 2**.



Figur 1. Støtvis utpumping av sediment fra Bjørvika til kar med anoksisk sjøvann fra Bekkelagsbassenget, temperatur 7°C, saltholdighet ca 30 PSU. Karet på bildet er 3 m høyt, 3 m bredt og 1 m dypt. Sedimentet ble skjøvet ut støtvis gjennom et rør gjennom bakveggen litt over midten av karet. Den nedsynkende klumpen med hale ses tydelig i midten av bildet. Sediment fra tidligere utskyvninger skjuler de nederste ca 60 cm av linjalen montert på karetets bakvegg. Turbiditeten i vannet over 60 cm var 1-2 NTU og økte til over 50 NTU i skyen ved bunnen.



Figur 2. Turbiditet ved dumpstedet 0-3,5 timer etter utslipp ved overflaten av 300 tonn Bjørvika-sediment fra splittleker.



Figur 3. Turbiditet fra overflate til bunn i nord-nordøstlig retning fra dumpstedet 8-9 timer etter utslippet omtalt i foregående figur. Blå vertikale linjer viser hvor vertikallprofilene ble tatt.

Under prøveutslippet fra splittlekteren varte det 7-8 minutter fra lukene ble åpnet til måleren på bunnen nærmest utslippstedet viste raskt økende partikkelmengde i vannet. Dette tilsvarer en synkehastighet på minimum 15 cm/s. I den grad måleren var plassert litt til siden for selve innslagspunktet slik at det vil ta noe tid fra innslaget til partikkelskyen treffer måleren, vil synkehastigheten i fronten av lasset ha vært noe større enn 15 cm/s. Den videre spredningen langs bunnen ble registrert på målere plassert opp til 225 m fra utslippspunktet. Den siste av disse registrerte økning av partikkelmengden i vannet 7 timer etter utslippet. På dette grunnlaget ble gjennomsnittlig utbredeshastighet for partikkelskyen langs bunnen anslått til 0,5-0,9 cm s⁻¹. Målinger gjort 32 timer etter utslippet viste ingen spredning utover 300 m fra utslippspunktet. Det vil si at det ikke ble registrert noen spredning utover ryggen som avgrensner deponiet mot nord. Skyen la seg tilsynelatende til ro innenfor deponiområdet. En akustisk basert strømmåler (Doppler) viste langsom utsynking av partikler fra denne skyen i inntil 5 dager etter utslippet.

Synkehastigheten for partiklene i etterslepet vil variere over hele skalaen ned til sveve-partikler med synkehastigheter nær null og følgelig stort spredningspotensiale horisontalt. (Partikler med oppdrift vil bare unntaksvis forekomme i sedimenter, og det ble ikke observert flytstoffer på overflaten etter prøveutslippet.)

Silt/leir-partikler har typisk synkehastighet 0,005-0,5 cm s⁻¹. Med strømhastigheter i vannet over terskeldyp på 5-50 cm s⁻¹, vil partikler med synkehastighet 0,5 cm s⁻¹ kunne forflyttes 400-4000 m horisontalt mens de synker ned ca 40 m. Med disse antagelsene og en avstand fra deponeringspunktet til tersklene på 500-1000 m og et terskeldyp 31-42 m, fås en betydelig risiko for spredning av partikler til områder utenfor Bekkelagsbassenget.

Fra terskeldypene på 31-42 m er det ca 25 m ned til ryggen som avgrensner deponiområdet mot nord. Strømhastigheten i dette dybdeintervallet vil normalt være vesentlig mindre enn i lagene over terskeldyp. Hvis det antas en strømhastighet på 1 cm s⁻¹ vil de største partiklene i silt/leire fraksjonen (synkehastighet på 0,5 cm s⁻¹) nå bunnen i deponiområdet før de har forflyttet seg mer enn 40 m bort fra utslippspunktet. Bare de minste partiklene, dvs partikler med synkehastighet <0,05 cm s⁻¹ vil ut fra en slik betraktning kunne spres over ryggen i nordenden av deponiområdet.

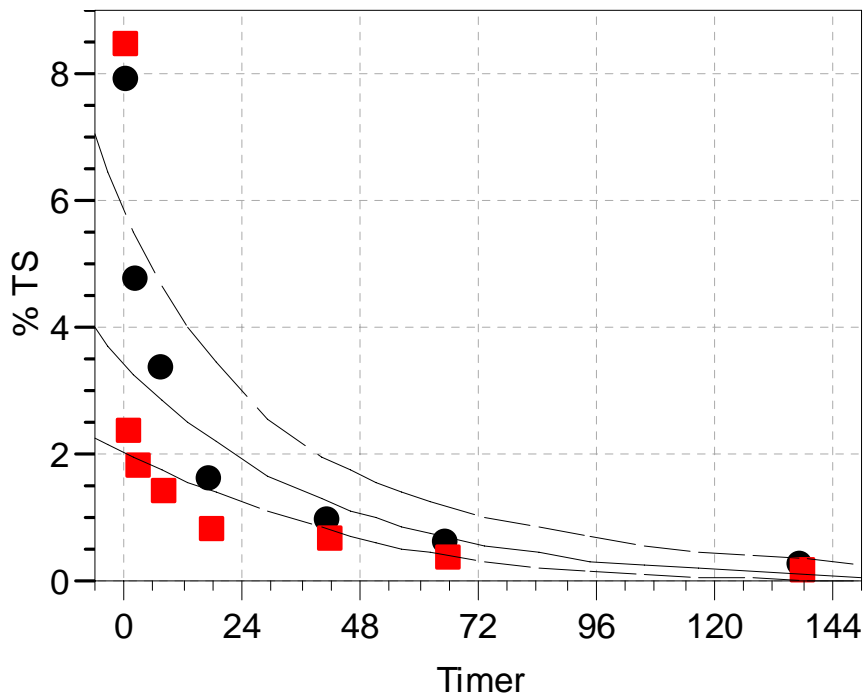
2.6 Modell basert på laboratorie- og felt-forsøk

2.6.1 Utsynking av partikler

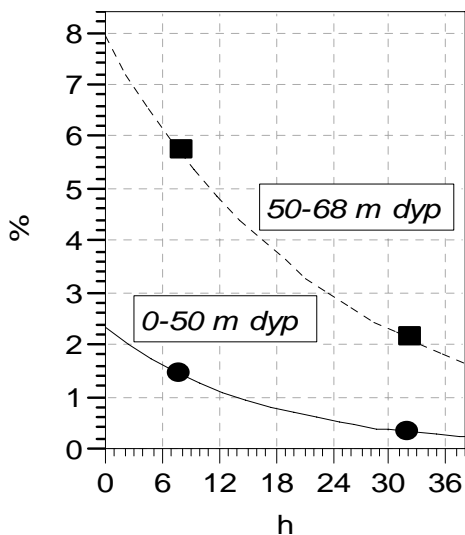
I to forsøk med utpumping av ca 10 kg Bjørvikasedimenter til 9 m³ kar (Figur 1) ble utsynking av partikler målt ved å ta prøver i en rekke dyp ved 8 tidspunkter opp til 7 dager etter utpumpingen som ble gjort støtvis i løpet av den første timen av forsøket. I det første forsøket ble det brukt ufortynnet sediment med et vanninnhold på 50%. I det andre forsøket ble det fortynnet med sjøvann til vanninnhold 60%. Fortynningen medførte at sedimentet forandret konsistens fra "seig masse" til "tykt-flytende suppe" som ga litt høyere restinnhold av partikler i vannsøylen de første timene etter utslippet. **Figur 4** viser integrert partikkelmengde for hele karet for hvert av de to forsøkene som ble gjennomført. En enkel logaritmisk modell kunne beskrive dataene med en korrelasjonskoeffisient R²=0.68.

Under prøveutslippet i deponiområdet 29.11.2005 ble økningen av partikkelmengden i hhv 0-50 m dyp og 50-68 m dyp estimert etter hhv 8 og 32 timer. Partikler i vannsøylen under terskeldyp på 40 m vil normalt ikke kunne spres utenfor Bekkelagsbassenget, men for ikke å undervurdere risiko lar vi estimatene for 0-50 m representere partikler som vil kunne spres over tersklene.

Resultatene fra feltforsøket (**Figur 4**) viste et noe høyere restinnhold av partikler enn det som ble funnet i karforsøket på Solbergstrand (**Figur 4**). Etter 8 timer befant totalt 7-8% av utslippet seg i



Figur 4. Utsynking av partikler etter utpumping av 10 kg sediment fra Bjørvika i 3 m høyt kar fylt med sjøvann. y-aksen viser gjenværende sediment i vannmassen i karet i % av tørrstoff utpumpet sediment ved tid 0. Kurvene viser lineær regresjon på log-transformerte data ($\ln y = 1,24 - 0,024 x$, korrelasjonskoeffisient $R^2 = 0,68$) og 95% konfidensintervall. Første målepunkt i forsøket med høyeste vanninnblanding er utenfor skalaen på y-aksen, men er med i regresjonsanalysen.



Figur 5. Utsynking av partikler etter prøveutslipp av 300 m³ sediment fra Bjørvika fra splittlekter i Malmøykalven 29.11.2005. Enhet på y-aksen er % av tørrstoff dumpet masse ved tid 0. Kurvene viser linjen mellom de to punktene som tilsvarer rette linjer på log-transformert y-akse (tilsvarende regresjonen benyttet i Figur 4). Summen av de to kurvene tilsvarer totalt restinnhold for hele vannmassen.

vannmassene over deponiområdet, mens det i karet ble funnet ca 1-4%. Etter 32 timer var det tilsvarende ca 3% i deponiområdet og 1-2,5% i karet. Både sterkere lagdeling og høyere turbulens ("eddy diffusion") i vannmassene ved deponiområdet sammenlignet med karet på Solbergstrand kan være medvirkende årsaker til denne forskjellen. Karforsøket bekrefter at beregningene fra feltforsøket gir en rimelig beskrivelse av restinnholdet av partikler i vannmassene over deponiområdet.

2.6.2 Restinnhold av miljøgifter

Innholdet av oppløste miljøgifter i vannmassene etter utslippet i deponiområdet ble undersøkt ved at det ble innsamlet vannprøver som ble filtrert før analyse. Resultatene (Tabell 2) viste en klar økning av PAH-konsentrasjonene i noen av vannprøvene innsamlet etter dumpingen, moderat økning av kadmium (Cd) og kopper (Cu), men ingen økning av PCB, TBT, kvikksølv (Hg) og sink (Zn). Som vist i Figur 6 ble det funnet overraskende høye konsentrasjoner av PAH i to filtrerte prøver fra hhv 5 m (ca 100 ng L⁻¹) og 58 m dyp (ca 220 ng L⁻¹).

Det kan ikke utelukkes at påvirkning fra en av de mange båtene i området under prøvedumpingen kan bare ha forurenset prøven fra 5 m dyp. Mer komplekse forklaringer må til for å forklare den høye konsentrasjonen i 58 m dyp som tilsvarer overkanten av partikkelskyen over bunnen (**Figur 3**). PAH har høy affinitet til partikler og det er rimelig å anta at en del av PAH-mengden som løses ut initielt (bl.a. direkte fra porevannet i massene), sekundært fjernes ved readsorpsjon og utsynking av partikler ("scavenging"). PAH som løses ut fra massene nær overflaten eller i overkant av partikkelskyen over bunnen, kan forventes å være mindre utsatt for "scavenging" enn PAH som løses ut like over bunnen der utsynkingen av partikler vil være størst.

Vannprøver fra karforsøket tatt 7 dager etter utpumpingen inneholdt totalkonsentrasjoner av PAH på 50-100 ng PAH L⁻¹ hvorav en del kan ha vært bundet til suspenderte partikler. Karforsøket viser at de høye konsentrasjonene 200-3000 ng PAH L⁻¹ observert i deponiområdet like etter utslippet er midlertidige og vil reduseres som følge av utsynking av partikkelbundete fraksjoner, sannsynligvis kombinert med "scavenging" av initielt løste forbindelser.

Figur 7 viser generelt samsvar mellom restinnhold av partikler og restinnhold av miljøgifter i vannet i forsøkskaret 7 dager etter utpumping. Unntakene er en liten økning av PAH og en betydelig økning av kadmium og sink. For de to metallene var dette tillegget vesentlig mindre i forsøk 2 enn i forsøk 1. Grunnen til dette var at det i forsøk to ble tilsatt hydrogensulfid som kan gi felling av metallsulfider (CdS, ZnS). Denne mekanismen vil ikke virke for partikler som spres i oksygenrikt miljø over terskeldyp.

Vannet i karet forble sterkt forurenset med bly selv etter 7 dagers utsynking av partikler (Figur 7). Selv om filtrering fjernet det meste av blyet fra vannprøvene innsamlet under feltforsøket (**Tabell 2**), viste overvåkningsdataene fra inneværende sommer øket opptak av bly i passive prøvetakere plassert nær deponiområdet. Dette viser at i tillegg til PAH som løses ut uavhengig av redoksforhold, vil Bjørvikasedimenter som etter deponering spres til oksygenrike miljø over terskeldyp sannsynligvis inneholde en andel lett biotilgjengelige fraksjoner av både bly, kadmium, sink og mulig også kopper. Dette medfører at spredning av partikler over terskeldyp medfører en tilleggsbelastning ved at partiklenes innhold av disse metallene vil være mer biotilgjengelig enn ved deponering i det oksygenfattige miljøet i de dypeste delene av Bekkelagsbassenget.

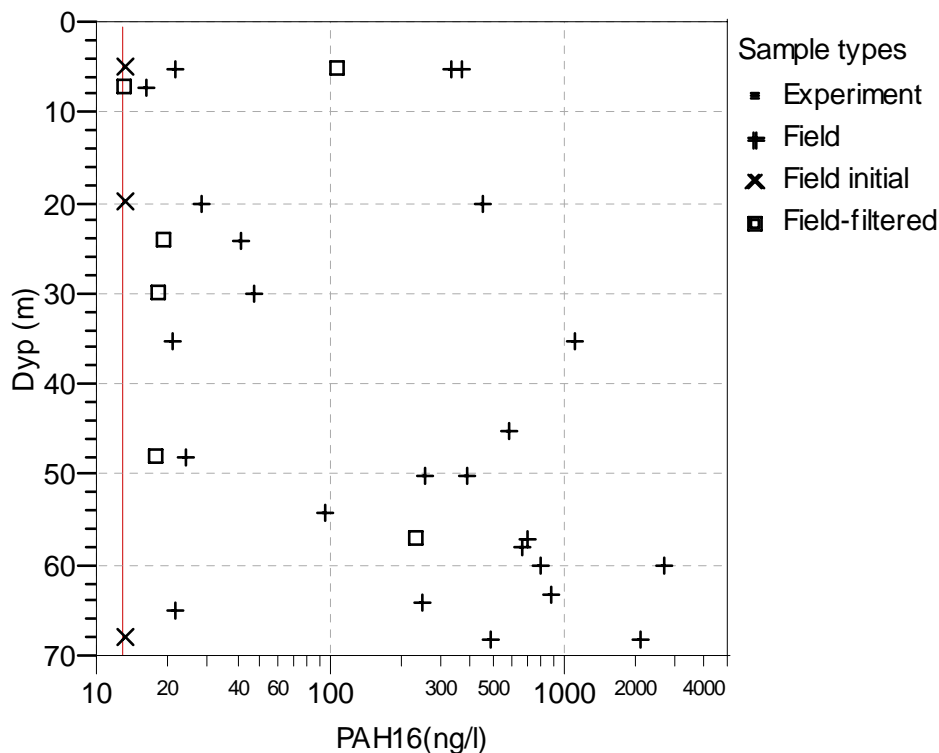
TBT var ikke detekterbart i noen av prøvene innsamlet under feltforsøket.

2.7 Risiko for skader på organismer

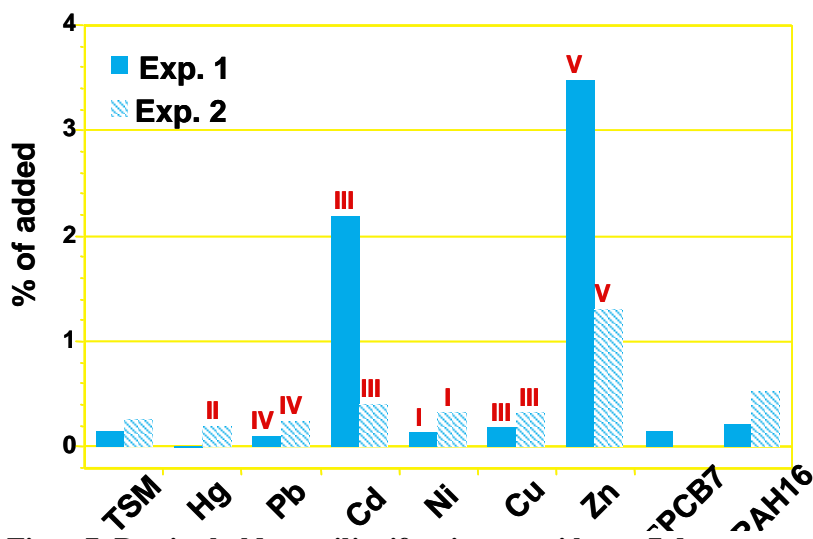
Eventuelle ansamlinger av partikler i vannet over terskeldyp (jfr. **Figur 2**) vil fortynnes og spres slik at konsentrasjonen raskt vil bringes under PNEC-verdiene (Predicted No Effect Concentrations) lagt til grunn i konsekvensutredningen for dypvannsdeponiet. Utslipp fra splittlekter vil ut fra slike betraktninger ikke representere noen risiko for skade på organismer i vannet over terskeldyp.

Tabell 2. Konsentrasjon av miljøgifter i vannprøver fra deponiområdet ved Malmøykalven. Prøvene ble innsamlet i 5-68 m dyp 29.11.05 hhv før utslippet (n=3) og 2-6 timer etter utslippet (n=6). Tabellen viser middelerdi og 1 standard avvik. < angir deteksjonsgrense for enkeltforbindelser.

	enhet	Før utslipp (n=3)		Filtrert etter utslipp (n=6)	
		gj.sn.kons.	std.avvik	gj.sn.kons.	std. avvik
Hg	µg/l	0.0032	0.0029	<0.001	-
Pb	µg/l	0.083	0.023	0.066	0.032
Cd	µg/l	0.018	0.006	0.058	0.055
Cu	µg/l	0.74	0.42	1.16	0.83
Zn	µg/l	3.6	1.4	3.5	1.5
TBT	µg/l	<0.001	-	<0.001	-
PCB7	µg/l	<0.0002	-	<0.0002	-
PAH16	µg/l	<0.002	-	0.068	0.089
KPAH	µg/l	<0.002	-	0.0059	0.0031
NPD	µg/l	<0.002	-	0.0103	0.0103
olje	µg/l	<50	-	<50	-



Figur 6. PAH16 i vannprøver tatt før ("field initial") og etter ("field") utslipp fra splittlekter av 300 m³ sediment fra Bjørvika i deponiområdet 29.11.2005. Merk logaritmisk x-akse.



Figur 7. Restinnhold av miljøgifter i vannet i karet 7 dager etter utpumping av partikler. Enhet = % av total mengde i utpumpet sediment. Romertallene viser forurensingsgrad i vannet etter SFTs kriterier for fjord- og kystfarvann: I = ubetydelig forurenset, II = litt forurenset, III = moderat forurenset, IV = sterkt forurenset, V = meget sterkt forurenset.

3. Observert turbiditet ved nedføringsenhet

3.1 Kontrollprogrammets faste målepunkter for turbiditet og strøm

Kartet i Figur 24 viser posisjonene hvor det var utplassert faste målere for kontinuerlig registrering av turbiditet. Disse målerne er koblet opp mot automatisk varsling via SMS ved overskridelse av grenseverdiene beskrevet i utslippstillatelsen (Vedlegg A.).

I posisjon MP1 er det utplassert en turbiditetsmåler 3 meter over bunnen i 45 meters dyp. Denne var operativ fra 3. februar 2006.

I posisjon MP2 er det utplassert en turbiditetsmåler 5 meter over bunnen i 60 meters dyp. Denne var operativ fra 1. mars 2006.

I posisjon MP3 er det utplassert et instrument som måler både turbiditet og strøm 3 meter over bunn i 65 meters dyp. Denne måleren var operativ fra 1. mars 2006. I mangel av andre data for strøm blir strømmålingene fra MP3 antatt representative for strømfeltet i deponiområdet. Fra 15. mai 2007 var det i tillegg en turbiditetsmåler i 50 meters dyp, og fra 27. september 2007 en i 40 meters dyp.

I posisjon MP4 er det utplassert en turbiditetsmåler 6 meter over bunn i 55 meters dyp. Denne måleren var operativ fra 4. mars 2006. I tillegg kom det en ekstra turbiditetsmåler i 43 meters dyp som var operativ fra 16. mai 2007.

Referansemåleren for turbiditet er plassert omtrent 750 meter nordnordøst for deponiet. Måleren er plassert 5 meter over bunn i 70 meters dyp. Denne var operativ fra 4. mars 2006.

For å studere hendelser hvor det har vært forhøyet turbiditet, har vi bare gjennomgått målingene fra januar til november 2007, hvor de irregulære hendelsene iflg. DnVs undersøkelser i hovedsak skal ha forekommet (Løken et al., 2007).

Grenseverdien er definert som 5 NTU over verdien målt ved referansemåleren (Tref). Hvis turbiditeten er over grenseverdien i 20 minutter eller mer regnes det som overskridelse i hht utslippstillatelsen. I mange tilfeller har vi tatt inn i vurderingene perioder med forhøyet turbiditet i forhold til bakgrunnsnivået som registreres av hver enkelt måler på det aktuelle målepunktet.

3.2 Turbiditetsmåler på nedføringsenheten

På plattformen hvor nedføringsenheten er montert er det plassert en anretning som heiser en turbiditetsmåler opp og ned gjennom vannsøylen. Måleren driftes til daglig av Secora og alle data overføres ukentlig til NGL.

Måleren skal registrere turbiditet kontinuerlig mens nedføring pågår. I noen tilfeller har denne regelen medført at målingene avbrytes midt i episoder med forhøyet turbiditet. DnV har rapportert om i alt 50 tilfeller i løpet av 2007 der nedføring har foregått uten at måleren har levert data (Løken et al., 2007).

Måleren logger data i regelen hvert femtende sekund. Senke og hevehastigheten har variert en del, men det har typisk fungert slik at måleren blir senket ned til 58 meters dyp på cirka 2 minutter og

hevet opp til overflatelaget igjen på cirka 12 minutter. Målingene på nedtur har tidvis vært misvisende p.g.a. for høy hastighet i forhold til måleintervall (en måling hver 7,2 m).

Avstanden mellom turbiditetsmåleren og nedføringsenheten er omtrent 30 meter. Posisjonen til selve plattformen har variert litt innenfor deponiet. Loggboken (DnV, pers.med.) viser at mellom 23. mars og 2. mai 2007 flyttet plattformen seg 9 meter sørover og 77 meter vestover. Det var ikke oppgitt geodetisk datum for disse posisjonene, men fra Statens kartverk sitt sjøkart 401 er forskjellen mellom en posisjon i WGS84 og ED50 51 meter i nordsør retning og 77 meter i østvest retning. Utifra dette kan plattformens posisjon angis som en ellipse hvor halvaksen i lengderetningen er 116 m og i bredderetningen 56 m, og hvor senteret ligger i posisjon N 59°51.9051' E 10°43.8475'. Denne ellipsen er vist i Figur 24.

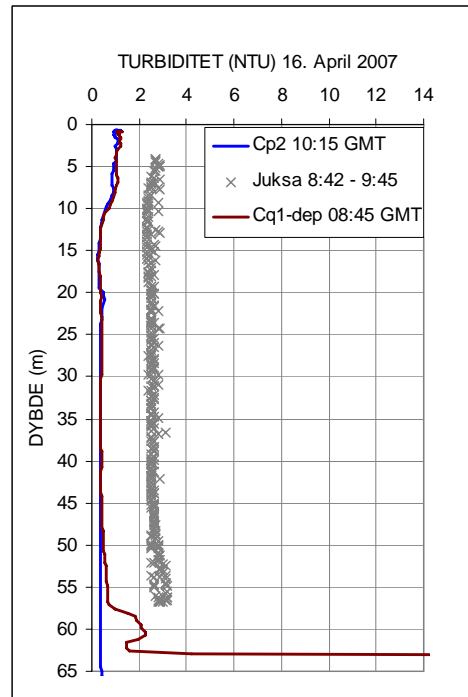
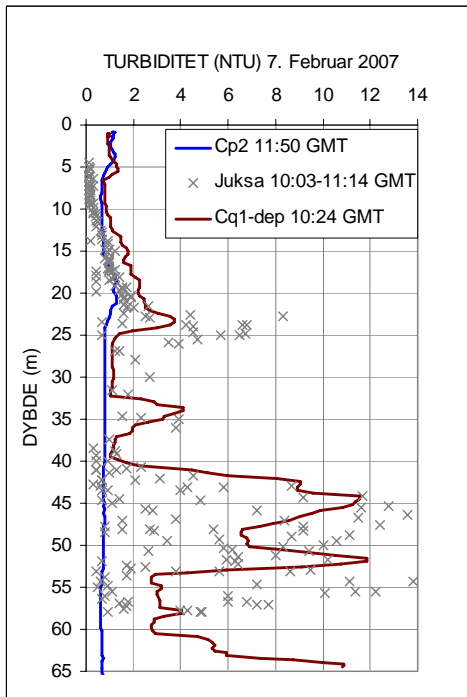
3.2.1 Kalibrering

Optiske sensorer som brukes i felt og som står ute i lengre perioder kan gi feil i måledata pga av driftsforstyrrelser, begroing ved sensorer i overflaten som ikke har mekanisk rengjøring etc. Nye sensorer fra leverandører bør alltid kalibreres mot NS-ISO standard 7027 for å gi korrekte verdier. De vanligste sensorene på markedet har et stort måleområde på typisk 0-1000 FNU og usikkerheten ved nullpunktet kan derfor være 1-2 FNU hvis dette ikke kontrolleres og kalibreses i etterhånd. Norsk standard angir FNU (Formazin Nephelometric Unit) som måleenhet, men den er ekvivalent med NTU (Nephelometric Turbidity Unit) og FTU (Formazin Turbidity Unit). Feltsensorene må derfor være refererbare til turbiditetstandarden NS-ISO 7027 for at dataene skal være korrekte. Det er uklart hvordan sensorene er kalibrert eller om kalibrering eller kontrollmålinger av turbiditetsmålerne mot NS-ISO 7027 er foretatt i perioden.

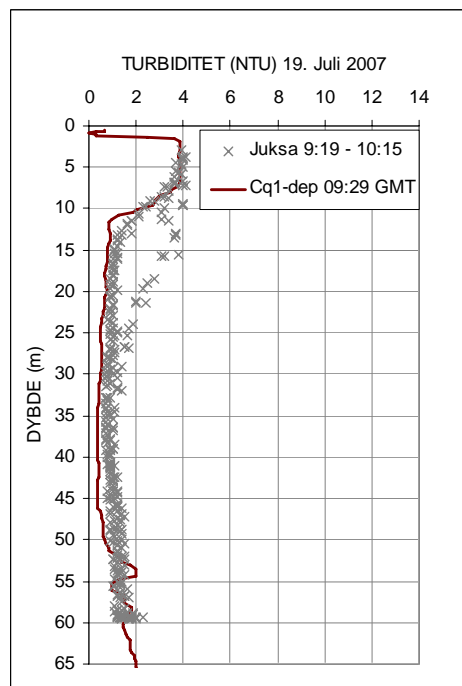
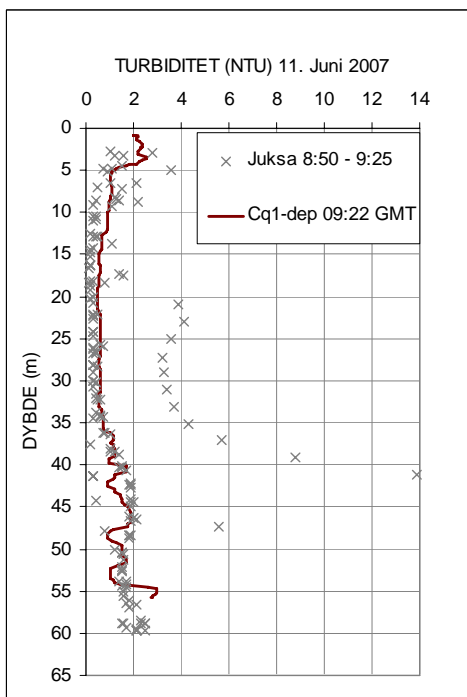
3.2.2 Validering

Data fra overvåkningsprogrammet til Fagrådet for Indre Oslofjord er blitt brukt for å validere turbiditetsmåleren ved nedføringsenheten (Magnusson, pers.med.). Målinger fra to stasjoner er blitt brukt, Cq1-dep og Cp2. Cq1-dep er en posisjon cirka 50 meter fra plattformen. Cp2 befinner seg omtrent 700 meter vest for Husbergøya og Langøyene.

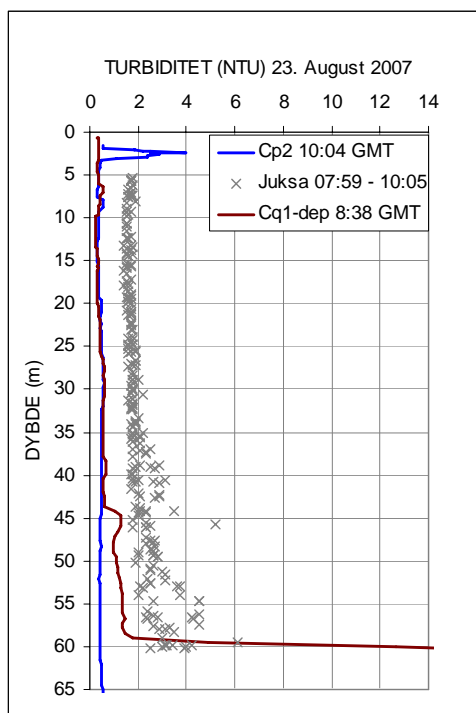
Figur 8 viser at målingene fra 7. februar samsvarer meget godt, mens det ser ut til at måleren på nedføringsenheten har en forskyvning i verdien på omtrent 2 NTU den 16. april. **Figur 9** viser at målingene fra 11. juni og 19. juli samsvarer meget godt. **Figur 10** viser at det på målingen fra 23. august igjen er en forskyvning i verdien på måleren på nedføringsenheten.



Figur 8: Målinger 7. februar og 16. april 2007. Den blå kurven viser målinger fra stasjon Cp1. Den brune kurven viser målinger fra stasjon Cq1-dep. De grå kryssene er målinger i et sammenlignbart tidsrom fra turbiditetssensoren på nedføringsplattformen ("Juksa").



Figur 9: Målinger 11. juni og 19. juli 2007. Den brune kurven viser målinger fra stasjon Cq1-dep. De grå kryssene er målinger i et sammenlignbart tidsrom fra turbiditetssensoren på nedføringsplattformen ("Juksa").



Figur 10: Målinger fra 23. august. Den brune kurven viser målinger fra stasjon Cq1-dep. De grå kryssene er målinger i et sammenlignbart tidsrom fra turbiditetssensoren på nedføringsplattformen ("Juksa").

3.3 Episoder med forhøyet turbiditet ved nedføringsenheten

Etter gjennomgang av turbiditetsmålingene utført fra nedføringsfartøyet av Secoras mannskaper og lagret i kontrollprogrammets datafiler, har vi identifisert episoder med forhøyet turbiditet vannmassene ved nedføringsfartøyet. Gjennomgangen er beskrevet i detalj i kronologisk orden i Vedlegg C.

Målingene fra nedføringsplattformen har blitt integrert i tid og i vertikalretningen ved hjelp av lineær triangulering. Verdiene har deretter blitt tegnet som fargede ruter hvor fargeskalaen angir turbiditetsverdien. Mørkeblått representerer null turbiditet, mens rødbrunt representerer turbiditet på over 10. Disse figurene vil bare gi et korrekt bilde i de tilfellene der det er godt datagrunnlag. Oversiktbildene fra hver måned inneholder mange perioder uten målinger og det er vanskelig å avgjøre i hvilken grad partikler har vært tilstede mellom nærliggende måleserier. Figurene er først og fremst tatt med for å gi en oversikt over når turbiditetsmålinger er foretatt og mulige hendelser i perioden. Isolinjene for 3 og 5 NTU er tegnet inn i disse figurene.

Det er særlig lagt vekt på å fange opp hendelser som dokumenterer utslipp over terskeldyp. Ved å sammenholde hendelsene med turbiditetsmålinger langs utkanten av deponiområdet er det vurdert i hvilken grad hendelsene kan ha medført økt spredning langs bunnen og ut av deponiområdet.

Dataene gir ikke noen holdepunkter for å vurdere eventuell spredning utenfor deponiområdet, eller rettere vertikalprojeksjonen av dette, via overflatelaget. Disse vurderingene er utelukkende gjort i kap. 5.

Hendelsene er kategorisert som en av tre forskjellige typer: A, B eller C. Type A er en hendelse med økt turbiditet i vannmassen over terskeldyp etterfulgt av sannsynlig økt spredning av partikler langs bunnen, hovedsakelig ved MP3. Type B hendelse er samme som A, men uten tegn på etterfølgende økt spredning ut av deponiområdet. Type C-hendelser er spesielle tilfeller med forhøyet turbiditet under terskeldyp. Eksempler er vist under.

3.3.1 Hendelser type A

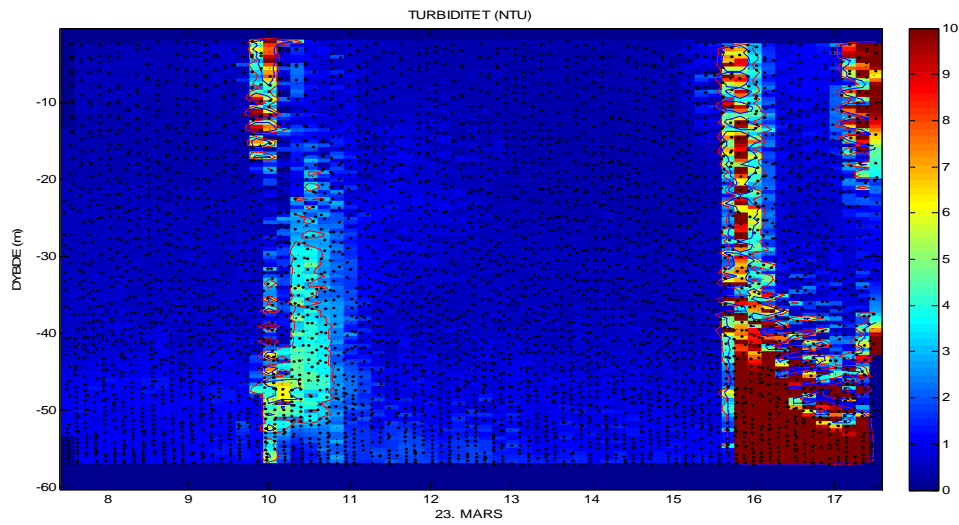
Type A er definert som en hendelse hvor det er observert forhøyet turbiditet i vannsøylen over terskeldyp, som etterfølges av forhøyede verdier ved nedstrøms bunnmåler i utkanten av deponiet. Hendelsen skyldes mest sannsynlig et relativt stort utslipp ved overflaten som gir økt spredning ut av deponiområdet under terskeldyp.

Figur 11 viser turbiditet målt ved nedføringsenheten 23.03.2007. Figuren viser først en hendelse kl 9:00 GMT. Mellom klokken 13 og 16 øker turbiditeten ved MP3 fra 1 til litt over 2 NTU (**Figur 12**). Posisjonen til nedføringsenheten mellom 23. mars og 2. mai er vist i **Figur 24**. Det er omtrent 550 meter til målepunkt MP3. En partikkel som beveger seg med 2 cm/s vil bruke 7.5 timer på å tilbakelegge denne avstanden. Den første hendelsen 23. mars er derfor kategorisert som type A, selv om økningen i turbiditet ved MP3 er liten og spredningen som følger av hendelsen synes marginal.

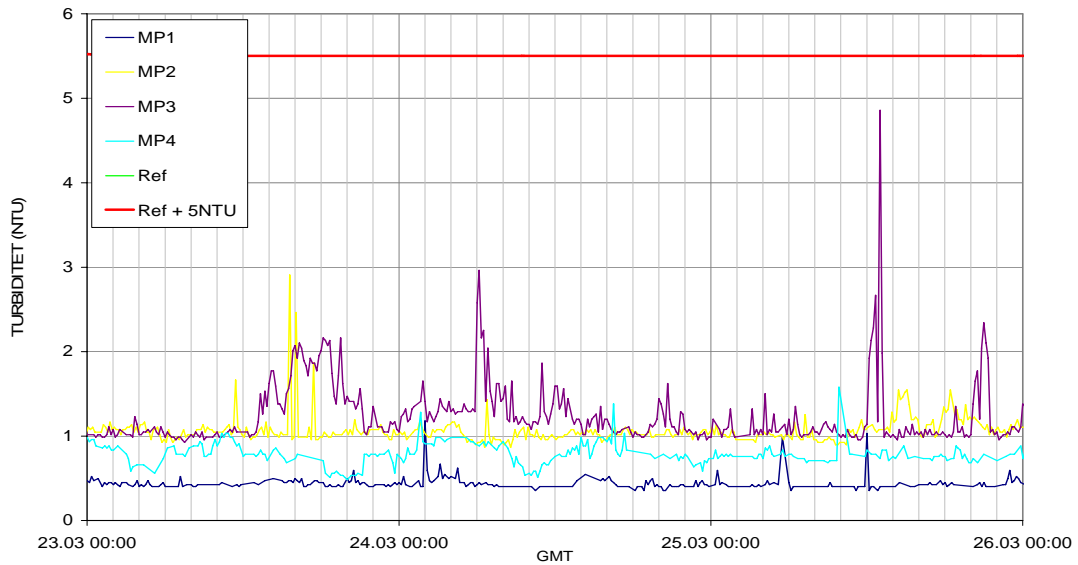
Den mest voldsomme hendelsen som er målt i hele 2007 inntreffer samme dag kl 14:45 GMT. Hendelsen er trolig åpning av en leker med betydelige mengder masser (Løken et al., 2007). Utslipet fører til høye turbiditetsverdier i hele vannsøylen til maksimum 25 NTU over terskeldyp og 56 NTU under terskeldyp (**Figur 13**). Turbiditeten i 15 til 25 meters dyp er over grenseverdien i over 20 minutter. Partikkelskyen over bunnen strekker seg opp til over terskeldyp med vedvarende turbiditet over 20 NTU i 40 m dyp.

Like etter kommer en ny hendelse kl 16:15 GMT. De to siste hendelsene resulterte imidlertid ikke i noe klart utslag på MP3. Turbiditetsnivået ligger stort sett på 1-2 NTU hele perioden der en kunne forvente effekter av hendelsene 23.-24.03. De to hendelsene er ikke kategorisert som type A, fordi det ikke blir målt spredning ut av deponiet. Dette til tross for at utslippet må ha vært av betydelig omfang.

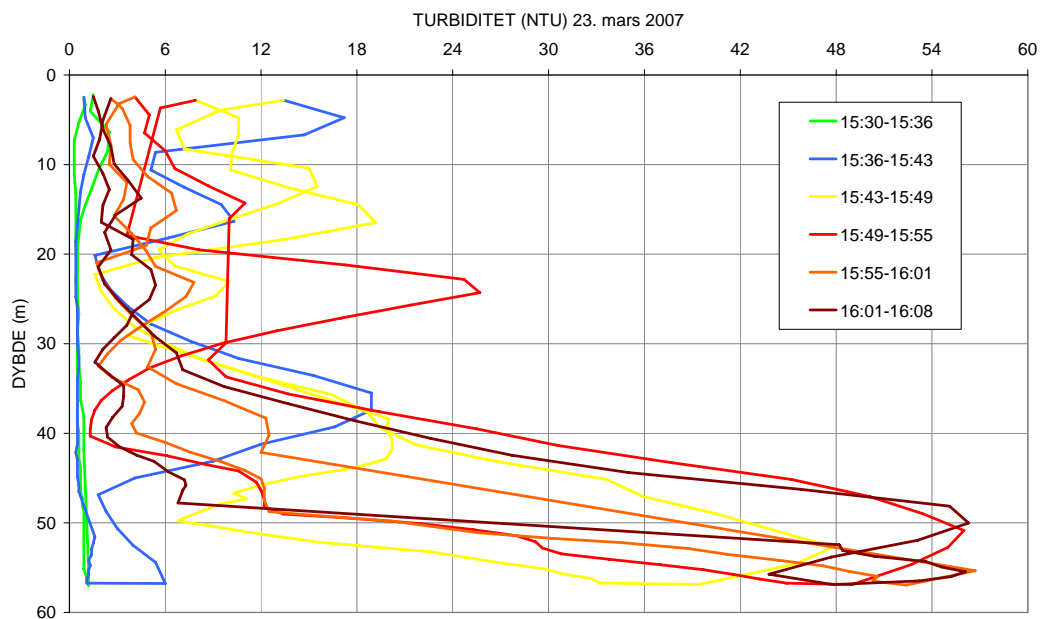
Ingen av hendelsene er avviksrapportert i kontrollprogrammet. I sammendraget i månedsrapporten for mars 2007 slås det fast at ”Det har ikke vært søl eller andre uønskede hendelser i forbindelse med mudring, transport eller nedføring av masser.”



Figur 11. Målt turbiditet 23. mars 2007. Tiden er angitt i norsk normaltid (GMT+1).



Figur 12: Målt turbiditet fra 23. til 26. mars.

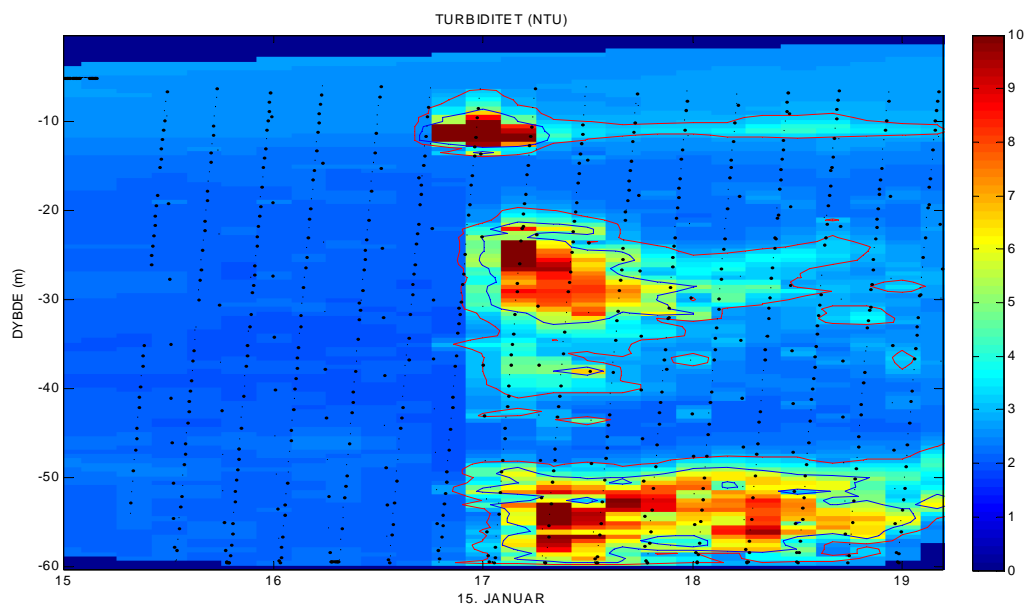


Figur 13. Turbiditetsprofiler i forbindelse med den andre hendelsen 23. mars 2007.

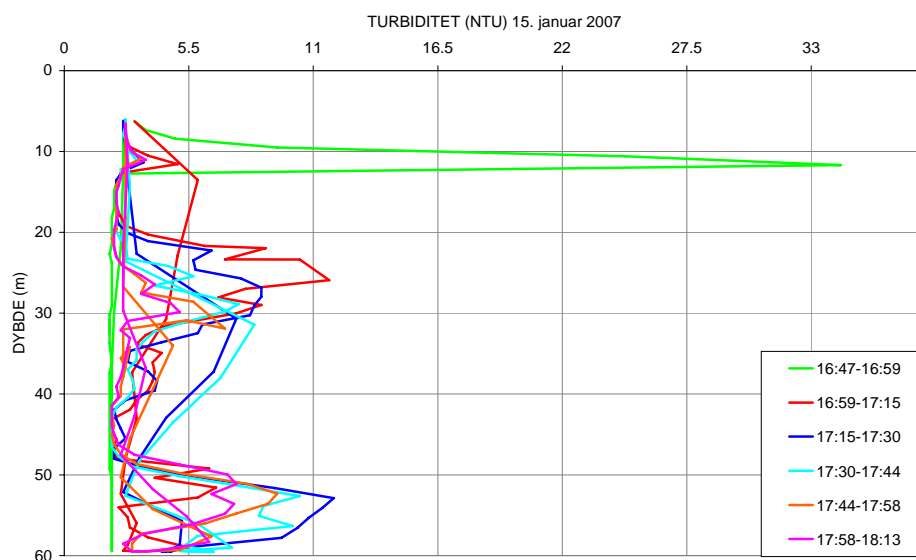
3.3.2 Hendelser type B

Type B er definert som en hendelse hvor det er observert forhøyet turbiditet i vannsøylen over terskeldyp, men hvor dette ikke fører til særlig økt verdi ved bunn og ingen spredning ut av deponiområdet.

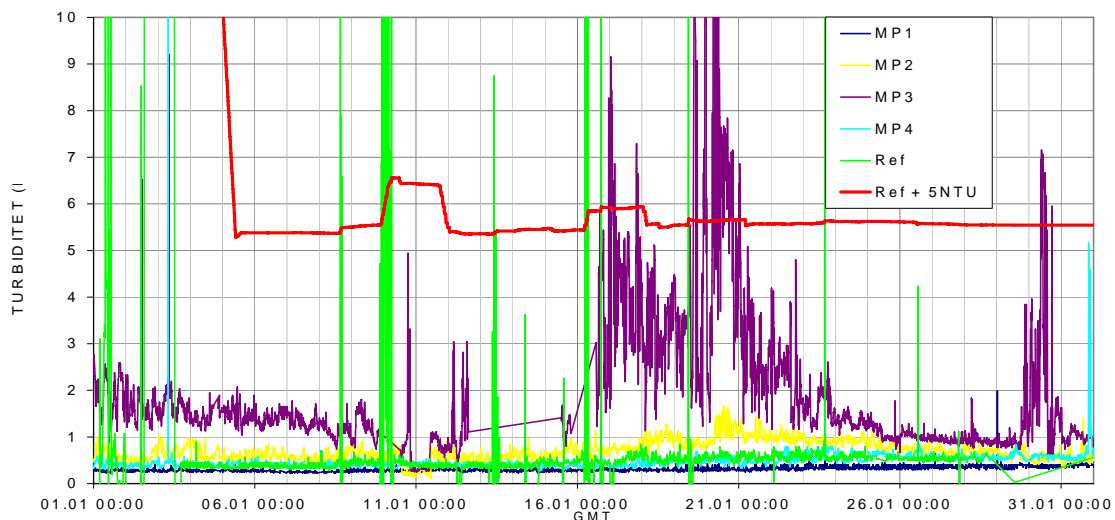
Episoden identifisert 15.01.2007 (**Figur 14**) er et eksempel på en type B hendelse. Figuren viser turbiditet målt ved nedføringsenheten den 15.januar. På grunnlag av vertikalforskyvningen av partikkelskyen ser det ut til at synkehastigheten var mellom 6 cm/s og 0,7 cm/s. Ifølge Saga (1994) tilsvarer dette en partikkelstørrelse mellom 0,6 mm og 0,1 mm i diameter. **Figur 15** viser turbiditetsprofiler registrert mellom kl 16:47 og 18:13 samme dag. Den første profilen 16:47-16:59 viser et kraftig maksimum på over 34 NTU i 12 m dyp. I dette laget avtok turbiditeten raskt, men små maksima viste at rester av partiklene hang igjen i hele perioden. Resten av vannsøylen viste ingen verdier over bakgrunn. Den andre profilen 16:59-17:15 viser maksimumsverdi ved 25 m dyp. Samtidig ses en økning av turbiditeten like under 50m dyp. De etterfølgende profilene viser at maksimumsverdiene midt i vannsøylen avtok langsomt fra 12 til 5 NTU samtidig med at maksimumet forplantet seg nedover fra ca 25 til ca 30 m dyp. Den tredje profilen (17:15-17:30) viser maksimumsverdi på ca 12 NTU ved 52 m dyp. De fire siste profilene viser maksimumsverdier i 50-55 m dyp, avtagende fra 12 til 7 NTU.



Figur 14: Turbiditet i vannsøylen 15. januar 2007. Norsk normalt tid (GMT+1) vises på x-aksen. Fargeskalaen angir turbiditet fra 0 til 10 NTU. Turbiditetsverdier over 10 NTU vises som brunt. Den røde konturlinjen angir turbiditet over 3 NTU, og den blå angir turbiditet over 5 NTU. Punkter viser at datagrunnlaget er godt for perioden.



Figur 15: Turbiditet målt i vannsøyla fra 15:47 til 17:13 GMT.



Figur 16: Målt turbiditet i januar 2007.

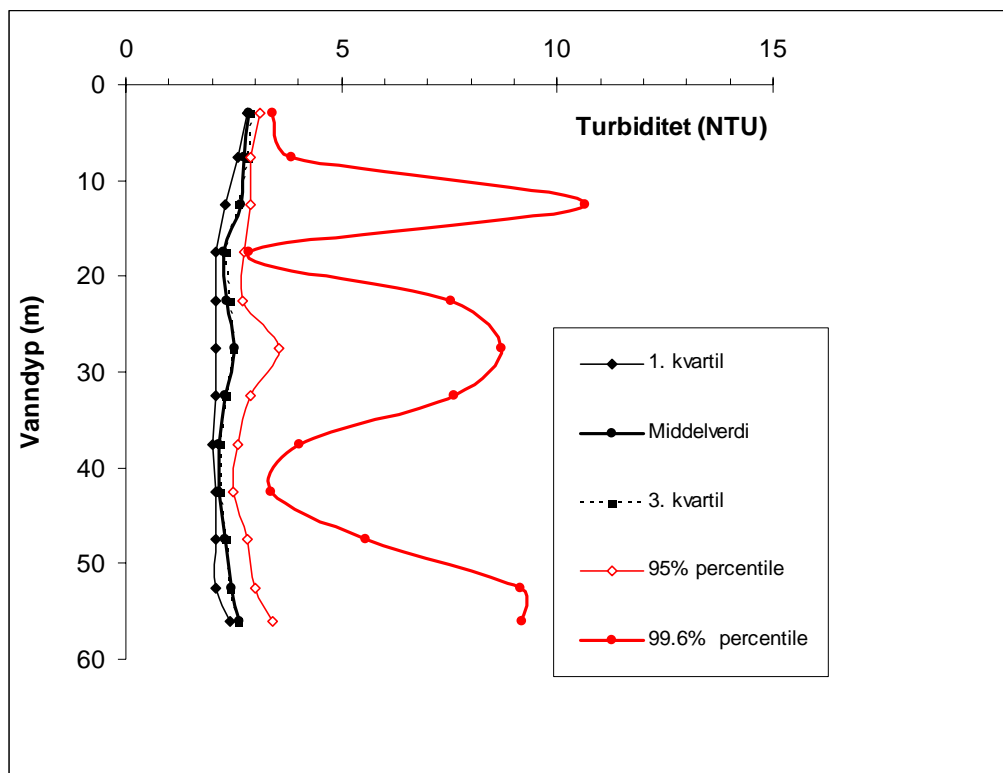
Figur 16 viser turbiditetsmålingene fra de fem målepunktene langs utkanten av deponiområdet som var operative på dette tidspunktet. Ved MP1 og MP4 er verdien under 0,5 NTU i hele januar. Strømretningen (**Tabell 4**) skulle tilsi at partiklene føres i retning MP1 eller MP4 men begge disse to og MP4 viste turbiditet under 1 NTU hele denne dagen og også dagen etter. MP3 viste normale verdier på 1-1,5 NTU om ettermiddagen 15.01., mens den dagen etter viste betydelig økende verdier opp mot ca 9 NTU ved midnatt. Strømretningen gjør det imidlertid vanskelig å koble episoden ved nedføringsenheten til de forhøyete verdiene ved MP3, og hendelsen ble derfor karakterisert som en type C hendelse. Nedsynkingen så ut til å gå relativt langsomt og turbiditeten ved bunnen ble ikke spesielt høy, noe som tyder på et moderat stort utslipp.

Iflg. NGI's månedsrapport for januar 2007 ble det ikke sendt data fra MP3 fra 15.01. kl 19:20 til 16.01. kl 13:50 (avvik nr. 48), og det ble varslet avvik for flere overskridelser ved MP3 19. og 20.01. (avvik nr. 46) med påfølgende stans i nedføringen 20.-22.01.

Iflg. månedsrapporten har det "ikke vært søl eller andre uønskede hendelser i forbindelse med mudring, transport eller nedføring av sedimenter." **Figur 15** viser at turbiditeten ved 30 m dyp var over grenseverdien på 5.5 NTU (Tref + 5.0) i omtrent 40 minutter. Grunnen til at kontrollprogrammet ikke har fanget opp denne episoden synes å ligge i databearbeidelsen. Dataene bearbejdes ukentlig ved å gruppere målingene i 5m dybdeintervaller og beregne middelerdi¹, samt 1. og 3. kvartil² for hvert intervall. Maksimumsverdiene blir beregnet, men er ikke tatt med i grafene som fremstilles hver uke og heller ikke i månedsrapportene der data fra denne måleren har vært gjort tilgjengelig for publikum via nettsiden www.renoslofjord.no. Måleren gir flere hundre registreringer i hvert dybdeintervall og dersom episodene med forhøyet turbiditet utgjør en liten andel av totalt antall registreringer, vil episoden ikke gjenspeiles verken i middelerdien eller 75% kvartilen. Episoden vises tydelig først i 99.6% persentilen. Maksimum turbiditet i 10-15 m laget var helt oppe i 34 NTU.

¹ middelerdien (gjennomsnitt) er summen av alle målingene dividert med antall målinger

² 3. kvartil (eller 75% persentil) er den verdien der 75% av målingene er lavere enn verdien og 25% av målingene er høyere enn verdien.

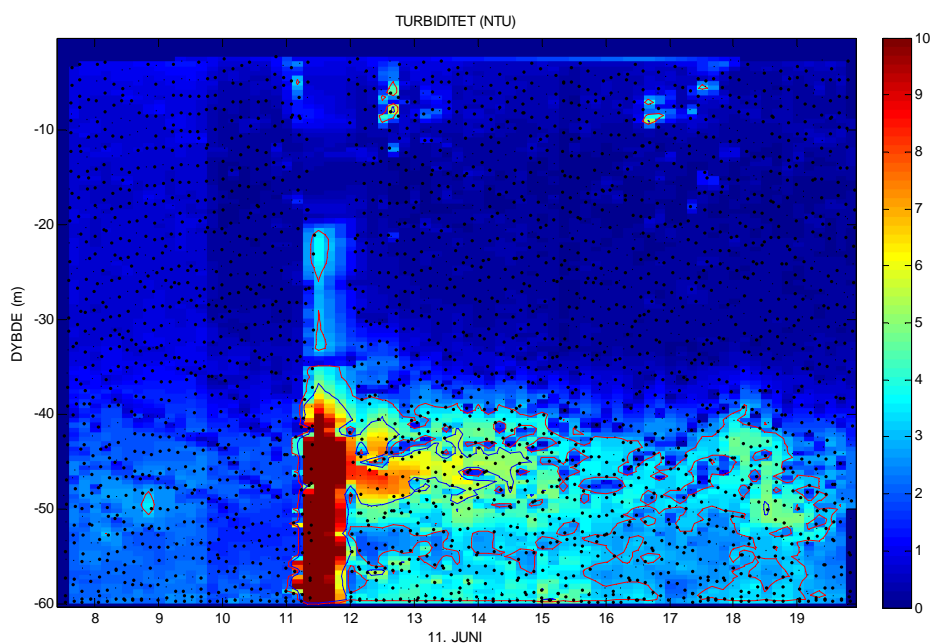


Figur 17. Vertikalprofil for turbiditet uke 3, 2007. Datafilen inneholdt ca 400-800 registreringer i hvert dybdeintervall à 5 m. De tre profilene lengst til venstre i diagrammet (1. kvartil, middelverdi og 3. kvartil) illustrerer hvordan dataene har vært bearbeidet og grafisk fremstilt. Den omtalte episoden 15. januar (se tekst) gjenspeiles ikke i disse profilene. I tillegg har vi beregnet 95 og 99.6% persentilene og lagt disse verdiene til i diagrammet.

3.3.3 Hendelser type C

Dette er definert som hendelser med høy turbiditet i vannmassene under terskeldyp ved nedføringsfartøyet. Disse hendelsene kan indikere uregelmessigheter under nedføringen (slangebrudd, lekkasjer på rør og lignende, men ikke utslipp til overflaten).

Et eksempel på en slik hendelse er vist i **Figur 18**. Klokket 09:30 GMT den 11. juni forårsaker nedføringen forhøyet turbiditet fra ca 35 meters dyp og ned til bunnen. Partiklene henger igjen i omtrent tre timer, og lengst omkring 45 m dyp. Det ble ikke målt forhøyede verdier av særlig stor grad ved noen av bunnmålerne. Denne hendelsen ble fanget opp av kontrollprogrammet (avvik nr. 89) der hendelsen antas å skyldes lekkasje gjennom en utett skjørt i nedføringsrøret ved ca 50m dyp.



Figur 18: Målt turbiditet 11. juni.

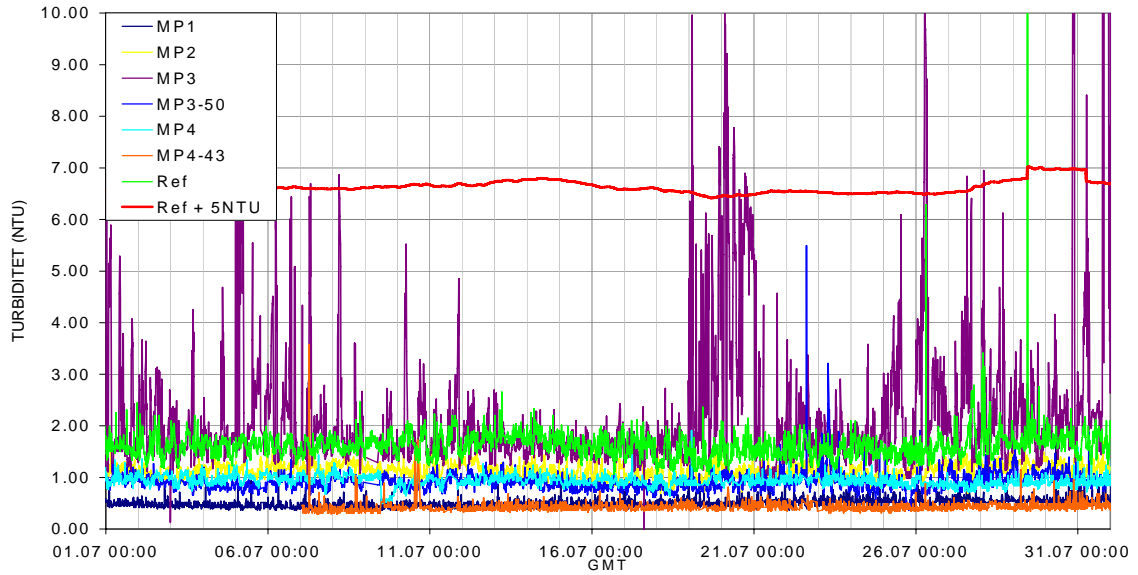
3.3.4 Ferrybox data og observasjoner ved Malmøykalven juli 2007

Turbiditeten var generelt høy i fjorden i juli. Figur 19 viser målt turbiditet ved bunnmålerne. Referansemåleren ligger på 1.5 NTU hele måneden. Det skjer en markant økning fra 28. juni til 1. juli. Ved MP3 er det målt forhøyede verdier, spesielt fra 19. juli. Overskridelser av grenseverdien ved MP3 er behørig rapportert for følgende datoer 19., 20., 26., 30. og 31. juli (avvik nr. 97-101).

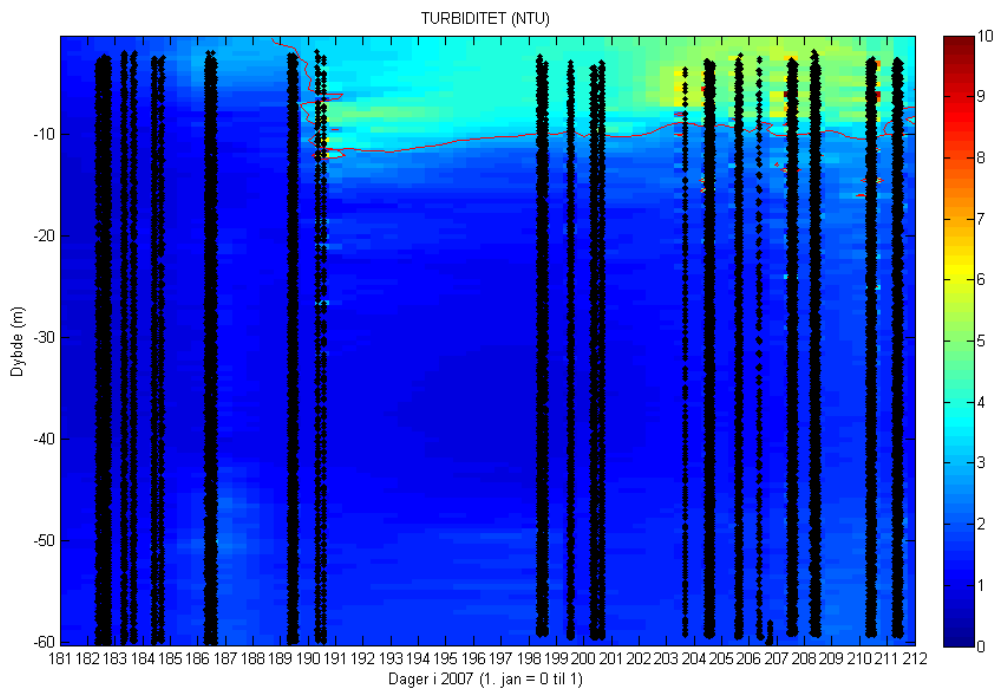
Figur 20 viser at det er høye turbiditetsverdier i overflatelaget ved nedføringsenheten i siste halvdel av juli. Det samme er imidlertid vist av turbiditetsmålinger i andre deler av indre Oslofjord, bl.a av Ferrybox-programmet fra Color Festival (Figur 21).

NIVAs Ferrybox system mellom Oslo og Danmark samler rutinemessig inn data over turbiditet, klorofyll-a fluorescense, oksygen, temperatur og saltholdighet. Måleplattform er Color Line sitt fartøy Color Festival som går i daglige ruter mellom Oslo og Fredrikshavn slik at det blir 2 målinger per dag (www.ferrybox.no). Målingene foretas på ca 4 meters dyp med en frekvens på 1 minutt som gir en måling per ca 300-400 meter. Turbiditeten måles med et Polymetron turbidimeter og er kalibrert i hht NS-ISO standard 7027 mot et Hach 2100P laborieturbidimeter. Salinitet måles med et SeaBird SBE termosalinograf som kontrolleres mot laboriebepbestemmelser av salinitet.

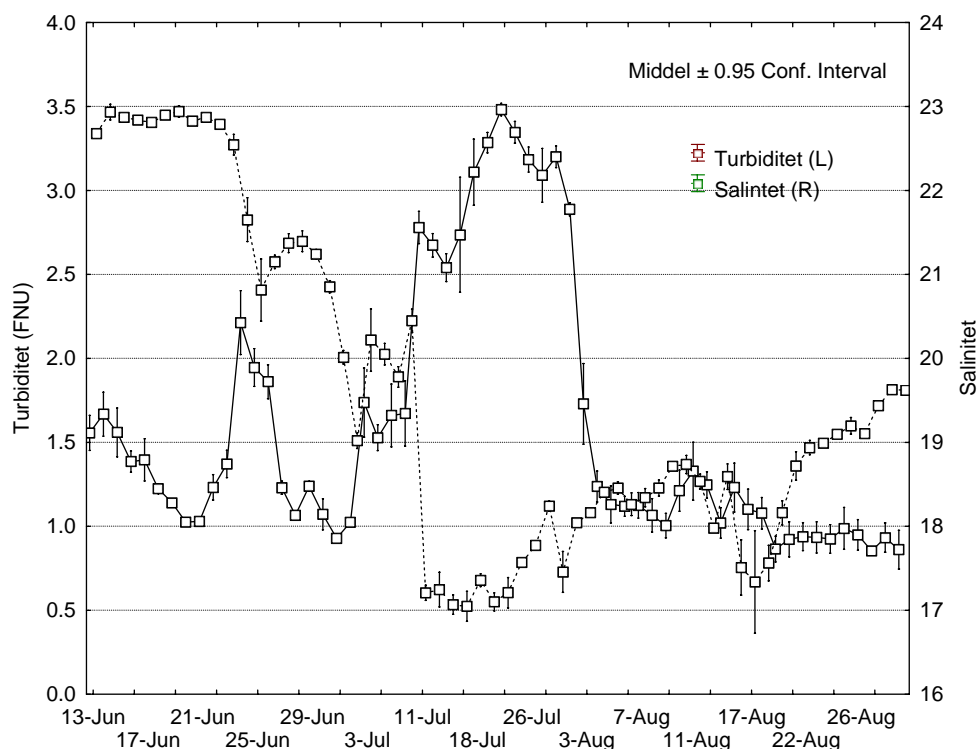
Data for turbiditet og saltholdighet er midlet for alle målinger i området i Lysakerfjorden mellom 59,85°-59,90° N og 10,65° -10,70° E i perioden 13. juni til 31. august. Det er brukt døgn middel og hvert målepunkt består av ca 10-20 måleverdier i dette området. I perioden fra midten av juni skjer det en økning av turbiditeten ved flere episoder som sammenfaller med en reduksjon i saltholdigheten, spesielt i midten av juli. Det har også vært noen mindre algeoppblomstringer i perioden som også gir et bidrag til turbiditeten. Sammenhengen med ferskere vann i fjorden indikerer naturlig påvirkning som følge av mye vind og spesielt nedbør i denne perioden. Slike forhold kan typisk gi stor tilførsel av partikler fra avrenning.



Figur 19: Målt turbiditet i juli 2007.



Figur 20: Målt turbiditet ved nedføringsenheden i juli 2007.



Figur 21. Turbiditet og saltholdighet målt av FerryBox systemet ombord på Color Festival på 4 meters dyp i Lysakerfjorden.

3.4 Oppsummering av identifiserte hendelser

Samtlige episoder identifisert for perioden 01.01. til 5.09.2007 er beskrevet i Vedlegg C. og oppsummert i **Tabell 3**. I alt 32 episoder ble identifisert, hvorav 28 viser irregulære utslipp til overflaten. De fire C-hendelsene (episode nr. 2,3,23 og 24) skyldes antakelig tekniske problemer med nedføringsanordningen som er avviksrapportert og utbedret innen rimelig tid. Antallet er derfor rimelig godt i overenstemmelse med mandatets scenario som angir 29 enkelt-utslipp fra lekter i løpet av vinter, vår og sommer 2007. Episodene synes å variere i omfang, men dataene gir ikke grunnlag for å kvantifisere omfanget av hvert enkelt utslipp. Turbiditetsmålingene på de faste målestasjonene nær bunnen langs utkanten av deponiområdet gir grunnlag for å koble sju av utslippene til økt spredning ut av deponiområdet. Koblingen er imidlertid ofte usikker og uten å ha gjort forsøk på nøyaktig beregning av hvor stor økningen kan ha vært, kan det fastslås at disse sju tilfellene har bidratt lite sammenlignet med de beregnede 210 tonn partikler (tørrstoff) som er spredt ut av deponiet ved MP3 i løpet av samme periode.

Samtlige 28 hendelser av type A og B kan ha gitt spredning via overflatelaget. Omfanget av hvor stor denne spredningen kan ha vært er estimert i kap. 5.1.2.

Tabell 3. Karakterisering av episoder med forhøyet turbiditet ved nedføringsenheten.

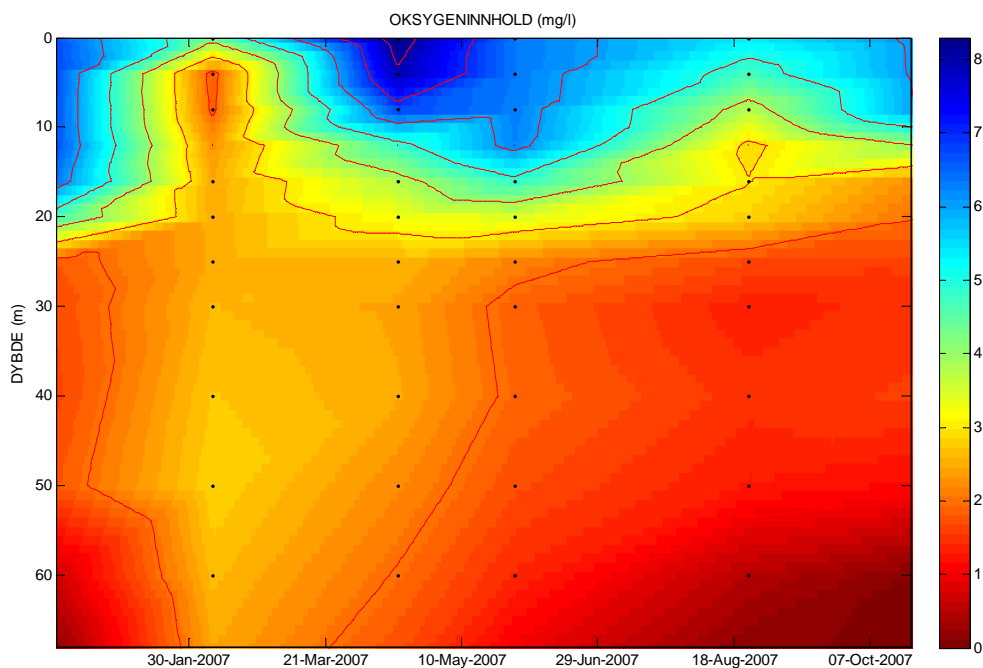
Episode		Over terskeldyp		Under terskeldyp		Kategori
nr.	Tidspunkt	NTU	Timer	NTU	Timer	
1	15.01.2007 15:30	>10	1.5	>10	2	B
2	07.02.2007 07:30	3-5	2	5-10	5	C
3	09.02.2007 07:00	-	-	5-10	7	C
4	23.03.2007 09:00	5-10	1/4	3-6	1	A
5	23.03.2007 16:00	>10	1/4	>10	1.5	B
6	23.03.2007 17:00	>10	?	?	?	B
7	24.03.2007 11:00	>10	1	-	-	B
8	23.04.2007 11:30	3-5	1/4	-	-	B
9	23.04.2007 14:30	5-10	1/4	-	-	B
10	24.04.2007 16:30	5-10	1/4	-	-	B
11	25.04.2007 17:00	>10	>0.5	?	?	B
12	26.04.2007 16:30	>10	0.5	-	-	B
13	02.05.2007 10:15	>10	1.25	-	-	B
14	02.05.2007 12:30	>10	1/4	>10	3	A
15	02.05.2007 14:30	5-10	1/4			A
16	22.05.2007 08:30	5-10	1	3-5	2	B
17	22.05.2007 19:30	3-5	1/4	>10	1/4	B
18	23.05.2007 14:00	>10	0.5	5-10	1	B
19	24.05.2007 13:15	5-10	1/4	5-10	4	B
20	25.05.2007 14:30	5-10	0.5	5-10	8	A
21	02.06.2007 07:00	5-10	0.5	5-10	2	A
22	09.06.2007 14:00	>10	0.5	>10	1	A
23	11.06.2007 09:30	3	1/4	>10	2	C
24	14.06.2007 14:30	-	-	5-10	2	C
25	14.06.2007 18:00	>10	2	>10	?	A
26	08.08.2007 05:30	>10	0.5	3	1	B
27	10.08.2007 13:00	>10	2	-	-	B
28	15.08.2007 17:30	>10	0.5	-	-	B
29	23.08.2007 12:00	>10	2(?)	3-5	4	B
30	03.09.2007 11:30	>10	0.5	3	1	B
31	04.09.2007 11:15	>10	1,5	-	-	B
32	05.09.2007 11:00	>10	1	-	-	B

4. Påvist spredning

Spredning av forurensing omfatter både spredning av oppløste miljøgifter og spredning av miljøgifter bundet til partikler. I tillegg til de omfattende undersøkelser av partikkelspredning utført av kontrollprogrammet og omtalt i foregående kapittel, er det i løpet av deponeringsperioden utført en rekke undersøkelser av ulike firma (NGI, Rambøll, NIVA, Universitetet i Oslo, ExposMeter) for forskjellige oppdragsgivere (Oslo Havn, SFT, Statens Vegvesen, Neptun) og det har ikke vært mulig innenfor rammen av dette arbeidet å sammenstille og gjøre en fullstendig vurdering av alle data. Vi har derfor forsøkt å trekke frem de aktivitetene som er mest relevant i forhold til mandatet for denne rapporten.

4.1 Dypvannsfornyelse og strømmålinger

I Fagrådets overvåkingsprogram for Indre Oslofjord måles blant annet turbiditet og oksygeninnhold i vannsøylen ved flere stasjoner. Stasjon Cq1 ligger nord i deponiområdet. **Figur 22** viser oksygenforholdene ved denne stasjonen fra desember 2006 til oktober 2007. Figuren viser at det i januar 2007 pågikk en dypvannsfornyelse. Denne dypvannsfornyelsen var svak sammenlignet med øvrige år. Fra 7. februar til midten av mai forflyttes grenselinjen for 2 mg oksygen per liter fra bunnen og opp til 30 meter. Oksygenforbruket er størst i sedimentene og endringene skyldes en kombinasjon av oksygenforbruk og blandingsprosesser i vannmassen. Figuren er typisk for et bunnvann som stagnerer mer og mer utover våren og sommeren.



Figur 22: Målt oksygeninnhold ved stasjonen Cq2 (etter data fra Fagrådet for Indre Oslofjord).

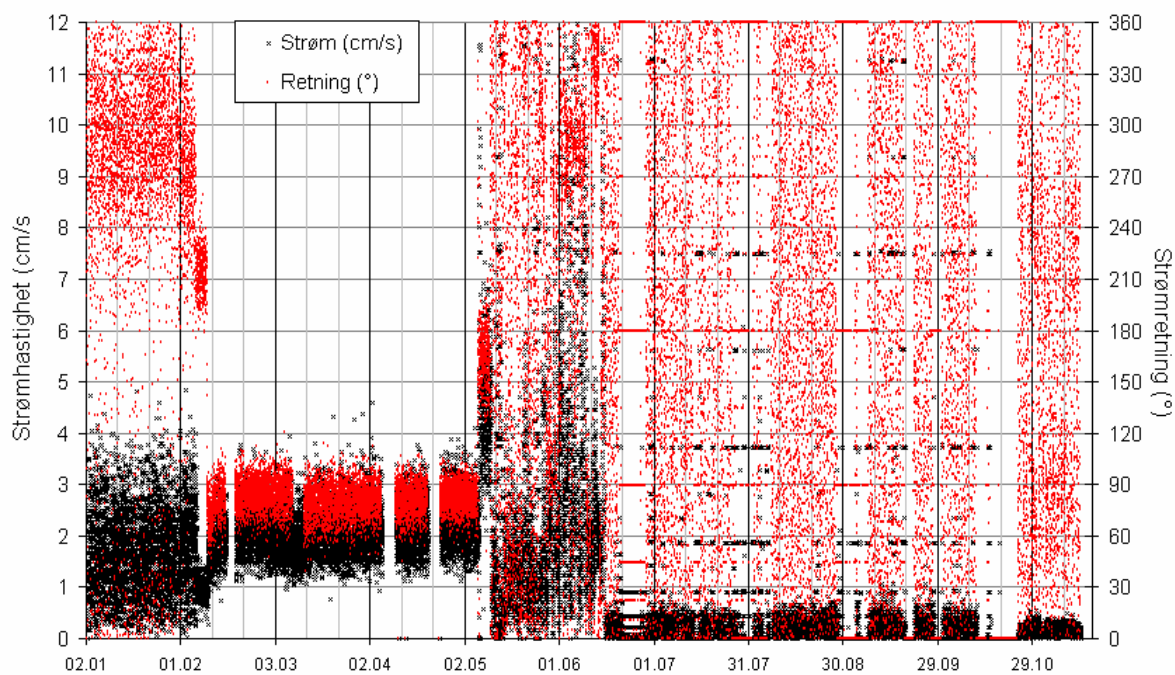
Figur 23 viser rådataene fra strømmålingene ved MP3. Det kan skilles ut seks forskjellige perioder hvor strømbildet er forholdsvis konstant.

I NIVA rapport 5035-2005 er strømforholdene i deponiområdet beskrevet under en kraftig dypvannsfornyelse. Strømmen ble målt cirka 200 meter rett vest for Malmøykalven. Her er det en smal kanal med terskeldyp på 43 meter. MP3 ligger omtrent 400 meter nord for enden av denne kanalen. Under dypvannsfornyelsen i 2005 strømmet vann inn gjennom kanalen med en hastighet på 10 til 14 cm/s, og maksimalverdier opp mot 22 cm/s. Strømmen målt i den første perioden i **Tabell 4** er ikke usannsynlig ved en svakere dypvannsfornyelse. At strømrretningen dreier vestover er som forventet utifra topografien. At strømbildet endrer seg i begynnelsen av februar er også sannsynlig siden fornyelsen av bunnvannet da avsluttes.

Den svært stabile og relativt sterke strømmen fra 9. februar til 6. mai er vanskelig å forklare. Det fins ingen opplagte drivkrefter for en slik nettostrøm ut av deponiområdet.

I den korte perioden fra 6. til 10. mai er det en sterk reststrøm inn i deponiområdet. Dette er feilmålinger som skyldes tekniske problemer ved måleren. NGI-avvik nr. 73 nevner problemer fra og med 6. mai, men er ikke spesifikke på tidspunktet for utbedring av måleren. Fra 10. til 16. juni er det en svakere reststrøm inn i området. I begge disse periodene var det forventet at all påvirkning fra dypvannsfornyelsen skulle være over og at bunnvannet skulle ha stagnert.

Figur 23 viser at fra 16. juni er alle strømmålinger over 1 cm/s innenfor gitte trinnvise verdier. Det antas at disse målingene er målefeil, og de er tatt ut av måleserien! I de videre beregningene har vi benyttet strømmålingene presentert i **Tabell 4**.

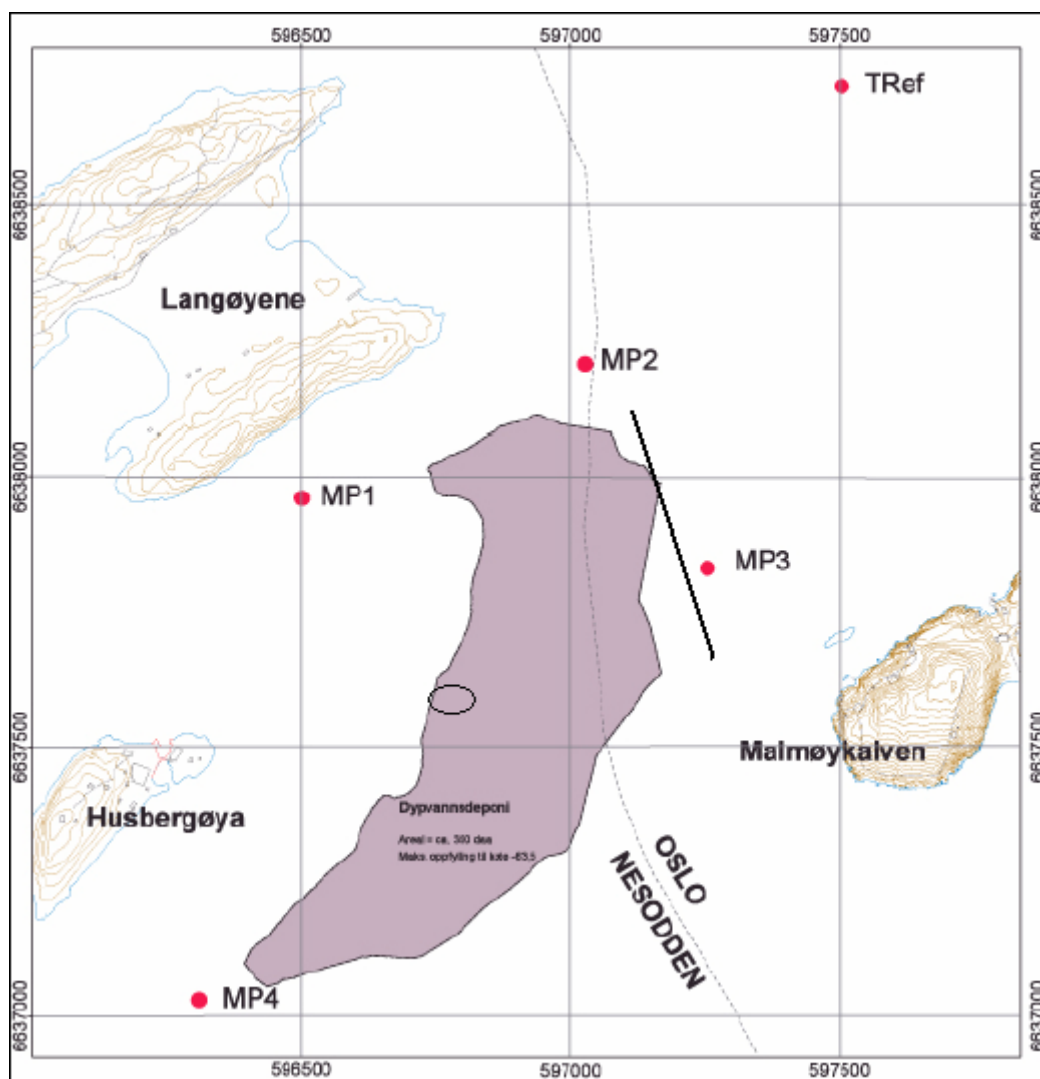


Figur 23: Målt strøm ved MP3 i 2007.

Tabell 4: Målt strøm ved MP3

Periode	Styrke (cm/s) (middel ±st.avvik)	Retning (middel ±st.avvik)	Netto strømstyrke (cm/s)	Netto strøm- retning
2.jan – 6.feb	1,7 ± 0,8	260° ± 82°	1,3	292°
6.feb – 9.feb	1,0 ± 0,2	214° ± 17°	0,9	214°
9.feb – 6.mai	2,1 ± 0,4	83° ± 10°	2,0	84°
6.mai – 10.mai#	5,1 ± 3,4	165° ± 34°	4,0	166°
10.mai – 16.jun#	3,0 ± 3,7	197° ± 110°	0,9	301°
16.jun – 17.nov	0,3 ± 0,2	179° ± 107°	0,02	66°

#Problemer med strøm-måleren er rapportert i denne perioden (NGI-avvik nr. 73).



Figur 24: Kart over deponiområdet hvor målepunktene er markert. Ellipse indikerer omtrentlig posisjon til nedføringsenheten. Linjen ved MP3 viser beliggenheten av tverrsnittet benyttet for beregning av utstrømmning av partikler under 56 m dyp.

4.2 Beregnet spredning av partikler ved MP3

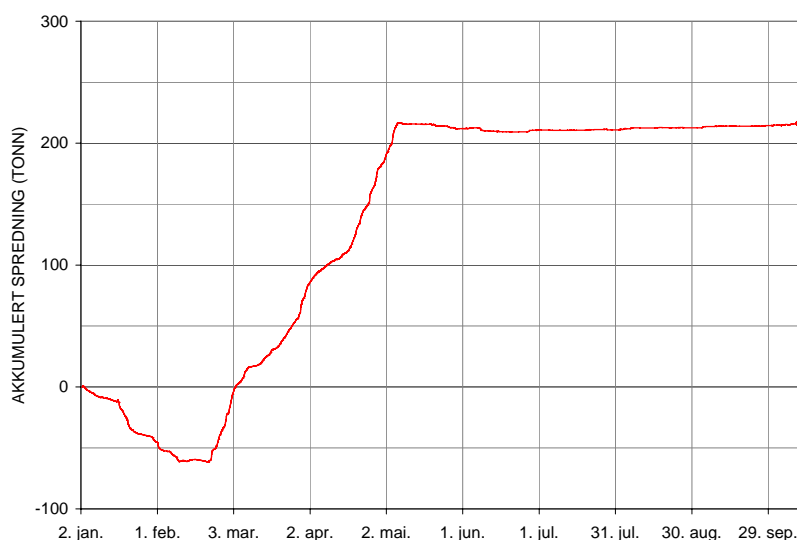
I **Figur 24** er det tegnet inn et 500 meter langt snitt som går mellom to undersjøiske topper hvor dybden er over 56 meter. Sammenligning av målinger ved MP3 i 50 meters dyp og referansemåleren (T_{ref}) gjør at det er rimelig å anta at turbiditeten i vannsøylen over 56 meters dyp er under referansenivået. Tverrsnittarealet under 56 meter i snittet i figuren (A) er omtrent 3000 m².

Ved å benytte følgende formel

$$Q = A \cdot f \cdot (T_{mp3} - T_{ref}) \cdot u$$

hvor Q er transport av tørrstoff ut gjennom tverrsnittet målt i g/s. Faktoren f settes til 0,5 fordi det antas at turbiditen varierer lineært mellom referansenivå i 56 meters dyp og verdien målt ved MP3 (T_{mp3}) i 65 meters dyp. Strømstyrken dekomponert i retning 72° målt i m/s angis som u . Det antas at 1 NTU tilsvarer 1 gram tørrstoff per m³. Ved å summere transporten av tørrstoff for hver time beregnes akkumulert spredning ut av deponiet gjennom snittet. Dette er vist i **Figur 25**.

Figuren hviler tungt på strømmålingene gjort ved MP3 og oppsummert i **Tabell 4**. Noen av disse er av dårlig kvalitet og kan medføre feil i beregningen av akkumulert utstrømning av partikler. Likevel er beregningene vist i **Figur 25** velegnet til å illustrere sammenhengen mellom partikkelspredning og strømforholdene i dypvannet. I den lange perioden fra midten av juni til slutten av september er strømmålingene tilsynelatende gode. I denne perioden var det hyppige overskridelser av turbiditeten ved MP3. Likevel blir spredningen marginal fordi partikkelskyen ligger nesten rolig og bare forflyttes litt frem og tilbake. Situasjonen kan best beskrives som et dynamisk *steady state* der utsynkingen av partikler fra partikkelskyen balanserer påfyll av partikler fra deponeringsaktiviteten. Skyen holder konstant utbredelse og beveger seg lite. Skyen er godt beskrevet i månedsrapportene fra NGI for juli og august 2007.



Figur 25: Akkumulert spredning av tørrstoff ut gjennom et tverrsnitt i nordenden av deponiområdet fra 2. januar til 13. november 2007.

4.3 Sedimentfeller

I samarbeid med NIVA, måler NGI sedimentasjon i området nord for deponiet. I hht kontrollplan (pkt. 5.4.3) skal fellene plasseres 3-5 m over bunnen i et transekt i nordøstlig retning hhv 100, 300, 800 og 1600 m fra dypvannsdeponiet. Siden 15.12.05 har den faktiske plasseringen av fellene vært som vist i **Tabell 5**. Resultater fra før-undersøkelser (15.12.05 - 23.1.06) samt fra periodene 8.9.-23.11.06, 6.2.-27.3. og 27.3.-23.5.07 er rapportert i Pettersen et al, 2007.

Tabell 5. Posisjoner av sedimentfeller plassert nord for dypvannsdeponiet.

Stasjon	Vannndyp (m)	Høyde over bunn (m)	Posisjon	
SMP-0	65	3 m	59° 52.514N	10° 44.603E
SMP-1	70	3 m	59° 52.466N	10° 44.118E
SMP-2 øvre	70	20 m	59° 52.273N	10° 44.340E
SMP-2 nedre		3 m		
SMP-3	69	3 m	59° 51.973N	10° 44.203E

Undersøkelsene har rapportert at sedimentasjonen i de dypeste delene av Bekkelagsbassenget før deponeringen startet var 2,4-2,6 g TS/m² døgn (**Tabell 6**). Våren 2007 ble det observert en klar økning fra første til andre periode. Det meste av dette skyldes mest sannsynlig at den naturlige sedimentasjonen øker utover våren som følge av planktonoppblomstringer i overflatelaget. Dersom det antas at fellen i 50m dyp ved stasjon SMP-2 representerer den naturlige sedimentasjonen fra overflaten vil overskytende materiale i fellene 3 m over bunnen representere naturlig resuspensjon under 50 m dyp inkludert eventuell sedimentasjon av partikler spredt via vannmassen fra deponiområdet. Resultatene viste en klar økning av sedimentasjonen ved SMP-3 og bekrefter dermed at den tidvis forhøyete turbiditeten ved MP-3 skyldes partikler som i stor grad sedimenter like nord for deponiet. Overskytende sedimentasjon ved SMP-1 og SMP-2 var litt høyere enn ved SMP-0 og indikerer noe spredning også til dette området.

Hvis det antas at sedimentasjonen målt i løpet av første halvår 2007 er representativ for hele året frem til 1.10, kan en enkel overslagsberegning basert på overskytende sedimentasjon i gjennomsnitt 3 g/m² døgn over et område anslått til 250 000 m² gir en sedimentasjon av masser spredt fra deponiområdet i perioden 01.01.-01.10.07 på 200 tonn tørrstoff eller om lag 1 000 m³ slam med vanninnhold og tetthet som antatt for massene som deponeres. Dette er i samme størrelse som beregnet spredning ut av deponiområdet ved MP3 (se foregående avsnitt). Utvides dette til å gjelde hele deponeringsperioden blir sedimentasjonen i størrelsesorden 1% av total nedføring.

Tabell 6. Sedimentasjon (g/m² døgn) målt før deponeringen og langs en gradient fra deponiområdet og nordover i Bekkelagsbassenget. SMP-3 er lokalisert nærmest deponiet, SMP0 ligger lengst unna (ca. 1600 m). (Data fra Pettersen et al., 2007).

	3 stasjoner	SMP-2 50 m	SMP-0 62 m	SMP-1 67 m	SMP-2 67 m	SMP-3 66 m
<i>Før deponering</i>						
15.12.05-24.01.06	2,4-2,6					
<i>Våren 2007</i>						
06.02. - 27.03.07		1,9	1,8	2,7	2,8	9,3
27.03. - 23.05.07		4,7	4,9	5,8	7,4	12,6
<i>Økning i forhold til SMP2-50m</i>						
06.02. - 27.03.07		0	-0,1	0,8	0,9	7,4
27.03. - 23.05.07		0	0,2	1,1	2,7	7,9

4.4 SPI-kamera

SPI-kameraet tar bilder av et vertikalsnitt av det øverste sedimentlaget ned til maksimum 26 cm.

Bildene brukes kvantitativt for å bestemme eutrofitilstand, men sier ingenting om forurensingsgrad mht konsentrasjonen av miljøgifter. Dersom det foregår spredning av partikler ut av deponiområdet, vil disse forventes å sedimentere i de dypeste delene av Bekkelagsbassenget nord for deponiet. Sediment-tilveksten vil dermed øke i dette området. Bare en forholdsvis sterk økning av sediment-tilvekst vil kunne synes på bildene fra dette området. Eventuell spredning av partikler til områder utenfor tersklene vil være vanskelig å oppdage fordi partiklene vil sedimentere langsommere (høyere turbulens gir lavere synkehastighet) og spres over et større område.

SPI-bildene kan altså ikke relateres direkte til spredning av partikler, men de vil kunne avdekke økt sedimentasjon av partikler fra vannmasser med forhøyet partikkelinnhold.

Sedimentene fotograferes årlig i mai-juni på et betydelig antall stasjoner i deponiområdet og tilstøtende områder.

SPI-bilder avdekker lagdelingen i sedimentet og er egnet til å kvantifisere tykkelsen av lagene. SPI-bildene kan ikke relateres direkte til spredning av partikler, men de vil kunne avdekke økt sedimentasjon av partikler fra vannmasser med forhøyet innhold av partikler. Dersom et lag nysedimentert materiale kan adskilles fra det underliggende sedimentet ved hjelp av nyanser i farge og struktur vil en økning av sediment-tilveksten kunne avdekkes. Dersom tilveksten er langsom vil omblending mellom gammelt og nytt sediment på grunn av bunndyrenes aktivitet være rask nok til at skillet mellom gammelt og nytt sediment viskes ut og blir vanskelig å oppdage. Dersom normal sedimenttilvekst i Bekkelagsbassenget anslås til 1-3 mm/år, kan det ikke utelukkes at denne kan være tidoblet uten at det vil være synlig på bildene.

SPI-bilder av sjøbunnen i terskel-områdene syd og vest for deponiet har ikke vist tegn på nylig sedimenterte masser. Området utenfor terskelen mot syd-øst (TE1, Figur 27) er vanskelig å vurdere p.g.a. svarte, anoksiske sedimenter i dette området. Passasjen er imidlertid trang med terskeldyp på ca 42 m og det er lite trolig at betydelige mengder sediment kan ha blitt transport ut av Bekkelagsbassenget gjennom denne passasjen.

Turbiditetsmåleren ved MP3 har vist utstrømmende vann med forhøyet partikkelinnhold i dette området. Bilder fra området like utenfor deponiets nord-østre hjørne viser et tydelig topplag med noen mm nylig avsatte sedimenter og bekrefter dermed at spredningen gir øket sediment-tilvekst i området. Tilsvarende lag er ikke observert på noen andre bilder fra områder utenfor deponiet.

Med dette ene unntaket har SPI-bildene ikke avdekket spredning av partikler ut av deponiområdet. SPI-bildene utelukker imidlertid ikke at slik spredning kan ha funnet sted.

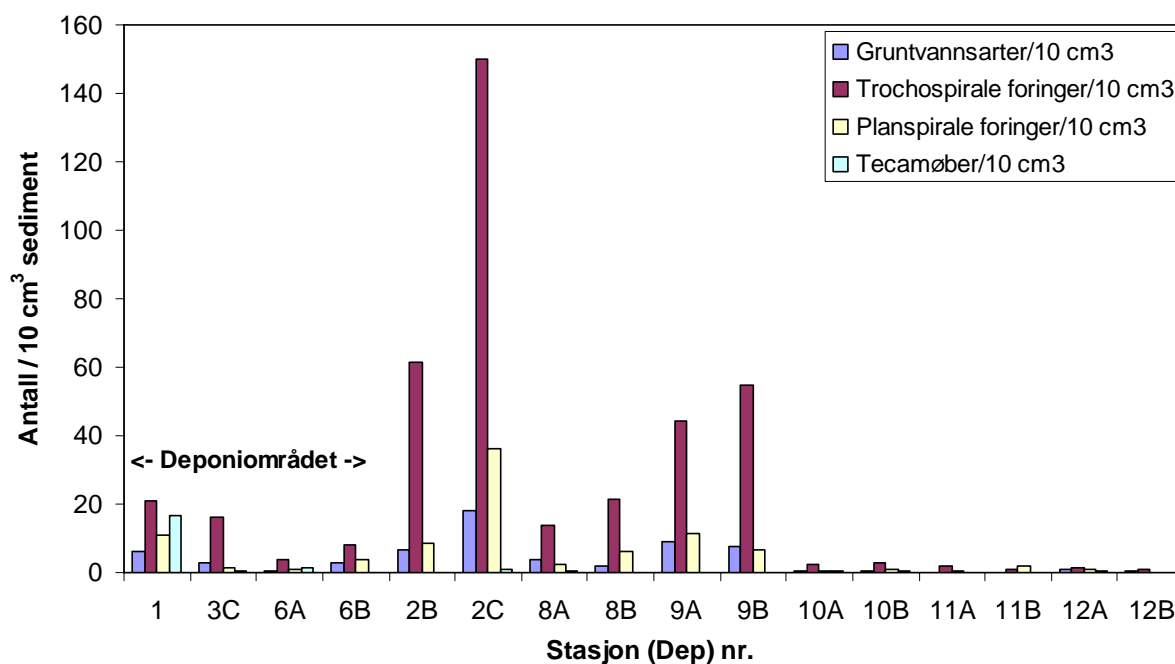
4.5 Bentske foraminiferer

Bentske gruntvannsforaminiferer er mikroskopiske organismer som ikke forekommer naturlig i dype deler av Bekkelagsbassenget. Enkelte arter vokser bare i grunne områder (tilsvarende mudringsområdene) og finnes ikke naturlig i deponiområdet eller andre deler av Bekkelagsbassenget med tilsvarende vanddyb. Forekomsten av gruntvannsformer i sedimentene i dette området kan derfor brukes til sporing av deponerte masser fra mudringsområdet.

Som en del av den supplerende overvåkingen iverksatt av SFT våren 2007, ble bentiske foraminiferer i sedimentprøver fra stasjoner i Bekkelagsbassenget undersøkt av Elisabeth Alve ved Universitetet i Oslo i mai-juni 2007 (Figur 27) og rapportert i Schaanning m.fl. (2007).

Undersøkelser av sedimentkjerner fra deponiområdet samt midtre og nordlige deler av Bekkelagsbassenget viste en betydelig anrikning av tectin-hinner fra gruntvannsforaminiferer på stasjoner inntil ca 500 m nord for deponiområdet (**Figur 26**). Disse må ha blitt transportert fra utslippstedet gjennom vannmassen og viser at partikler med lav synkehastighet er spredd utenfor deponiområdet. De tynne organiske hinnene representerer trolig partikler med svært lave synkehastigheter og er ikke egnet til å kvantifisere spredning av sedimentpartikler.

I tillegg til gruntvannsformene, ble også levende foraminiferer identifisert i sedimentprøvene (**Tabell 7**). I sydlige og midtre deler av deponiområdet ble det ikke funnet levende foraminiferer, trolig som følge av høye sedimentasjonshastigheter i nærheten av deponeringspunktet. Økende antall levende individer og arter på stasjoner lengst nord i deponiområdet og på stasjonene i Bekkelagsbassenget utenfor deponiområdet, syntes dermed å bekrefte avtagende sedimentasjonshastighet fra deponeringspunktet og utover mot deponiets yttergrense. Av dette følger at mesteparten av massene sedimenterer innenfor deponiområdet.



Figur 26. Konsentrasjon (antall/10 cm³ vått sediment) av gruntvannsindikatorer i overflatesedimentene (0-1 cm kjernedyp) i deponiområdet (Dep 1, 3, 6) og i området nord (Dep 2, 9, 11, 12) og nordøst (Dep 8 og 10) for deponiområdet ved Malmøykalven, indre Oslofjord.

Tabell 7. Levende foraminiferer i overflatesedimentene (0-1 cm kjernedyp) i deponiområdet (Dep 1, 3, 4 og 6) og i området nord og nordøst (Dep 9, 10 og 12) for deponiområdet ved Malmøykalven. Tilstand er anslått etter diversitetskriteriene (ES(100) og H' (log2)) for makrofauna gitt i Molvær et al., 1997. Tabellen er utarbeidet på grunnlag av data gitt i Schaanning et al. 2007.

	Deponiområdet					Nord for deponiområdet			
	Midtre		Nordre			9A	10A	12A	12B
	1	4	3C	6A	6B				
<i>Leptohalysis catella</i>	0	0	0	0	3	7	2	0	2
<i>Leptohalysis scottii</i>	0	0	2	5	12	4	4	0	0
<i>Spiroplectammina biformis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Textularia earlandi</i>	0	0	0	0	1	0	0	6	0
<i>Textularia kattegatensis</i>	0	0	17	1	0	39	4	11	7
<i>Elphidium albiumbilicatum</i>	0	0	0	0	1	0	2	0	3
<i>Epistominella vitrea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Bolivinellina pseudopunctata</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Bulimina marginata</i>	0	0	5	11	8	14	23	6	10
<i>Buliminella elegantissima</i>	0	0	1	1	0	1	1	0	2
<i>Stainforthia fusiformis</i>	0	0	76	81	76	34	64	78	74
ES(100)			4.4	5.0	6.0	6.8	6.5	4.0	7.0
H'(log2)			1.1	1.0	1.2	2.1	1.6	1.1	1.4

Meget dårlig tilstand
Dårlig
Mindre god

4.6 Blåskjell

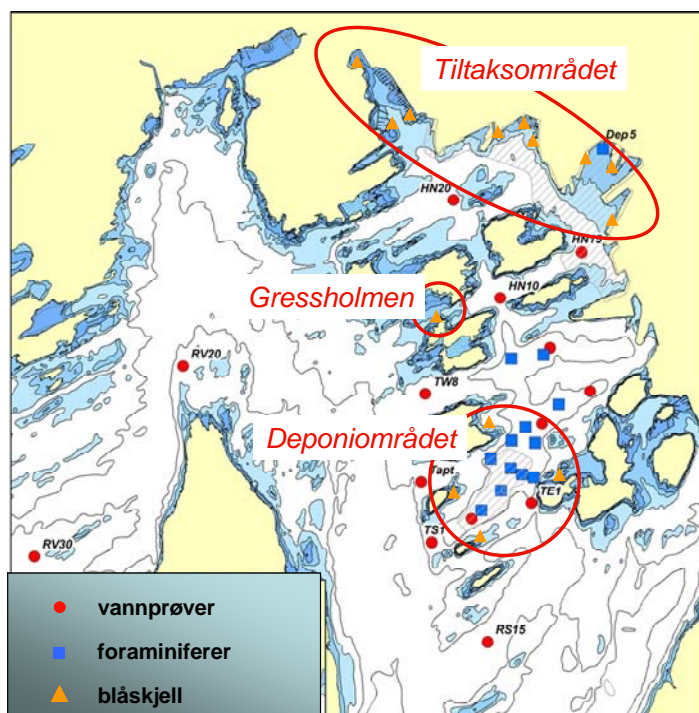
Blåskjell er en organsime som filtrerer næringspartikler fra vannet der de lever. Innholdet av miljøgifter i blåskjell påvirkes både av innholdet av miljøgifter oppløst i vannet og av miljøgifter bundet til partikler som de filtrerer. Store mengder forurensete partikler i vannet på voksestedet ville uten tvil gjenspeiles i skjellene både som følge av partikler de har filtrert og ved utløsning av miljøgifter fra disse partiklene til vannet.

NIVA overvåker forurensingstilstanden i blåskjell innsamlet i mudrings- og deponeringsområdet. Blåskjellene samles inn hver 2. måned på 0-2 m dyp på flere stasjoner i hvert av områdene (**Figur 27**). Skjellene fra hver stasjon danner grunnlag for en blandprøve som analyseres for en rekke miljøgifter. I deponiområdet innsamles blåskjell fra Langøya, Husbergøya, Malmøykalven og Skjælholmene.

Undersøkelsene med resultater frem til og med innsamlingen i august 2007 er beskrevet i Berge, 2007. Blåskjell fra deponiområdet har gjennom hele perioden juni 2006-august 2007 vært ubetydelig-moderat (tilstandsklasse I-II) forurenset med tungmetaller, PAH og PCB, og markert forurenset med TBT (tilstandsklasse III). Nivåene har ligget omtrent på samme nivå som siden før deponeringen startet, og betydelig lavere enn i skjell fra tiltaksområdene mellom Frognerkilen og Bjørvika.

Det ble observert en forbigående økning i skjellene innsamlet i okt., des. og feb. Denne økningen ble imidlertid samtidig observert i skjell fra Gressholmen og i tiltaksområdet og naturlige årsaker (sesongvariasjoner) eller påvirkning fra mudringsaktiviteten kan ikke utelukkes.

Blåskjellundersøkelsen synes å utelukke betydelig spredning av forurensete partikler i overflatelaget, men sier ikke noe om eventuell spredning i intermediære og dypere vannlag.



Figur 27. Stasjoner blåskjell og supplerende undersøkelser mai-juni, 2007 av bentske foraminiferer (sedimenter) og passive prøvetakere (vannmassen).

Tabell 8. Høyeste konsentrasjon målt i blåskjell innsamlet i deponi- og mudringsområdet i perioden fra første innsamling i juni 2006 til og med august 2007. Tilhørende forurensingsgrad (Ubetydelig-Sterkt forurenset) er fastsatt på grunnlag av norske kriterier for fjord- og kystfarvann (Molvær et al, 1997).

	Deponiområdet		Tiltaksområdet	
	Max. kons.	Tilstand	Max. kons.	Tilstand
Kvikksølv	0.14	Ubetydelig	0.19	Ubetydelig
Kadmium	1.6	Ubetydelig	2.1	Moderat
DDT	1	Ubetydelig	2.1	Moderat
Arsen	12	Moderat	11	Moderat
Krom	6	Moderat	6.7	Moderat
Kopper	12	Moderat	23	Moderat
Bly	5	Moderat	11	Moderat
PAH	72	Moderat	424	Markert
PCB7	6.1	Moderat	17	Markert
KPAH	28	Moderat	106	Sterkt
B(a)P	2.9	Moderat	17	Sterkt
TBT	0.6	Markert	2.2	Sterkt

4.7 Passive prøvetakere

Passive prøvetakere omtales ved bruk av forkortelsene

- DGT (Diffusion Gradient in Thin films),
- SPMD (SemiPermeable Membrane Device) og
- POM (PolyOksyMethylen).

I tilknytning til overvåkingen av deponeringsarbeidene har kontrollprogrammet benyttet POM, mens NIVA og Exposmeter har benyttet DGT og SPMD.

De passive prøvetakerne tar opp metaller (DGT) og organiske miljøgifter (SPMD eller POM) via diffusjon fra vannmassen. De passive prøvetakerne supplerer blåskjell-undersøkelsene ved at de kan utplasseres uavhengig av dyp og strandsoner. Det er vanlig å anta at passive prøvetakere gjenspeiler innhold av forurensete partikler i vannmassen i mindre grad enn blåskjell.

DGT (Davison and Zhang, 1994, Røyset et al., 2003) består av en ionebyttermasse pakket inn bak et filter og en diffusjonsgel med kjente karakteristikk slik at konsentrasjonen i vannet kan beregnes på grunnlag av hvor mye som er akkumulert i løpet av en kjent eksponeringsperiode.

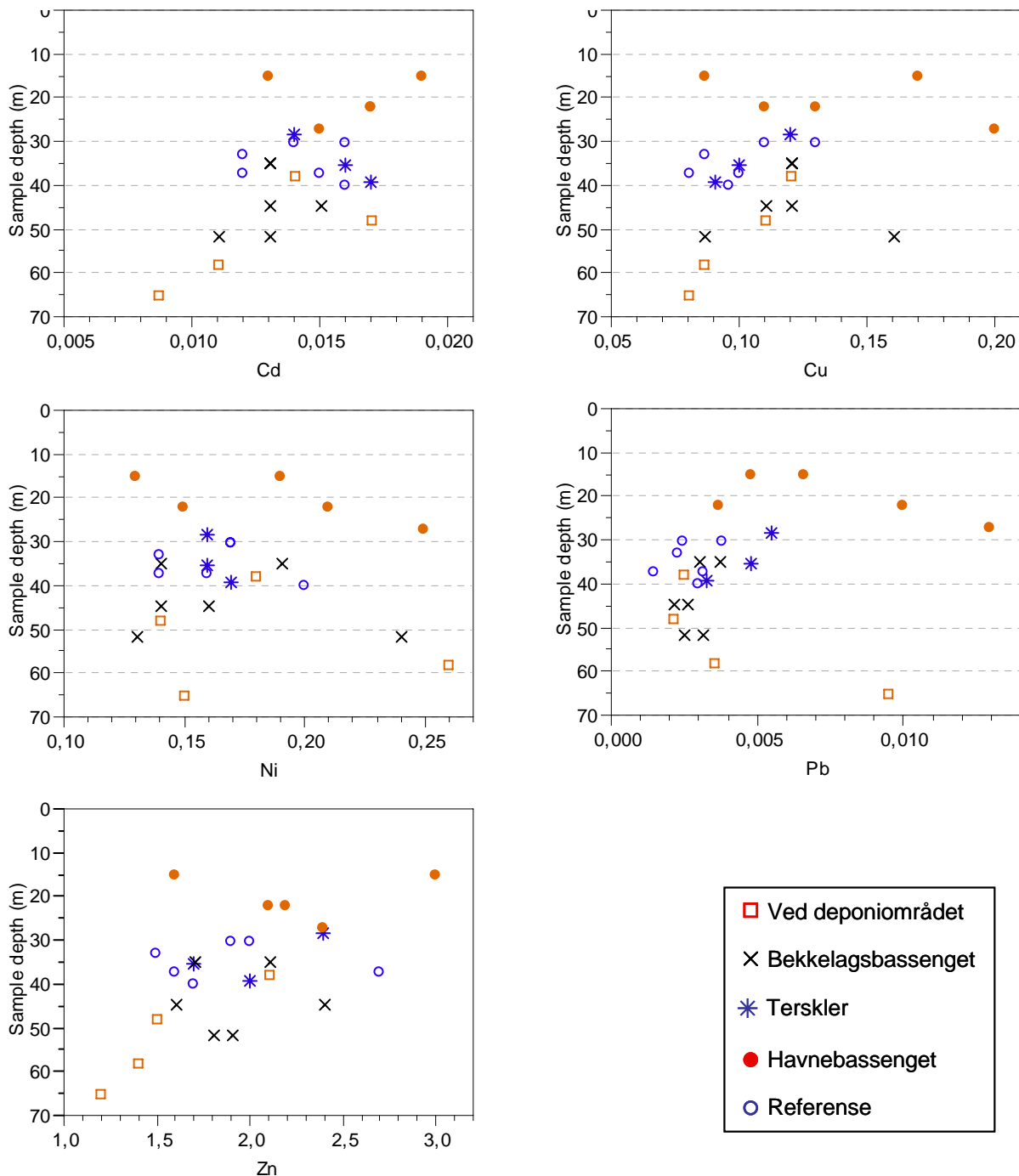
SPMD (Huckins et al., 1993) fungerer i prinsippet på samme måten og består av en fettfase innelukket i en semipermeabel membran. SPMD'ene benyttet i undersøkelsene omtalt her benytter seg i tillegg av såkalte PRC-forbindelser (Performance Reference Compounds) som tilsettes prøvetakeren før den settes ut og som analyseres etter felt-eksponeringen. Restinnholdet av PRC benyttes til å korrigere for hydrodynamiske forhold i eksponeringsmiljøet og eventuell begroing dersom prøvetakeren er eksponert nær overflaten der dette kan være et problem. SPMD skal normalt ikke stå ute så lenge at det oppstår likevekt mellom vannet og fettfasen.

Forekomsten av miljøgifter i vannmassene ble undersøkt ved bruk av SPMD og DGT i nærheten av deponiområdet og øvrige deler av Indre Oslofjord i perioden 10.05.-12.06.2007 (Schaanning et al., 2007). Prøvetakerne ble montert i ulike dyp på et tau festet med lodd i bunnen og holdt oppe av en blåse. I dette arbeidet ble passive prøvetakere plassert i vannsøylen mellom 15 og 65 m dyp og med hovedvekt på 30-40 m dyp som tilsvarer de viktigste terskeldypene på grensen mellom Bekkelagsbassenget og andre deler av Indre Oslofjord. Undersøkelsen var finansiert av SFT som en del av de supplerende undersøkelsene igangsatt våren 2007. Bergqvist og Zaliauskiene (2007a,b) undersøkte innholdet av miljøgifter i vannmassene i samme området og med samme metode under to perioder høsten 2006.

POM er en enklere teknikk, basert på at det innstilles en likevekt mellom konsentrasjonen i vannet og konsentrasjonen på det sterkt adsorberende prøvetakermaterialet (Cornelissen et al., in press). POM'en skal stå ute tilstrekkelig lenge til at likevekt er innstilt. Prøvetakerne har vært benyttet både over og under terskeldyp. Over terskeldyp har det vært utplassert prøver på to stasjoner 22.09.-6.11. 2007 (MP3 og MP4) og en stasjon (MP3) i perioden 12.03.-08.05 (Pettersen og Cornelissen, 2007). I tillegg er det analysert data fra en periode i august 2007, men disse dataene er ikke ferdig rapportert per 01.12.2007. Resultatene viser økende konsentrasjoner i vannet under terskeldyp (MP3). Over terskeldyp har disse prøvene ikke vist noen klar økning i forhold til perioden før tiltaket ble iverksatt, selv om enkelte prøvetakere har vist noe forhøyet konsentrasjon av PAH i april (Pettersen og Cornelissen, 2007) og PCB i august 2007 (Cornelissen, pers.med.).

Bergqvists resultater viste noe spredning av PAH eller PCB utenfor deponiområdet, men ikke utenfor Bekkelagsbassenget. Både kontrollprogrammets undersøkelser (Pettersen og Cornelissen, 2007) og NIVAs undersøkelser våren 2007 (Schaanning et al. 2007) bekreftet i all hovedsak resultatene fra

Bergqvists undersøkelser høsten 2006. NIVAs undersøkelser (**Figur 27**) viste at for samtlige analyserte miljøgifter ble de høyeste konsentrasjonene funnet i prøver fra Havnebassenget (stasjon HN10, HN15 og HN20). Konsentrasjonene av miljøgifter i Bekkelagsbassenget kan karakteriseres som lave-moderate.



Figur 28. Metallkonsentrasjoner målt med DGT'er i Indre Oslofjord i perioden 10.05.-11.06.2007. Enhet = μgL^{-1} . (Etter Schaanning et al., 2007).

Ingen av prøvetakerne var plassert innenfor selve deponiområdet. Prøvetakere plassert i 48-65 m dyp i Bekkelagsbassenget, like nord for deponiet, var klart påvirket av deponeringen. Sammenlignet med referansestasjonene i Vestfjorden og Bunnefjorden (stasjon RV30, RV20 og RS15 i **Figur 27**), inneholdt prøvetakerne nærmest deponiområdet mindre kadmium, sink og kopper, men mer bly og PAH. En prøve fra 28 m dyp over terskelen mellom Husbergøya og Skælholmene (stasjon TS1 i **Figur 27**) viste et PAH-mønster som liknet mer på prøvene fra Bekkelagsbassenget enn prøvene fra referansestasjonene. Samtidig var konsentrasjonene av PAH samt metallene bly og sink (**Figur 28**) litt høyere enn på referansestasjonene. Dette indikerte påvirkning av utstrømmende vann fra Bekkelagsbassenget i dette området, og kan skyldes deponeringen så vel som andre kilder i Bekkelagsbassenget. De to andre prøvene fra terskelområdene viste ingen tilsvarende påvirkning av vann fra Bekkelagsbassenget.

Den tydelige påvirkningen fra deponeringen på prøvene tatt nær bunnen midt i Bekkelagsbassenget, kan skyldes utløsning fra partikler transportert helt frem til prøvetakeren eller utløsning fra oppvirvlete partikler over deponiområdet og videre spredning av løste forbindelser. Det samme vil gjelde for den tilsynelatende påvirkningen på stasjon TS1. Undersøkelsen er ikke egnet til å avdekke spredning av lite forurensete partikler eller korte episoder med forurensete partikler.

5. Beregnet spredning over terskeldyp

5.1 Usikkerheter og forbehold

DnV har anslått at sannsynlig spredning er 1200 m³, men allerede i utgangspunktet ligger en betydelig usikkerhet i dette tallet (Løken et al., 2007).

Spredning fra massene som dumpes vil være avhengig av flere faktorer som i utgangspunktet er vanskelig å kvantifisere og som dessuten vil variere i forhold til både opprinnelse og håndtering. Stort volum vil kunne gi relativt mindre avskaling i ytterkant av massene under nedsynking. På den annen side vil hastigheten øke og resultere i større oppvirvling ved innslag i bunnen. Høyt vanninnhold vil redusere tetthetsforskjellen mellom utslippet og vannet, langsommere nedsynking og mindre oppvirvling når massene slår ned i bunnen. På den annen side kan større avskaling og innlagring i øvre vannlag, gi økt spredning over terskeldyp fra slam med høyt vanninnhold.

Dumping av ren stein vil ikke avgi forurensing til vannsøylen under nedsynking. Når steinen treffer bunnen med en hastighet anslått til 10 m/s (NGI, notat 2006) vil energien tilgjengelig for oppvirvling av sedimenter og tidligere deponert slam være relativt stor. Volumet av vann som vil påvirkes av nedslaget vil begrenses av tetthetsgradienter i vannet. Sterke gradienter vil gi stor demping. Selv med svake tetthetsgradienter er det lite trolig at oppvirvling forårsaket av stein som treffer bunnen vil påvirke vannkvaliteten over terskeldypet på 42 m. Mest sannsynlig vil oppvirvlingen være begrenset til en liten del av deponiområdet og påfølgende utsynking vil forhindre vesentlig spredning utenfor deponiområdet på samme måte som ved ordinær nedføring. Posisjonen til nedføringsenheten og fremherskende strømrøtning vil sannsynligvis ha større betydning for spredning utenfor deponiområdet enn mengden av stein som dumpes.

Dumping av stein sammen med slam vil kunne øke slam-vann friksjonen og dermed gi økt avskaling av vedhengende slam til vannmassen. I tillegg kan det tenkes at relativt høyt innhold av stein vil gjøre at massene i mindre grad holdes sammen i en "pakke" under nedsynking.

Den faktiske spredningen vil altså påvirkes av flere faktorer som vi ikke har grunnlag for å håndtere med noen kvantitativt god metode. Vi antar derfor at slammet i lekteren alltid har en sammensetning tilsvarende slammet som ble brukt i forsøkene på Solbergstrand og under prøvedeponeringen, både med hensyn til konsistens og innhold av forurensing. Vi har heller ikke noe godt grunnlag for å differensiere partikkelspredningen i forhold til totalt slamvolum i lekteren eller forholdet mellom stein og slam.

Innlagring i vannsøylen antas å ha skjedd på samme måte som under prøvedeponeringen 29.11.2005, slik at det prosentvise restinnholdet i vannet over deponiområdet blir som beskrevet i **Figur 5**. I tillegg har vi gjort en skjønnsmessig vurdering og antatt at prosentvis spredning over terskeldyp vil øke noe som følge av avtagende volum i lekteren og høyere forhold stein/slam (se neste avsnitt).

5.1.1 Indikasjoner på spredning

Spredning over terskeldyp kan skje som følge av oppadrettet spredning fra bunnen av deponiområdet til over terskeldyp og videre horisontal transport ut over tersklene. Dersom vesentlige mengder partikler skulle vært spredt denne veien ville de med stor sannsynlighet vært fanget opp av de kontinuerlige turbiditetsmålerne som omkranser deponiet i dyp mellom 45 m og 65m. Vesentlig forhøyet turbiditet har bare vært registrert ved MP3 som måler i 65 m dyp i et område der topografien

vil lede partikkelskyen langs bunnen ut av deponiområdet ved nordlig strømretning. Turbiditeten ved referensesatsjonen T_{ref} midt i Bekkelagsbassenget har vist at partikkelskyen som tidvis observeres ved MP3 har begrenset spredning nordover. De tre andre målerne plassert i hhv 45, 55 og 60 m dyp har ikke vist vesentlige overskridelser av naturlige bakgrunnsverdier for turbiditet slik en måtte ha forventet dersom det hadde foregått noen betydelig spredning fra utslippspunktet ved bunnen og ut over tersklene.

Alternativt kan spredning over terskeldyp ha forekommet som følge av normalt søl eller irregulære utslipp av masser til overflatelaget. Våre analyser av dataene fra nedføringsenheten viser 28 enkelt-episoder i perioden 01.01.07-05.09.07 med varierende mengder partikler i vannsøylen over terskeldyp i perioder opp til 2 timer. Videre horisontal spredning fra nedføringsenheten av løst eller partikkelbundet forurensing med utilstrekkelig synkehastighet kan ha medført spredning ut over tersklene uten at dette har forårsaket vesentlig økning av turbiditeten på målerne plassert under terskeldyp, dvs spesielt på MP1 i 45 m dyp mot vest og MP4 i 55m dyp mot syd.

Bare blåskjellundersøkelsene synes å gi noen god dokumentasjon i forhold til disse hendelsene. De viser at de irregulære utlippene ikke har medført noen betydelig spredning i overflatelaget (0 - ca 2m), men resten av vannsøylen over terskeldyp er ikke tilstrekkelig dekket av målinger til at episodisk spredning av forurensete sedimenter kan utelukkes med rimelig grad av sikkerhet.

5.1.2 Beregnet spredning

Lite ferskvannstilførsler og små tidevannsforskjeller gjør at strømforholdene i Indre Oslofjord er komplisert og skiftende. Hvis vi antar en gjennomsnittlig strømhastighet på 5 cm s^{-1} (lavt anslag) med konstant retning fra deponeringspunktet til et av sundene over tersklene ville en partikkel bruke ca 3 timer på transporten fra deponeringspunktet og ut av Bekkelagsbassenget. Dersom strømhastigheten var 50 cm s^{-1} eller høyere ville transporttiden bli mindre enn ca 15 minutter. Fra utsyningskurven i **Figur 5** ser vi imidlertid at dette ikke vil bety mer enn at spredningen vil øke fra ca 2,0 til ca 2,5%. I **Tabell 9** har vi derfor lagt til grunn at 2,5% av slammet som slippes ut fra splittlekter vil kunne spres til områder utenfor Bekkelagsbassenget. Terskeldypene rundt deponiområdet varierer fra 31 til 42 m dyp, og det meste av partiklene som befinner seg under 42 m dyp vil sedimentere i bassenget innenfor tersklene. En god del av partiklene observert i 0-50 m laget under prøvedumpingene befant seg faktisk under terskeldypet. Vi overestimerer derfor noe ved ikke å korrigere for dette og ved å anta høyeste strømhastighet. På den annen side viser **Figur 4** at modellen kan underestimere restinnholdet av partikler i vannsøylen ved korte oppholdstider (<6 timer). 2,5% anses derfor å være et rimelig realistisk anslag ved utslipp av et stort volum fra splittlekter.

Når lassene blir mindre og forholdet mellom stein og slam øker har vi antatt at den relative spredningen øker til 3% for scenarie 2, 3,5% for scenarie 3 og 5% for scenarie 4. En økning av vanninnholdet vil kunne medføre ytterligere økning av prosentvis spredning, men totalt innhold av partikler og forurensing ville samtidig reduseres. Restinnholdet av partikler i vannsøylen antas å ha et innhold av miljøgifter tilsvarende de forurensete sedimentene som ble benyttet under arbeidet med konsekvensutredningen (NIVA rapport 4438). Disse ble innsamlet i de øverste 30 cm av sedimentene i Bjørvika og vil trolig representere et noe mer forurenset sediment enn gjennomsnittet for massene som deponeres. Omregningen fra partikler til miljøgifter er basert på antatt tetthet av slammet på $1,4 \text{ tonn/m}^3$ og vanninnhold 60%. Med disse forutsetningene kan spredning av miljøgifter til områder utenfor Bekkelagsbassenget ha vært som vist i **Tabell 9**. I **Tabell 10** er det stilt sammen et budsjett som viser at av 1055 m^3 forurenset sediment sluppet ut fra splittlekter til overflatelaget er 32 m^3 spredt over terskeldyp, 3 m^3 er spredt ut av deponiområdet langs bunnen ved MP3, mens 1021 m^3 er sedimentert innenfor deponiområdet. Beregningene er usikre, men illustrerer størrelsesorden.

Tabellen gir også en sammenligning med miljøbudsjettet, som i hht søknad om etablering av dypvannsdeponiet er den forventete spredningen over terskeldyp for hele deponeringsprosjektet (HAV, 2005, SFT, 2005). For å skalere utslippet viser tabellen også en del andre tilførsler til fjorden sammenstilt i Schaanning et al. (2006b). Sammenligningen viser at den beregnede spredning over terskeldyp tilsvarer i størrelsesorden 6-15 dagers tilførsler fra elvene som munner ut i tiltaksområdet.

Tabell 9. Estimert spredning av miljøgifter til områder utenfor Bekkelagsbassenget ved deponering fra splittlekter i hht scenariene 1-4. Enhet for spredning = g.

	Scen. 1	Scen. 2	Scen. 3	Scen. 4	Sum sce.1-4
<i>Forutsetninger</i>					
Antall lektere	3	2	4	20	
m3 slam/lekter	195	95	45	5	
m3 stein/lekter	5	5	5	5	
m3 stein total	15	10	20	100	145
m3 slam totalt	585	190	180	100	1 055
Antatt spredning	0.025	0.030	0.035	0.050	
<i>Beregnet spredning (g)</i>					
Hg	47	18	20	16	101
Pb	3524	1374	1518	1205	7621
Cd	88	34	38	30	189
Cu	2048	798	882	700	4428
Zn	5733	2234	2470	1960	12397
PCB7	2.7	1.0	1.1	0.9	5.7
PAH16	333	130	143	114	719
KPAH	135	53	58	46	292
NPD	34	13	15	12	74
olje	30303	11810	13054	10360	65527
B(a)P	30	12	13	10	65
pyren	43	17	19	15	94
DDT	0.4	0.2	0.2	0.1	0.9

Tabell 10. Budsjett for utslipp av 1055 m3 forurenset sediment fra splittlekter sammenlignet med miljøbudsjettet for dypvannsdeponiet (HAV, 2005) og andre tilførsler til Indre Oslofjord.

	m ³ slam	% slam	enhet	Hg	Pb	Cd	PCB7	PAH16	B(a)P
Sedimentert i deponi	1021	96.8 %	g	3 259	245 996	6 117	185	23 210	2 108
Spredning under terskeldyp	3	0.2 %	g	8	605	15	<1	57	5
Spredning over terskeldyp	32	3.0 %	g	101	7 621	189	6	719	65
Miljøbudsjett for dypvannsdeponiet			g	232	44 288	6 961	160	4 159	99
Overvann Frognerkilen-Sjursøya			g/år	60	22 190	570	5	360	60
Bekkelaget renseanl.			g/år	-	15 000	2 000	60	3 900	90
Bakgrunntilførsler Bekkelagsbass.			g/år	307	30 650	613	25	6 130	307
Elvetilførsler			g/år	3 700	439 000	4 600	150	21 800	1 700

5.2 Konklusjoner spredning

Spredning til Bekkelagsbassenget utenfor deponiområdet:

- Spredningen fra deponiområdet til områder lenger nord i Bekkelagsbassenget som følge av ordinær nedføring, er beregnet til 210 tonn tørrstoff (375 m³ slam) i løpet av perioden 1.01.-1.10.2007. For et utslipp på 1055 m³ tilsvarer dette en spredning under terskeldyp på 3 m³. Denne spredningen vil være omtrent like stor uansett om utslippet skjer irregulært ved overflaten eller regulært ved bunnen.

Spredning til fjorden utenfor Bekkelagsbassenget:

- Dumping av 145 m³ ren stein fra splittlekter vil ikke føre til spredning av miljøgifter til områder utenfor Bekkelagsbassenget.
- Av slam-mengden på 1055 m³ ble spredning til områder utenfor Bekkelagsbassenget beregnet å kunne være 32 m³.
- Innholdet av miljøgifter i denne slam-mengden tilsvarte 6-15 dagers tilførsler fra elvene som munner ut i tiltaksområdet.
- Mengden var innenfor miljøgiftbudsjettet som ble lagt til grunn for tillatelsen til etablering av dypvannsdeponiet. Det kan imidlertid ikke utelukkes at for enkelte forbindelser har de irregulære utslippene medført at det vil kunne bli vanskelig å fullføre prosjektet innenfor rammen av det eksisterende miljøgiftbudsjettet.

6. Vurdering av overvåkningsaktivitetene

6.1 Kontroll av regulær deponering

Både prøvedeponeringen høsten 2005, og målinger av turbiditet i hele vannsøylen på et høyt antall stasjoner (NGI, april-mai 2007) viser at partiklene i dypvannet i deponiområdet ligger som en sky over bunnen med en relativt skarp avgrensning mot vannmassene over. Det er denne skyen som vil kunne bre seg ut over grensene for deponiet og gi spredning til omkringliggende områder. De fire turbiditetsmålerne (MP1-MP4) plassert 3-5 m over bunnen i vanddyp mellom 45 m og 65 m, synes å være godt plassert for å fange opp utbredelsen av denne partikkelskyen. Fra midten av mai 2007 er måleren MP4 på 55m dyp lengst syd i området supplert med en måler MP4-2 på 43 m dyp og måleren MP3 på 65m dyp mot nord-øst er supplert med to nye målere MP3-2 i 50 m dyp og MP3-3 i 40 m dyp. Resultatene har ikke vist betydelige overskridelse av bakgrunnsnivået ved noen av målerne unntatt MP3-65m.

MP3-65m er plassert i en forsenkning i den lave ryggen (ca 60 m dyp) som avgrenser deponiområdet fra midtre og nordlige deler av Bekkelagsbassenget. Dette er det området der en på grunnlag av topografien først og fremst vil kunne forvente eventuell spredning fra deponeringen og det er ofte observert forhøyet turbiditet og nordlig strømrretning. Dette viser transport av vann med forhøyet innhold av partikler langs bunnen nordover inn i Bekkelagsbassenget. Like ved MP3 står det en sedimentfelle 3 m over bunnen som bekrefter forhøyet sedimentasjon i dette området. Noen hundre meter lenger nord i Bekkelagsbassenget viser flere sedimentfeller raskt avtagende sedimentasjonshastigheter og turbiditetsmåleren Tref viser at partikkelmengden i vannet er lav sammenlignet med nivåene ved MP3. Selv om Tref ofte har vist høyere partikkelkonsentrasjoner i vannet enn flere av de andre turbiditetsmålerne (årsak kan være nullpunktkalibderingen) og derfor ikke er ideell som referensstasjon betraktet, så er både partikkelkonsentrasjon og sedimentasjonshastighet i dette området lite forskjellig fra det som må betraktes som naturlig bakgrunnsnivå. Til sammen viser dette at det aller meste av partiklene sedimenterer ut av partikkelskyen i et avgrenset område like nord for deponiet. Denne spredningen bekreftes også av passive prøvetagere som har vist forhøyete konsentrasjoner av løst PAH og PCB i området både høsten 2006 og våren 2007 (Pettersen og Cornelissen, 2007) og av tectin-hinnene fra bentiske gruntvannsformaniferer som sedimenterer i området (Schaanning et al., 2007).

Det er altså bare MP3-65m som har vist betydelig forhøyet turbiditet og det er lite trolig at vesentlige mengder partikler sluppet ut ved bunnen i deponiområdet kan ha blitt spredt oppover til terskeldyp og videre ut over tersklene uten at dette ville blitt fanget opp av noen av disse målerne. Overvåkningsprogrammet kan derfor sies å fungere godt i forhold til å kontrollere spredning fra utslipp ved bunnen. Det anses lite sannsynlig at slike utslipp har ført til spredning av partikler og miljøgifter over terskeldyp utover den spredningen som ble beregnet i tilknytning til konsekvensutredningen for dypvannsdeponiet.

6.2 Kontroll av irregulære utslipp

Gjennomgangen av rådataene fra turbiditetsmåleren ved nedføringsenheten som heises opp og ned ved nedføringsfartøyet under nedføring har avdekket en rekke episoder med forhøyet turbiditet i vannmassene over terskeldyp. Både hyppigheten av episodene og turbiditeten målt er vesentlig større enn det som må forventes som følge av "normalt søl". En viktig forutsetning for dypvannsdeponiet var at slike utslipp ikke skulle forekomme og overvåkingen synes planlagt i tillit til at denne forutsetningen ikke skulle brytes.

Grunnen til at disse hendelsene ikke har vært fanget opp av NGIs overvåkingsprogram synes å ligge i måten dataene fra turbiditetsmåleren ved nedføringsenheten har vært bearbeidet. **Figur 17** viser hvordan denne rapporteringspraksisen medfører at episoden med utslippet til overflaten den 15. januar 2007 ikke blir synliggjort. Samme type fremstilling har vært benyttet i månedsrapportene. Bedre rutiner for bearbeiding av datafilene fra turbiditetsmåleren på nedføringsfartøyet kunne avdekket episodene med utslipp til overflaten og gitt en bedre beskrivelse av oppvirvlingen ved bunnen. Hvis slike rutiner innarbeides vil kontrollprogrammet være tilstrekkelig til å kontrollere spredning av de regulære utslippene ved bunnen og å avdekke eventuelle irregulære utslipp til vannmassen over terskeldyp.

6.3 Kontroll av spredning fra irregulære utslipp

Imidlertid har verken kontrollprogrammet eller annen utført overvåking gitt data egnet til å utelukke at spredning av utslippene kan ha forekommet i dybdeintervallet mellom voksesonen for blåskjell (0-2 m) og terskeldyp (42 m). Dette er forståelig ut fra forutsetningen om at alle massene i henhold til utslippstillatelsen skulle vært nedført til noen få meter over bunnen i deponiområdet. Av hensyn til miljøet i fjorden ville det enkleste og mest relevante tiltaket være å supplere den pågående blåskjellovervåkingen med overvåking av partikkeltransporten gjennom terskelområdene ved Husbergøya. Imidlertid vil en tilfredstillende overvåking i disse områdene være ressurskrevende og kan synes overdrevet dersom kontrollprogrammet heretter kan gi en fortløpende dokumentasjon på at irregulære utslipp ikke forekommer. Det kan også anføres at konsekvensene av eventuell spredning av små mengder forurensete sedimenter ikke vil være vesentlig forskjellig fra konsekvensene av den spredningen som følger av mudringsarbeidene og andre aktiviteter i tiltaksområdet.

7. Referenser

- Berge, J.A. 2007. Oppsummering av overvåkingsdata – Blåskjell fra indre Oslofjord. Pr. august, 2007. NIVA-notat 01.11.2007, O-27106-OSL. 49s.
- Bergqvist, P.A. and A. Zaliauskiene, 2007a. Investigation of chemicals released from Malmøykalven dumping area. Polycyclic aromatic hydrocarbons. Project report 2006N-003. ExposMeter AB, Tavelsjö, 2007 03 24. 59pp.
- Bergqvist, P.A. and A. Zaliauskiene, 2007b. Investigation of chemicals released from Malmøykalven dumping area. Polychlorinated biphenyls. Project report 2006N-001. ExposMeter AB, Tavelsjö, 2007 03 24. 46pp.
- Bjerkeng, B., M.Schaanning og A.Tobiesen, 2002. Opprydding av forurensete sedimenter – Risiko for skadelige effekter på organismer under etablering av dypvannsdeponi ved Malmøykalven. NIVA-notat, 05.11.02, O-21362. 13 s.
- Cornelissen, G., Pettersen A., Broman, D., Mayer, P. og Breedveld, G.D., 2007. Equilibrium passive samplers to determine freely dissolved native PAH concentrations in field and laboratory. Environ. Toxicol. Chem (in press).
- Davison, W. and H.Zhang, 1994. In situ speciation measurements of trace components in natural waters using thin-film gels. *Nature*, 367, 546-548.
- Eek, E. og M.Schaanning, 2000. Oslo Havn – Deponering av sediment. Risiko for spredning av miljøgifter under etablering av dypvannsdeponi. Laboratorietester og simuleringsforsøk. NGI/NIVA rapport. 4217-2000. ISBN 82-577-3838-7. 47 pp + app. A-C.
- HAV, 2005. Søknad om etablering av dypvannsdeponi. Oslo Havn KF, 30.06.2005.
- Huckins, J.N., Manuweera, G.K., Petty, J.D., Mackay, D. and Lebo, J.A., 1993. Lipid containing semipermeable membrane devices for monitoring organic contaminants in water. Environ. Sci. Technol. 18, 439-444.
- Løken, A.M., S.A.Nøland og N. Tidemand, 2007. Uavhengig revisjon av Secora AS og Oslo HAV prosjekt. Veritas rapport 2007-1626. 17.12.07. 50s.
- Pettersen A., A.M.P.Oen, E.Eek og A. Helland, 2007. Overvåking av forurensning ved mudring og deponering - Resultater fra sedimentfelleundersøkelser 1. halvår 2007. NGI-rapport nr. 20051785-28, 29.08.2007. 17s.
- Pettersen, A. og G. Cornelissen, 2007. Overvåking av forurensning ved mudring og deponering - Passive prøvetakere - Resultater fra April 2007. NGI-rapport nr. 20051785-32, 09.10.2007. 14s.
- Røyset, O., Ø.A.Garmo, E.Steinnes and T.P.Flaten, 2003. Performance study of diffusive gradients in thin films (DGT) for 55 elements. *Anal.Chem.*, 75(14), 3573-3580

- Saga, 1994. Miljøprogram i forbindelse med brønn 7219/8-1s i Barentshavet. Report prepared by Saga Petroleum a.s, Divisjon for Teknologi og utbygging. 10. mars 1994. Saga report R-TIY-0003.
- Schaanning, M.T, Bjerkeng, B., 2001. Opprydding av forurensete sedimenter i Oslo Havn. Etablering av dypvannsdeponi ved Malmøykalven. Modell og estimater for spredning av miljøgifter. NIVA-rapport 4438-2001, 49 s.
- Schaanning, M., Bjerkeng, B., Helland, A., Høkedal, J., 2006a. Dypvannsdeponi ved Malmøykalven. Undersøkelser av partikkel- og miljøgiftspredning under prøvedeponering. NIVA rapport 5221-2006. 44s+appendix.
- Schaanning, M.T., A. Helland, O. Lindholm, H.C. Nilsson, C. Vogelsang, 2006b. Miljøgiftregnskap for tiltaksområder i Oslo Havn. NIVA rapport 5154-2006. 39s.
- Schaanning M., C. Harman, E. Alve, 2007. Spredning av partikler og miljøgifter under deponering av masser i dypvannsdeponiet ved Malmøykalven. NIVA rapport 5501-2007. 54 s.
- SFT, 2005. Tillatelse til etablering av dypvannsdeponi ved Malmøykalven og deponering av forurensete sedimenter. Utslippstillatelse, 20.09.2005. 11pp.

Vedlegg A. SFT utslippstillatelse 20.09.05, pkt 6.

6. Transport og nedføring av masser i deponi

- 6.1. Transport og håndtering av masser skal gjøres slik at det blir minimal spredning av forurensning. Eventuelt søl og mengde som søles skal loggføres.
- 6.2. Det er kun tillatt å deponere sedimenter som kommer fra mudring i sjø i indre Oslofjord. Det tillates ikke å deponere masser fra graving på land dvs. masser hentet på innsiden av dagens strandlinje. Masser som legges i dypvannsdeponiet bør ha et lavest mulig vanninnhold slik at det er optimalt mht videre håndtering og deponering av massene.
- 6.3. Nedføring av masser skal foregå med en metodikk og på en slik måte at sedimentet så raskt som mulig synker til bunns, og slik at det blir minst mulig oppvirvling og spredning av forurensete sedimenter. Sedimentene/massene skal føres så langt ned mot bunnen som praktisk mulig for de slippes. Oslo Havn KF skal til enhver tid forsikre seg om at tettheten til massene er slik at partiklene sedimenterer raskt. Saltinnholdet i overskuddsvannet i sedimentene skal måles etter mudring og før nedføring av masser. Saltlake skal tilsettes dersom overskuddsvannet har en lavere saltholdighet enn bunnvannet i deponiområdet.
- 6.4. Ved innfylling i deponi skal det til enhver tid være kontroll på stabiliteten til deponiet.
- 6.5. Grenseverdien for turbiditet settes lik 5 NTU over turbiditeten på referansestasjonen jf kap. 8.1. Ved overskridelse av grenseverdien over en periode på 20 minutter, skal arbeidene stanses umiddelbart, årsaksforholdene avklares og nødvendige tiltak gjennomføres. Prosessen kan ikke startes opp før turbiditeten er nede på stabile nivåer under grenseverdien. Rutiner og eventuelle tiltak skal beskrives i internkontrollsystemet.
- 6.6. Tidspunkt for og varighet av eventuell stopp i nedføring av masse som følge av overskridelse av grenseverdien for turbiditet skal loggføres. Oversikten skal være tilgjengelig for forurensningsmyndigheten.
- 6.7. Ved overskridelse av turbiditeten og for å måle eventuell spredning av partikler på utsiden av tersklene, skal det tas kjemiske analyser av partikler.
- 6.8. Vinterstid, når det kan forventes en dypvannsutsiftning, skal det gjennomføres strømmålinger ved Drobakterskelen. Når strømmålinger ved Drobak indikerer at en dypvannsutsiftning kan finne sted, skal strømmålere ved deponiområdet følges kontinuerlig. Arbeidet skal stanses når det måles eroderende strøm, jf pkt 8.
- 6.9. Oslo Havn KF skal fore oversikt over volum masse som er deponert.

Vedlegg B. Utdrag fra NGI's kontrollplan.

3.1 Overvåking av turbiditet rundt deponiområdet

Henvisning til SFTs tillatelse: Punkt 6.5, 6.6, 6.7 og 8.1.

Ansvarlig for kontroll: Byggherre (generell overvåking utenfor deponiets grenser) og entreprenør (operasjonell overvåking knyttet til nedføringen av sedimenter).

Hensikt

Ved deponering av forurensede sedimenter i dypvannsdeponiet, skal turbiditet måles for å oppdage eventuell uønsket spredning av partikler under deponeringen. Med uønsket spredning menes spredning til sprangsjiktet ved nedføringsprosessen, samt spredning ut over dypvannsdeponiets område.

Målinger

Byggherre:

Turbiditet skal måles i faste stasjoner innenfor tersklene (MP1 og MP4), ved nordre grense for deponiet (MP2), ved nordøstre grense for deponiet (MP3) og ved en referansestasjon (TRef), se plassering av stasjonene i figur i kap. 8.

Målesensorene plasseres 3-5 m over sjøbunnen, dvs. ved 45 m dybde ved MP1, 60 m dybde ved MP2, 65 m dybde ved MP3 og ved 55 m dybde ved MP4.

Målingene skal ikke ligge mer enn 5 NTU over verdien ved referansestasjonen for turbiditet. Manuelle kontrollmålinger i hele vannsøylen (profil) øvrig på deponistedet tilpasses fremdriften i deponeringen.

Entreprenør:

Under deponering skal turbiditet måles i en stasjon som er påvirket av nedføringsprosessen. Manuelle målinger av turbiditet skal ved nedføringsprosessen minimum loggføres for hver 5. meter i sprangsjiktet (dvs. til ca. 40 m dybde) og mot sjøbunnen. Eventuelle signifikante utslag ut over disse dybdene skal også loggføres.

Kontroll

- *Byggherrens kontrollansvarlige* følger målingene og varsler anleggsledelsen ved overskridelse av tillatte verdier ved MP1, MP2, MP3 eller MP4, påser at arbeidene stoppes dersom overskridelsen varer mer enn 20 minutter og at nødvendig justering av metoder foretas. Dersom årsaksforholdene ikke skyldes ytre faktorer, skal det tas vannprøver for kjemisk analyse ved aktuell turbiditetsmåler samt ved referansestasjonen for turbiditet. Prøvene analyseres for tungmetaller, PAH, PCB, TBT og mineralolje.
- *Entreprenørens kontrollansvarlige* følger målingene påvirket av nedføringsprosessen. Dersom målt turbiditet i sprangsjiktet er mer enn 5 NTU over verdien ved referansestasjonen i mer enn 20 minutter, skal arbeidene stoppes og nødvendig justering av metoder foretas. Dersom årsaksforholdene ikke skyldes ytre faktorer, skal det tas vannprøver for kjemisk analyse ved aktuell turbiditetsmåler samt ved referansestasjonen for turbiditet. Prøvene analyseres for tungmetaller, PAH, PCB, TBT og mineralolje.
- Ved behov vil manuelle strømmålinger benyttes for å avklare hvorvidt økning i turbiditet skyldes deponeringen eller eksterne forhold.
- Kontroll utføres kun når deponeringsarbeider foregår. Hyppighet og omfang av overvåkingen vurderes underveis.

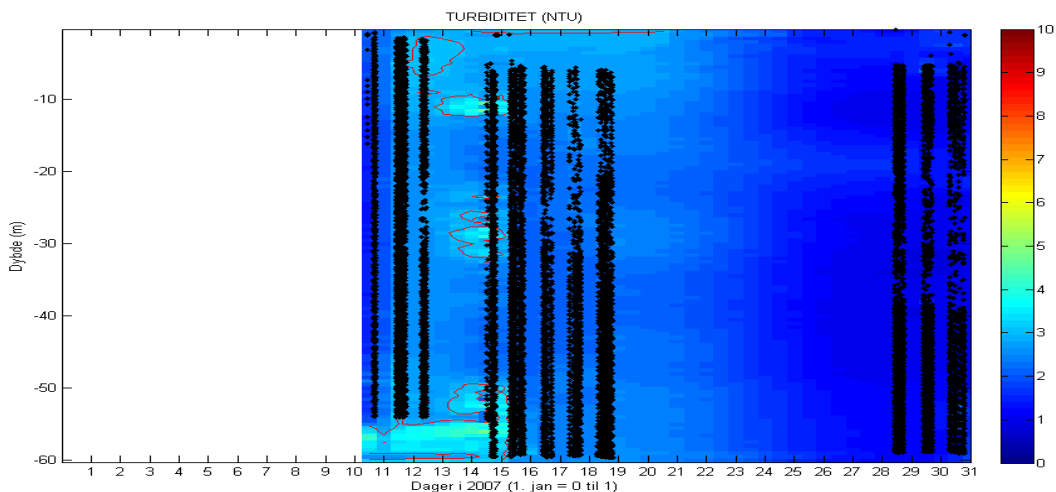
Rapportering

Avvik behandles fortløpende, og eventuelle avviksskjemaer som utarbeides vedlegges den aktuelle ukerapporten. Alle måledata og analyser rapporteres til SFT i årsrapportene.

Vedlegg C. Kronologisk gjennomgang av turbiditet og strøm-målinger jan.-nov. 2007

Januar 2007

Figur 16 viser turbiditetsmålingene fra de fem målepunktene. Ved MP1 og MP4 er verdien under 0.5 NTU i hele januar. Ved MP2 er verdien under 1.5 NTU i hele måneden. Ved MP3 er det høye verdier fra 16. til 21. januar. Tabell 4 viser at strømforholdene målt på MP3 er stabile i hele januar. Reststrømmen er 1.3 cm/s i retning 292°. Strømretningen er hovedsakelig fra MP3 og mot MP1. De forhøyede verdiene ved MP3 er derfor vanskelig å relatere til hendelser inne i deponiområdet. Figur 29 viser at det mangler turbiditetsmålinger ved nedføringsenheten fra 1. til 10. januar og fra 19. til 29. januar.



Figur 29: En oversikt over turbiditet målt ved nedføringsenheten i januar 2007. Tidsskalaen er dager i 2007. 1. januar 00:00 er definert som null. Turbiditet over 3 er markert med røde konturlinjer.

Hendelse 15. januar 2007

Figur 14 viser turbiditet målt ved nedføringsenheten den 15. januar. Trekkes det en rett linje fra overflaten til bunnen i forkant og etterkant av partikkelskya, kan største og minste synkehastighet anslås. Synkehastigheten ser ut til å ligge mellom 6 cm/s og 0,7 cm/s. Ifølge Saga (1994) vil disse verdiene tilsvare partikler fra 0.6 mm til 0.1-0.2 mm i diameter.

Figur 15 viser seks turbiditetsprofiler registrert 15. januar mellom kl 16:47 og 18:13. Den første profilen 16:47-16:59 viser et kraftig maksimum på over 33 NTU i 12 m dyp. I dette laget avtok turbiditeten raskt, men små maksima viste at rester av partiklene hang igjen i hele perioden. Resten av vannsøylen viste ingen verdier over bakgrunn. Den andre profilen 16:59-17:15 viser maksimumsverdi ved 25 m dyp. Samtidig ses en økning av turbiditeten like under 50 m dyp. De etterfølgende profilene viser at maksimumsverdiene midt i vannsøylen avtok langsomt fra 12 til 5 NTU samtidig med at maksimumet forplantet seg nedover fra ca 25 til ca 30 m dyp. Den tredje profilen (17:15-17:30) viser maksimumsverdi på ved 52 m dyp. De fire siste profilene viser maksimumsverdier i 50-55m dyp, avtagende fra 12 til 7 NTU.

Strømretningen skulle tilsi at partiklene føres i retning MP1 eller MP4 men begge disse to og MP4 viste turbiditet under 1 NTU hele denne dagen og også dagen etter. MP3 hadde tekniske problemer og sendte ingen data i perioden 15.01. kl 19:20 til 16.01. kl 13:50. Imidlertid viste denne måleren normale verdier på 1-1,5 NTU om ettermiddagen 15.01., mens den etter oppstart den kl 13:50 dagen etter viste betydelig økende verdier opp mot ca 9 NTU ved midnatt. Strømretningen gjør det vanskelig å koble episoden ved nedføringsenheten til de forhøyete verdiene ved MP3, og vi klassifiserer dette som en type B hendelse. Nedsynkingen så ut til å gå relativt langsomt og turbiditeten ved bunnen ble ikke spesielt høy, noe som tyder på et moderat stort utslipp.

Fra 16. til 19. januar er det ikke målt forhøyede verdier ved nedføringsenheten, samtidig med at turbiditetsoverskridelser ved MP3 medførte varsling og stans i arbeidene i perioden 19.-21. januar.

Figur 18 viser at turbiditeten ved 30 m dyp var over grenseverdien på 5.5 NTU (Tref + 5.0) i omtrent 40 minutter.

Iflg. NGI's månedsrapport for januar 2007 ble det ikke sendt data fra MP3 fra 15.01. kl 19:20 til 16.01. kl 13:50 (avvik nr. 48), og det ble varslet avvik for flere overskridelser ved MP3 19. og 20.01. (avvik nr. 46) med påfølgende stans i nedføringen 20.-22.01. Iflg. månedsrapporten har det "ikke vært søl eller andre uønskede hendelser i forbindelse med mudring, transport eller nedføring av sedimenter."

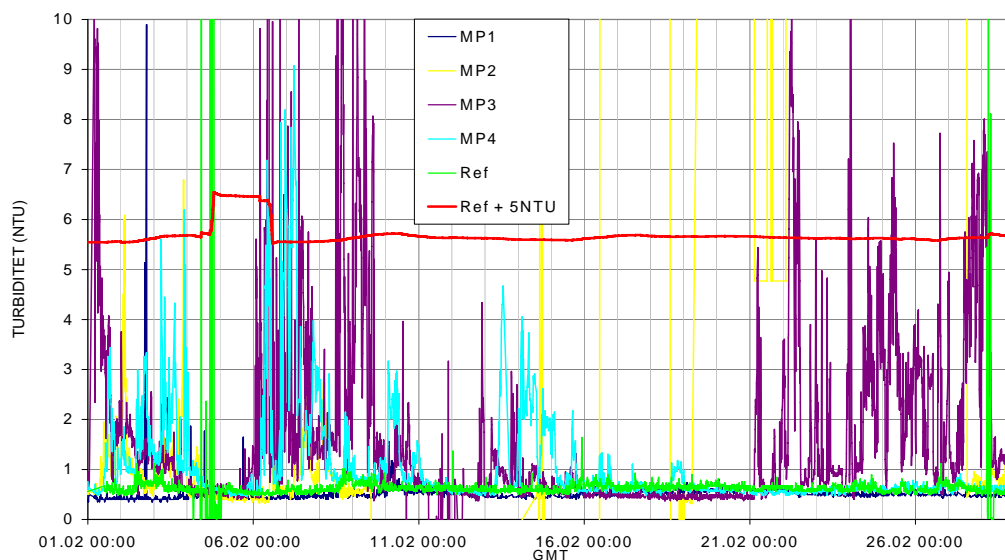
Februar 2007

Figur 17 viser turbiditetsmålingene fra de fem målepunktene MP1-MP4 og Tref. Ved MP1 er verdien under 0.5 NTU i hele februar. Ved MP2 er det to tilfeller hvor turbiditeten er opp mot 1.5 med lokale topper som er over grenseverdien (5.5 NTU) den 2. og 3. februar. Fra 9. til 27. februar er MP2 ute av drift. Ved MP3 er det verdier opp mot 10 NTU 1. februar. I periodene fra 6. til 9. og fra 21. til 28. februar er det målt verdier godt over grenseverdiene ved MP3. Ved MP4 er det målt forhøyede verdier 1. til 3. februar. Fra 6. til 7. februar er det målt flere topper hvor den største er over 9 NTU. Fra 13. til 15. februar er det forhøyede verdier opp mot 4 NTU.

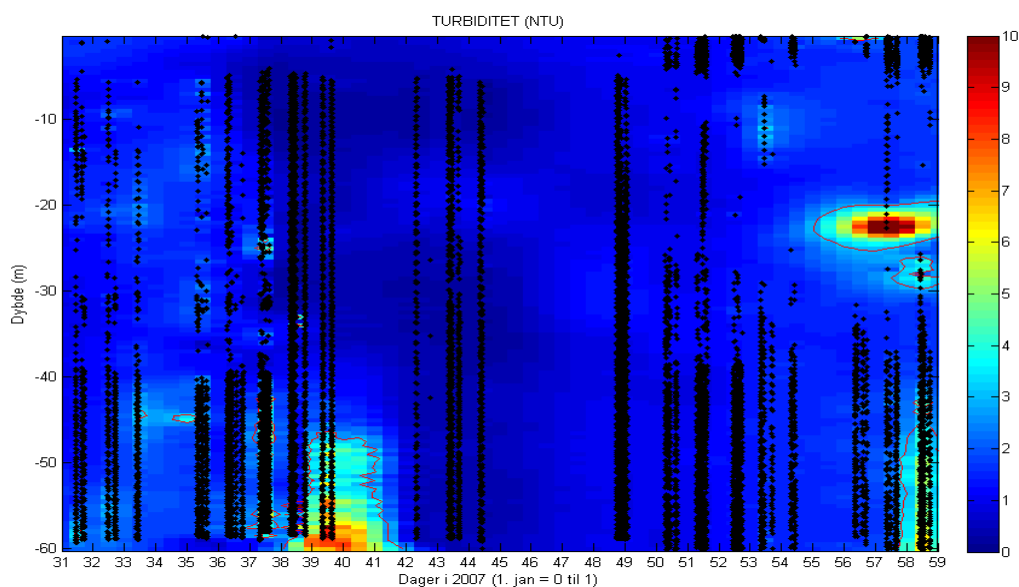
Strømforholdene skifter i begynnelsen av februar. Til og med 6. februar går strømmen i hovedsak vestover, men retningen varierer mye. Det måles ikke forhøyet turbiditet ved MP1. Fra 6. til 9. februar går strømmen stabilt i retning av MP4, og det er i samme periode observert høy turbiditet både ved MP4 og MP3. Dette tyder på at samtidig som partikler spres ut av deponiet mot sør ved MP4, transporteres partikler nordfra og inn i deponiet ved MP3. Resten av måneden peker strømmen mot MP3, og turbiditetsmåleren viser forhøyete verdier hele den siste uka i februar.

Den høye turbiditeten på MP2 og MP4 er omtalt i avvik nr. 49 og 51 (NGI månedsrapport, februar 2007). Sannsynlig årsak var at nedføringsrøret stod 7-8 m over bunnen. Dette ble klart i møte 5. februar 2007. Arbeidet ble stanset 9. februar og forholdet utbedret påfølgende uke.

Iflg. månedsrapporten har det "ikke vært søl eller andre uønskede hendelser i forbindelse med mudring, transport eller nedføring av sedimenter."



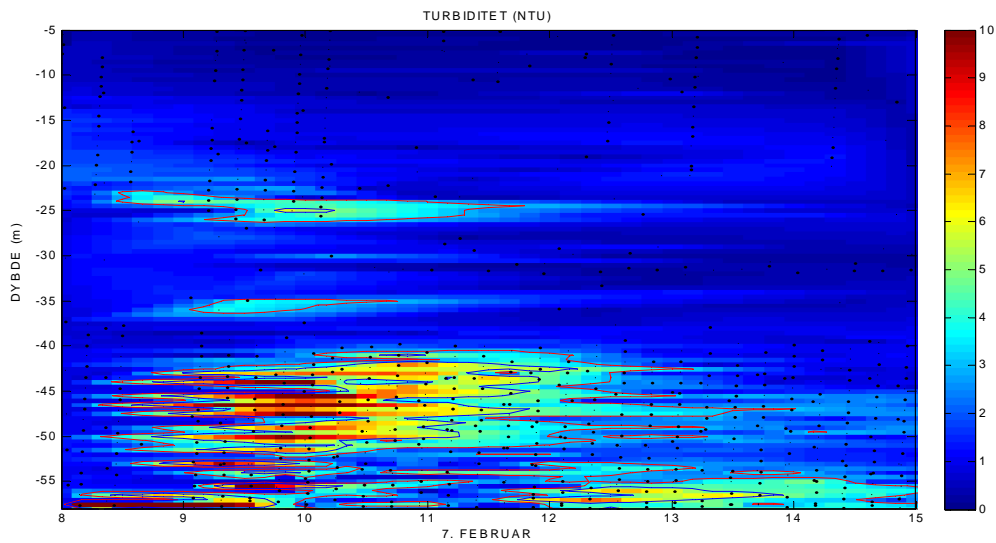
Figur 30: Målt turbiditet i februar 2007.



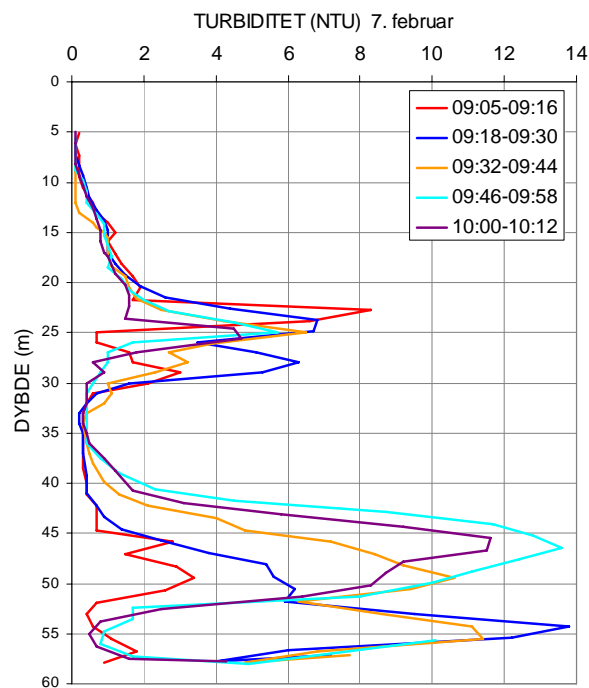
Figur 31: Målt turbiditet ved nedføringsenheten i februar 2007. Tekniske problemer med dybdesensoren på måleren gjør at datagrunnlaget i perioder er svært dårlig midt i vannsøylen. Utslaget 27. februar skyldes en enkelt måling og blir ikke vurdert som hendelse.

Hendelse 7. februar 2007

Hendelsen 7. februar (**Figur 32**) viser forhøyet turbiditet ved ca 20 m dyp og under 40 m. Maksimumsverdiene var 8 NTU over terskeldyp og 14 NTU under terskeldyp (**Figur 33**). I 25 meters dyp ligger turbiditetsnivået over grenseverdien på 5,5 NTU i 30 minutter.



Figur 32: Turbiditet målt ved nedføringsenheten 7. februar. Norsk normalt tid (GMT+1) vises på x-aksen.



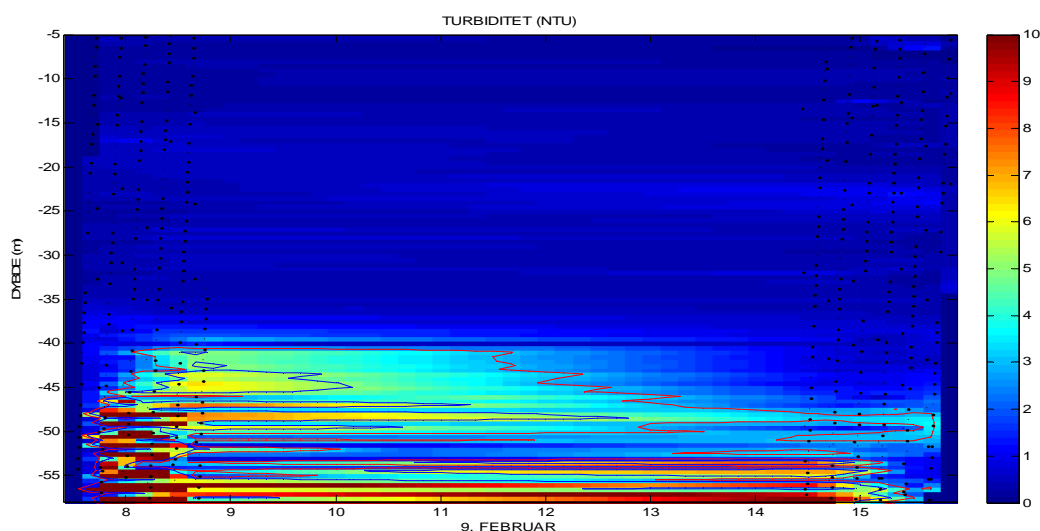
Figur 33: Turbiditetsprofiler 7. februar. Figuren viser bare målingene registrert under heising av måleren fra bunn til overflate.

Formen på den fremre randen av skya, tyder på at partikler virvles opp fra bunnen. Helningen på en rett linje trukket langs skyas bakre rand gir en synkehastighet på 0,3 cm/s, som i følge Saga (1994) tilsvarer partikler med 0,05-0,1 mm i diameter. Omtrent 13 timer etter denne hendelsen er det målt en økt turbiditetsverdi ved MP4 på opp til 4 NTU. Med en strømhastighet på 1 cm/s vil partiklene ha beveget seg omtrent 470 meter som stemmer bra med avstanden til nedføringsenheten. Hendelsen er derfor kategorisert som type C hendelse med spredning utover sydenden av deponiet.

Hendelse 9. februar 2007

Hendelsen er vist i **Figur 34**. Klokket 07:00 GMT starter det tilsynelatende en oppriving av masser til ca 40 meter dyp. Turbiditetsmåleren slutter å gå 7:50 GMT, men turbiditeten er fremdeles forhøyet i vannsøylen nær bunnen når måleren begynner å gå igjen kl 13:30 GMT. Strømmen i forkant av denne episoden er stabil i retning MP4. Med en strømhastighet på 1 cm/s beveger en partikkel seg 650 meter på 18 timer. Omtrent 02:00 GMT den 10. februar observeres det en økning i turbiditet ved MP4 fra 1 til 2-3 NTU. Forhøyningen vedvarer i 8 timer. Hendelsen kategoriseres som type C-hendelse med spredning utover sydenden av deponiet.

Hendelsene både 7. og 9. februar kan skyldes trolig at røret var ute av posisjon slik beskrevet i avvik nr 49 og 51.

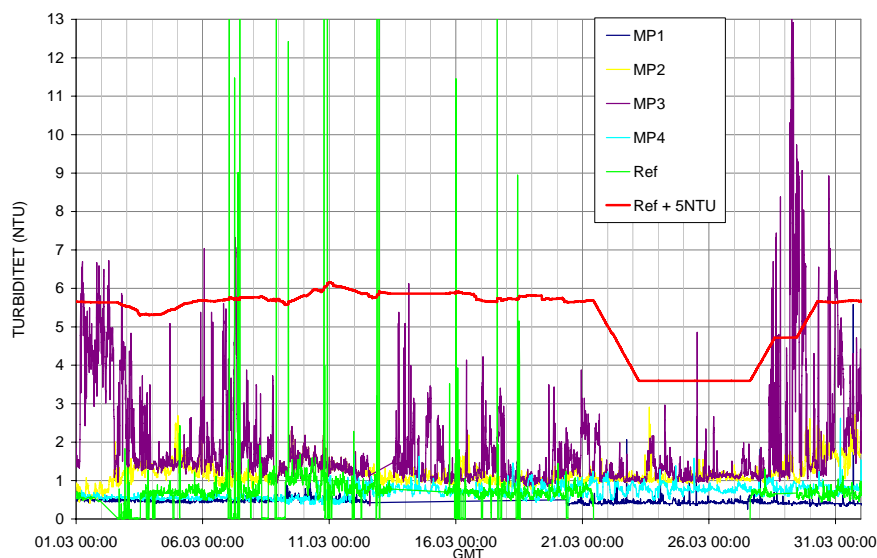


Figur 34: Turbiditet målt 9. februar. Norsk normalt tid (GMT+1) vises på x-aksen. Det mangler data fra klokka 8:50 til 14:30.

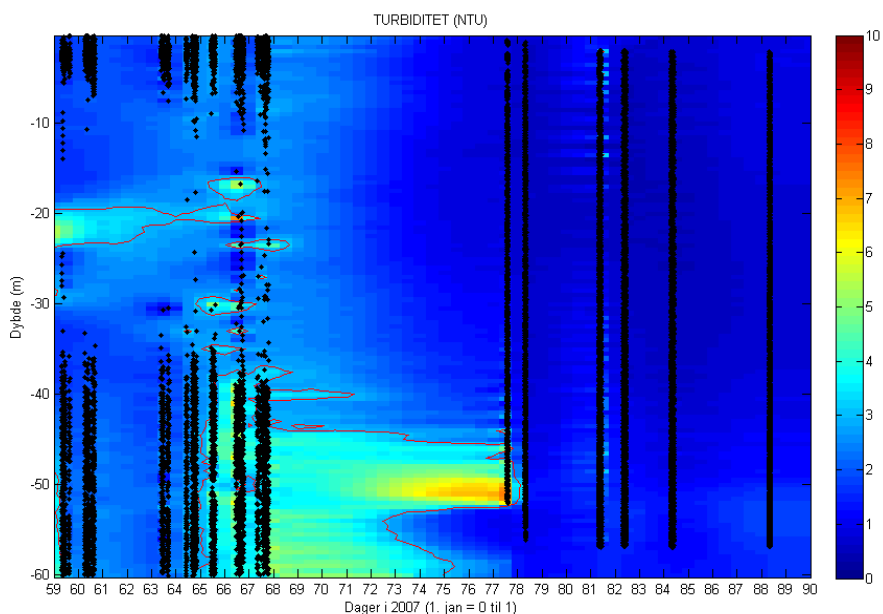
Mars 2007

Figur 35 viser resultatene fra de fem turbiditetsmålerne langs kanten av deponiområdet. Ved MP1 er verdien rundt 0.5 NTU i hele februar. Ved MP2 ligger verdien på 1-2 NTU og ved MP4 er den under 1 NTU. Fra 1. til 3. mars er det målt forhøyede verdier ved MP3. Toppene er på over 6 NTU. I hele perioden viser denne måleren flere toppe med verdier mellom 4-5 NTU. Fra 28. – 31. mars er det en sterk forhøyning, med maksimum på 13 NTU. Dette medførte varsling og stans i nedføringen (avvik nr. 63). Det er også en liten forhøyning av turbiditeten ved MP2 fra 30. mars. Iflg. månedsrapporten har det ”ikke vært søl eller andre uønskede hendelser i forbindelse med mudring, transport eller nedføring av sedimenter.”

Strømmen er stabil i hele mars, og går østover. Figur 36 viser at datagrunnlaget fra måleren på nedføringsenheten er dårlig.



Figur 35: Målt turbiditet mars 2007.



Figur 36: Målt turbiditet i mars 2007. Datagrunnlaget er dårlig for hele måneden og de fargete områdene gir ikke et realistisk bilde av turbiditeten i perioden mellom to måleserier.

Hendelser 23. og 24. mars 2007

Figur 11 viser tre hendelser. Rett før 09:00 GMT skjer det noe som fører til høye verdier over sprangsjiktet, og deretter en sky som enten virvles opp fra bunnen eller synker sakte ned og blir hengende mellom 30 og 50 meter i opp til 50 minutter.

Rett etter 14:30 GMT skjer det en dramatisk hendelse, trolig en åpning av en lektre (DNV, pers.med.), som fører til høye turbiditetsverdier i hele vannsøylen til maksimum 25 NTU over terskeldyp, 56

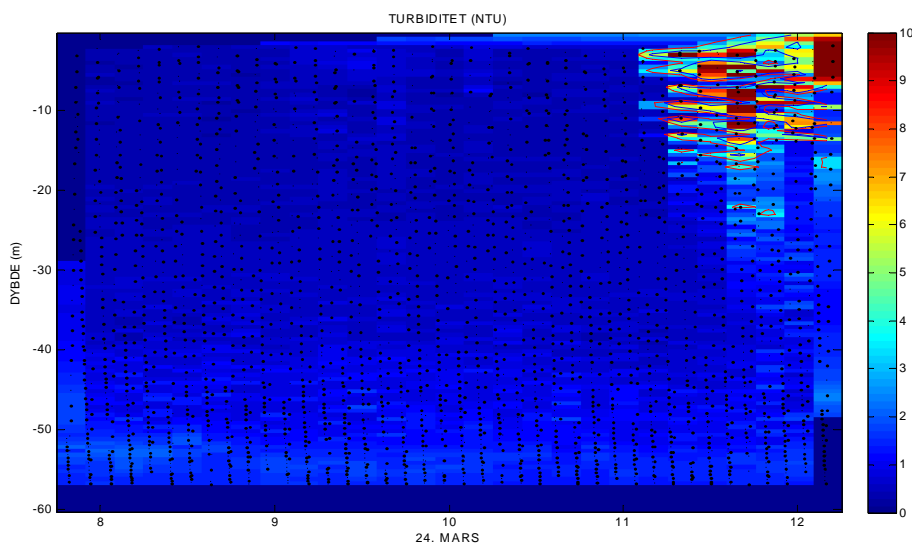
under terskeldyp. Figur 13 viser at turbiditeten i 15 til 25 meters dyp er over grenseverdien i over 20 minutter. Partikkelskyen over bunnen strekker seg opp til over terskeldyp med vedvarende turbiditet over 20 NTU i 40 m dyp. På grunn av manglende målinger er det umulig å si hvor lenge disse forhøyede verdiene varer.

Ca kl 16 GMT skjer det en tredje hendelse som ikke kan beskrives på noen god måte fordi turbiditetsmålingene avsluttes for dagen kort tid etter utslippet.

Figur 37 viser en fjerde hendelse med turbiditeter over grenseverdien mellom 5 og 12 meter i over 20 minutter. Det måles ikke forhøyede verdier nær bunn under lekteren, men målingene avsluttes for tidlig til at dette kan utelukkes.

Figur 12 viser at turbiditetsnivået i perioden er stort sett lavt ved alle målerne langs kanten av deponiet, men med noen topper av kort varighet ved MP3. Posisjonen til nedføringsenheten mellom 23. mars og 2. mai er vist i Figur 24. Det er omtrent 550 meter til målepunkt MP3. En partikkel som beveger seg med 2 cm/s vil bruke 7.5 timer på å tilbakelegge denne avstanden.

Den første hendelsen 23. mars er av type A, men med liten grad av spredning ut av deponiet. De øvrige hendelsene er av type B, hvor det ikke blir målt spredning ut av deponiet. Dette til tross for at utslippene 23.03. må ha vært av betydelig omfang.



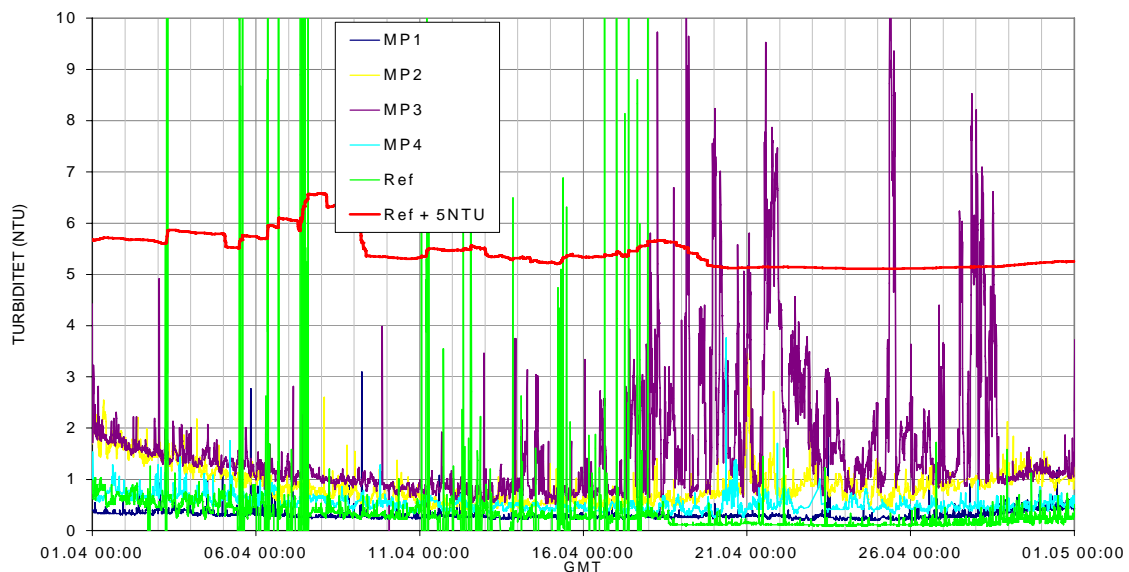
Figur 37: Målt turbiditet 24. mars 2007. Tiden er angitt i norsk normaltid (GMT+1).

April 2007

Figur 38 viser målt turbiditet ved bunnmålerne i april. Ved MP1 ligger turbiditeten på 0.5 NTU. Ved MP4 går verdien opp mot 1 NTU. Verdiene ved MP2 og MP3 synker ned fra de forhøyede verdiene

som ble observert i slutten av mars. Verdien på begge disse målerne avtok fra 2 NTU 1. april og til under 1 NTU 13. april. Etter ca 18.04. viser MP3 forhøyede verdier med topper langt over grenseverdien (avvik nr. 66, 67, 68, 74 og 75). Det er også enkelte forhøyede verdier ved MP2 (opp mot 3 NTU) i denne perioden.

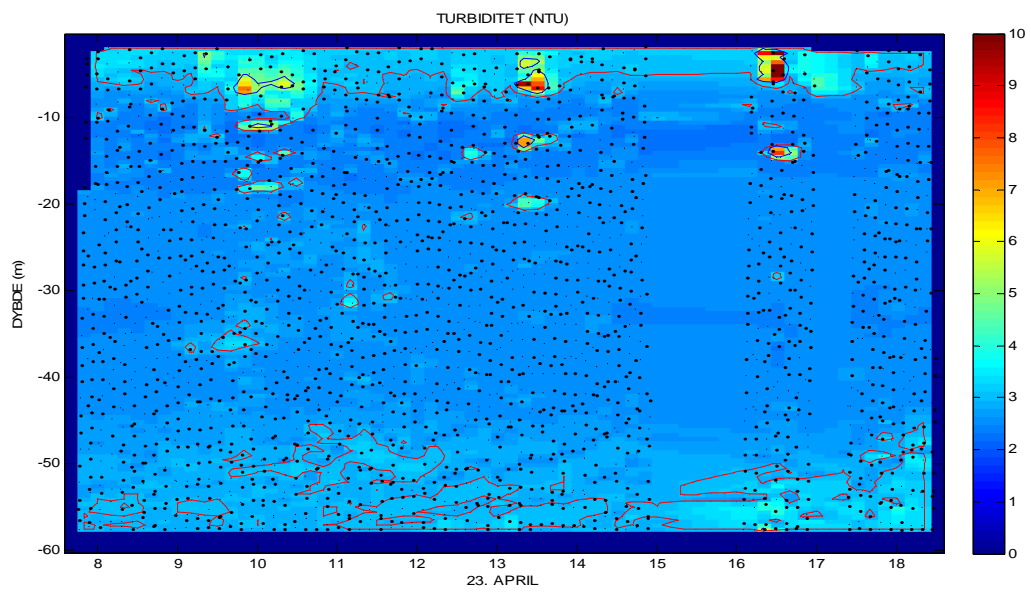
Strømmåleren ved MP3 viser den samme stabile strømmen i april som i mars. Iflg. månedsrapporten har det "ikke vært søl eller andre uønskede hendelser i forbindelse med mudring, transport eller nedføring av sedimenter."



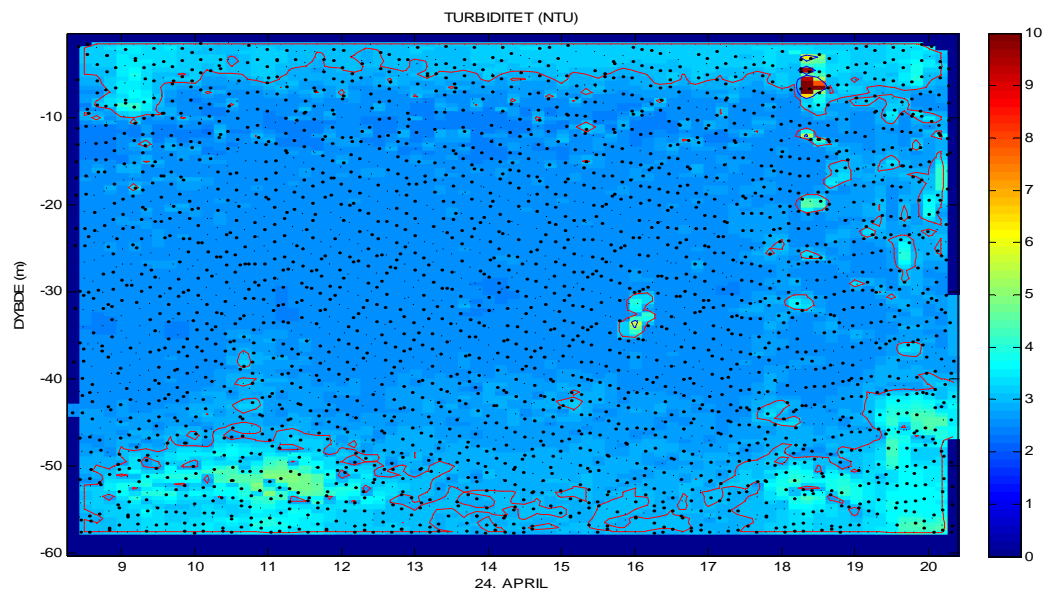
Figur 38. Målt turbiditet i april 2007.

Hendelser 23. til 26. april 2007

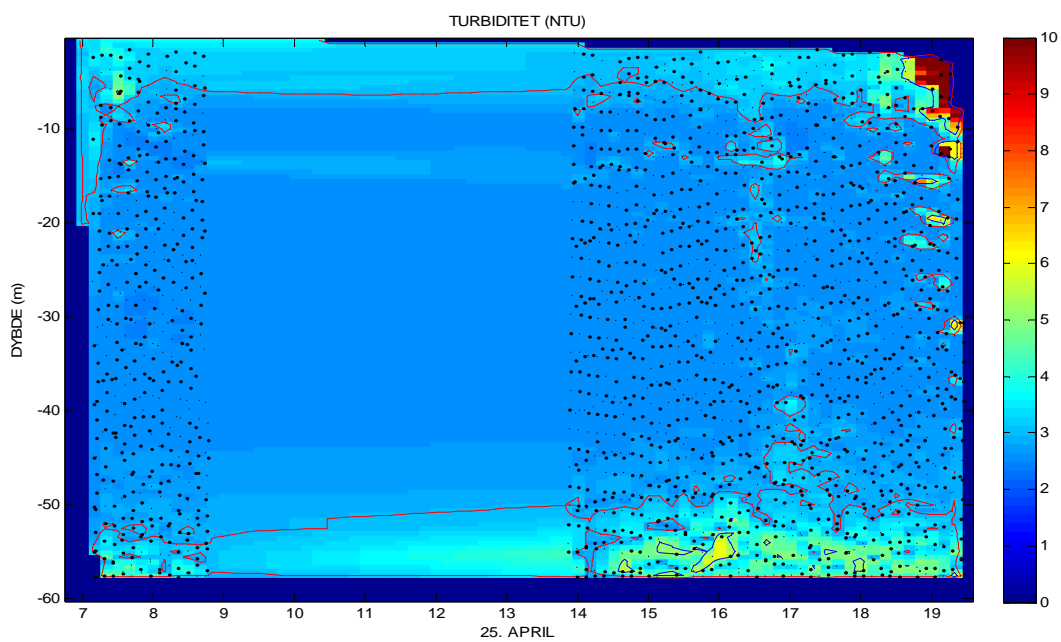
Figur 39 til Figur 42 viser målt turbiditet fra 23. til 26. april. I denne perioden forekommer det 5 tilfeller av turbiditet over 10 NTU i overflatelaget. Samtlige hendelser gir bare små økninger av turbiditeten i overflatelaget og ingen klare økninger ved bunnen.



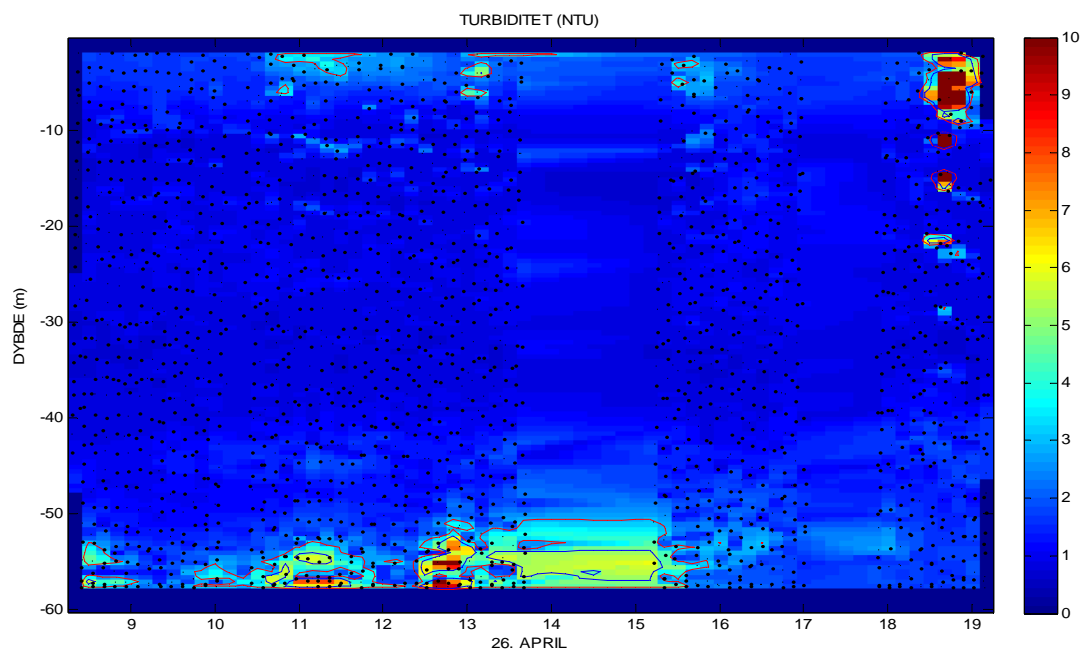
Figur 39: Målt turbiditet 23. april. To hendelser forekommer, en 11:30 GMT og en 14:30 GMT.



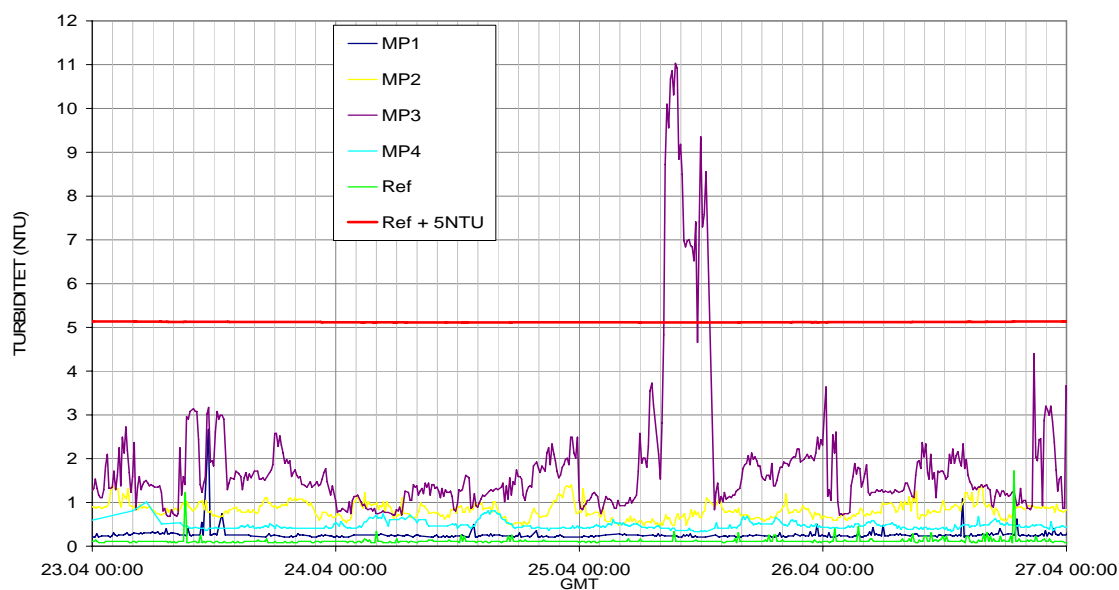
Figur 40: Målt turbiditet 24. april. En hendelse forekommer 16:30 GMT.



Figur 41: Målt turbiditet 25. april. En hendelse forekommer på slutten av måleperioden 17:00 GMT.



Figur 42. Målt turbiditet 26. april. En hendelse forkommer 16:30 GMT.



Figur 43: Målt turbiditet ved bunnmålerne fra 23. til 26. april.

Figur 43 viser turbiditet ved bunnmålerne fra 23. til 26. april. De to hendelsene 23. april fører ikke til økt turbiditet ved bunnmålerne. 15 timer etter hendelsen 24. april øker turbiditeten ved MP3 kraftig over en periode på 4-5 timer, men det er ikke trolig at det er en sammenheng mellom de to hendelsene, dels fordi det går litt lang tid og dels fordi signalet i bunnvannet ved nedføringsenheten var svakt sammenlignet med det relativt sterke signalet ved MP3. Hendelsen 25. april etterfølges av en svært kortvarig topp på verdien ved MP3 etter omtrent 5 timer. Den 26. april skjer det sammen, men da etter 4 timer.

Den 25.04 fra 08:20 til 12:50 GMT er verdien ved MP3 over grenseverdien med verdier opp til 11 NTU. Dette kan tyde på at hendelsene har medført noe økt spredning ut av deponiet, men koblingen er mangelfullt dokumentert fordi målingene ved nedføringsenheten i hht prosedyre avsluttes med en gang nedføringen er skjedd slik at eventuell seinere økning av turbiditeten ikke er observert. Alle hendelsene kategoriseres derfor som type B hendelser, hvor partiklene blir hengende igjen over sprangsjiktet med risiko for transport ut av området.

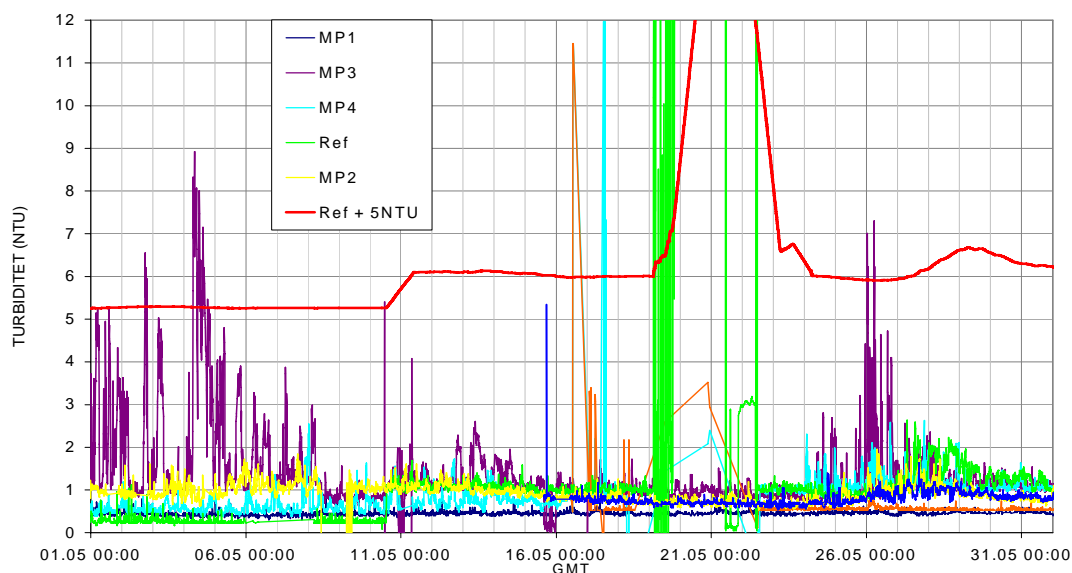
Mai 2007

Figur 44 viser målt turbiditet i mai 2007. Referansemåleren ligger på under 0.5 NTU, helt til 11. mai hvor den plutselig spretter opp til 1 NTU. Ved MP1 ligger turbiditeten på 0.5 NTU hele måneden. Ved MP2 ligger verdien på rundt 1 NTU, men det forekommer litt forhøyede verdier i perioder, blant annet fra 26. til 28. mai.

Fra 1. til 8. mai er det forhøyede verdier ved MP3, spesielt 4. mai hvor verdiene er over grenseverdien. Disse ble varslet og anleggsarbeidene stanset (avvik nr. 72, 78). Turbiditeten ligger så på rundt 1 NTU. Fra 24. til 28. mai er det forhøyede verdier igjen, hvor den høyeste verdien på 7 NTU forekommer 26. mai. Fra og med 16. mai er det ved MP3 også målinger i 50 meters dyp. Turbiditeten ligger her under 0.5 NTU hele resten av perioden.

Ved MP4 er turbiditeten rundt 1 NTU, helt til perioden 24. til 28. mai hvor det er litt forhøyede verdier. Ved referansemåleren forekommer det forhøyede verdier fra 28. til 29. mai.

Iflg månedsrapporten har det "vært to episoder med søl av sedimenter fra lekter ved nedføringsenheten i den aktuelle perioden", men vi har ikke funnet noen presis beskrivelse av de to episodene i avviksmeldingene eller sammendraget i månedsrapporten.



Figur 44: Målt turbiditet ved bunnmålerne mai 2007.

Strømforholdene skifter i mai. Til og med 6. mai er strømforholdene stabile slik som i mars og april. Fra 6. til 10. mai er det en mer ustabil og sørgående strøm. Denne er til gjengjeld ganske sterk, med strømstyrke på 5 cm/s. Dette ser ut til å gi en viss forhøyning av turbiditet ved MP4, selv om verdien der fortsatt er under 2 NTU.

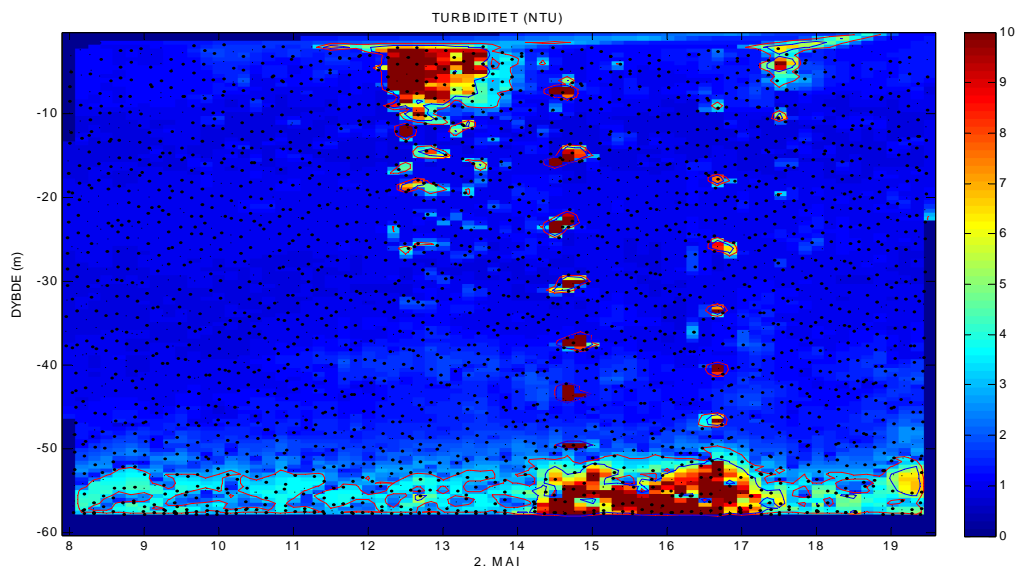
Hendelse 2. mai 2007

Den 2. mai ble det identifisert tre hendelser (Figur 45). Fra omtrent 10:15 GMT til 11:30 GMT, er det forhøyede turbiditetsverdier i overflata og ned til omtrent 10 meter. Klokket 12:30 GMT er det høye verdier i hele vannsøylen. Det ser ut til at det fra bunn virvles opp partikler til 50 meters dyp, og at det tar ca 3 timer før turbiditeten er tilbake på bakgrunnsnivå. Klokket 14:30 ser vi en ny hendelse med forhøyede verdier i hele vannsøylen.

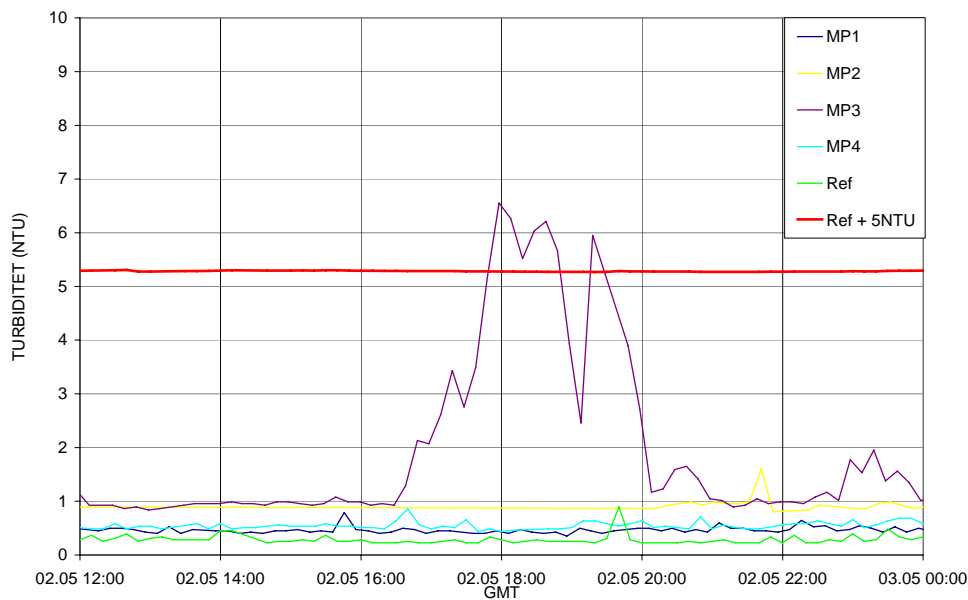
Figur 46 viser målt turbiditet ved de bunnmonterte målerne. Verdien ved måler MP3 er over grenseverdien på 5.3 NTU fra 17:48 GMT til 18:49 GMT, og fra 19:15 GMT til 19:27 GMT. Den målte strømmen ved MP3 er stabil i perioden, og er omtrent $2,1 \pm 0,4$ cm/s i retning $83^\circ \pm 10^\circ$. Fra hendelsen 12:30 GMT til den første overskridelsen av grenseverdien, kan partikler fra nedføringen ha beveget seg omtrent 450 meter østover. Avstanden mellom nedføringsenheten og MP3 er omtrent 550 meter. Den andre overskridelsen starter en og en halv time etter den første. Dette passer bra med de forhøyede turbiditetsverdiene som er målt i vannsøylen halvtimen før 15:00 GMT.

Det er altså sannsynlig at nedføringene 2. mai fører til overskridelse av grenseverdi for turbiditet og at masser spres seg ut av deponiet. Dvs at de to siste hendelsene den 2. mai kan kategoriseres som type A. Hendelsen ble fanget opp av kontrollprogrammet, varslet og rapportert som avvik nr. 78. I månedsrapporten anføres høyt organisk innhold i masser fra Paddehavet som mulig årsak. Organiske

partikler med liten synkehastighet og stort potensiale for horisontal spredning kan bidra til å forklare den første hendelsen der turbiditeten er høy over terskeldyp, men ikke under (type B).



Figur 45: Turbiditet i vannsøylen 2. mai 2007. Dybden vises på y-aksen, og norsk sommertid (GMT+2) vises på x-aksen. Fargeskalaen angir turbiditet i (NTU), og går fra 0 til 10 NTU. Turbiditetsverdier på over 10 NTU vises som brunt. Den røde konturlinjen angir turbiditet over 3 NTU, og den blå angir turbiditet over 5 NTU. De svarte punktene angir hvor og når det har vært målinger. Vi ser av figuren at datagrunnlaget er godt for perioden.



Figur 46: Målt turbiditet ved de bunnmonterte målerne. Den røde linjen angir grenseverdien jamfør utslippstillatelsen, som er verdien på referansemåleren (grønn kurve) pluss 5 NTU.

Hendelser 22. til 25. mai 2007

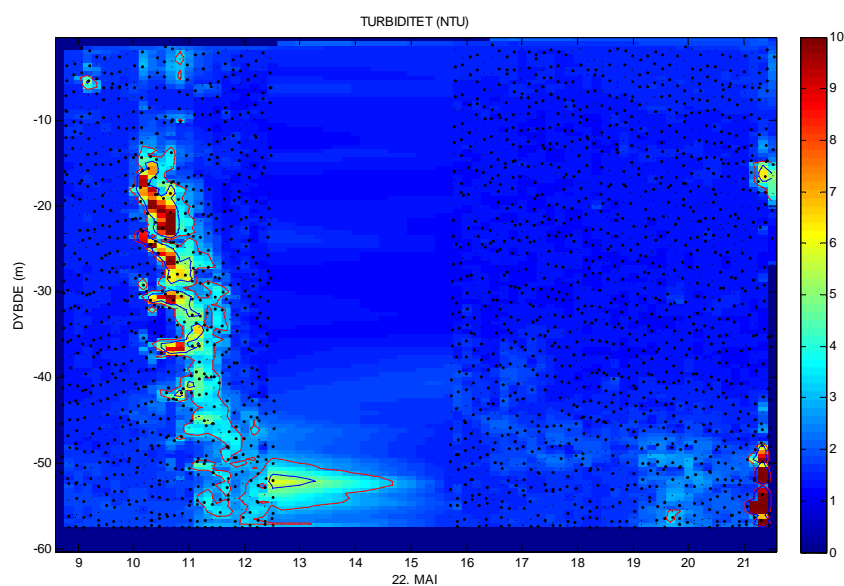
Figur 47 til Figur 50 viser målt turbiditet i vannsøylen under nedføringsenheten fra 22. til 25. mai 2007. I disse dagene forekommer det seks hendelser. Strømmålingene i disse dagene viser at vannet er stagnant. Strømretningen svinger i alle retninger og verdien ligger på 1 cm/s. Den 24. og 25. mai øker strømstyrken plutselig opp til verdier rundt 20 cm/s. Disse målingene anses tvilsomme og blir sett bort ifra. NGI har gjort samme vurdering (månedsrapport, avvik nr. 87).

Klokka 08:30 GMT 22. mai er det målt høye verdier i vannsøylen. Det er ikke målt høye verdier ved bunn, men det er tydelig at det er en sky som synker langsomt ned. Synkehastigheten kan anslås til 0,7-0,8 cm/s. Klokka 19:30 GMT er det målt litt over 5 NTU i vannsøylen i sammenheng med høye verdier ved bunnen. Alle bunnmålerne viser turbiditet under 1 NTU 22. og 23. mai. Disse to hendelsene må klassifiseres som type B som ikke fører til spredning ut av deponiet.

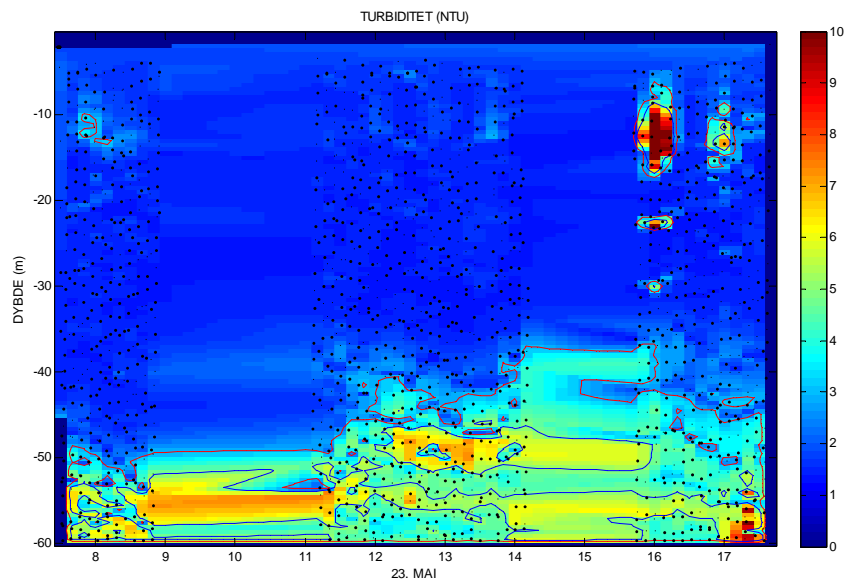
Klokka 14:00 GMT 23. mai er det målt noen høye verdier mellom 10 og 20 meters dyp. Det er forholdsvis høye verdier ved bunn hele dagen. Det kommer en liten topp tilsvarende 2-3 NTU på MP4 ved 00:00 GMT. Hendelsen klassifiseres som en type B hendelse som ikke fører til spredning ut av deponiområdet.

Klokka 10:00 og 13:15 GMT 24. mai er det målt noen høye verdier i vannsøylen og litt forhøyede verdier ved bunnen. Det er også målt noen mindre topper ved MP3 og MP4. Disse klassifiseres som en B hendelse som ikke fører til spredning av betydning ut av deponiet.

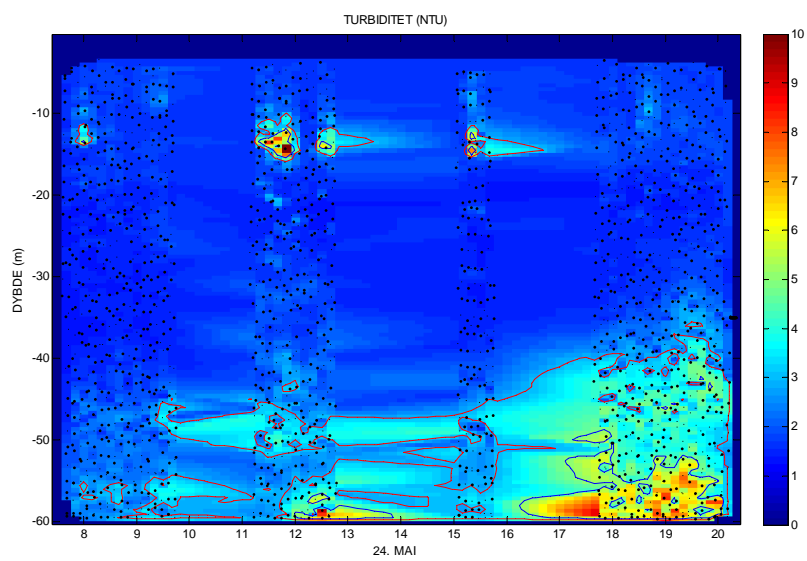
Klokka 09:00 GMT 25.05. er det målt høye verdier mellom 10 og 20 meters dyp. Det er svært høye verdier ved bunnen hele dagen. Dette skyldes sannsynligvis regulær nedføring ved bunnen og hendelsen over terskeldyp kan ikke anses å være årsak til øket turbiditet ved bunnen, selv om den kan bidra litt. Figur 51 viser at det er målt relativt høye verdier ved bunnmålerne omtrent 7 timer etter denne hendelsen. Varighet mindre enn 20 minutter gir ikke overskridelse av grenseverdien, og hendelsen er korrekt ikke registrert som avvik. Strømmålingene er usikre for denne perioden med med mye høyere strømhastigheter enn forventet. Hendelsen klassifiseres som en type A hendelse med noe spredning ut av deponiet.



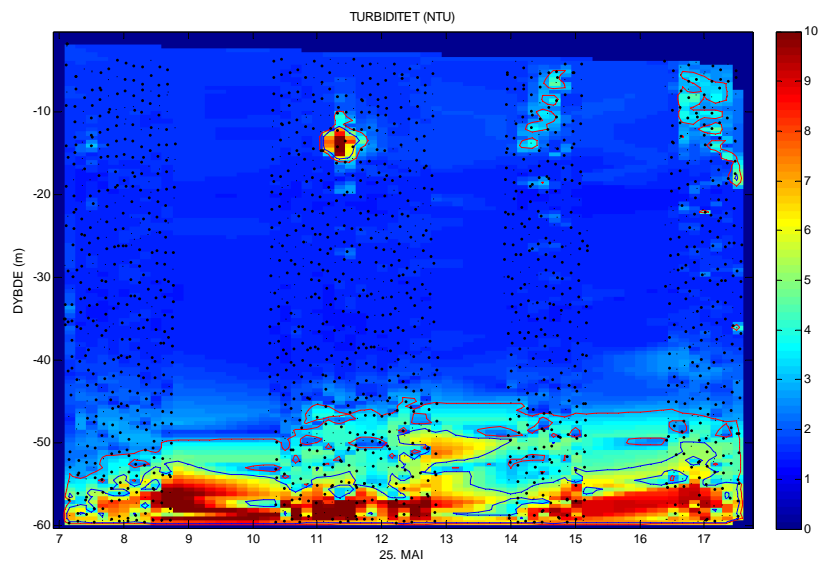
Figur 47: Målt turbiditet ved nedføringsenheten 22. mai 2007.



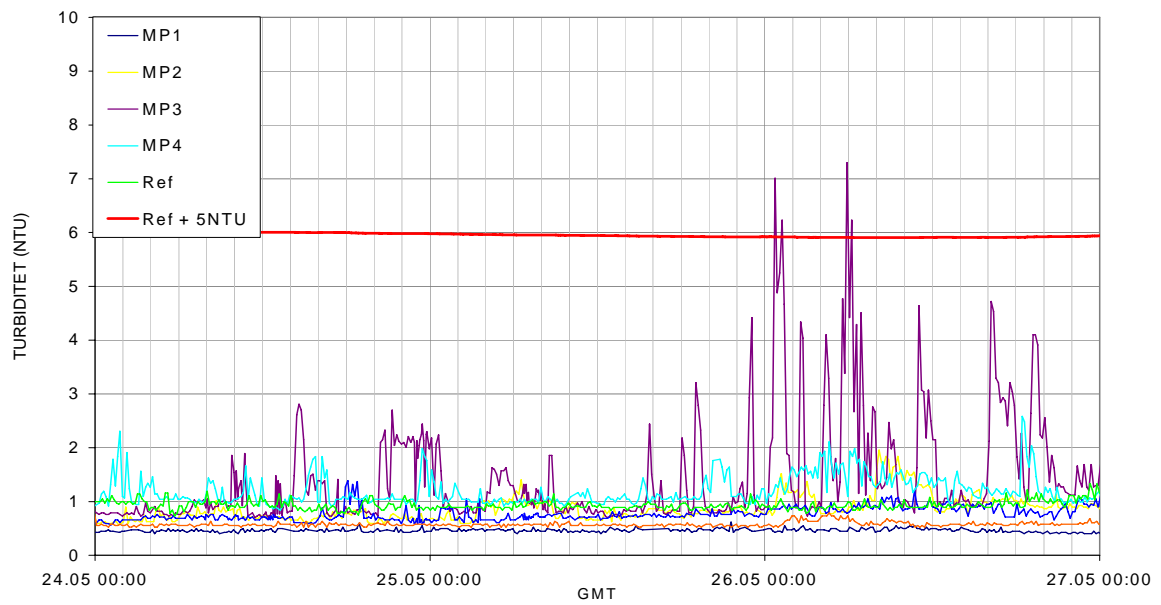
Figur 48: Målt turbiditet ved nedføringsheten 23. mai 2007.



Figur 49: Målt turbiditet ved nedføringsheten 24. mai 2007.



Figur 50: Målt turbiditet ved nedføringsenheten 25. mai 2007.



Figur 51: Målt turbiditet ved bunnmålerne 22. til 26. mai.

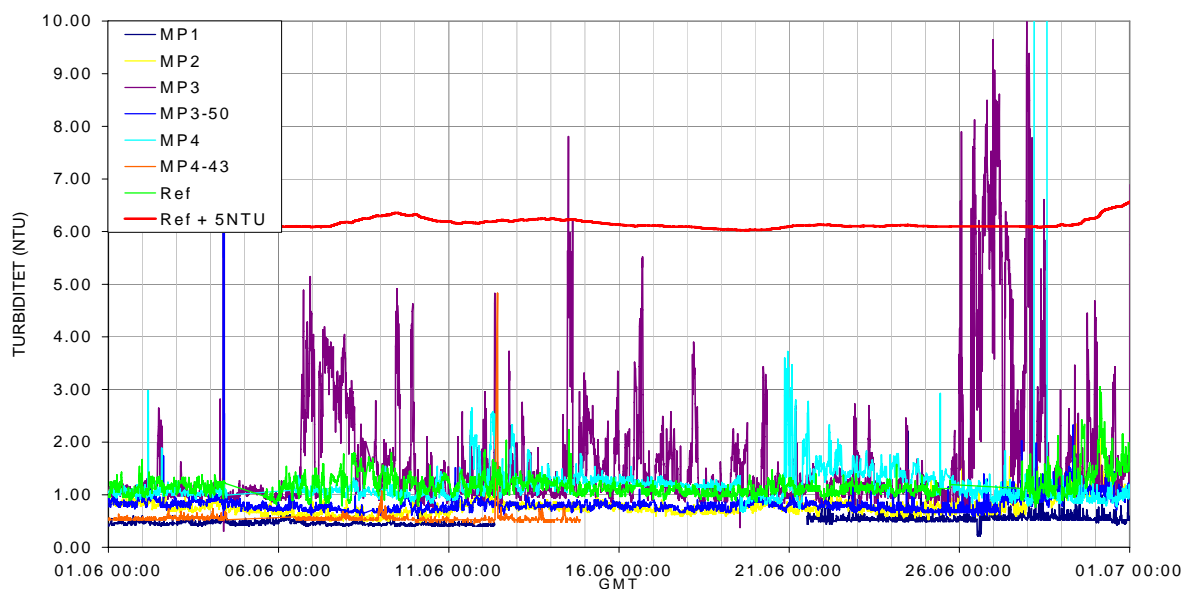
Juni 2007

Figur 52 viser målt turbiditet ved bunnmålerne i juni. Referansemåleren ligger på 1 til 1,5 NTU med en markert økning de siste dagene i måneden. Ved MP1 ligger verdien på 0,5 NTU, men måleren er ute av drift 12. til 26. juni. Ved MP2 er turbiditetsnivået under 1 NTU.

Ved MP3 er det forhøyede verdier fra 6. til 9. juni med verdier opp til 4 NTU. Den 14. til 18. juni forekommer det flere kortvarige toppe. Den 26. til 28. juni forekommer det verdier over grenseverdien. Overskridelsene er rapportert i månedsrapporten for juni (avvik nr. 93 og 107) og årsaken til overskridelsene ble identifisert til slangebrudd ved nedføringen 25. juni (Secoras avvik 98). Dette antas å være noe annet enn lekkasje i skjøt på nedføringsrøret i 50 m dyp omtalt i NGIs avvik nr. 89.

I 50 meters dyp ligger verdiene under 1 NTU hele måneden.

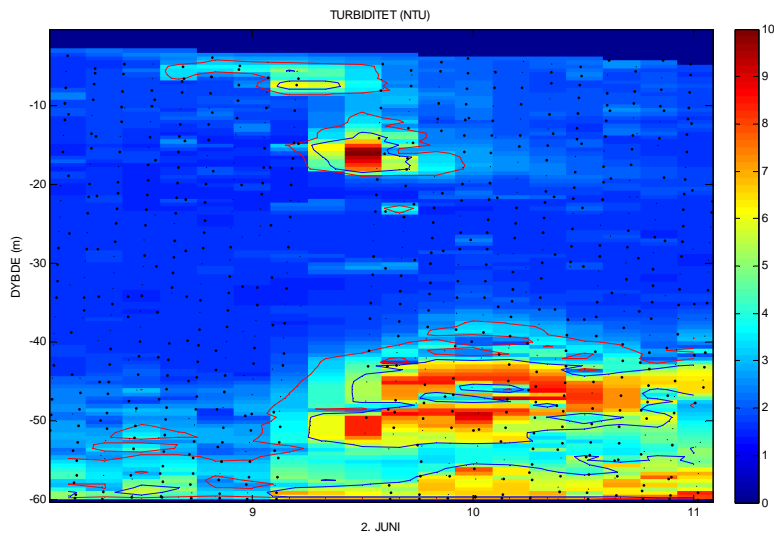
Ved MP4 er det målt noen toppe ved 55 meters dyp. I 43 meters dyp er det ikke målt verdier over 1 NTU, men denne måleren er ute av drift fra 14. juni.



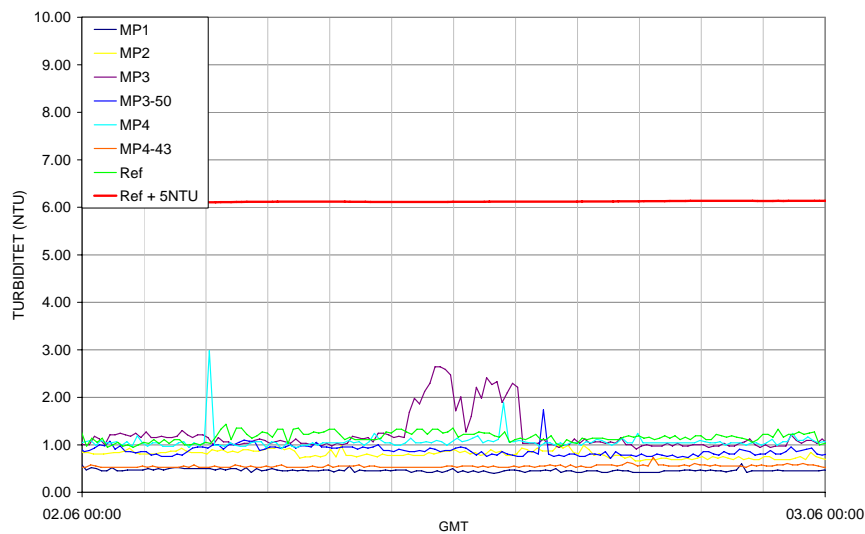
Figur 52: Målt turbiditet ved bunnmålerne i juni 2007.

Hendelse 2. juni 2007

Figur 53 viser en episode klokka 07:00 GMT. Det er målt noen høye verdier i vannsøylen som ser ut til å synke nedover. En sky dannes etterhvert fra bunnen og opp til 40 meters dyp. De høye verdiene ved bunnen varer minst to timer. Figur 54 viser at det er målt en forhøyning av turbiditeten ved MP3 fire timer etter denne episoden. Dette er en type A hendelse, men spredningen ut av deponiet anses å være liten.



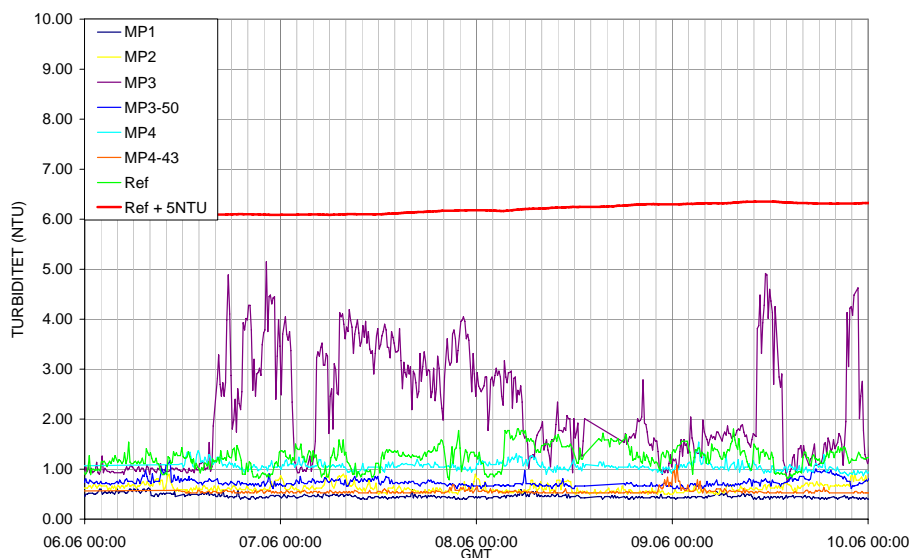
Figur 53: Målt turbiditet ved nedføringsenheten 2. juni. Tidsaksen viser norsk sommertid (GMT+2).



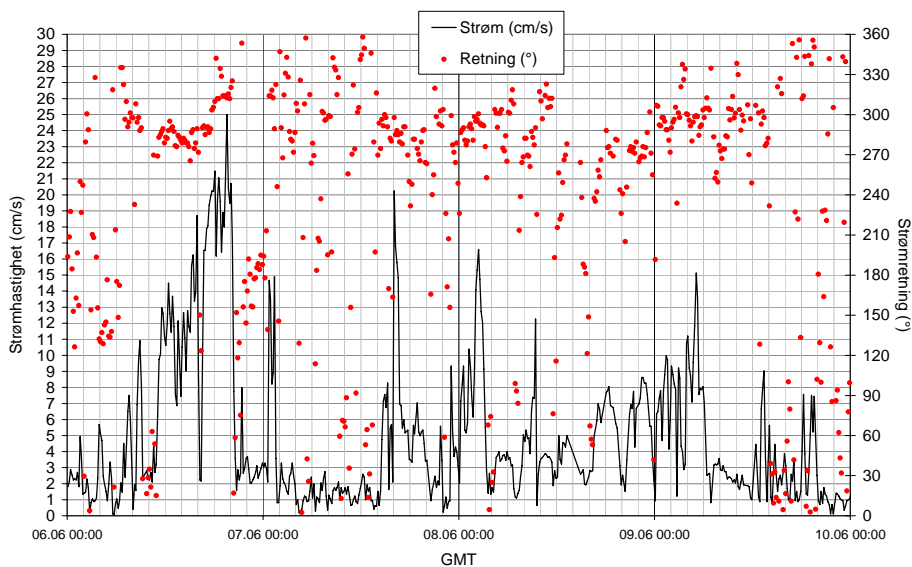
Figur 54: Målt turbiditet ved bunnmålerne 2. juni.

Perioden 6. til 10. juni 2007

Figur 55 viser målt turbiditet ved bunnmålerne. Fra 6. juni 16:00 GMT til 8. juni 06:00 GMT er det forhøyede verdier ved MP3. Figur 56 viser målt strøm ved MP3. Disse målingene er muligens av dårlig kvalitet, siden strømstyrken er mye høyere enn forventet. Skal man likevel stole på målingene av strømretningen, så ser det ut til at en partikkelsky kommer inn i deponiområdet utenfra. Den 6. juni er det målt høy turbiditet i absolutt hele vannsøylen. Dette skyldes antakelig feil på måleren og er rapportert i månedsrapporten (avvik nr. 88). Det er ikke målt høye verdier i vannsøylen 7. eller 8. juni ved nedføringsenheten, men NGI gjorde egne målinger ved nedføringsenheten den 7. juni som viste høye verdier ved 50 m vanddyb, trolig som følge av et slangebrudd (månedsrapporten, avvik nr. 89).

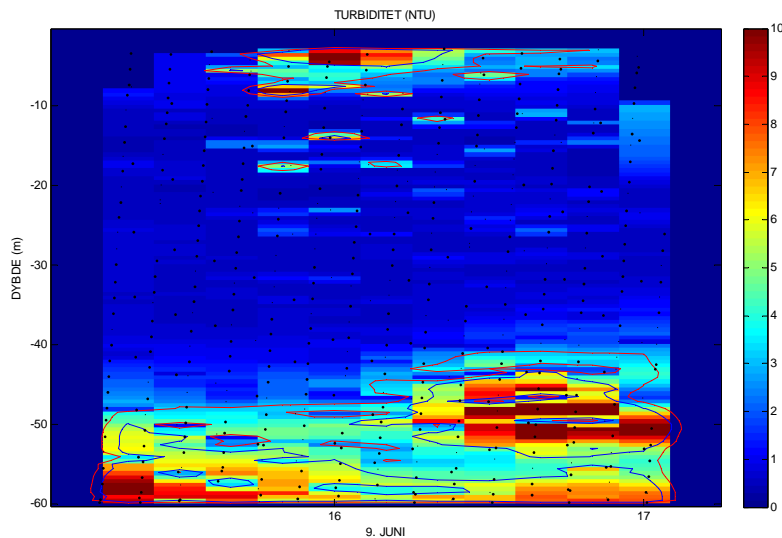


Figur 55: Målt turbiditet 6. til 10. juni.



Figur 56: Målt strøm ved MP3 i juni.

Figur 57 viser at det 9. juni klokka 14:00 GMT er målt høye verdier for turbiditet i overflata som etterfølges av økende verdier under terskeldyp ca 50 m, sannsynligvis påvirket av lekkasje i en skjøt i røret ved dette dypet (avvik nr. 89). Det er også målt høye verdier ved bunnen som antas å skyldes regulær nedføring. Figur 56 viser økning av turbiditeten ved MP3 både kl. 11:00 og kl. 21:00. Dette kategoriseres derfor som en type A hendelse der partikler fra deponiområdet gir periodisk forhøyet turbiditet ved MP3.



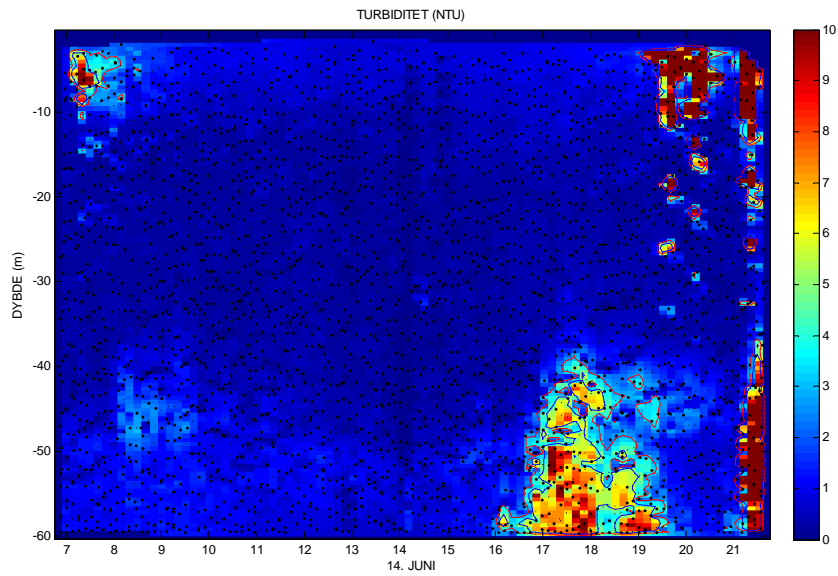
Figur 57: Målt turbiditet ved nedføringsenheten 9. juni.

Hendelse 11. juni 2007

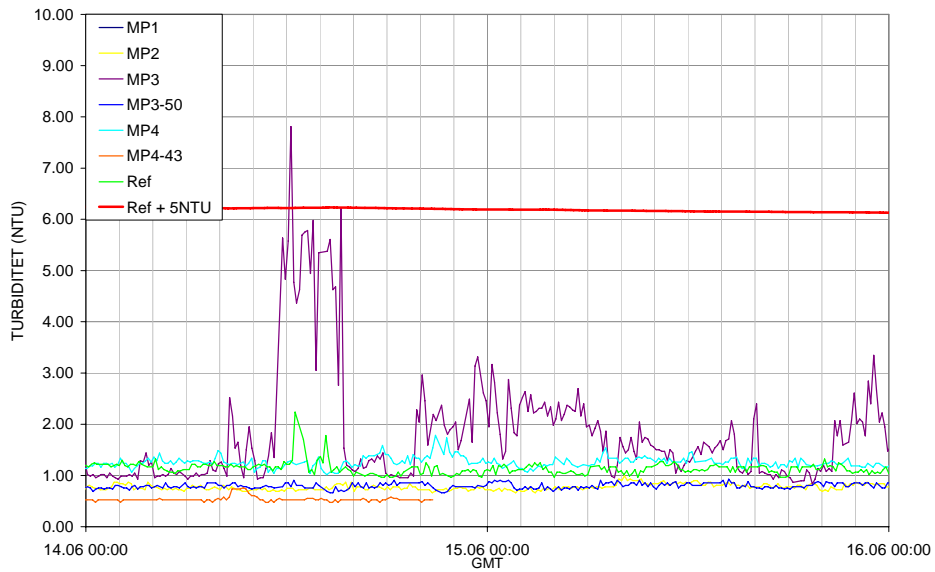
Klokka 09:30 GMT den 11. juni forårsaker nedføringen forhøyet turbiditet fra ca 35 meters dyp og ned til bunnen (Figur 18). Partiklene henger igjen i omtrent tre timer, og lengst omkring 45 m dyp. Dette kan tyde på at lekkasjen omtalt i foregående avsnitt (avvik nr. 89) ikke er utbedret. Det er ikke målt forhøyede verdier av særlig stor grad ved noen av bunnmålerne. Dette er kategorisert som en type C hendelse.

Hendelse 14. juni 2007

Figur 58 viser turbiditeten som er målt ved nedføringsenheten 14. juni 2007. Fra 14:30 til 17:30 GMT er det høye verdier ved bunnen, uten at det er målt forhøyede verdier i resten av vannsøylen. Etter dette er det målt høye verdier over terskeldypet, og litt etter 19:00 GMT er det målt svært høye verdier i hele vannsøylen. Figur 59 viser to perioder med forhøyet verdi ved MP3. Den første fra 11:00 til 15:00 GMT kan ikke skyldes noen av de hendelsene beskrevet over, mens de forhøyede verdiene fra 20:00 til 06:00 GMT den 15. juni, kan skyldes hendelsene om ettermiddagen og kvelden dagen før. Denne klassifiseres som en type A hendelse.



Figur 58: Målt turbiditet 14. juni 2007.



Figur 59: Målt turbiditet ved bunnmålerne 14. og 15. juni.

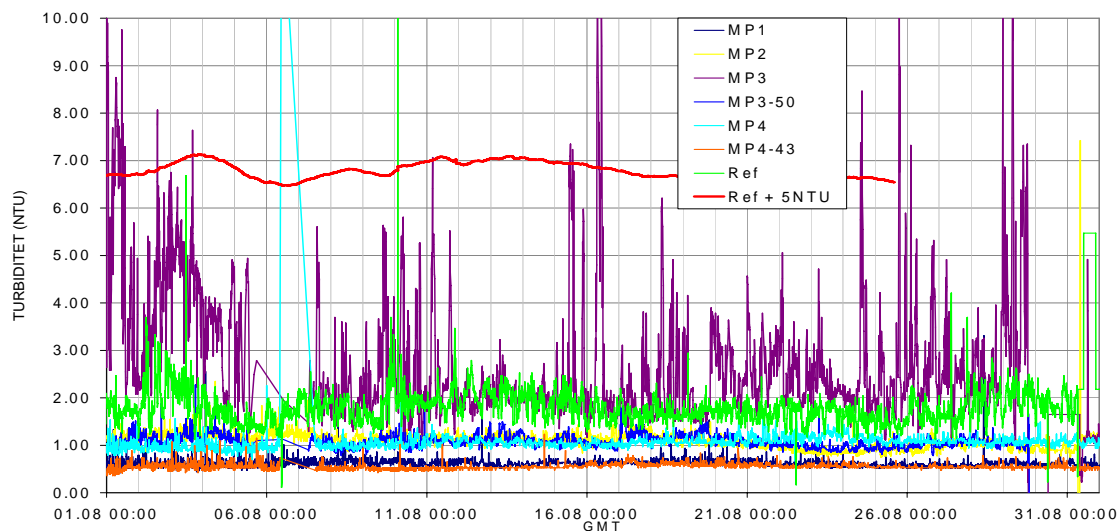
Juli 2007

Juli måned var spesiell og omtalt i avsnitt **Error! Reference source not found.** Måneden viste ingen spesielle hendelser som skyldes irregulære utslipp til overflaten.

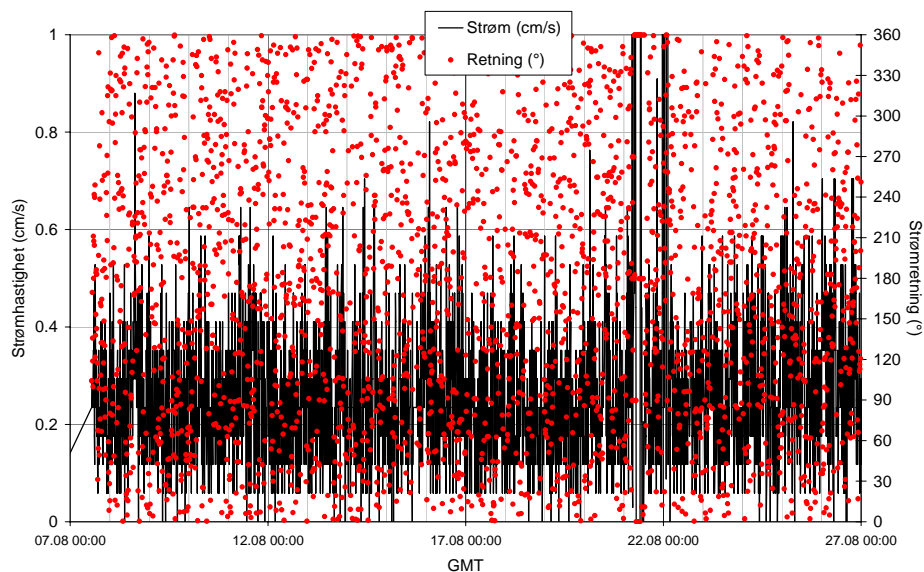
August 2007

Figur 60 viser målt turbiditet ved bunnmålerne i august 2007. Nivået på referansemåleren er høyt i hele måneden (omtrent 2 NTU). Dette gjør at grenseverdien ligger opp mot 7 NTU. Det er verdt å merke seg at alle målerne bortsett fra MP3 gir verdier som ligger godt under referansenivået. Måleren er lokalisert på 65 m i det dypeste området av Bekkelagsbassenget og stagnerende vannmasser og oksygensvikt nær bunnen kan føre til økt turbiditet i nærheten av grensesjiktet mellom oksyderende og reduserende, sulfidholdig miljø. Det er derfor ikke grunnlag for å si at Tref ikke måler naturlig turbiditet i området.

Ved MP3 ligger turbiditetsnivået på 4-5 NTU fra 1. til 5. august. Resten av måneden ligger nivået på rundt 2.5 NTU med enkeltverdier som går opp mot 5-6 NTU. Figur 61 viser målt strøm ved MP3 fra 7. til 27. august. Før og etter denne perioden er strømmålingene av dårlig kvalitet. Figuren viser at vannet beveger seg med kun 2 mm/s i tilfeldige retninger. Det vil si at bunnvannet står tilnærmet stille. Det kan ikke utelukkes at turbiditeten målt ved MP3 skyldes de samme stagnerende forholdene som beskrevet for Tref, men det er kanskje mer sannsynlig at de er en del av en partikkelsky som siger langsomt ut fra deponiområdet. NGIs supplerende undersøkelser av turbiditet viser at en slik sammenhengende partikkelsky strekker seg til et stykke nord for MP3 både i juli og august 2007 (www.renoslofjord.no).



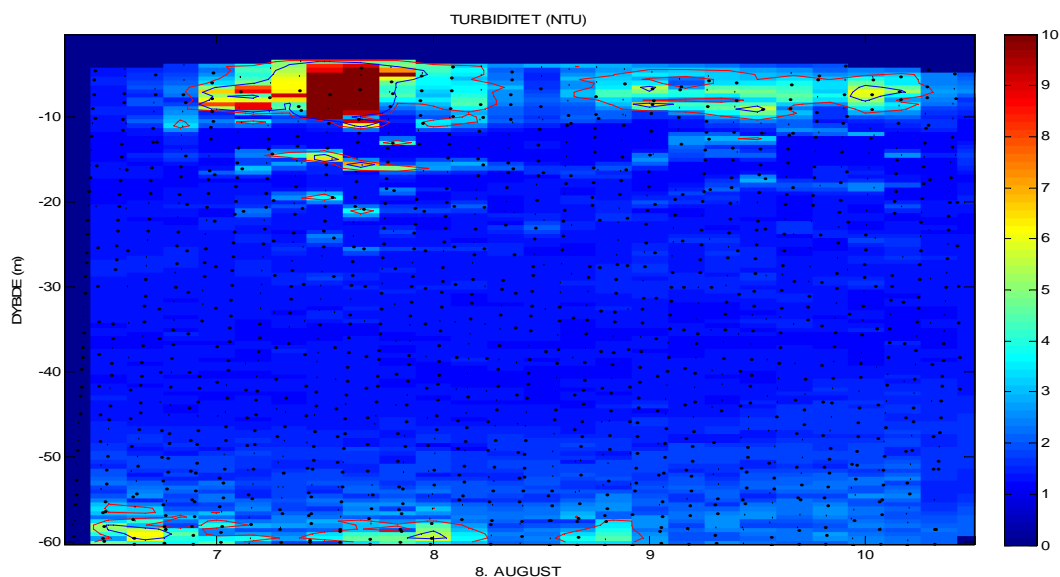
Figur 60: Målt turbiditet i august 2007.



Figur 61: Målt strøm fra 7. til 27. august.

Hendelse 8. august 2007

Figur 62 viser høye turbiditetsverdier i overflaten klokka 05:30 GMT med varighet omtrent en halv time. Det er ikke målt turbiditet noe særlig over referansenivået ved noen av bunnmålerne før etter omtrent 30 timer. Dette er en hendelse av type B, hvor partikler kan ha blitt spredd over terskeldyp.

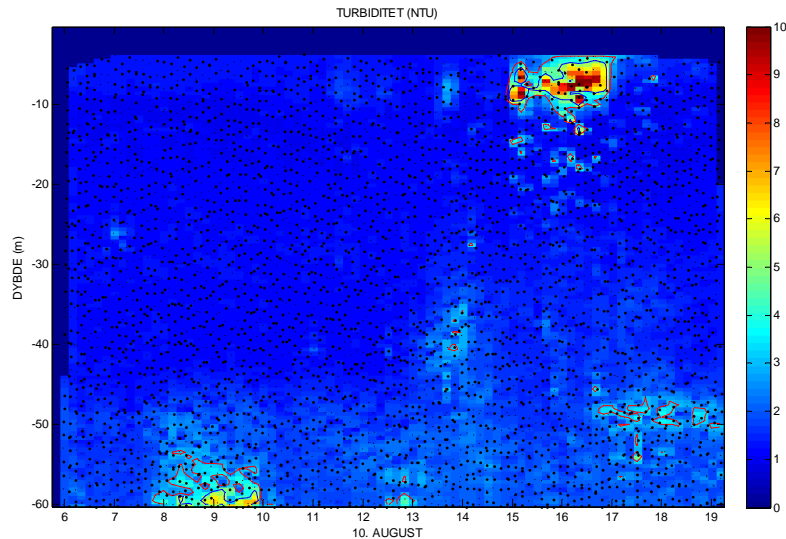


Figur 62: Målt turbiditet ved nedføringsenheten 8. august 2007.

Hendelse 10. august 2007

Figur 63 viser høye turbiditetsverdier i overflate klokka 13:00 GMT med varighet omtrent to timer.

Det er målt en del forhøyede verdier ved MP3 den 10. og 11. august, men strømhastigheten er så lav at det ikke kan sannsynliggjøres at dette har en direkte sammenheng. Dette klassifiseres derfor som en hendelse av type B.

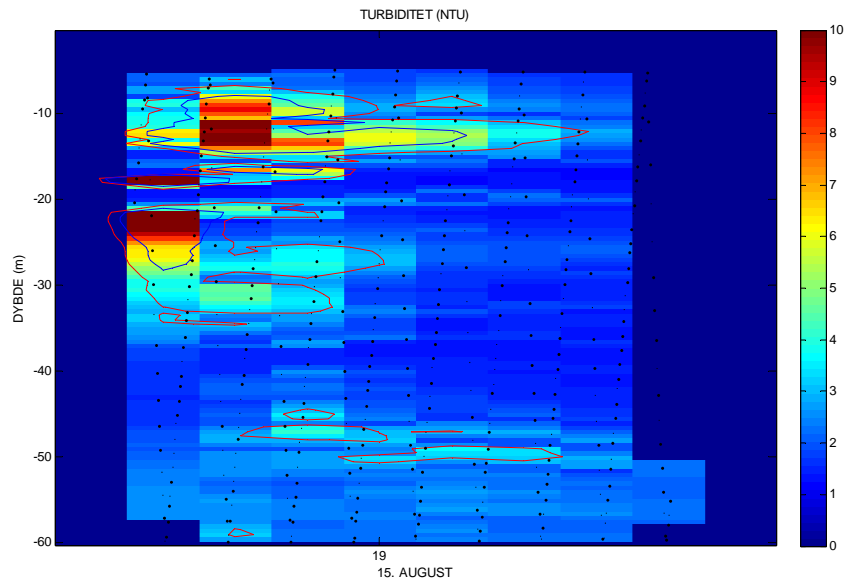


Figur 63: Målt turbiditet ved nedføringsenheten 10. august 2007.

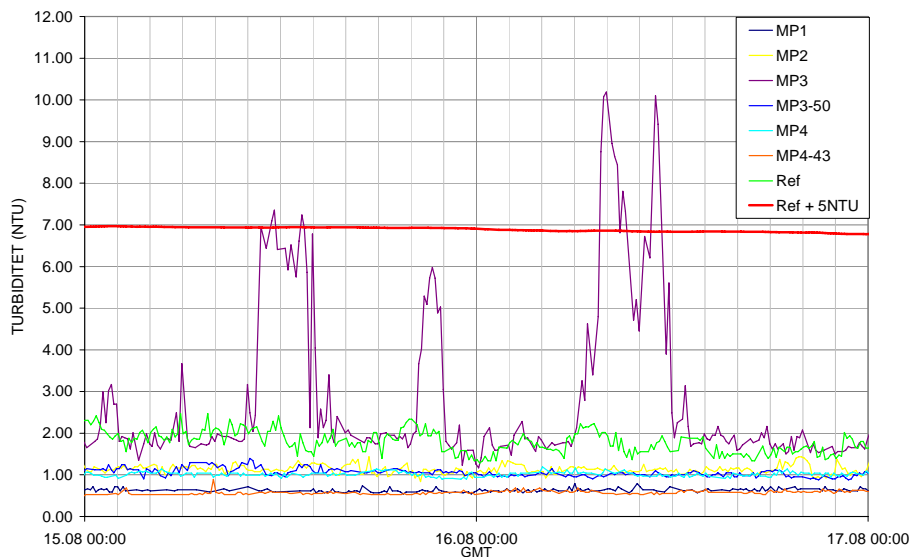
Hendelse 15. august 2007

Figur 64 viser høye turbiditetsverdier i vannsøylen fra 17:30 GMT til 18:00 GMT 15. august. En del partikler ser ut til å synke ut og en del ser ut til å innlagres over terskeldyp. Figur 65 viser verdier over grenseverdien ved MP3 etter omtrent 14 timer. Overskridelsen er rapportert og ytterligere dokumentasjon ble innhentet av NGI som tok vannprøver for analyse av miljøgifter og profiler av turbiditet ved MP3 og Tref. Hendelsen er kategorisert som en type B hendelse fordi det er usikkert om utslippet kan koples mot overskridelsen ved MP3.

NGIs avvik nr. 103 anfører nedføring av mudrede masser som årsak til overskridelse 15/8-07 kl 10:47-13:37 som antakelig er en skrivefeil og skal være 16/8, samme tidspunkt. Eventuelle arbeider ble stanset og det ble samme tatt vannprøver for analyser av miljøgifter og målt turbiditet i hele vannsøylen ved MP3 og Tref.



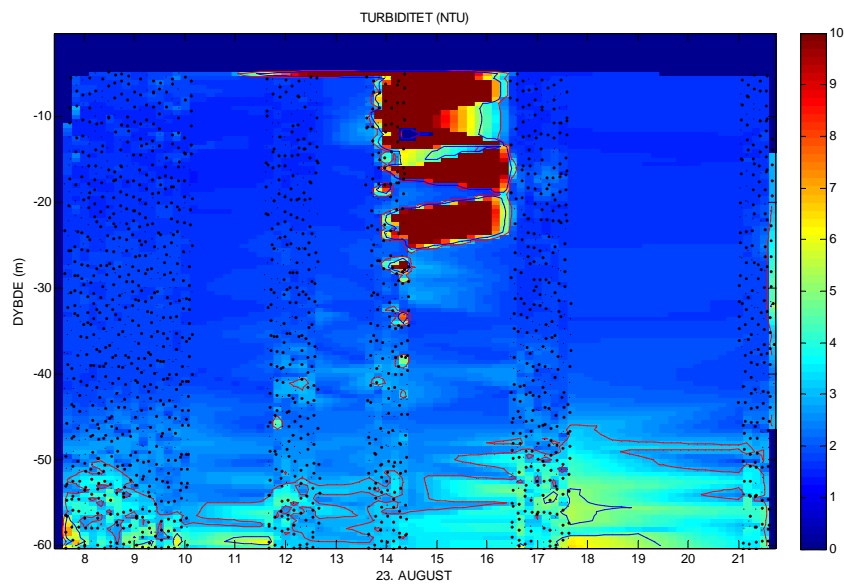
Figur 64: Målt turbiditet ved nedføringsenheten 15. august 2007.



Figur 65: Målt turbiditet ved bunnmålerne 15. til 17. august 2007.

Hendelse 23. august 2007

Figur 66 viser forhøyede verdier i overflatelaget klokka 12:00 GMT. Måleren har ikke vært i drift mellom 12:30 GMT og 14:30 GMT. Dette kan ha medført at partikkelskyen i virkeligheten avtok raskere enn vist i figuren. Økningen ved bunnen er så liten at vi kategoriserer hendelsen til type B.

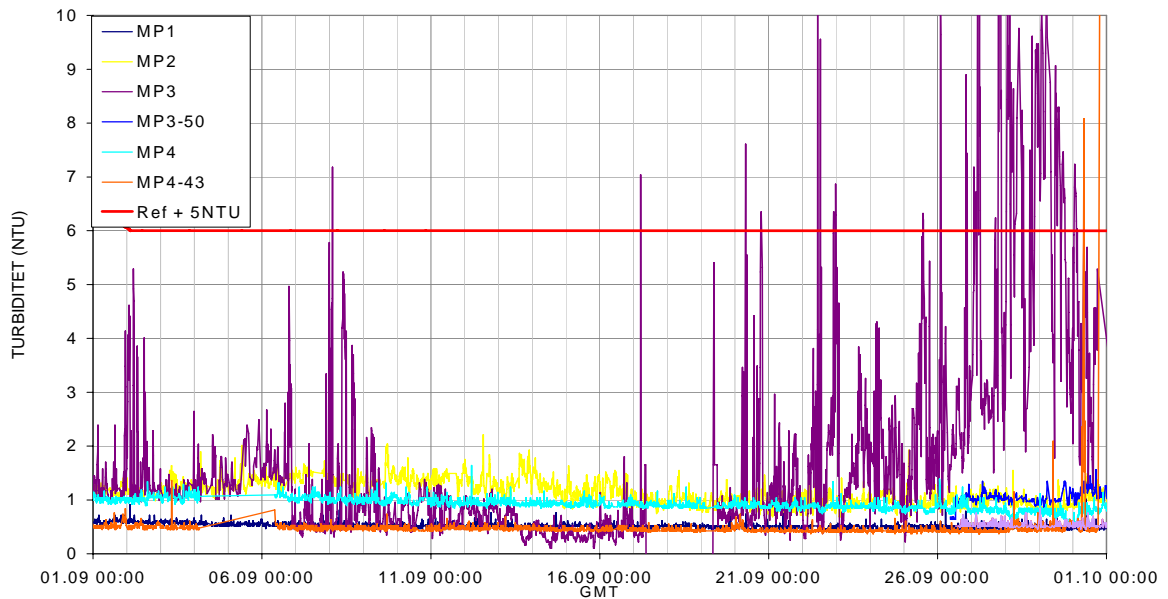


Figur 66: Målt turbiditet ved nedføringsenheten 23. august 2007.

September 2007

Månedsrapporter er i skrivende stund ikke tilgjengelig for perioden etter august 2007. Vi har derfor ikke hatt tilgang til kontrollprogrammets avviksrapportering fra og med september. Figur 67 viser målt turbiditet i september 2007. Referansemåleren var ute av drift. Turbiditeten lå på 0,5 NTU ved MP1 hele måneden. Ved MP2 lå den på 1,5 NTU. Ved MP3 var det forhøyede verdier fra 6. til 10. september med verdier opp mot 5 NTU. Fra 20. til 30. september var det også forhøyede verdier. Fra den 26. forekom det ofte verdier over grenseverdien på 6 NTU. Ved MP3 i 50 meters dype lå turbiditeten på 1 NTU og i 40 meters dyp 0,5 NTU. Ved MP4 lå turbiditeten på 1 NTU i 55 meters dyp og på 0,5 NTU i 43 meters dyp.

I de periodene hvor strømmålingene ikke gir usannsynlig høye verdier, ligger strømsstyrken mellom 0 og 0,5 cm/s.

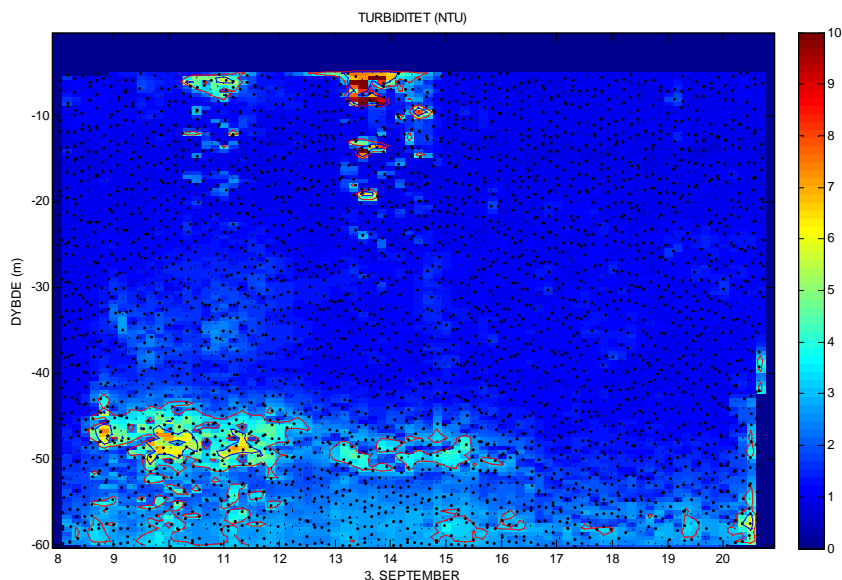


Figur 67: Målt turbiditet ved bunnmålerene september 2007.

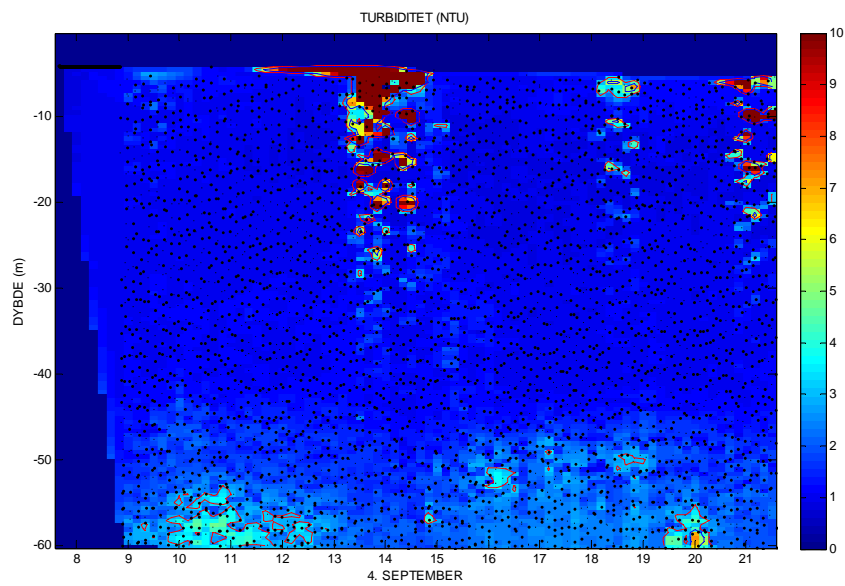
Hendelser 3. til 5. september 2007

Figur 68 til Figur 70 viser tre hendelser. Den 3. september klokka 11:30 GMT er det målt høye verdier i overflate i omtrent 20 minutter. Den 4. september klokka 11:15 GMT er det målt høye verdier helt ned til 20 meters dyp. Dette varer i omtrent en og en halv time. Den 5. september klokka 11:00 GMT er det målt høye verdier ned til 15 meters dyp i omtrent en time.

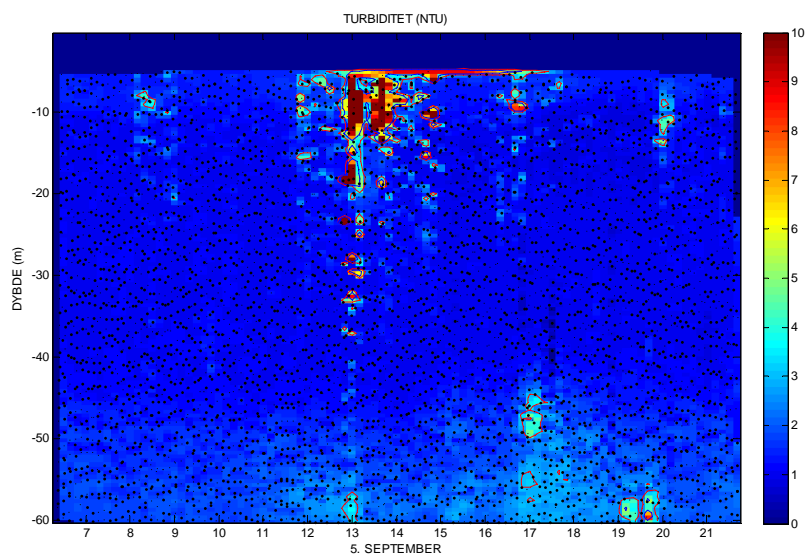
Selv om det ses tegn på nedsynking over terskeldyp, viser ingen av disse hendelsene noen tydelig økning av turbiditeten nede ved bunnen. Hendelsene kategoriseres derfor som type B



Figur 68: Målt turbiditet ved nedføringsenheten 3. september 2007.



Figur 69: Målt turbiditet ved nedføringsheten 4. september 2007.



Figur 70: Målt turbiditet ved nedføringsheten 5. september 2007.

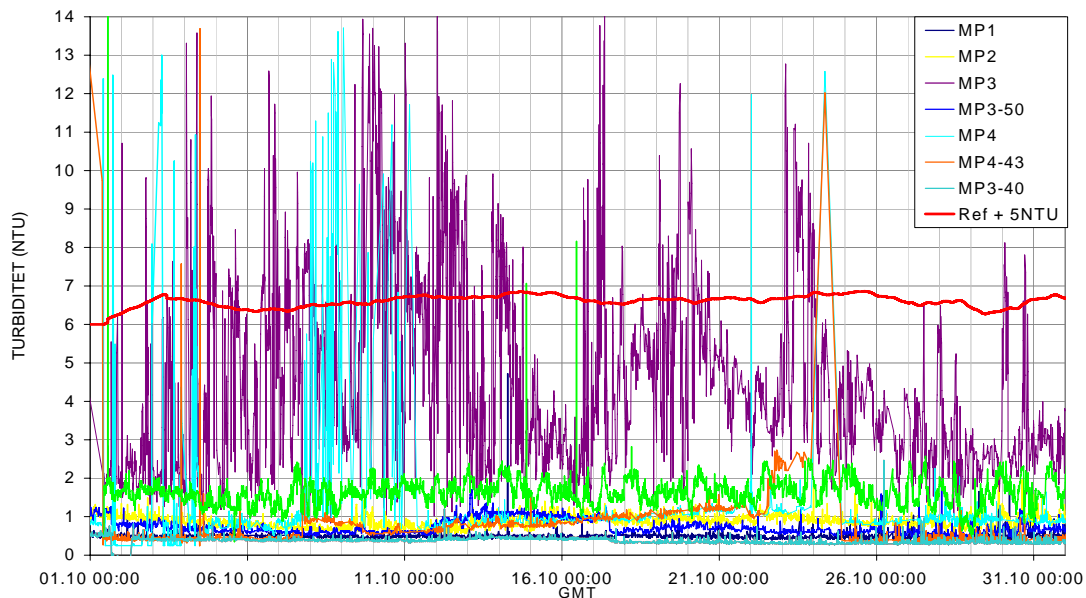
Oktober 2007

Figur 71 viser turbiditet målt ved bunnmålerne i oktober 2007. Referansenivået er høyt i hele måneden. Det ligger mellom 1,5 og 2,5 NTU. Ved MP1 er det ikke målt turbiditet over 0,5 NTU. Ved MP2 ligger verdien på 1 NTU.

Ved MP3 i 65 meters dyp er verdiene svært høye i hele oktober. Middelverdien for hele måneden er omtrent 4.5 NTU. Maksimalverdien er over 17 NTU. Strømverdiene ligger mellom 0 og 0,5 cm/s, så spredningen ut av deponiområdet vil være mindre enn de høye verdiene kan gi inntrykk av. Omvendt kan det sies at dersom strømhastigheten hadde vært større ville partikkelkonsentrasjonen sannsynligvis vært mindre. I 50 og 40 meters dyp ligger verdien på 0,5 NTU. I 50 meters dyp øker verdien opp til 1 NTU mellom den 12. og 17. oktober.

Ved MP4 i 55 meters dyp ligger verdien på omkring 1 NTU, bortsett fra 8. til 11. oktober hvor det forekommer verdier godt over grenseverdien på 6,5 NTU. Den 24. oktober er det målt turbiditet på over 12 NTU i både 55 og 43 meters dyp.

Målinger av tetthetsprofilene fra stasjoner i Bunnefjorden foretatt i november i forbindelse med overvåkningsprogrammet for indre Oslofjord, viser at det over terskeldypet er like tungt vann som det befinner seg på 60 meters dyp i Bekkelagsbassenget i oktober. Det har i denne perioden sannsynligvis vært en dypvannsfornyelse i Bekkelagsbassenget (Jan Magnusson, pers. med.) som kan forklare de høye målingene av turbiditet ved MP3 og 4.



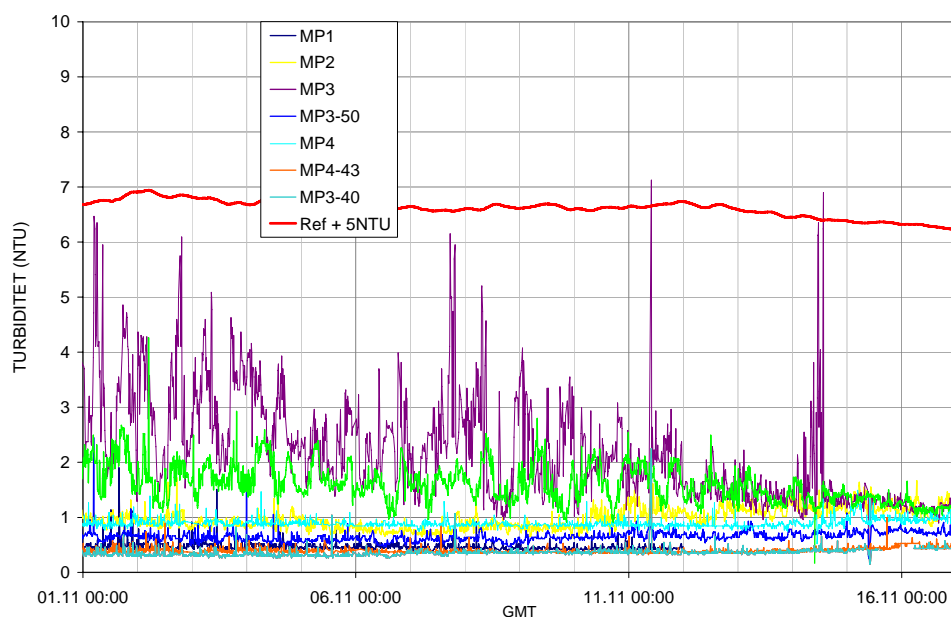
Figur 71: Målt turbiditet ved bunnmålerne i oktober 2007.

November 2007

Figur 72 viser målt turbiditet ved bunnmålerne 1.-16. november 2007. referanseverdien er fortsatt høy i begynnelsen av måneden, men minker ned mot 1 NTU den 17. november. MP1 måleren viser 0,5 NTU. Ved MP2 er verdien under 1 NTU i hele perioden.

Ved MP3 er verdiene lavere enn i oktober. I begynnelsen av måneden ligger verdien på omtrent 4 NTU mens 17. november er verdien 1 NTU.

Ved MP4 ligger verdien på litt under 1 NTU i 55 meters dyp og på omkring 0,5 NTU i 43 meters dyp.



Figur 72: Målt turbiditet ved bunnmålerne i november 2007.