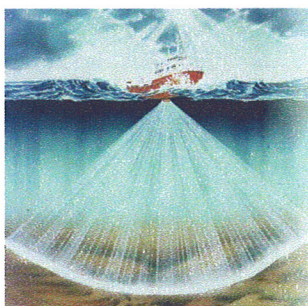




TEKNISK RAPPORT

STATENS FORURENSNINGSTILSYN

EKKOLODDMÅLINGER SOM VERKTØY FOR
BEREGNING AV VOLUMENDRINGER I ET
DYPVANNSDEPONI



RAPPORT NR. 2006-2132

REVISJON NR. 01

DET NORSKE VERITAS

TEKNISK RAPPORT

DET NORSKE VERITAS AS

Dato for første utgivelse: 10.01.07	Prosjekt nr.: 62119875
Godkjent av: Erling Svendby Direktør offentlig virksomhet <i>Erling Svendby</i>	Organisasjonsenhet: DNV Industry
Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn	Oppdragsgiver ref.: Ingvild Marthinsen

Veritasveien 1
1322 Høvik
Norway
Tel: +47 67 57 99 00
Fax: +47 67 57 99 11
http://www.dnv.com
Org. No: NO945 748 931 MVA

Sammendrag:

I forbindelse med utbygging av senketunnel i Bjørvika samt opprydding av forurenset sjøbunn i Oslo havn, utføres mudring av forurenset sediment. Sedimentet fraktes med transportlekter til dypvannsdeponiet ved Malmøykalven der det nedføres via den permanente oppankrede nedføringsenheten.

Innbyggerinitiativet på Nesodden har estimert volum forurenset sediment deponert i deponiet ved Malmøykalven og konkludert med at tilnærmet halvparten av mudret volum ligger i deponiet. På bakgrunn av estimatet fra Innbyggerinitiativet har SFT bedt DNV vurdere følgende:

- Er ekkoloddmålinger generelt egnet for å måle volum deponert sediment i et dypvannsdeponi?
- Er estimatet fremsatt av Innbyggerinitiativet fundamentert i gode underlagsdata eller er usikkerhetene store?
- Kan det gjennomføres beregninger av volum deponert sediment basert på de målingene som er gjort?

DNV har i samarbeid med Statens Kartverk Sjø konkludert med følgende:

- Ekkoloddmålinger med multistråle ekkolodd er i utgangspunktet meget nøyaktig og kan være et egnet verktøy for beregninger av volumendringer i et deponi. Nøyaktigheten kan økes ved å inkludere annen teknologi (fotografering, kjerneprøver m.m).
- Grunnlaget for beregningene utført av Innbyggerinitiativet, dvs. dybdekart med 1 m oppløsning, er ikke egnet for beregning av volumendringer da usikkerhetene er for store.
- Basert på de målingene som er gjort under Oslo Havns oppfølging av deponiet er det i prinsippet mulig å gjøre en volumberegning, men selv små usikkerheter vil kunne utgjøre betydelige avvik i volum i denne type beregninger.

Rapport nr.: 2006-2132	Emnegruppe: Marin overvåking
Rapporttittel: Ekkoloddmålinger som verktøy for beregning av volumendringer i et dypvannsdeponi	
Utført av: Thomas Møskeland, Sam Arne Nøland <i>Thomas Møskeland</i>	
Verifisert av: Jens Laugesen <i>Jens Laugesen</i>	
Dato for denne revisjon: 10.01.07	Rev. nr.: 01
Antall sider: 12	

Indekseringstermer

Ekkolodd
Sediment
Deponi

- ☒ Ingen distribusjon uten tillatelse fra oppdragsgiver eller ansvarlig organisasjonsenhet, dvs. fri distribusjon innen DNV etter 3 år
- ☐ Strengt konfidensiell
- ☐ Fri distribusjon

<i>Innholdsfortegnelse</i>	<i>Side</i>
1 SAMMENDRAG.....	1
2 INNLEDNING.....	2
3 ARBEIDSFORM	2
4 GENERELT OM EKKOLODD OG VOLUMBEREGNINGER.....	2
5 MÅLINGENE/BEREGNINGENE UTFØRT VED MALMØYKALVEN.....	7
6 FORSLAG TIL METODIKK FOR BEREKNING AV VOLUM.....	10
Appendix A Kart fra Reguleringsplan	

1 SAMMENDRAG

I forbindelse med utbygging av senketunnel i Bjørvika samt opprydding av forurenset sediment i Oslo havn, utføres mudring av forurenset sediment. Sedimentet fraktes med transportlekter til dypvannsdeponiet ved Malmøykalven der det nedføres via den permanente oppankrede nedføringsenheten.

Innbyggerinitiativet på Nesodden har estimert volum forurenset sediment deponert i deponiet ved Malmøykalven og konkludert med at tilnærmet halvparten av mudret volum ligger i deponiet. På bakgrunn av estimatet fra Innbyggerinitiativet har SFT bedt DNV vurdere følgende:

- Er ekkoloddmålinger generelt egnet for å måle volum deponert sediment i et dypvannsdeponi?
- Er estimatet fremsatt av Innbyggerinitiativet fundamentert i gode underlagsdata eller er usikkerhetene store?
- Kan det gjennomføres beregninger av volum deponert sediment basert på de målingene som er gjort?

DNV har i samarbeid med Statens Kartverk Sjø konkludert med følgende:

- Ekkoloddmålinger med multistråle ekkolodd er i utgangspunktet meget nøyaktig og kan være et egnet verktøy for beregninger av volumendringer i et deponi. Nøyaktigheten kan økes ved å inkludere annen teknologi (fotografering, kjerneprøver m.m).
- Grunnlaget for beregningene utført av Innbyggerinitiativet, dvs. dybdekart med 1 m oppløsning, er ikke egnet for dette formålet da usikkerhetene er for store.
- Basert på de målingene som er gjort under Oslos havns oppfølging av deponiet er det i prinsippet mulig å gjøre en volumberegning, men selv små usikkerheter vil kunne utgjøre betydelige avvik i volum i denne type beregninger.

2 INNLEDNING

I forbindelse med utbygging av senketunnel i Bjørvika og opprydding i forurensede sedimenter i Oslo havn, utføres mudring av forurenset sediment. Sedimentet fraktes med transportlekter til dypvannsdeponiet ved Malmøykalven der det nedføres via den permanente oppankrede nedføringsenheten. Deponeringen startet i februar 2006. Oslo Havn KF som tiltakshaver har grenser for oppfylling i deponiet (maks oppfylling til kote -63 m) gjennom reguleringsplanen (se kart i Appendiks A). SFT har gitt tillatelse til å deponere inntil 1 mill m³ med forurensede sedimenter. Dette innebærer at Oslo Havn KF må ha oversikt over hvor mye masse som deponeres i deponiet og hvilket nivå oppfyllingen til enhver tid ligger på. Oslo Havn er imidlertid ikke pålagt å måle oppfylling i selve deponiet med det formål å utføre volumberegninger i deponiet som en kontroll på deponerte masser.

Innbyggerinitiativet på Nesodden har gjennom brev til Miljøverndepartementet /2/ gitt et estimat på volum forurenset sediment som de mener er deponert i deponiet ved Malmøykalven. Estimatet er basert på et dybdekart utarbeidet på bakgrunn av ekkoloddmålinger utført av Secora i deponeringsområdet ved Malmøykalven. På bakgrunn av beregningene har Innbyggerinitiativet konkludert med at tilnærmet halvparten av det deponerte volumet på 110 000 m³ pr. september 2006 faktisk ligger i deponiet. Følgelig mener de at drøyt halvparten av volumet har blitt spredt utenfor deponiområdet.

På bakgrunn av påstanden fra Innbyggerinitiativet om at et stort volum forurenset sediment "manglet" i deponiet ved Malmøykalven ble DNV engasjert av SFT for å vurdere følgende:

- 1) Er ekkoloddmålinger generelt egnet for å måle volum deponert sediment i et dypvannsdeponi?
- 2) Er estimatet fremsatt av Innbyggerinitiativet fundamentert i gode underlagsdata eller er usikkerhetene store?
- 3) Kan det eventuelt gjennomføres beregninger av volum deponert sediment basert på de målingene som er gjort?

3 ARBEIDSFORM

DNV har samarbeidet med Statens Kartverk Sjø i dette prosjektet. Konklusjonene er bygget på informasjon mottatt fra SFT, Oslo Havn KF og Norges Geotekniske Institutt. Noe av informasjonen som er benyttet er også funnet på internett.

Konklusjonene i denne rapporten er basert på en workshop avholdt hos Statens Kartverk Sjø i Stavanger med deltakere fra DNV og Statens Kartverk.

4 GENERELT OM EKKOLODD OG VOLUMBEREGNINGER

Ved hjelp av sammenlignbare ekkoloddmålinger over tid er det mulig å beregne volumet av tilført masse til sjøbunnen. Det er i prinsippet to forskjellige typer ekkolodd som benyttes til å måle endringer i dyp; enkelt- og multistråle ekkolodd.

TEKNISK RAPPORT

Multistråle ekkolodd

I et multistråle ekkolodd sender ekkoloddet ut et stort antall lydstråler samtidig. Disse kartlegger havbunnen i en sektor til hver side for fartøyet. Bredden på denne sektoren avhenger av type ekkolodd og vanddyb. I prinsippet gir et multistråle ekkolodd en flatedekkende beskrivelse av havbunnen og ved moderne datateknologi kan man lage framstillinger som best kan sammenlignes med flyfoto av landjorda. Multistråle ekkolodd har større nøyaktighet enn enkeltstråle ekkolodd ved at svingeren består av flere elementer som er knyttet til hver sin forforsterker, og signalene digitaliseres med en gang. Hver stråle er således en matematisk konstruksjon. På mange av disse loddene har en muligheten til kombinere/syntetisere strålene, noe som gjøres for å bestemme følsomheten i ønsket retning. Ettersom usikkerheten i målingene øker mot sidene kan man snevre inn vinkelen/området for å øke sikkerheten.

Enkeltstråle ekkolodd

Ved bruk av enkeltstråleekkolodd er usikkerhetene i målingene større enn ved multistråle ekkolodd. Denne type ekkolodd sender kun ut én stråle (ett ping) av gangen. I tillegg til generelle feilkilder (se under) vil oppløseligheten av målingene være mindre på grunn av større åpningsvinkel (10-15°). På 60 m dyp tilsvarer 10° åpningsvinkel at en sirkel med ca. 10 m diameter av sjøbunnen blir scannet (ved sirkulært avtrykk). Ved måling i en skråning vil det ikke være kjent hvilket punkt i skråningen strålen reflekteres fra. I prinsippet kan man få relativt presise målinger med et enkeltstråle ekkolodd dersom bunnen er noenlunde jevn, men punkttettheten blir gjerne dårlig.

Feilkilder

Nøyaktigheten på bestemmelse av posisjon og dybde til et punkt på sjøbunnen avhenger av mange faktorer. De viktigste er: posisjoneringssystemet til fartøyet, ekkoloddet, attitydesensorer (hiv, rull, stamp, kurs), og en lyd hastighetsmåler. I tillegg vil andre forhold slik som tidssynkronisering, vannstandsmåling, bestemmelse av fartøyet dyptgående og innmåling av sensorer ha betydning for nøyaktigheten. Dette omfatter forhold som kjøring med stor fart i svinger, hyppighet på lydprofilmålinger etc. /1/.

Uavhengig av type ekkolodd vil målingene være beheftet med flere typer av usikkerheter:

- Posisjonsfeil: En posisjonsfeil overføres direkte til dybderegistreringen.
- Båtens bevegelser må måles for å unngå
 - Rullfeil: Rulling under målingene vil gi størst utslag ytterst til sidene. Påvirker posisjon og dybde.
 - Stampfeil: Påvirker posisjon og dybde.
 - Hivfeil: Påvirker dybden
 - Kursfeil: Påvirker horisontal posisjon
- Feil i sensorposisjon: En feil i sensorenes posisjon vil gi feil i horisontal- og vertikalplanet (posisjon og dybde). Nøyaktig innmåling av sensorens posisjon (f.eks. svingerens plassering i forhold til navigasjonsantenne) er derfor viktig.
- Feil i dypgående: En feil i dypgående har konsekvens for dybderegistreringene men påvirker ikke horisontal posisjon. En feil i dypgående er satt sammen av flere komponenter; 1) feil i bestemmelsen av båtens vertikale posisjon i forhold til vannflaten i

TEKNISK RAPPORT

en situasjon der båten ligger i ro, 2) endring av vertikal posisjon til båtens tyngdepunkt når båten er i fart og 3) endring av vertikal posisjon til båtens tyngdepunkt som følge av last (personell, bunkers og ballast).

- Tidsfeil: En tidsfeil mellom navigasjonssystemet og ekkoloddet overføres direkte til en posisjonsfeil for dybderegistreringen.
- Lydprofilen: Ekkolodd måler tid som gjøres om til avstand. Måling av lydfart er derfor avgjørende, og må bestemmes hver gang det utføres målinger. Lydfarten kan måles direkte, men gjøres ofte ved hjelp av sonde som måler trykk, temperatur og ledningsevne i vannsøylen. Foruten usikkerheter i selve sonden vil beregninger av lydfart fra disse parametrene være beheftet med usikkerheter. Sonden bør være kalibrert, men grense for usikkerhet vil være i størrelsesorden 0.5 m/s.
- Feil i lydhastighet ved overflaten. Feil som påvirker målinger der strålevinkelen ikke går normalt ut av svingerplanet, avhenger av type ekkolodd.
- Feil i ekkolodd
- Inntrengningsdybden. Ved målinger på fjellbunn vil dette være et mindre problem da tetthetsforskjellene mellom vann og fjell er så stor så store at man med rimelig sikkerhet kan si at dybderegistreringen er for overgangen mellom vann og fjell. Ved bløt bunn (høyt vanninnhold) og en gradvis overgang til hardere masser vil usikkerhetene i dybdemålingene være relativt store da overgangen mellom vann og bunn er mer uklar. Overgangssonen vil kunne kartlegges bedre ved å se på ekkostyrken av hele signalet (som i seismikkmålinger). Inntrengningsdybden vil avhenge av valgt frekvens. Lavere frekvens krever hardere bunn.
- Vannstandsfeil: Påvirker dybde. En feil i vannstand overføres direkte til en dybdefeil men den påvirker ikke horisontal posisjon. Denne type feil gjelder først og fremst ved bruk av vannstandsmålere eksempelvis hvor måleren ligger et stykke fra sjømålingsområdet og vannstanden korrigeres i henhold til kjente nivåforskjeller i vannstand langs kysten. Astronomisk tidevann, dvs. bruk av vannstandstabeller kan ofte bli feil fordi værforholdene er utslagsgivende for tidevannsforskjellene.

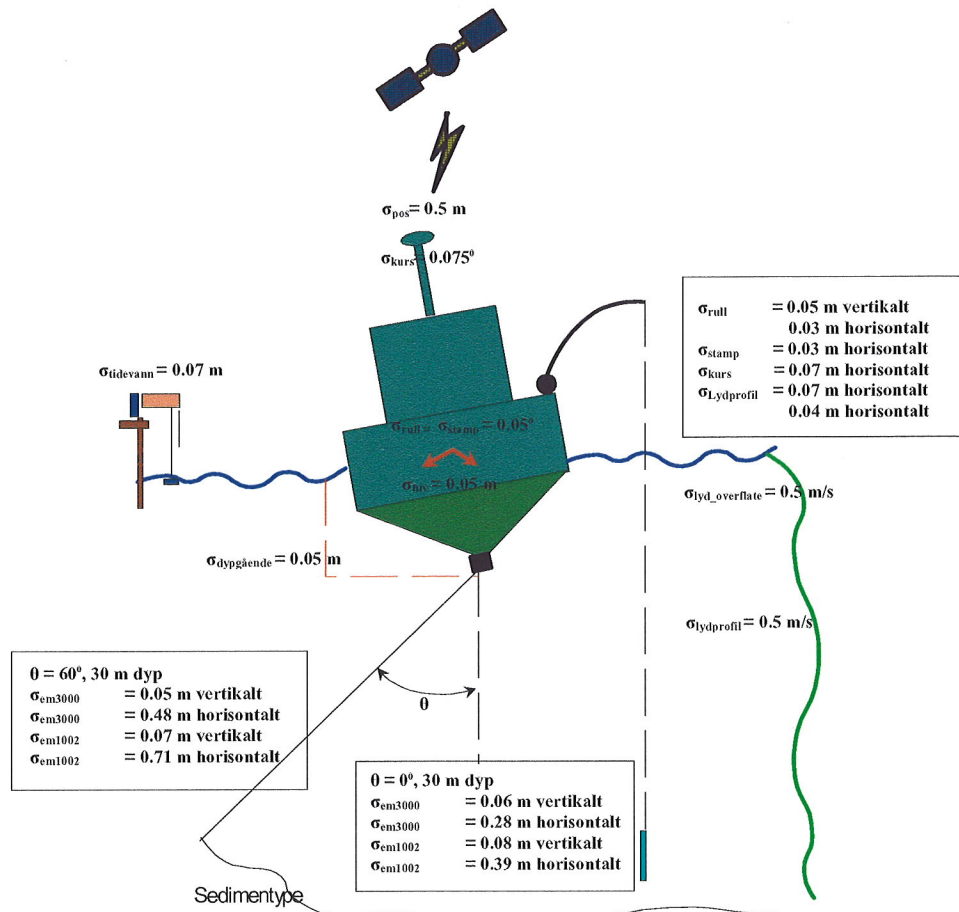
Feil i måling/anslag av dypgående og feil i måling av vannstand vil unngås ved bruk av GPS/RTK* som stort sett har en feil på 3-5 cm i høyde. Et slikt opplegg vil også registrere vannstandsvariasjoner utover det astronomiske tidevann, f.eks. "lange" bølger (som heller ikke vil fanges opp av en bevegelsessensor om bord i fartøyet). Men siden disse feilene ikke er sterkt dominerende vil ikke utslaget for den totale tilfeldige feilen bli vesentlig.

De fleste av feilkildene er oppsummert i Figur 1. For å illustrere bidragene fra de ulike feilkildene er det i Figur 2 vist et samlet feilbudsjett ved målinger på 50 m dyp. Ekkoloddet EM3000 er sammenliknbart med ekkoloddet som er benyttet av Secora ved Malmøykalven. Figur 2 viser at ved en utgangsvinkel på 30° blir summen av alle feilkilder ved en tilnærmet perfekt måling i størrelsesorden 25 cm (95% konfidensintervall) for dybderegistreringen. I et sjøområde med areal 50 000 m² og 100 000 m² vil dette kunne resultere i en usikkerhet i forhold til volumberegninger på henholdsvis 12 500 m³ og 25 000 m³. Tabellen i figur 2 viser også at

* RTK (Real Time Kinematic). Et RTK/GPS anlegg består av en basestasjon som settes opp på et fastpunkt (punkt med kjent koordinat) og en eller flere mobilenheter. GPS signalkorreksjoner sendes i sann tid fra basestasjonen til mobilenheten (i dette tilfelle på fartøyet). Et RTK/GPS-system øker posisjonsnøyaktigheten ved å kompensere for atmosfærisk forsinkelse, orbitalfeil og andre variabler i GPS geometrien.

TEKNISK RAPPORT

ved en større utgangsvinkel på strålen blir usikkerhetene større. Med en utgangsvinkel på 75° kan dybdefeilen bli hele 1,02 meter som tilsvarer et volum på $51\,000\text{ m}^3$ og $102\,000\text{ m}^3$ ved et sjøbunnsareal på henholdsvis $50\,000\text{ m}^2$ og $100\,000\text{ m}^2$.



Figur 1. Indikasjon på feilbidrag fra ulike sensorer (omarbeidet etter figur fra /1/).

TEKNISK RAPPORT

Samlet feilbudsjett ved 50 m dyp

Feilbudsjett for det sammensatte sjømålingssystemet.

Dette skjemaet presenterer total feil i sjømålingssystemet som benyttes av Sjøkartverket.

Antar at de forskjellige systemene er uavhengige av hverandre.

Formelverket som er benyttet er gitt i[??].

Nøyaktighets spesifikasjoner (1 sigma):

Posisjon	0,5 meter
Rull	0,05 grader
Stamp	0,05 grader
Hiv	0,05 meter
Kurs	0,08 grader
Lydhastighet	0,5 m/s
Lydhastighet ved overflate	0,5 m/s
Tidevann	0,07 meter
Dypgående	0,05 meter
Tidevann	0,01 sekund
Sensorposisjon Hz	0,01 meter
Sensorposisjon V	0,01 meter

Forutsetninger:

Dybde	50 meter
Hastighet	8 knop
Stampvinkel	0 grader
Rullvinkel	5 grader
Co	1500 m/s

EM3000D:

XBW	1,5 grader
YBW	1,5 grader
Sample d	0,054 meter
Puls length	0,00015 sekunder
Innst. Rull	40 grader

EM1002:

XBW	2,3 grader
YBW	2 grader
Sample d	0,063 meter
Puls length	0,0002 sekunder

Fra grader til radianer = 0,017453

Fra knop til m/s = 0,514444

Sensor	Observasjon	Nadirvinkel for strålen									
		$\Theta=0$		$\Theta=30$		$\Theta=45$		$\Theta=60$		$\Theta=75$	
		Dybde feil	Posisjons feil	Dybde feil	Posisjons feil	Dybde feil	Posisjons feil	Dybde feil	Posisjons feil	Dybde feil	Posisjons feil
		0	0	16	18	34	39	89	96	427	399
Seapos			0,500		0,500		0,500		0,500		0,500
M	Rull	0,000	0,044	0,025	0,044	0,044	0,044	0,076	0,044	0,163	0,044
R	Stamp	0,000	0,044	0,000	0,044	0,000	0,044	0,000	0,044	0,000	0,044
U	Hiv	0,050		0,050		0,050		0,050		0,050	
Sea-path	Kurs		0,000		0,038		0,065		0,113		0,244
EM-3000	Dybde	0,063	0,404	0,067	0,443	0,064	0,538	0,061	0,758	0,061	1,461
	Lydhast. overflate	0,000	0,024	0,004	0,006	0,000	0,000	0,011	0,006	0,051	0,014
EM-1002	Dybde	0,082	0,598	0,085	0,675	0,081	0,823	0,075	1,162	0,069	2,240
	Lydhast. overflate	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,002	0,032	0,009
	Lydprofil	0,017	0,000	0,020	0,019	0,037	0,033	0,101	0,058	0,465	0,124
	Tidevann	0,070		0,070		0,070		0,070		0,070	
	Dypgående	0,050		0,050		0,050		0,050		0,050	
	Tidsfeil		0,041		0,041		0,041		0,041		0,041
SUM	EM3000	0,12	0,65	0,12	0,67	0,13	0,74	0,17	0,92	0,51	1,57
	EM1002	0,13	0,78	0,13	0,84	0,14	0,97	0,18	1,27	0,51	2,31

95 %	EM3000	0,24	1,30	0,25	1,35	0,26	1,48	0,34	1,84	1,02	3,14
	EM1002	0,26	1,57	0,27	1,69	0,28	1,94	0,35	2,55	1,02	4,63

Figur 2. Samlet feilbudsjett ved 50 m dyp (fra /1/).

TEKNISK RAPPORT

Ved hjelp av sammenlignbare ekkoloddmålinger over tid er det i prinsippet mulig å beregne volumet av tilført masse til sjøbunnen, men det er viktig å være klar over feilkildene og usikkerhetene i dataene. Ekkoloddmålinger er blant annet benyttet ved overvåking av et dypvannsedoni ved St. Johns i Canada hvor sediment er blitt deponert i over 40 år. Overvåkingen ved St. Johns inkluderer annen teknologi i tillegg til multistråle ekkolodd for å øke nøyaktigheten i målingene og forståelsen av resultatene /5/.

For volumberegninger vil det være nødvendig å sammenligne målinger over tid. Enkelte av feilene nevnt over vil være lite relevante dersom formålet kun er å beregne differanse mellom målingene. Eksempel på en slik systematisk feil kan være svingerens plassering i forhold til antennen på fartøyet. Evt. feil vil i et slikt tilfelle være lik hele tiden, altså relativt riktig. Slike relative sammenligninger kan også være relevant for å unngå problemet med dybdeinntrengning (omtalt under feilkilder). Ved å anta at sedimentets egenskaper ikke er nevneverdig endret fra en måling til en annen, vil forskjellene i målingene danne utgangspunkt for volumberegninger dersom øvrig instrumentering og metodikk er lik i målingene.

Ekkoloddmålinger med multistråle ekkolodd er i utgangspunktet meget nøyaktig og kan være et egnet verktøy for beregninger av volumendringer i et deponi. Nøyaktigheten kan økes ved å inkludere annen teknologi (fotografering, kjerneprøver m.m.).

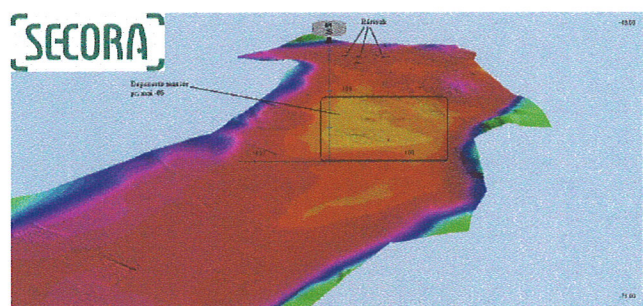
5 MÅLINGENE/BEREGNINGENE UTFØRT VED MALMØYKALVEN

Basert på opplysninger mottatt fra Secora kan det være mulig å utføre volumberegninger ut fra innsamlede dybdemålinger. I første omgang bør imidlertid målingen foretatt i februar 2006 holdes utenfor da denne ble utført med et enkeltstråle ekkolodd. For de øvrige målingene er det oppgitt fra Secora at følgende utstyr/metode er brukt:

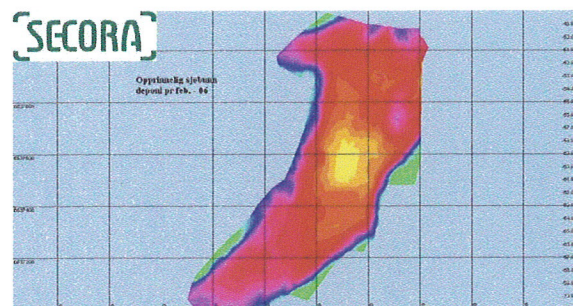
- Multistråle ekkolodd av typen Reson Seabat 8125 455kHz Ultra-High-Resolution Focused Multibeam Echo Sounder system (120 grader swath coverage, 120 meter range dybde). Åpningsvinkel er 0,5°, dvs. ca. 0,5 m oppløsning på 60 m dyp. Instrumentet sender ut 240 stråler, og er godt egnet for denne type målinger.
- Det er benyttet GPS/RTK for å minimere usikkerheter knyttet til posisjonsfeil, fartøyetts bevegelser og vannstandsfeil.
- Lydfarten registreres ved hjelp av sonde og lastes inn i programvaren som benyttes.
- Ekkolodd opereres og relevant utstyr kalibreres etter relevante prosedyrer.

Innbyggerinitiativet har allerede utført volumberegninger av tilført masse til deponiet /2/. Disse er basert på kartutskriftene fra Secoras målinger med fargekoter (1 m koter). Kartene fra Secora, se figur 3, er ment å visualisere dypdeforskjellene i området, og er laget ut fra data med betydelig større oppløselighet enn 1 m.

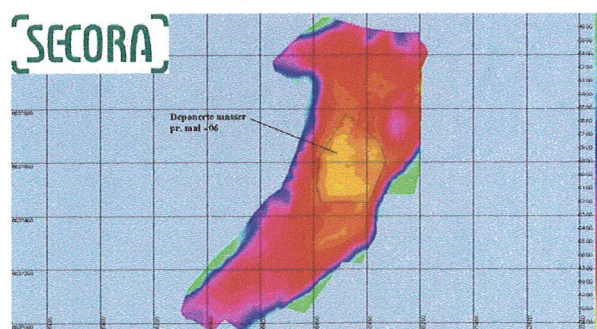
TEKNISK RAPPORT



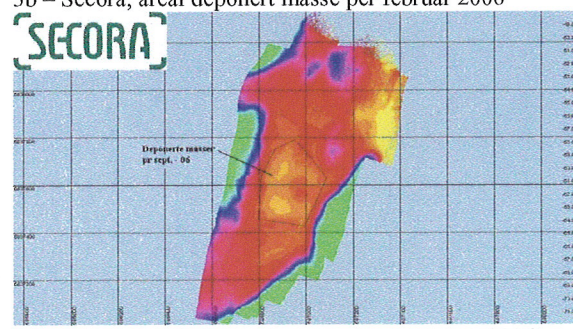
3a – Secora, 3D illustrasjon av areal deponert masse per mai 2006



3b – Secora, areal deponert masse per februar 2006



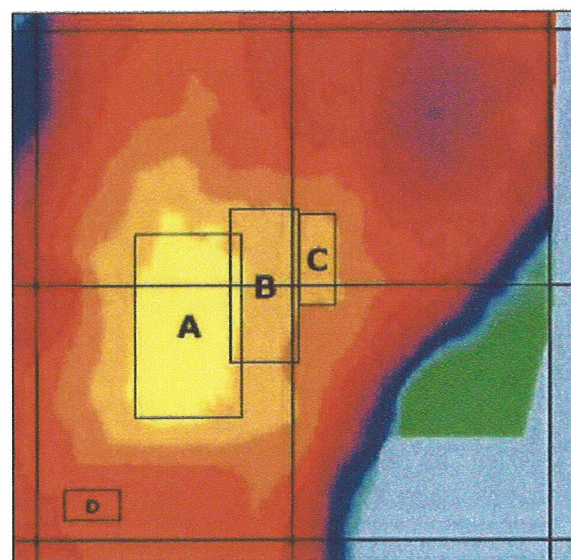
3c – Secora, areal deponert masse per mai 2006



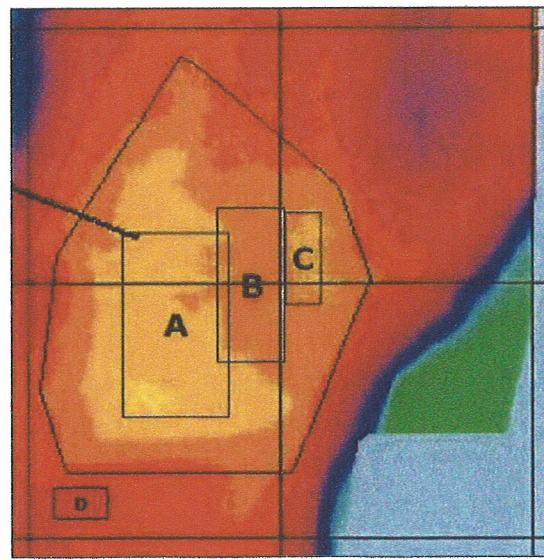
3d – Secora, areal deponert masse per september 2006

Figur 3. Ekkoloddbilder utarbeidet av Secora som viser deponerte masser i februar, mai og september 2006.

Figur 4 viser areal (rektangler) der havdypet er synlig redusert som fargeendring i kartet, og disse områdene ligger til grunn for Inbyggerinitiativets beregninger.

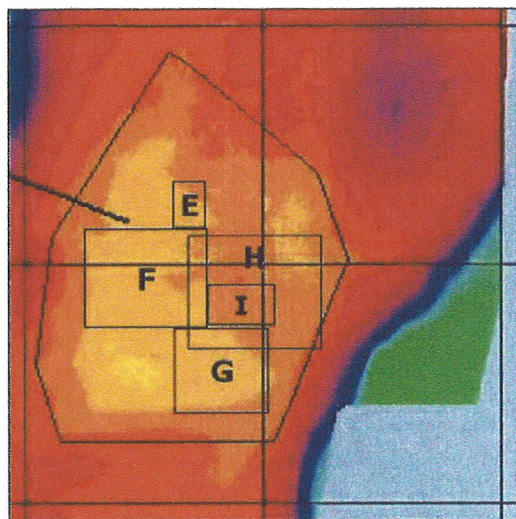


Februar

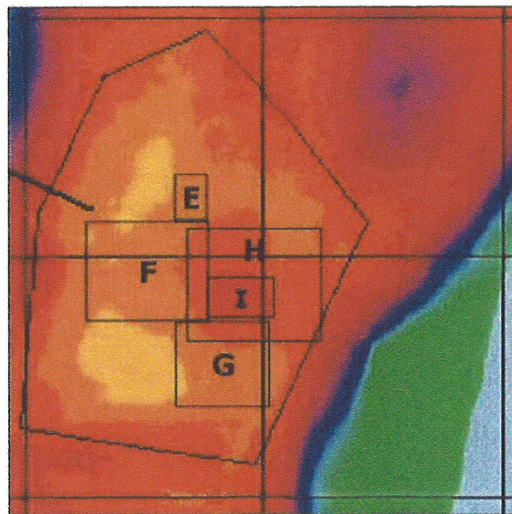


Mai

TEKNISK RAPPORT



Mai



September

Figur 4. Kart som er benyttet til volumberegninger av Innbyggerinitiativet. Rektanglene angir areal der ekkoloddmålingene viser endring over tid, og er utgangspunkt for beregningene av volumendringene.

Det er betydelige usikkerheter involvert ved å benytte et slikt kart til volumberegninger:

- Eksempelvis er oppgitt dyp på -70 m egentlig en målt verdi mellom -70,00 m og -70,99 m. Likeledes er den målte verdien til et oppgitt dyp på -71 m egentlig mellom -71,00 m og -71,99 m. Den reelle forskjellen mellom -70 m og -71 m kan altså være fra 1 cm til 1,99 m. Det er derfor store usikkerheter knyttet til estimater av volum deponert sediment dersom kun kartet benyttes.
- Estimater fremført av Innbyggerinitiativet er basert på areal (rektangler i figur 4) der dybdereduksjoner er synlig i kartet, dvs. der dypet tilsynelatende er redusert med 1 m. Det er ikke tatt hensyn til områder der dybdereduksjonen er mindre enn 1 m siden disse områdene ikke er synlige på kartet. Estimater inneholder ikke volum av disse massene.
- Areal med dybdereduksjoner er anslått til 22 248 m² (februar til mai) og 28 361 m² (fra mai til september), se figur 4. Dette utgjør en liten del av det totale deponiarealet på 350 000 m². Laget av tilførte masser vil naturlig nok være tynnere og bestå av en finere fraksjon med økende avstand fra utslippspunktet. Med en så grov koteinndeling som 1 m, vil en forholdsvis liten reduksjon i havdypet ikke synliggjøres i kartet. Tabellen under viser hva selv små dybdeforskjeller kan utgjøre i volum hvis arealet er stort.

Lagtykkelse - deponerte masser	Areal - hele deponiet	Areal - halve deponiet	Volum deponert masse - hele deponiet	Volum deponert masse - halve deponiet
0,1 m	350 000 m ²	175 000 m ²	35 000 m ³	17 500 m ³
0,2 m	350 000 m ²	175 000 m ²	70 000 m ³	35 000 m ³
0,4 m	350 000 m ²	175 000 m ²	140 000 m ³	70 000 m ³

TEKNISK RAPPORT

På bakgrunn av nevnte forhold er grunnlaget for beregningene utført av Innbyggerinitiativet, dvs. dybdekart med 1 m oppløsning, ikke egnet for beregning av volumendringer da usikkerhetene er for store.

Når det er sagt er det mulig at de underliggende dataene fra kartleggingen med multistråle ekkolodd er egnet for å gi et godt estimat for dybdeendringer og følgelig volumendringer. Målinger med multistråle ekkolodd gir svært god oppløselighet og resultatet av en oppmåling med det ekkoloddet Secora benytter gir anslagsvis 35 000 - 40 000 målinger pr. 5 000 m² sjøbunn på 70 m dyp eller 7-8 målinger pr m². Dette betyr at det eksisterer data som kan være egnet til å gi et best mulig estimat av dybde- og volumendringer i deponiet, noe som er diskutert nærmere i kapittel 6.

Det vil også være usikkerheter knyttet til komprimering av underliggende sjøbunn. I sitt estimat har Innbyggerinitiativet tatt utgangspunkt i at komprimering av underliggende sjøbunn ved full utnyttelse av deponiet vil være 1 m³ per m² sjøbunn (hentet fra Oslo havns søknad om deponering til SFT), og at komprimeringen skjer lineært i forhold til deponert masse.

Deponiets stabilitet og konsolidering er behandlet i flere dokumenter i sammenheng med konsekvensutredningen og tilleggsutredningen. Setningene i deponiområdet vil bestå av setninger i undergrunnen og i den deponerte massen med tildekking, og disse setningene vil foregå i hele perioden det tilføres masser og i lang tid etter at deponiet er ferdig tildekket. Men setningene vil sannsynligvis være svært varierende; fra ingen setninger i randsonene der mektigheten er null, til store setninger på mer enn en meter etter tildekking i de sentrale områdene der mektigheten kan bli opp til 7-8 meter. Det er ikke foretatt detaljerte setningsberegninger over hele deponiet ved forskjellige trinn i oppfyllingen, og det vil derfor være betydelige usikkerheter knyttet til dette.

6 FORSLAG TIL METODIKK FOR BEREKNING AV VOLUM

På bakgrunn av opplysninger om Secoras målinger, er det i prinsippet mulig å gjøre beregninger av volumendringer i deponiet samt usikkerheten knyttet til disse beregningene. Dette forutsetter at underlagsdata benyttes (i motsetning til kart), og at datakvaliteten (antall målepunkter, overlapp mellom måletransekter etc.) er tilfredstillende. Det henvises /1/ for beregning av usikkerheter. Slike beregninger vil være betydelig mer nøyaktige enn beregninger kun basert på kart med inntegnede koter og som er benyttet av Innbyggerinitiativet.

Det anbefales følgende fremgangsmåte:

Målinger fra "uberørte" områder, dvs. områder utenfor deponiet, sammenlignes. Målingene fra februar (som er utført med enkeltstråle ekkolodd) inkluderes ikke. Sammenligningene kan gjøres ved å se på differansen mellom datasettene fra mai, juni og september. Er middelverdien av differansen lik 0, er det ingen forskjell (støyverdiene skal utligne hverandre). Dersom det blir påvist forskjell mellom datasettene skyldes dette trolig systematiske usikkerheter/feilkilder. Hvis det f.eks. er 10 cm i forskjell, kan alle data fra en av deponimålingene "forskyves" 10 cm før sammenligning. En slik metode kan muligens også benyttes mot februar målingene (0-situasjonen) men usikkerhetene vil være betraktelig større ettersom instrument/metodikk ikke er direkte sammenlignbare.

TEKNISK RAPPORT

Etter en slik ”kalibrering” av datasettene kalkuleres differansen fra deponimålingene. Beregnet tilført masse mellom to målinger vil så kunne sammenlignes med registrert tilført masse i samme periode.

Selv ved en ny beregning basert på de målingene som er gjort under Oslos havns oppfølging av deponiet er det i prinsippet mulig å gjøre en volumberegning, men selv små usikkerheter kan gi utslag i betydelige volum sedimenter, noe som er diskutert i Kapittel 4. Beregninger av innfyllingsgrad i deponiet bør baseres på et overvåkingsprogram utarbeidet med det spesifikke formålet å måle/beregne innfyllingsgraden i deponiet.

TEKNISK RAPPORT

Referanser

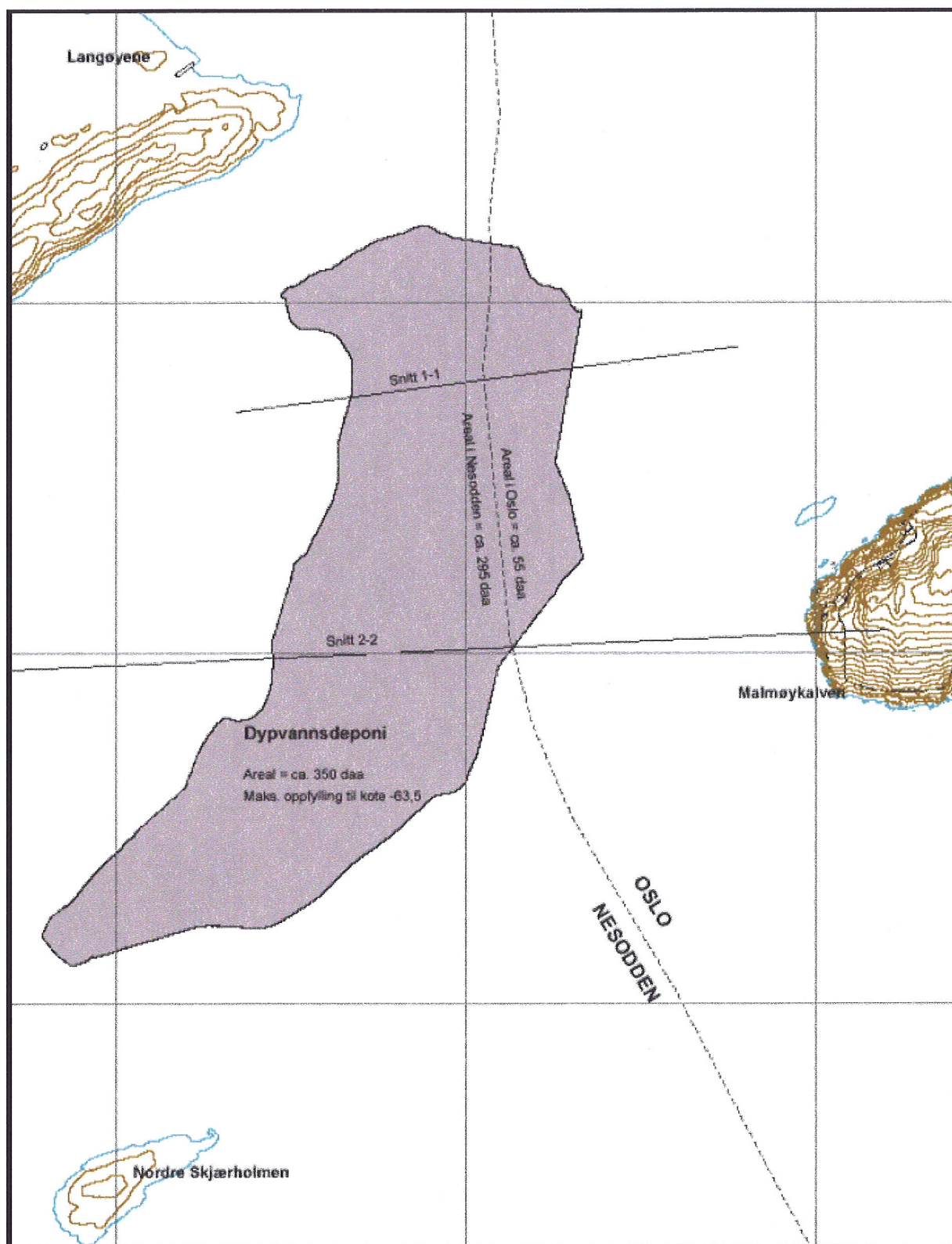
- /1/ Ofstad, A E., & Haustveit, K.T., 2000. *Feilbudsjett for sjømåling med multistråle ekkolodd*. Statens Kartverk, Sjøkartverket, 9.februar 2000. Rapport nr. GEO 00-2.
- /2/ Brev fra Innbyggerinitiativet på Nesodden til Miljøverndepartementet. Slamdeponi ved Malmøykalven – svar til E-post av 26.10.2006. Datert 2.11.2006
- /3/ NGI 2006. Resultater fra NGIs miljøovervåking under mudring og nedføring av forurensede sedimenter fra Oslo havn til dypvannsdeponiet ved Malmøykalven – status for perioden 24. november – 1. desember 2006 (uke 48).
- /4/ Oslo Havns hjemmesider: <http://www.ohv.oslo.no/cgi-bin/ohv/imaker?id=2344>
- /5/ Preston¹, J.M., Parrott², D.R. and Collins¹, W.T. Sediment classification based on Repetitive Multibeam Bathymetry Surveys of an Offshore Disposal Site.
¹ Quester Tangent Corporation, ² Geological Survey of Canada (Atlantic), Bedford Institute of Oceanography,

- o0o -

APPENDIX

A

KART FRA REGULERINGSPLAN



- o0o -