



O-94207

Vurdering av effekt av  
propellstrøm fra fartøy på  
sedimenter i Oslo havn

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning NIVA

Prosjektnr.: O-94207	Undernr.:
Løpenr.: 3218	Begr. distrib.: Fri

Hovedkontor	Sørlandsavdelingen	Østlandsavdelingen	Vestlandsavdelingen	Akvaplan-NIVA A/S
Postboks 173, Kjelsås 0411 Oslo Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00	Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 04 30 33 Telefax (47) 37 04 45 13	Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	Thormøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47) 55 32 56 40 Telefax (47) 55 32 88 33	Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 80 Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel: Vurdering av effekt av propellstrøm fra fartøy på sedimenter i Oslo havn	Dato: 15.1.1995	Trykket: NIVA 1995
Forfatter(e): Jan Magnusson	Faggruppe: Marinøkologi	Geografisk område: Oslo-Akershus
	Antall sider: 18	Opplag: 50

Oppdragsgiver: Oslo Havnevesen	Oppdragsg. ref.: 944053.2/800
-----------------------------------	----------------------------------

Ekstrakt: En enkel undersøkelse er gjennomført høsten 1994 i Oslo havn, for å studere effekten av propellerrosjon på sedimenter. Resultatene viser at det skjer en momentan oppvirvling i vannmassen på 40-165 kg partikler, 180-700 g bly og 1.3-5.2 g kvikksølv pr. anløp av fartøy på størrelse av Stena Saga (større ferge) og når bunndypet er mindre enn 11 meter, avhengig av størrelsen på antatt primært influensområde. Etter ca. 10 minutter har ca. 40 % av partiklene sedimentert og etter tre timer er det en rest av 5-20 kg partikler, 30-130 g bly og 0.02-0.8 g kvikksølv i vannmassen under sprangsjiktet. Det meste av det oppvirvlede sedimentet vil således i hovedsak omfordeles innenfor et begrenset område i havnen.

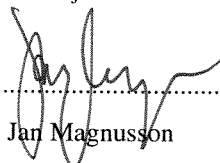
4 emneord, norske

1. Sedimenterosjon
2. Propelleffekt
3. Tungmetaller
4. Oslofjorden

4 emneord, engelske

1. Sedimenterosion
2. Propellereffect
3. Heavy metals
4. Oslo fjord

Prosjektleder

  
Jan Magnusson

For administrasjonen

  
Torgeir Bakke

ISBN  
ISBN82-577-2708-3

**O-94207**

**Vurdering av effekt av propellstrøm fra fartøy på  
sedimenter i Oslo havn.**

Forfatter: Jan Magnusson  
Medarbeider: Frank Kjellberg

**Norsk institutt for vannforskning**

**Forord.**

Denne undersøkelse er en del av et prosjekt for Oslo Havnevesen koordinert av Audun Hauge, Norges Geotekniske Institutt (NGI). Prosjektet omfatter kartlegging og håndtering av forurensede sedimenter i Grønlibukta, vurdering av aktuelle plasser for deponering av muddermasser, etablering av deponi i Grønlibukta og effekten av propellstrøm på sedimenter og enkelte miljøgifter (oppvirvling).

Prosjektplan ble utarbeidet til den 10.6.1994 og var et samarbeide mellom NGI, Aquateam A/S og Norsk institutt for vannforskning.

Kontaktperson hos oppdragsgiver har vært sjefsing. John Nilssen.

Foreliggende rapport omhandler undersøkelser av hvilken effekt propellstrøm fra fartøy kan ha på sedimentene i Oslo havn.

Feltarbeidet ble gjennomført av Frank Kjellberg og Jan Magnusson, NIVA.

Analyser er gjennomført ved NIVA's laboratorium.

Oslo den 15.1.1995

Jan Magnusson

**Innhold**

1. Innledning.....	4
2. Formål.....	4
3. Gjennomføring.....	4
4. Resultater.....	6
4.1. Tokt den 18.10.94.....	6
4.2. Tokt den 21.10.94.....	8
5. Beregning av mengder.....	15
6. Konklusjoner.....	17
7. Videre undersøkelser.....	17
8. Litteratur.....	18

## 1. Innledning.

Når fartøy anløper kai i Oslo havn genererer manøvreringen propellstrømmer som kan virvle opp forurenset sediment i vannmassen. Sedimentet kan herved dels omplasseres, men også spres med strømmer ut av havnebassenget for derved å påvirke andre områder. For å gjøre en første enkel studie av oppvirvlingens størrelse ble det gjennomført to tokt i Oslo havnebasseng (Bispevika) høsten 1994.

## 2. Formål

Formålet med undersøkelsen var å få et første inntrykk av en eventuell oppvirvling av sedimenter og enkelte miljøgifter (bly, kvikksølv) i vannmassen fra propellstrøm generert av større fartøy som anløper Oslo havn (Bispevika).

## 3. Gjennomføring.

Det ble først gjennomført et prøvetokt for å få erfaring med fartøyenes manøvrering i havnen. Det ble valgt å følge danskefergenes ankomst til Oslo. Det første toktet ble gjennomført den 18.10.94 og hovedtoktet den 21.10.94.

På toktene ble vannmassens lyssvekkning målt *in situ* (Q-meter). Det ble også tatt prøver av turbiditet og totalt suspendert materiale (TSM), samt vannprøver for måling av kvikksølv og bly. Etter det første toktet ble det klart at det ikke var tid til, som planlagt, å måle strøm samtidig. Denne delen ble derfor sløyfet. Spredning av partikler fra havneområdet er også tidligere beskrevet med en strømodell for Oslo havneområde (Rudberg m.fl., 1994).

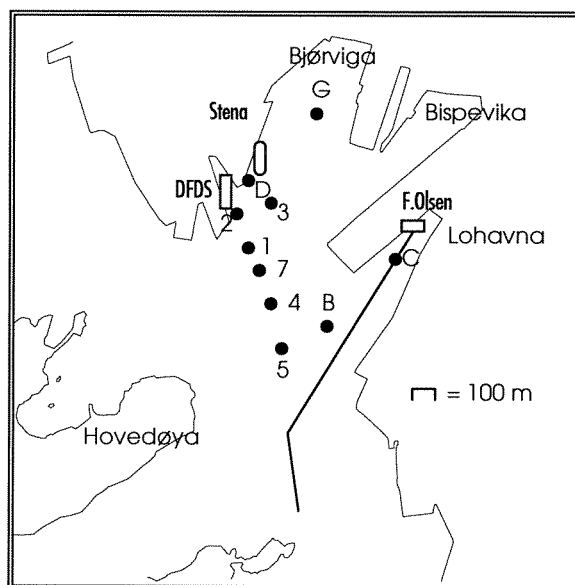
Følgende metoder ble brukt:

1. Transmisjonsmålinger utføres for å bestemme spredning av partikler i vannmassen med et transmisjonsmeter (Q-meter) med en bølgelengde på 660 nm (rødt lys). Transmisjonsverdiene er omregnet og uttrykkes som svekningskoeffisienten til partiklene ved å korrigere for vannets egensvekkning ved samme bølgelengde (c660-cw660). Måleenheten er  $m^{-1}$ . Målingene omfatter både løst organisk stoff og partikler.
2. Turbiditet (grumsethet): Turbiditet er det tall som kommer fra et instrument som måler mengden av "hvitt" lys spredt i 90 graders vinkel fra en vannprøve. Turbiditeten er egentlig et mål på konsentrasjon av optisk spredningstverrsnitt, men blir vanligvis gitt i enheter relativt en referanseprøve av fortynnet formazin som FTU: Formazin Turbidity Units. Turbiditet er målt med Hack turbidimeter.
3. Totalt suspendert materiale (TSM): TSM angir massekonsentrasjonen av partikler i mg/l. TSM måles ved å filtrere en vannprøve gjennom et 0.4 mikrometer nucleopore-filter. Filteret blir skylt med ca. 100 ml destillert vann for å fjerne salt, tørket og veid. TSM gir et uttrykk for både organisk og uorganisk partikulært materiale.
4. Bestemmelsen av bly utføres med atomabsorpsjon på grafittovn etter ekstraksjon med freon.

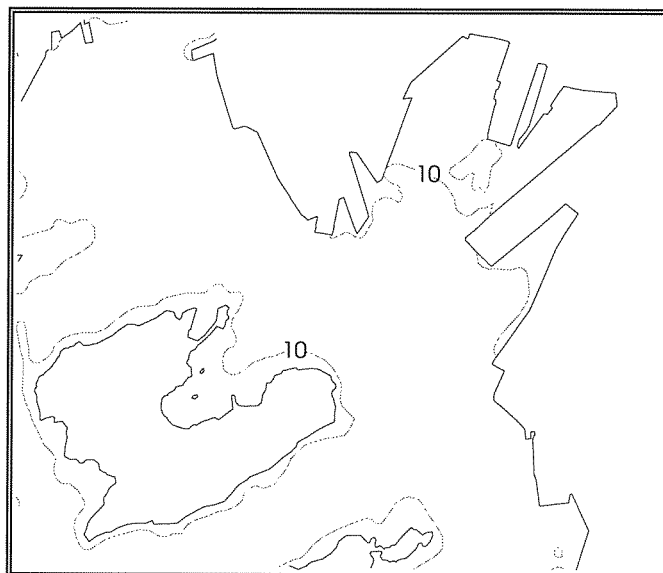
Deteksjonsgrensen for bly er 25 ng/l. Kvikksølv analyseres ved atomabsorpsjon (kalddamp atomabsorpsjon, gullfelle). Deteksjonsgrense er 2 ng/l og øvre grense for analysene 50 ng/l.

Stasjonsnettet fremgår av figur 1. Stasjonene ble valgt underveis ettersom fergene ikke manøvrerte som forventet som følge av forandringer av bauport på en av fergene (Stena Line).

De to fartøyene har stikker ca. 6.5 meter dypt og hovedpropellakslene sitter på ca. 4.5 meters dyp. Propellene har en diameter på ca. 4.3 m. Det er mindre forskjeller mellom fartøyene.



Figur 1. Oslo havn. Stasjonskart.



Figur 2. Oslo havn med 10 meters kote.

## 4. Resultater.

### 4.1. Tokt den 18.10.94

Den 18.10.94 ble det gjort observasjoner på stasjonene 1,2,3,4,5 og 7 (figur 1). I hovedsak ble det observert lyssvekkning ( $m^{-1}$ ) *in situ* (Q-meter). DFDS (Crown of Scandinavia) gikk fra Oslo havn kl 1704. Fergen bakk ut fra sin kaiplass. Stena (Stena Saga) anløp ca. kl. 18.30 og bakk inn i havnen til DFDS. Dette var de fartøysbevegelser som ble fulgt den 18.10.

Tabell 1 viser stasjon og klokkeslett for observasjoner den 18.10.94.

Tabell 1. Stasjoner og observasjoner den 18.10.1994.

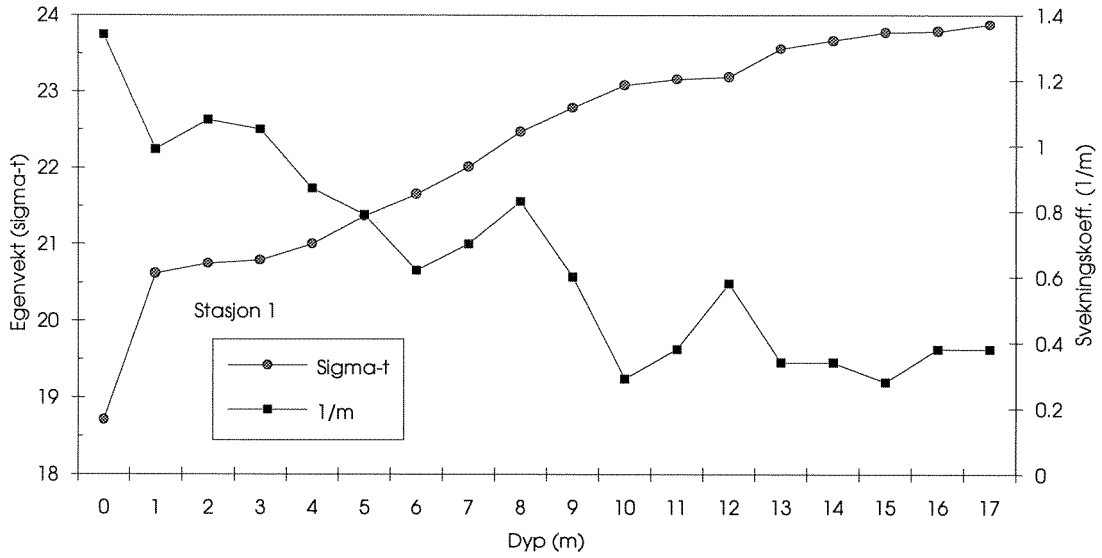
Stasjon	Kl	Anm.
1	1615	
2	1638	
3	1703	DFDS går
2	1708	
4	1725	Stena ankommer
1	1733	
2	1744	
4	1752	
5	1800	
1	1812	
6	1819	
7	1832	
2	1842	

De resultater som vises fra 18.10. er kun et utvalg av observasjonene som er av spesiell interesse.

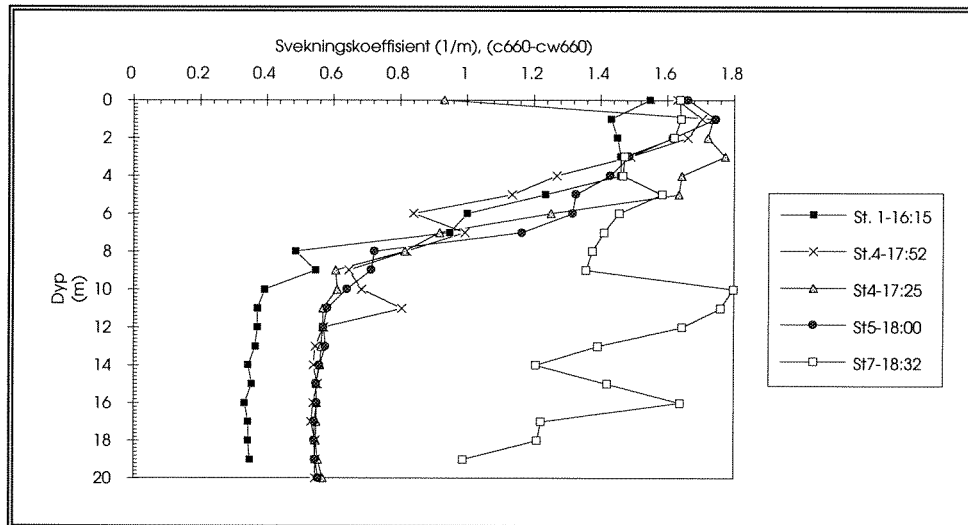
Figur 3 viser svekkningen og vannets egenvekt ( $\sigma_t = \text{egenvekten} \cdot 1000 - 1$ ). Over sprangsjiktet (ca. 7 meters dyp) viser figuren relativ høy partikkelmengde. Partiklene antas å utgjøres dels av plantep plankton, dels materiale tilført fra Akerselva. I de dypere vannmassene er partikkelinnholdet betydelig lavere. Figur 4 viser observasjoner etter DFDS avgang og før og etter Stenas ankomst. I overflatelaget er det ikke observert noen økt turbiditet, men i dypvannet har turbiditeten økt noe. Det er imidlertid en så liten økning at det er usikkert om dette er en propelleffekt. Sansynligvis var økningen instrument generert, ettersom "økningen" også ble observert som bakgrunnsverdi den 21.10.94.

Resultatene ble noe annerledes da Stena bakk inn på DFDS's kai kl 1830. På stasjon 7 ble det nå observert en klar økning av "partikkelmengden" fra 8 meters dyp og mot bunn. Imidlertid kan mye av dette også tenkes å være "lufteffekter", dvs instrumentet kan påvirkes av luftblærer forårsaket av propeller. Det ble ikke tatt vannprøver for å avgjøre dette.





Figur 3. Sjøkning og svekningskoeffisient den 18.10.1994 på stasjon 1.



Figur 4. Svekningskoeffisienten ( $m^{-1}$ ) på ulike stasjoner den 18.10.94.

#### 4.2. Tokt den 21.10.94

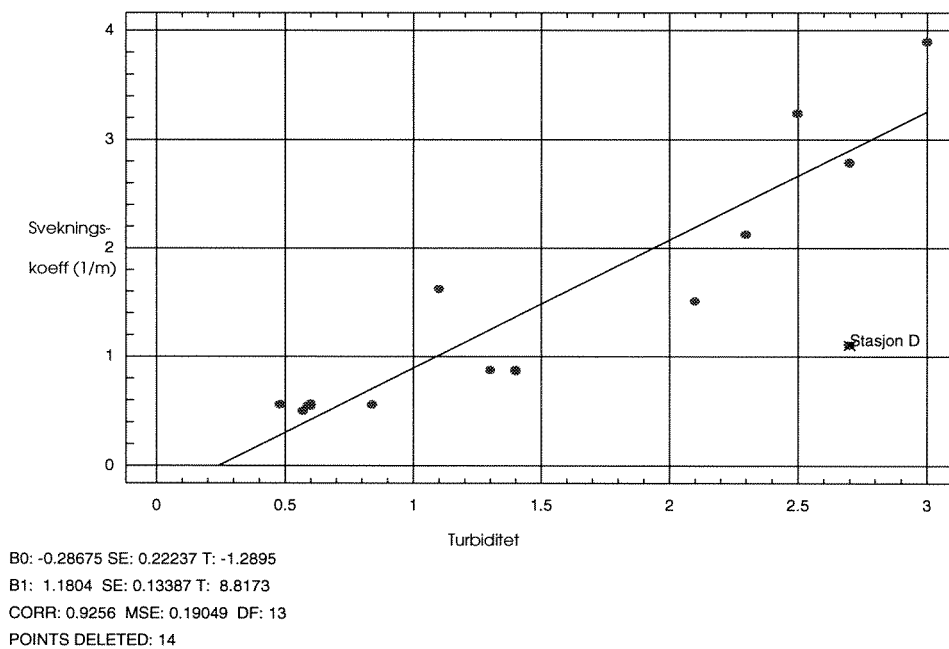
Hovedtoktet ble utført denne dag. Her ble det i tillegg til *in situ* observasjoner med Q-meter også tatt vannprøver for analyse av turbiditet, TSM, og ufiltrerte prøver av bly og kvikkslv.

Tabell 2 viser observasjoner og stasjoner den 21.10.94.

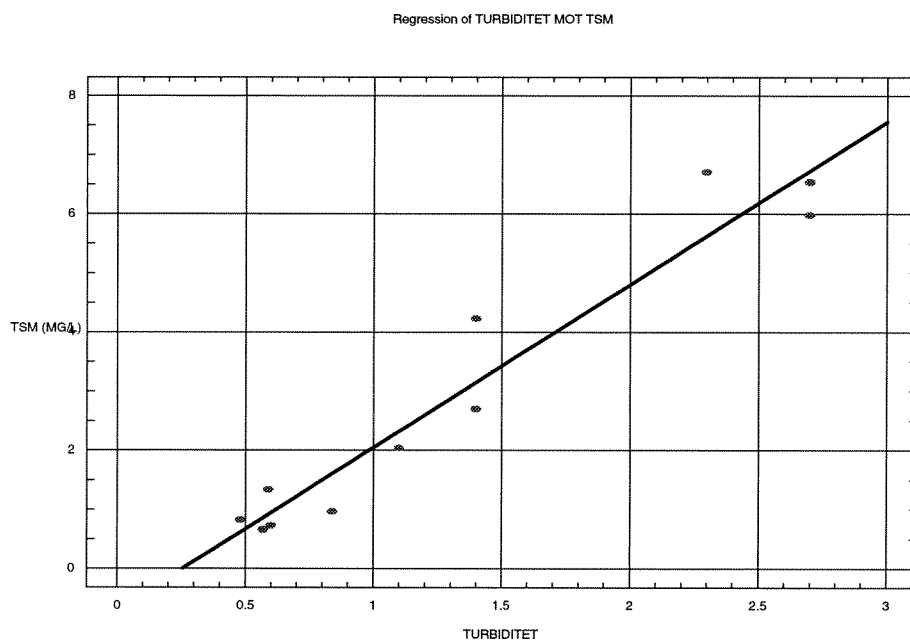
Tabell 2. Stasjoner og observasjoner i Oslo havnebasseng den 21.10.1994.

Stasjon	kl	Vannpr.	Anm.
I	704	Turb,TSM,Hg,Pb	
A	731		F.Olsen ank.
B	737		i kjølevann av F.Olsen
C	741		Lohavna
5	750	Turb, TSM	Stena ank. 0730 til DFDS-kai
1	820		Stena flytter 0800 til ny kai ank. 0830
2	842		
D	850	Turb, TSM, Hg, Pb	Akter Stena ved kai. Båten har propell igang
D	900		DFDS ank.
D	912		
2	916		
1	929		
C	1036	turb,TSM	
C	1050		
5	1056		
D	1105	turb, TSM	
2	1126		
1	1140		
G	1150		
D	1202	turb,TSM,Hg,Pb	
D	1227		

Samtlige turbiditetsanalyser utført på vannprøver er korrelert med *in situ* observasjoner med Q-meter (figur 5). Korrelasjonen er god ( $R^2 = 85 \%$ ,  $r = 0.93$ ), når en observasjon fra stasjon D strykes. Figur 6 viser regresjonen mellom TSM og turbiditet. Korrelasjonen var god.



Figur 5. Korrelasjon mellom svekningskoeffisient og turbiditet.



Figur 6. Korrelasjon mellom TSM og turbiditet.

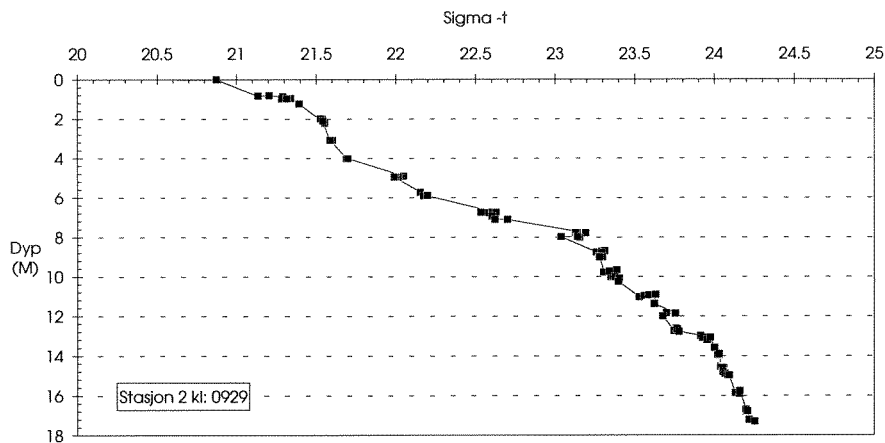
Regresjonslinjene blir:

Svekning (1/m) =  $-0.28 + 1.18 \cdot \text{turb.}$  og TSM (mg/l) =  $-0.71 + 2.75 \cdot \text{turb.}$

Skjæringspunktene er ikke signifikant forskjellige fra origo.

Analysen viser at *in situ*-observasjonene med Q-meteret gir et bra bilde av mengden partikler i vannmassene.

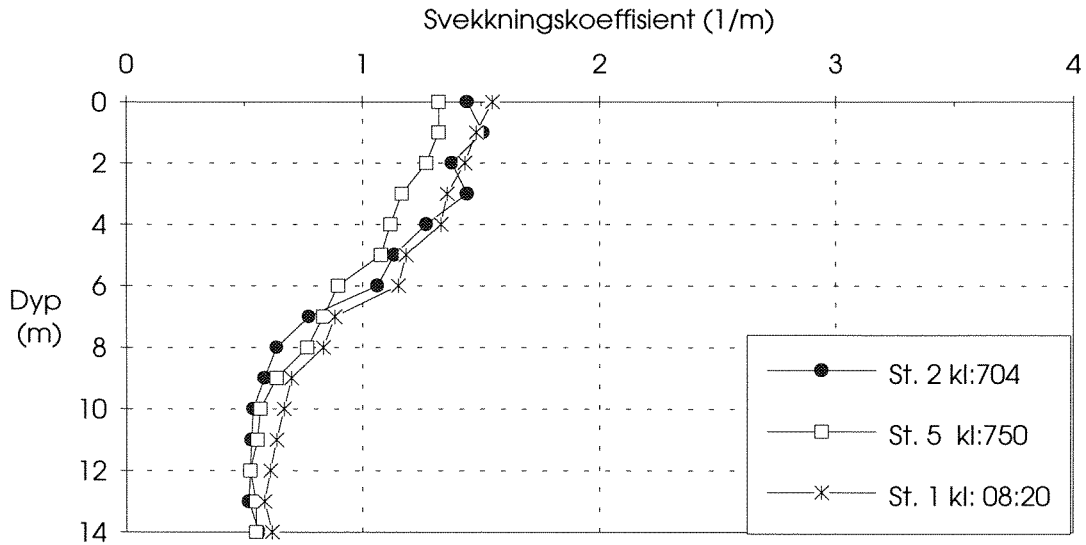
Sjiktningen var den 21.10.94 omtrent som den 18.10.94 med sprangsjikt på ca. 8 meter (figur 7). Det var omtrent vindstille, eller en svak nordlig vind (ca. 2 m/s). Overflatestrømmen var svak og i vindens retning.



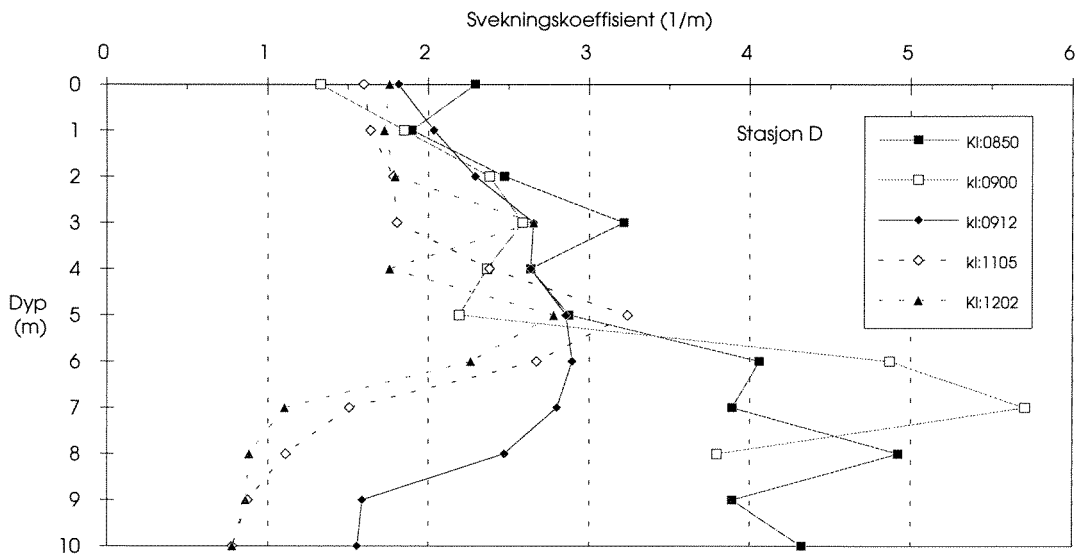
Figur 7. Egenvekten (sigma-t) i Oslo havnebasseng den 21.10.1994.

Figur 8 viser svekningskoeffisienten før og etter anløp av fartøyene på stasjon 1 og stasjon 5. Det ble ikke observert noen markert økning i partikelmengden under sprangsjiktet. Imidlertid flyttet Stena fra DFDS-kai til ny posisjon lengre inn i havnen (se kart, figur 1). Observasjoner akter om Stena (stasjon D) viste klart høyere partikelmengde fra 6 meters dyp til bunn (figur 9). Første observasjon ble tatt innen fartøyets propell var stoppet (observasjon kl 0850). Ca. 10 minutter etter at propellen var stoppet ble det tatt en ny observasjon som fortsatt viste omtrent samme mengder partikler fra ca. 6 meters dyp til bunn (11m). Ca. 20 minutter (kl 0912) etter propellen stoppet var konsentrasjonen vel halvert. Ca. 2 timer etter var konsentrasjonen omtrent på bakgrunnsnivå for dette dypet.

Observasjoner fra Lohavna hvor et fartøy fra Fred Olsen Line anløp er ikke presentert her. Observasjoner ble ikke tatt før fartøyet la til kai og observasjonene tatt etter, viste høyere konsentrasjoner ca. 3 timer etter at propellene var stoppet, sammenlignet med direkte etter fartøyet var kommet til kai. Vanddyper var ca. 7 meter og det var ikke mulig å skille den "naturlige" konsentrasjonen fra effekten fra fartøyet. Ettersom observasjonene ble konsentrert ved Stena, er det også usikkert hvilken "aktivitet" det var i Lohavna mellom observasjonene.



Figur 8. Svekningkoeffisient ( $m^{-1}$ ) på stasjon 1 og 5 den 21.10.1994.



Figur 9. Svekningkoeffisienten ( $m^{-1}$ ) den 21.10.94 akter Stena ved kai (stasjon D).

Totalt suspendert materiale (TSM) er sammenlignet med *in situ* observasjonene. Korrelasjonen mellom TSM og svekningkoeffisienten er relativt dårlig, sammenlignet med tidligere korrelasjoner. Her bør påpekes at vannprøvene ble tatt noe etter *in situ* observasjonene med Q-meteret, og at det ikke kan forventes noen bedre overensstemmelse ut fra selve prøvetakingsmetodikken.

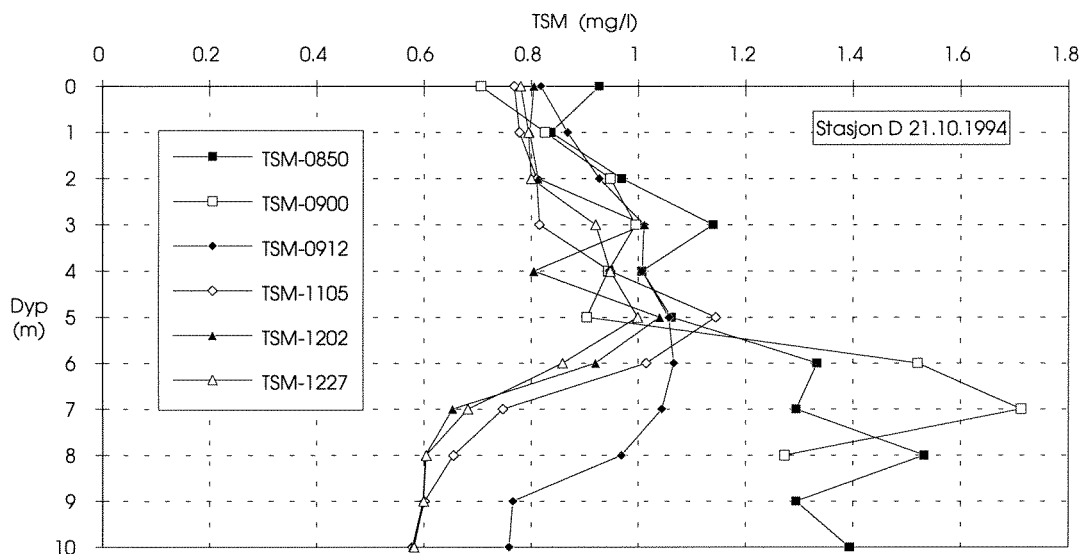
Regresjonslinjen er beregnet til:

$$\text{TSM (mg/l)} = 0.4 + 0.23 * \text{svekningskoeffisienten}, \text{ hvor } R = 0.75$$

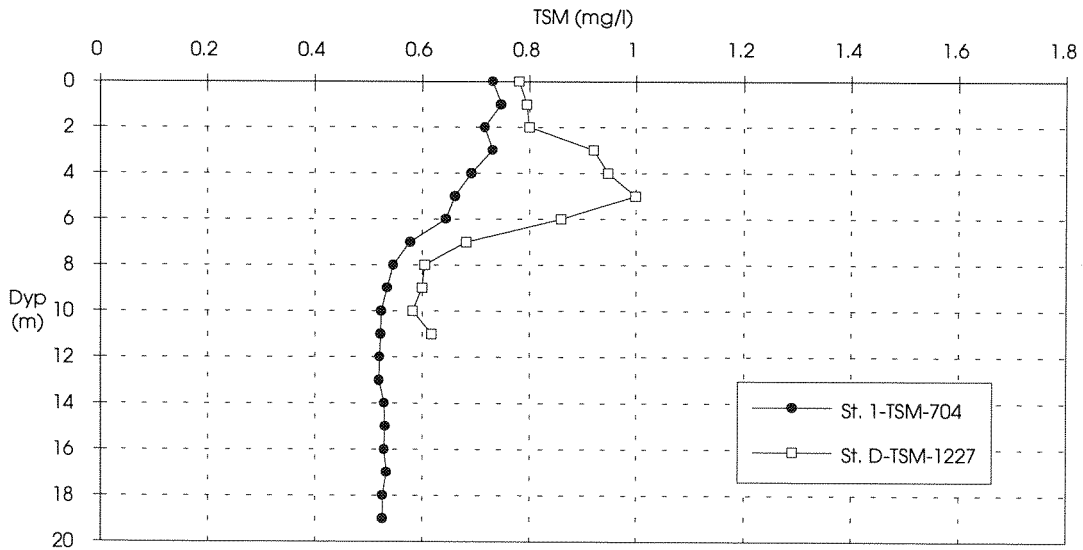
De beregninger som blir gjort ut fra denne korrelasjonen blir således meget grove.

Beregnete konsentrasjoner av TSM ut fra svekningskoeffisienten er presentert i figur 10 og 11.

Gjennomsnittlig konsentrasjon i vannet fra 6 meters dyp til bunn blir 1.4 - 1.5 mg/l, når fartøyet la til kai kl 0850-0900. Kl. 0912 var gjennomsnittlig konsentrasjon ca. 0.92 mg/l. Partikkelkonsentrasjonen hadde således blitt redusert med nesten 40 % på 12 minutter. Kl. 1105 var gjennomsnittlig konsentrasjon avtatt til ca. 0.6 mg/l, hvilket er omtrent lik bakgrunns-konsentrasjonen på dette dyp. Største delen av de oppvirvlede partiklene sedimenterer således innenfor et par timer.



Figur 10. Beregnede konsentrasjoner av TSM (mg/l) ut fra svekningskoeffisienten. Stasjon D den 21.10.1994.

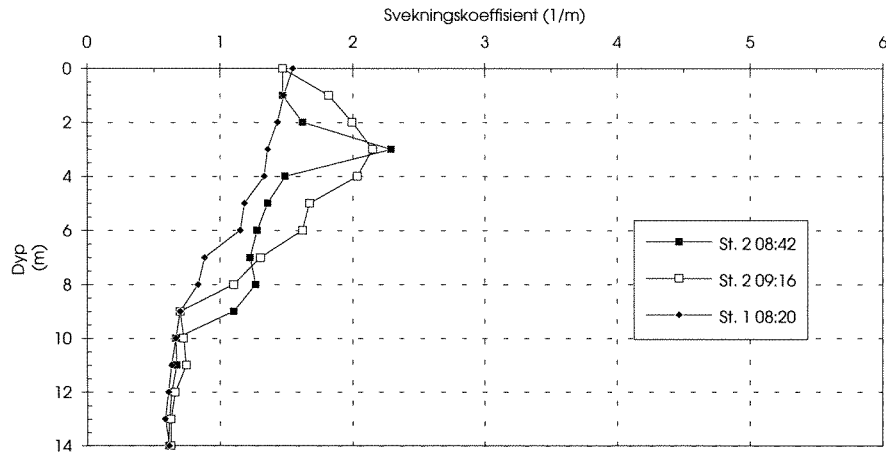


Figur 11. Beregnede konsentrasjoner av TSM (mg/l) etter svekningskoeffisienten på stasjon 1 (før fartøysanløp) og stasjon D (3 timer etter Stenas anløp).

For å få et bilde av den horisontale utbredelsen av oppvirvlingen fra Stena er observasjonene fra stasjon 1 og 2 sammenlignet (figur 12). Observasjonene viser at partikkelinnholdet var større på stasjon 2 i overflatelaget ned til ca. 10 meters dyp. Det er uklart om dette skyldes naturlige horisontale gradienter eller en effekt av fartøybevegelser. Muligens kan en liten konsentrasjonsøkning ses mellom 8 og 11 meters dyp. Imidlertid kan det konstateres at den horisontale utbredelsen av partikler som er blitt oppvirvlet av fartøyet sannsynlig var begrenset til et område innenfor stasjon 2.

Det kan således konstateres at større fartøy som trafikkerer Oslo havn fører til en oppvirvling av sedimenter. Oppvirvlingen er størst hvor bunn dypet er mindre enn 10 meter. Det er også klart at der hvor det foregår regelmessig trafikk (som ved fergekaiene) har finkornet sediment blitt transportert bort fra området. Dette fremgår også av sedimentundersøkelsene til Konieczny (1994), som viser grovere sedimenter langs kaiene.

Resultatene viser også at mye av partiklene som virvles opp sedimenterer i løpet av relativt kort tid (ca. 10 - 20 minutter).



Figur 12. Svekningkoeffisienten (1/m) den 21.10.94 stasjon 1 og 2.

Tabell 3 viser observasjoner av bly og kvikksølv på vannprøver fra ulike stasjoner i havnebassenget. For kvikksølv viser resultatene at det skjer en klar økning etter at Stena flyttet til kai ved stasjon D. Etter 3 timer synker kvikksølvkonsentrasjonen fra 31.5 ng/l til 6.5 ng/l på 9 meters dyp. Også for bly skjer samme utvikling - fra 4.20  $\mu\text{g/l}$  til 0.9  $\mu\text{g/l}$ .

Tabell 3. Konsentrasjoner av bly (Pb) og kvikksølv (Hg) i ufiltrerte vannprøver fra Oslo havnebasseng den 21.10.94.

Stasjon/ dyp	Klokkeslett	Kvikksølv (ng/l)	Bly ( $\mu\text{g/l}$ )
Stasjon 1/16m	0704	<2	0.11
Stasjon 1/ 14 m	0711	<2	0.28
Stasjon 1/16m	0711	<2	0.19
Stasjon 1/18m	0711	<2	0.11
Stasjon 1/14m	0754	<2	0.15
Stasjon 1/18m	0754	<2	0.12
Stasjon D/9m	0900	31.5	4.20
Stasjon D/9m	12.09	6.5	0.9

Mens partikkelkonsentrasjonen tre timer etter Stenas anløp lå omtrent på bakgrunnsnivå var det fortsatt overkonsentrasjoner av bly og kvikksølv i vannmassen. Det foreligger imidlertid en usikkerhet når det gjelder bakgrunnskonsentrasjonen av partikler ved stasjon D, ettersom det ikke ble gjennomført observasjoner før Stenas anløp på denne stasjon. Figur 9 viser konsentrasjonen på stasjon 1 før fartøyene ankom havnen og observasjoner etter Stenas anløp. Det er en liten, men klar forskjell mellom de to observasjonene og det kan diskuteres om forskjellen er en effekt av fartøysanløpet eller en horisontal "naturlig" gradient. I denne rapport er det antatt at observasjonene fra stasjon 1 kl. 0704 er bakgrunnskonsentrasjoner.

Det er de største partiklene som først sedimenterer, men overkonsentrasjoner av kvikksølv og bly



ca. 3 timer etter at propellene på Stena var stoppet, viser at metallene til dels er bundet til små svevepartikler som kan holde seg i suspensjon i lengre tid. Dette stemmer med de eksperimenter som ble gjort på sedimenter fra havnebassenget (Skei m.fl., 1994). Her viste det seg at sedimenter utsatt for kunstig oppvirvling (simulert propellersosjon) førte til økt kvikksølvkonsentrasjon i vannet over tid. Eksperimentet viste at ved en daglig oppvirvling med sedimenter hentet fra en stasjon ved nordspissen av Bleikøya ble det målt en gjennomsnittskonsentrasjon av kvikksølv på 5.6 ng/l i vannet over sedimentet 3 timer etter at oppvirvlingen var opphørt. Samme forsøk ble også gjennomført med sedimenter fra stasjon 1 og her ble det målt gjennomsnittskonsentrasjoner av kvikksølv på mellom 24 til 29 ng/l ved daglig eller ukentlig oppvirvling. Det var ingen statistisk forskjell mellom daglig og ukentlig oppvirvling. Forskjellen mellom eksperimentene med sedimenter fra de to stasjonene skyldes generelt høyere konsentrasjoner i sedimentet fra stasjon 1.

## 5. Beregning av mengder.

I henhold til formålet med undersøkelsen er en mengdemessig beregning av propelleffekten i denne del av Oslo havn blitt gjennomført. Ut fra de foreliggende observasjoner gir en slik beregning kun en mulig størrelse på oppvirvlingen. En mer nøyaktig beregning lar seg gjøre, hvis observasjonene gjennomføres fra to båter for samtidig å kartlegge sedimenteringen av partikler og den horisontale utbredelsen av partikkelskyen. Med hjelp av den utviklede strømodellen (Rudberg m.fl., 1994) kan siden konsentrasjoner og spredning beregnes. Dette blir nærmere diskutert i kapittel 6.

Det er således to vanskeligheter med å beregne størrelsen av oppvirvlingen. Ettersom det ikke kunne observeres klare forskjeller i partikkelkonsentrasjon i overflatelaget før og etter anløp av fartøy var det ikke mulig å detektere eventuelle effekter over sprangsjiktet. Videre ble den horisontale utbredelsen av den oppvirvlede partikkelskyen som følge av tidsnød ikke kartlagt tilfredsstillende. I tillegg ble det av samme årsak tatt for få vannprøver.

Med disse forbehold er det gjort en overslagsberegning av mengden partikler, mengden bly og kvikksølv som ble oppvirvlet av Stena.

Den maksimale horisontale utbredelsen av den oppvirvlede partikkelskyen er satt til innenfor en halvsirkel med radius mellom Stena og stasjon 2 ( $r=150$  m). Som et minste anslag har denne avstand blitt halvert og som et middels influensområde er det antatt en flate på  $100 \times 130$  m. Deretter er total oppvirvlet partikkelmengde beregnet ut fra observasjonene tatt umiddelbart etter Stena la til kai og det er også beregnet hvor mye som sedimenterer ut etter ca. 10-15 minutter. Ettersom mesteparten av de oppvirvlede partiklene sedimenterte relativt raskt, bidrar ikke dette til noen videre spredning ut fra havnebassenget, men vil omfordele overflatesedimentene innenfor området. I beregningene er bakgrunnskonsentrasjonen fratrukket. Som bakgrunns-konsentrasjon for partikler (TSM) er valgt observasjoner fra stasjon 1 kl 0704. Dypintervallet er valgt etter konsentrasjonsøkningen på stasjon D, dvs. fra 6 meters dyp til bunn (11 meters dyp).

Følgende omtrentlige volumer er blitt brukt. Maksimal volum på  $175.000 \text{ m}^3$ , middels volum på  $65.000 \text{ m}^3$  og minste volum på  $45.000 \text{ m}^3$ . Tabell 4 og 5 viser en sammenstilling av beregningene.

Tabell 4. Oppvirvlet mengde partikler (TSM (kg)) fra Stena (stasjon D) den 21.10.1994.

Tid	Maksimalt volum	Middels volum	Minste volum
kl. 0900	165	61	42
kl. 0912	63	23	16
kl.1105	28	10	7
kl.1209	19	7	5
kl. 1227	17	6	4

Ettersom det kun ble tatt få orienterende prøver på kvikksølv og bly vil en beregning av mengden oppvirvlet bly og kvikksølv i vannmassen bli meget usikker (observasjonen fra 1 dyp (9m) er antatt å gjelde for hele vannmassen hvor det ble observert overkonsentrasjoner av partikler ved stasjon D, dvs. 6-11 meters dyp). Som bakgrunnskonsentrasjon er brukt observasjonene fra de andre stasjonene. For kvikksølv er valgt 2 ng/l (som også er den normale konsentrasjonen for kvikksølv i fjordvann (Rygg og Thélin, 1993)), for bly er det valgt 0.2 µg/l (se også tabell 3).

Tabell 5 viser resultatene fra beregningene med for tre ulike arealer.

Tabell 5. Beregning av oppvirvlede mengder bly og kvikksølv i vannmassen fra Stena den 21.10.1994.

Variable	Tid	Maksimalt volum	Middels volum	Minste volum
Bly (g)	0900	700	260	180
Bly (g)	1209	130	45	31.5
Kvikksølv (g)	0900	5.2	1.9	1.3
Kvikksølv (g)	1209	0.8	0.3	0.02

Direkte oppvirvlede mengder ved anløp av et fartøy av Stena's størrelse når bunndypet er ca. 11 meters dyp eller mindre blir 40-165 kg partikler, 180 - 700 g bly og 1.3 - 5.2 g kvikksølv. Etter ca. 20 minutter er det ca. 40 % av de oppvirvlede partiklene som fortsatt er i vannmassene.

Etter opplysninger fra Oslo havnevesen anløper ca. 4000 større fartøy havnen pr. år. Ved avgang bør samme erosjon kunne antas. I tabell 6 er det beregnet dels momentan oppvirvlet mengde på årsbasis ( $2 * 4000 * \text{kons}$ ) dels det som ble observert etter tre timer.

Tabell 6. Årsmengder av oppvirvlede mengder dels beregnet på direkte oppvirvling ved anløp/avgang og dels på det som fortsatt gjenstår i vannmassen etter tre timer.

Variabel	Umiddelbar oppvirvling			Rest i vannmassen etter 3 timer		
	Maks.	Mid.	Min.	Maks	Mid	Min
Partikler (tonn)	1300	490	340	150	60	40
Bly (tonn)	5.6	2.0	1.5	1.0	0.4	0.3
Kvikksølv (kg)	40	15	10	6	2	1.5

Med et årsanløp på ca. 4000 fartøy til Oslo havn blir dette i snitt et anløp på ca 1 fartøy hverannen time, og forutsetter vi at fartøyene ikke akkumuleres i havnen, betyr det ca. 8000 kaimanøvreringer. Således skulle de mengder som ble observert tre timer etter et fartøysanløp kunne betraktes som den mengde som potensielt kan spres videre.

#### **4.3 Videre spredning av partikler.**

Når sedimentet virvles opp vil strømforholdene og sedimentasjonshastigheten avgjøre spredningsbildet. Vindstrømmen i Oslo havneområde er beskrevet ved en modell (Rudberg m.fl., 1994). Hovedresultatet fra dette arbeidet viser at partikler i suspensjon oppkonsentreres i Bjørvika eller selve indre havn, dvs. stanser i området. Men det skjer også en spredning ut fra havneområdet. Ved nordlige og østlige vinder vil partikler i suspensjon spres mot nord/nordvest, dvs. mot Pipervika, Frognerkilen og helt til Huk på Bygdøy. Ved vind fra sør og vest vil partikler suspensjon i hovedsak spres mot Bekkelagsbassenget og videre. Svært små mengder partikler vil bli fraktet videre utenfor øyene i Oslo havneområde.

Ut fra modellresultatene skulle således hoveddelen av partiklene som oppvirvles av fartøy forbli i området, men bli forskøvet eller omplassert. De mindre partiklene kan derimot fraktes ut av havnebassenget med vindstrømmen. Hvor stor mengde avgjøres av vindsituasjonen og antall anløp av fartøy pr. dag. Normalt vil små mengder transporteres ut over tid fra havnebassenget, men ved stor ferskvannstilførsel i Akerselva og Loelva kan transporten øke utover det modellerresultatene viser. Videre vil raskt synkende vannstand kunne bidra til en økt transport ut fra havnebassenget. Det er her ikke foretatt noen beregning av uttransporten fra havnebassenget ettersom grunnlagsmaterialet er usikkert.

## **6. Konklusjoner.**

Oppvirvling av sedimenter ved propellstrøm fra større fartøy betyr en betydelig momentan oppvirvling av partikler og forhøyde konsentrasjoner av bly og kvikksølv i vannmassen. Et fartøy av Stena Sagas størrelse vil umiddelbart virvle opp 40 - 165 kg partikler, 180 - 700 g bly og 1.3 - 5.2 g kvikksølv avhengig hvilket influensområde som antas. Mesteparten av sedimentet og tungmetallene sedimenterer raskt (mengden partikler ble redusert til ca. 40 % etter ca. 20 minutter) og etter tre timer gjenstår det 5-19 kg partikler, 30 - 130 g bly og 0.02- 0.8 g kvikksølv.

Hoveddelen av de oppvirvlede sedimentene vil således forflyttes innenfor selve havneområdet. De mengder som kan utgjøre grunnlaget for en videre spredning er de restmengder som ble observert tre timer etter en kaimanøvrering. Det er ikke grunnlag for å beregne videre spredning ut fra foreliggende observasjoner, men spredningsmodellen for området (Rudberg m.fl.1994) viser normalt i hovedsak en oppkonsentrering av partikler i selve havnebassenget og en relativt liten transport til områdene utenfor Osloøyene.

## **7. Videre undersøkelser.**

Den gjennomførte undersøkelsen må betraktes som et første forsøk på å anslå erosjonen av sedimenter som følge av propellstrøm. Denne erosjon er av interesse når effekten av forurensede sedimenter i havneområder skal vurderes å få et bedre kunnskapsgrunnlag for beregninger av tilførsler til vannmassen og vurdering av forurensede sedimenters effekt på et område. Motorytelse/propelleffekt og fartøyets størrelse(dyptgående) og hastighet er viktig å få knyttet til

en karakterisering av sedimentets kornstørrelse og innhold av ulike miljøgifter.

Erfaringene fra det gjennomførte studiet i Oslo havneområde viser at det er nødvendig å dels forbedre prøvetakingsteknikken (vannprøvene må tas samtidig med *in situ*-observasjoner), slik at *in situ* observasjoner av svekningskoeffisienten kan korreleres til TSM, og aktuelle miljøgifter i vannmassen. Videre bør det også analyseres på partikulært og løst innhold av ulike miljøgifter.

Det må arbeides fra minst to båter med samme utstyr, hvor en båt ligger stille og observerer forandringer over tid, mens den andre båten måler inn den horisontale utbredelsen av partikkelskyen generert av fartøyet. Fra en tredje båt kan det gjennomføres strømobserverasjoner.

Ettersom andre partikler fra elver også vanskeliggjør tolkingen av observasjoner bør feltarbeidet gjennomføres når elvetilførselen er liten. Dessuten er det også en fordel at planteplanktonmengden er liten. Gunstige forhold er tidlig på vinteren (desember/januar). Videre bør det være lite strøm i området under observasjonene, dvs. vindstille og stabilt lufttrykk.

Det vil også være gunstig å starte ved tidspunkt når det ikke har vært noen fartøysanløp på lengre tid (6 timer eller mer) og dessuten få avtalt med et "representativt" fartøy tidspunktet for gjennomførelsen.

Ved det gjennomførte forsøket ble det kun gjort analyser på partikkelkonsentrasjon, bly og kvikksølv. Også organiske miljøgifter burde analyseres i fremtiden.

## 8. Litteratur.

Konieczny;R.M. 1994. Miljøgiftundersøkelser i indre Oslofjord. Delrapport 4. Miljøgifter i sedimenter. Norsk institutt for vannforskning. Rapport nr: 3094.

Rudberg, A, Hackett,B., og Røed,L-P., 1994. Miljøgifter i indre Oslofjord. Delrapport 1. Simulering av partikkelspredning i Oslo havnebasseng. Nansen Senter for Miljø og Fjernmåling. NIVA-rapport nr. 2991.

Rygg, B. og Thélin; I., 1993. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. SFT-rapport TA-922/1993.

Skei, J., Oen, H., Pettersen, O., Bryde,J. og Jacobsen Skuggevik;L., 1994. Miljøgiftundersøkelser i indre Oslofjord. Delrapport 6. Eksperimentelle undersøkelser med forurensede sedimenter fra Oslo havnebasseng og bioakkumuleringsstudier med blåskjell, ål og erimitkreps. Norsk institutt for vannforskning. Rapport nr. 3070.