

Erfaringsnotat miljøudring i Kamfjordkilen, Sandefjord



Foto: T. Bakke

Norsk institutt for vannforskning

NOTAT

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 73 54 63 85 / 86
Telefax (47) 54 63 87

Tittel Erfaringsnotat miljømudring i Kamfjordkilen, Sandefjord	Løpenr. (for bestilling) 5059/2005	Dato 2005.06.09
	Prosjektnr. Undernr. O-25169	Sider Pris 12
Forfatter(e) Torgeir Bakke	Fagområde Marine miljøgifter	Distribusjon
	Geografisk område Vestfold	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens forurensningstilsyn v/Øivind Schreiner	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Sammendrag

Prosjektet er ett av SFTs 6 pilotprosjekter for sedimentopprydning. De øvre 50 cm av sedimentet i et areal på ca 87 000 m² er mudret ved bruk av to ulike metoder, og massene er deponert i et grunntvannsdeponi. Kontrolltiltak har fokusert på måling av partikkeltransport ut av tiltaksområdet og etterkarakterisering av miljøgiftene i øvre 2 cm. Det er vist at det er praktisk mulig å mudre bløte sedimenter på en kontrollert måte, men bare ett av tre mudringsfartøyer brukt ble ansett som egnet. Grunntvannsdeponiet har fungert etter intensjonen og utlekkingen av PCB fra området der deponiet er lagt er redusert med over 98 %. Tiltaks målet om miljøkvalitet av SFT klasse III eller bedre ble ikke oppnådd i mer enn ca 3 % av arealet. Den nye bunnen var preget av et lett mobiliserbart, sterkt forurenset sedimentlag som også var til stede ca 1 år etter mudringen. Hovedkilder synes å være resuspensjon inne i Kilen og ferge-generert transport av partikler til Kilen fra havna utenfor. Tilførsel fra land, overløp og bekkefar bidrar lite. Prosjektet har holdt kostnadsrammer og framdriftsplan.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Sediment	1. Sediments
2. Tiltak	2. Remediation
3. Mudring	3. Dredging
4. Sjødeponi	4. Sewater deposition



Torgeir Bakke
Prosjektleder



Kristoffer Næs
Forskningsleder



Øyvind Sørensen
Ansvarlig

Forord

NIVA er kontraktet av SFT for å utarbeide et kortfattet erfaringsnotat fra mudringstiltaket i Kamfjordkilen. Notatet skal blant annet brukes av Sedimentrådet til å lage en samlet fremstilling av erfaringene fra SFTs pilotprosjekter for sedimentopprydning i havner.

Oslo, 2 september 2005

Torgeir Bakke

Innholdsfortegnelse

1. Beskrivelse av prosjektet	5
1.1 Bakgrunn for prosjektet	5
1.2 Forundersøkelser/beslutningsgrunnlag/valg av tiltak	5
1.3 Mål	6
1.4 Informasjonsstrategi	7
1.5 Finansiering/kostnader	7
1.6 Beskrivelse av tiltaket	7
1.7 Kontroll og oppfølging	8
1.8 Resultater	9
2. Viktig lærdom	10
2.1 Faglige problemstillinger	10
2.2 Praktisk-teknisk gjennomføring	10
2.3 Kommunikasjon/informasjon/myndighetskontakt	11
2.4 Økonomi	12
2.5 Gjenstående kunnskapshull når notatet skrives	12

1. Beskrivelse av prosjektet

1.1 Bakgrunn for prosjektet

Mudringstiltaket i Kamfjordkilen, den innerste del av Sandefjord havn, var begrunnet i ulike brukerinteresser. Havneområdet har stor ferge- og småbåttrafikk og det var planlagt stor boligutbygging på nordsiden av Kilen. Fiske er lite aktuelt i selve Kilen men lenger ute i Sandefjordsfjorden er det både yrkes- og fritidsfiske etter fisk og skalldyr. Samtidig har fjorden innenfor Trangsholmene hatt kostholdsrad siden 1993 på grunn av høyt innhold av dioksinliknende PCB i torskelever. Siste undersøkelse av fisk ble gjort i 1997. For Kilen ble det i 1997 påvist klororganiske miljøgifter i vannmassene som kunne komme både fra oppvirkede sedimenter, kloakksystemets overløp og avrenning fra forurenset grunn.

I 2000 fikk 11 havneområder inklusive Sandefjord havn pålegg av SFT om miljøtiltak. Samme år valgte SFT Kilen som et av sine 6 pilotprosjekter for å fremskaffe kunnskaper sedimentopprydning i havner (Trondheim, Kristiansand, Horten, Sandefjord, Håkonsvern, Tromsø). I tillegg hadde kommunen allerede satt i gang en sanering av byens avløpssystem som ville redusere behovet for å slippe overvann ut i havnebassenget, og kommunen hadde vedtatt å bruke om lag 30 mill kroner på avskjærende tiltak nord og øst for Kilen for å hindre forurensing fra land i å lekke ut i sjøen. Sedimenttiltaket var derfor ett av flere samtidige tiltak for å stoppe gjenværende miljøgiftkilder.

For å få bredde i tilnærmingen til pilotprosjektet arrangerte Sandefjord kommune 21. juni 2001 en idé-dugnad med deltakelse av myndigheter, entreprenører og miljøkonsulenter. På bakgrunn av prosjektforslag i etterkant av idé-dugnden ble tilbudsforespørsel sendt ut til et utvalg entreprenører. I august 2001 inngikk Sandefjord kommune en totalentreprise-kontrakt med NCC som utførende entreprenør for arbeidene i samarbeid med NIVA og NGI. Prosjektgruppen skulle stå for utarbeidelse av tiltaksplan, mudring og deponering i gruntvannsdeponi, kontroll og overvåkning og utarbeidelse av erfaringsrapport for tiltaket. Prosjektperioden var fra november 2001 til november 2003.

Tiltaksplanen ble oversendt fylkesmannen i desember 2001 og tillatelse til å starte arbeidet ble gitt i mai 2002.

1.2 Forundersøkelser/beslutningsgrunnlag/valg av tiltak

Tiltaksområdet har et samlet areal på ca. 110 000 m² og et størstedyp på ca 6 m. Historisk informasjon viser at det i og rundt Kilen kunne være flere potensielle kilder til miljøgifter, først og fremst for PCB, DDT, kvikksølv og TBT. Bunnsedimentene var sterkt forurenset av PCB, PAH og kvikksølv og markert forurenset av bly, kadmium, oljehydrokarboner og DDT, og hadde gjennomgående høyere miljøgiftbelastning enn i havneområdet forøvrig. Grunnlaget for karakteriseringen var imidlertid spinkelt: en prøve fra øvre 2 cm i selve Kilen og 4-5 prøver fra havneområdet utenfor, men øvrig informasjon om sedimentene innenfor Tranga, miljøgifter i fisk og skalldyr og kildeoppsporing i vannmassene ble også lagt til grunn for konklusjonen om at sedimentene kunne utgjøre en kilde av betydning.

I tiltaksplanen som ble laget ble det foreslått et miljømål om at bunnsedimentene ikke skulle ha konsentrasjoner av tungmetaller, PAH, PCB og TBT over øvre grense for klasse III i SFTs miljøkvalitetskriterier. En rekke alternative tiltak ble veid mot hverandre for å oppnå dette: fjerning av sedimentene, rensing på stedet, tildekking, og naturlig restitusjon (ingen handling). For alternativet fjerning, ble det også vurdert ulike deponeringsalternativer: på dypt vann, på grunt vann, eller på land.

Ut fra en samlet vurdering anbefalte tiltaksplanen følgende tiltaksmetode.

- I områdene grunnere enn kote -4 m skulle man mudre de øverste 0,5 m i de delområdene som ikke allerede tilfredstilte SFT klasse III for de aktuelle miljøgiftene. Det skulle benyttes minimum to mudringsmetoder: sugemudring og pneumatisk mudring.
- I områder som ikke tilfredstilte klasse III etter mudring, skulle man vurdere overdekking med 0,3 m rene masser.
- Det skulle etableres en fysisk barriere som avgrenset et gruntvannsdeponi fra kote - 4 m og dypere sentralt i Kilen.
- De mudrede massene skulle deponeres bak (øst for) barrieren, avgrenset fra havneområdet utenfor.
- Deponering skulle skje delvis direkte og delvis ved at massene ble lagret i store geotekstilposer.
- Deponiet skulle dekkes med 0,3 m rene masser.

Anbefalingene ble akseptert av kommunen og fylket. Området som skulle mudres utgjorde ca. 80 000 m², mens gruntvannsdeponiet i den dypeste delen utgjorde maksimalt 30 000 m².

Bunnsedimentene i Kilen består av svært bløte masser, og det ble tatt kjerneprøver for å undersøke geoteknisk stabilitet både for etableringen av barrieren og ved avlastning som følge av mudringen. En del data fantes fra tidligere utførte grunnundersøkelser. Det ble tatt 7 nye kjerneprøver av lengde ca. 1 til 4 m langs traseen for barrieren. Prøver fra fire av punktene ble analysert i laboratoriet som grunnlag for å design av barrieren. De geotekniske beregningene viste at en utmudring på inntil 0,5 m ikke ville ha vesentlig innvirkning på stabilitetsforholdene. Ved dypere mudring ville det være behov for tiltak.

Det ble også innledningsvis tatt 4 sedimentprøver fra nordsiden av Kilen for å undersøke sedimentets egenskaper for behandling, primært mulighet for avvanning. Ved bruk av to typer polymerer som også brukes til vannrensing, ble det i lab-skala vist at det var mulig å bedre avvanningsegenskapene.

Før mudringen ble satt i gang kartla man forurensningsgraden i massene som skulle fjernes. Det ble tatt kjerneprøver i et rutenett med 40 ruter på 50 × 50 m. Prøver fra de øvre 90 cm ble tatt sentralt i 24 utvalgte ruter som skulle mudres. De øverste 50 cm fra hver kjerne ble blandet for analyse, mens de nederste 40 cm ble frosset ned for eventuell senere bruk. Analysene omfattet tungmetaller (As, Cd, Cu, Hg, Pb), PCB₇, PAH₁₆ og tinnorganiske forbindelser. Tinnorganiske forbindelser ble bare analysert i de prøvene fra 0-50 cm som tilfredstilte SFT klasse III for alle de andre parametrene, dette for å redusere kostnadene. Kun i 5 av de 24 rutene tilfredstilte blandprøvene fra 0-50 cm klasse III for samtlige miljøgifter. Siden disse lå innimellom andre ruter som skulle mudres, valgte man å mudre alle. Fra seks av de mest forurensede kjernene ble også sjiktet 50-70 cm analysert for PCB og PAH. Resultatene indikerte at om man mudret til 50 cm ville man fjerne PCB-forurensningen, men sannsynligvis ikke PAH-forurensningen, i hvertfall ikke på sørsiden av Kilen. Disse dypere prøvene ble ikke analysert for tinnorganiske stoffer fordi man ikke forventet at denne forurensningen fantes så dypt. For å kunne sammenlikne sedimentforholdene før og etter mudring ble det også tatt ekstra prøver fra de øvre 2 cm. Disse ble tatt fra de 16 gjenværende rutene og fra 9 av rutene der det også ble tatt lange kjerner. 0-2 cm prøvene ble analysert for de samme miljøgiftene unntatt de tinnorganiske.

1.3 Mål

Det endelige mål for tiltakene i Sandefjord havn er å få opphevet kostholdsrådene. Det spesifikke målet for tiltaket på sedimentene i Kilen var å redusere forurensningsgraden i alle deler av bunnen til øvre grense for SFT klasse III eller bedre. Sammen med de andre avskjærende tiltakene på land var målet at dette skulle bidra til å friskmelde Kilen-området som kilde til opprettholdelse av kostholdsrådene. Det var likevel underforstått i kommunen at det kanskje ville være behov for tiltak i andre deler av Sandefjord havn som f.eks Hestekoens småbåthavn og Stub-området før kostholdsrådene innenfor Tranga kunne oppheves.

1.4 Informasjonsstrategi

Kommunen har i hele tiltaksperioden tilstrebet å holde en åpen linje til publikum om tiltaket. Idédugnaden i forkant av valg av tiltaksløsning, i juni 2001 var åpen for lokale interessegrupper. Tiltaket har også hatt stor lokal mediadekning, ikke minst da NCC stoppet arbeidet allerede 13 september 2002 etter at Bellona krevde stans inntil en del forhold var avklart. Dette gjaldt både konstruksjonen av deponibarrieren, kontrollen med partikkelspredning under anlegg og etableringen av et gruntvannsdeponi. Etter flere møterunder i formannskap og kommunestyre ble arbeidet satt i gang igjen den 30 september 2002. Hovedkildene for informasjon til allmennheten under hele saksgangen har vært lokale media og internett. Både kommunen og Bellona har gitt sine synspunkter via flere oppslag på egne hjemmesider.

1.5 Finansiering/kostnader

Opprinnelige signaler fra SFT var at staten i sin helhet ville dekke utgiftene til pilotprosjektet, og basert på de første kostnadsoverslagene på ca 11 mill. kroner ga SFT signal om fullfinansiering. Etter tiltaksplanen var kostnadsberegnet ble det klart at prosjektet ville bli langt dyrere, ca 25 mill kroner. Totalkostnadene for sedimenttiltaket har vært i overkant av 26 mill. kroner Av dette har SFT dekket 18 mill. kroner, kommunen ca 4 mill kroner og næringslivet i Sandefjord om lag 3 mill. kroner.

Kontraktssummen med NCC/NGI/NIVA har vært på totalt 18,7 mill. kroner. Av dette gikk ca 1,5 mill. kroner til miljørelaterte forundersøkelser, kontroll og overvåking. Omtrent samme sum gikk til skrotplukking. Resten gikk til gjennomføring av selve tiltaket.

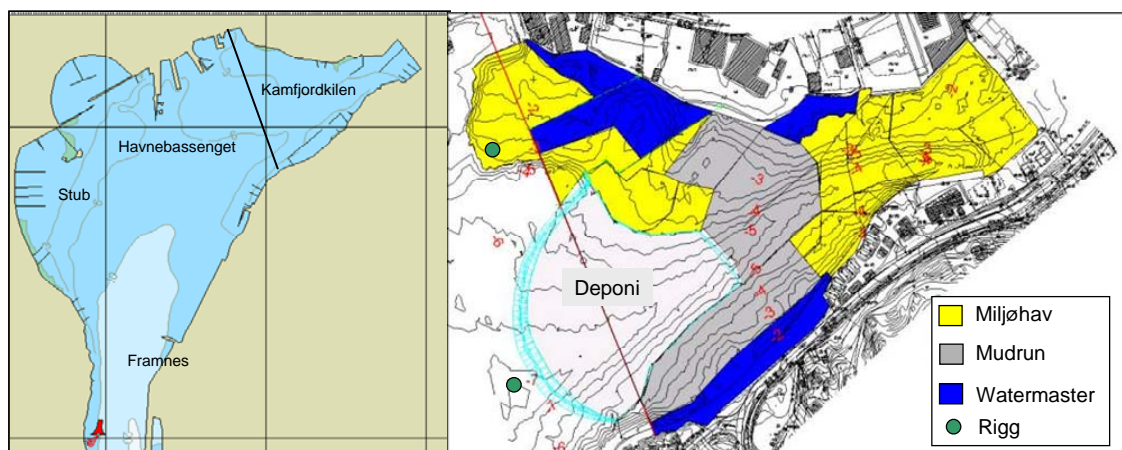
1.6 Beskrivelse av tiltaket

Arbeidene er blitt utført i perioden august 2002 til oktober 2003, og erfaringsrapport fra arbeidene var klar fra NCC 17 november 2003.

Deponibarrieren vest i Kilen ble etablert først. Den består av grus og steinmasser på et fundament av ca. 0,5 m grus ovenpå helsydd geotekstil. Prosjektet skråningshelning på barrieren var 1:3 og barrierens bredde i toppen er ca. 2–3 m. Det ble satt krav til at de ytterste 0,5 m skulle bestå av erosjonssikre masser.

Endelig mudret areal var ca. 87 000 m². Ca 82 000 m² ble mudret til 50 cm. Et område på 5 000 m² på nordsiden ble mudret noe dypere ut fra ønske om større farledsdybde. Mudringen ble gjort med to forskjellige teknikker: sugemudring og pneumatisk mudring. Sugemudring foregikk fra to fartøyer med litt ulik funksjon. "Watermaster" hadde minst kapasitet og ble brukt til områder på grunt vann, "Miljøhav" på dypere vann. "Miljøhav" opererte meget effektivt i dypintervallet 4 – 7 m. Med disse fartøyene ble det oppnådd ca 5-10 % tørrstoff i pumpeledningen og massene ble overført til geotekstilposer før deponering. Fartøyet for pneumatisk mudring "Mudrun" ga et tørrstoffinnhold på 15 – 25 % i pumpeledningen, og deponeringen kunne derfor gjøres uten geotekstilposer. Miljøhav mudret et areal på ca. 45.000 m², Mudrun og Watermaster henholdsvis 25.000 m² og 17.000 m².

Deponering i geotekstilposer omfattet også en utvikling av posedesign undervegs. Endelig utforming var 50 m lang og 5 m bred, med kapasitet på ca. 200 m³, og med 3 innsyde kammer for å bremse ned farten på pumpet masse. Posen hadde et "lufteør" til overflaten som i tillegg ga enkel kontroll av fyllingsgrad. Ekkolodd ble brukt til å kontrollere oppfyllingsgraden i deponiet og for å kunne plassere posene optimalt. Direkte deponering av masser skjedde ved at slangen fra pneumapumpen ble montert på en flåte som ble forhålt. Utløpet ble holdt neddykket ved hjelp av betonglodd.



Figur 1. Kart over Sandefjord havn og Kamfjordkilen, med plassering av deponi, arealer mudret med ulike teknikker og rigger for kontroll av partikkeltransport. Kostholdsråd gjelder for hele området til venstre.

En metode for kondisjonering av mudrede masser for å separere sediment og vann ble testet. Målet var bedre utnyttelse av volumet i geotekstilposene samt redusert spredningsrisiko ved direkte deponering. Kondisjonering ble gjort med flytende polymer og polymer i pulverform. I prøver fra pumpeledningen kunne man se at polymeren hadde en effekt: sedimentet og vannet skilte seg tilfredsstillende, men effekten i og rundt posene var ikke til målbar. En av årsakene til dette kan være at det samtidig ble deponert sediment direkte fra andre fartøyer. Etter avsluttet deponering ble deponiet tildekket. Det er lagt ut rene masser i tre omganger á 10 cm oppå geotekstilduk. Utleggingen av tildekkingslaget ble gjennomført med en splittlekter.

1.7 Kontroll og oppfølging

Miljøkontroll og -oppfølging besto av tre elementer: 1) kontroll av partikkelspredning ut av selve tiltaksområdet under mudring/deponering samt karakterisering av partiklene, 2) karakterisering av miljøtilstand i øvre 2 cm av bunnsedimentene i hver av de mudrede rutene og 3) overvåking av utlekking fra deponiet etter tildekking. I tillegg ble det på bakgrunn av løpende resultater gjort en del ekstra undersøkelser: karakterisering av sedimenterende materiale i indre og ytre del av Kilen, og analyse av vertikalfordeling av miljøgifter i de øvre 30 cm av den nye bunnen.

Kontroll av partikkelspredning ut av selve tiltaksområdet under mudring/deponering ble gjort med automatiske loggere for turbiditet, temperatur, salinitet og strøm (retning og hastighet) på to rigger i faste posisjoner rett utenfor grenselinjen for tiltaksområdet (Figur 1). Målingene ble overført i sanntid til anleggsledelsen, der det var etablert en alarmfunksjon dersom turbiditeten overskred en fastsatt grense. Alarm utløste tiltak etter utarbeidet instruks, bl.a. kontroll av riggene og manuelle målinger for å kontrollere og bestemme partiklenes opprinnelse. Alarmgrensen ble fastsatt etter målinger av naturlig turbiditetsmønster før anleggsstart og i en innledende intensivundersøkelse av turbiditeten i Kilen og havnebassenget. Turbiditet utenom anlegg kom sjelden over 5 FTU og alarmgrensen ble satt til $3 \times 5 = 15$ FTU for hele anleggsperioden. I tillegg til de automatiske målingene ble det gjennomført 5 dagstokt for måling av turbiditet i horisontale og vertikale profiler og for innsamling av vannprøver til analyse av miljøgifter i suspendert materiale.

Fylkesmannens krav til etterkontroll av sedimenttilstanden var at det fra hver rute på 50 x 50 m skulle taes 4 sedimentkjerner der øvre 2 cm ble slått sammen til en blandprøve for analyse. Analysene ble gjort straks en rute var ferdig mudret og omfattet de samme miljøgiftene som i forundersøkelsen. Til sammen ble det analysert prøver fra 37 av de 44 rutene området ble delt inn ved mudringer (4 ruter mer enn i forundersøkelsen).

Kontroll av tildekkingslaget over deponiet ble gjort med dykker og ekkolodd. Det ble også installert et system for overvåking av transport av organiske miljøgifter gjennom tildekkingen sammenliknet med udekket deponimasse. Overvåkingen gjennomføres fram til slutten av 2005.

1.8 Resultater

Etterkontrollen viste at forurensningstilstand i de øvre 0-2 cm i mudrede arealer ikke var forbedret. Gjennomsnittlig tungmetallinnhold over alle rutene var høyere enn i øvre 2 cm før mudring; signifikant for kadmium, ikke for arsen, kobber, bly eller kvikksølv. Gjennomsnittlig PCB-nivå i øvre 2 cm var også signifikant høyere etter mudring, mens PAH-nivået i snitt ikke var endret. For TBT fantes ikke data fra øvre 2 cm fra før mudring, men 33 av de 37 rutene hadde konsentrasjoner i SFT klasse V. De absolutt høyeste TBT-konsentrasjonene ble funnet i et lite område innerst i Kilen. Målet om SFT klasse III eller bedre for alle miljøgiftene ble ikke oppnådd i mer enn 1 rute (dvs ca 3 % av det mudrede arealet).

Siden analysene av sedimentsjiktet 50 – 70 cm før mudring hadde indikert at den nye bunnen burde ha redusert forurensning, ble vertikalfordelingen av miljøgifter undersøkt i 4 ruter nordvest i Kilen. Dette viste med unntak av PAH, at det først og fremst var de øvre 2 cm som fortsatt var forurenset over SFT klasse III. Den mest plausible forklaringen var derfor at forurenset finmateriale hadde sedimentert på den nye sedimentoverflaten. Det ble følgelig gjort et forsøk med sedimentfeller i ulike høyder over bunnen på to steder i Kilen for å karakterisere det materialet som ble tilført bunnen. Dette ble gjort under feriestans sommeren 2003. Resultatene viste at bunnområdene, selv i en periode uten mudring/deponering, fikk en betydelig kontinuerlig tilførsel både ovenfra og langs bunnen av partikler som var forurenset i SFT klasse IV og V av PCB, PAH og TBT. Mye tydet derfor på at den nye bunnen hadde et løst, forurenset overflatesjikt som lett kunne virvles opp og forflyttes.

I 2004 satte derfor SFT i gang et oppfølgende undersøkelsesprogram for å karakterisere mulige kilder til de forurensete overflatesedimentene nærmere og å få bedre kunnskap om partikkeltransporten i Kilen. Samtidig gjennomførte kommunen i samarbeid med Color Line et prosjekt for å kartlegge hvordan ferge-manøvreringen påvirket partikkeltransporten i havneområdet og Kilen. Resultatene viste at det løse forurensete overflatesjiktet fortsatt var til stede i Kilen i like stort monn ca 12 mnd etter avsluttet mudring. Sjiktet var derfor sannsynligvis ikke bare en etterdønning etter selve mudringsoperasjonen, men synes å bli opprettholdt kontinuerlig gjennom ny partikkelsedimentering. Resultatene viste også at det var to til dels uavhengige hovedkilder til partikler i vannmassene i Kilen, og derfor også sannsynligvis til det løse overflatesjiktet. Den ene hovedkilden var resuspenderte partikler fra havneområdet utenfor, pumpet inn i Kilen med propellvann fra fergene. Den andre var resuspensjon av sedimentene i selve Kilen forårsaket av bølger, småbåter mm. Disse to kildene synes bidra omtrent like mye, ca 2 – 2,5 tonn suspendert materiale pr døgn hver. Bidraget fra land, kloakk og bekker var ubetydelig.

Resultatene indikerte også at totalt tap av kvikksølv gjennom sedimentering og eksport ut til havneområdet omtrent balanserer total tilførsel. Det er derfor liten grunn til å forvente reduksjon av kvikksølv i vannmassene i Kilen så lenge nåværende kilder ikke endres. Det virker som det først og fremst er den sørlige delen av Kilen som har et kvikksølvproblem. For PCB synes tap gjennom eksport til havna utenfor og sedimentering å være nesten dobbelt så høyt som tilførselen, noe som på sikt skulle føre til en bedring av PCB-forurensningen i vannmassene uten å endre på kildene. Målinger med passive prøvetakere siste året har også konkret vist at løst PCB i vannmassene i Kilen er betydelig redusert siden tilsvarende målinger i 1997. Det synes imidlertid som om bedringen i PCB skyldes andre faktorer enn fjerningen av de øvre 50 cm forurenset sediment. En mulighet er at det tildekkede deponiet har en positiv effekt simpelthen ved at arealet som lekker PCB er blitt redusert. Overvåkingen av deponiet har vist at spredningen av PAH og PCB fra deponiarealet er redusert med over 98 %. Gruntvannsdeponiet synes derfor å virke etter hensikten.

Spredningsberegninger ved bruk av det nye risikoverktøyet for forurenset sediment har indikert at indre del av Kilen bidrar med ca 50 % eller mer av eksporten av PCB fra sedimentet. Eventuelle nye tiltak i form av ettermudring, tildekking osv, bør derfor først og fremst fokusere på den indre del av Kilen. For TBT var tap fra vannmassene gjennom eksport og sedimentering beregnet til å være noe høyere enn tilførsel, men grunnlaget for beregningene er for upålitelig til at dette kan tillegges særlig vekt.

2. Viktig lærdom

2.1 Faglige problemstillinger

Førundersøkelsen var primært en karakterisering av de 50 cm som skulle fjernes, ikke hva som ble igjen etter at man hadde høvlet av 50 cm. Det siste skulle gjøres i etterundersøkelsen, og områder som måtte ligge over SFT Klasse III planla man å dekke til. Siden man ikke hadde god informasjon om forurensningssituasjonen fra 50 cm og nedover før tiltaket, var det vanskelig å bedømme om den høye forurensningen man fant etterpå skyldtes sedimentet som allerede var der eller tilførsel av nytt forurenset materiale. I siste tilfelle ville det også være fare for at det samme kunne skje etter tildekking med rene masser. En anbefaling for senere førundersøkelser er derfor at man analyserer sedimentet i større detalj også dypere enn det skal mudres til. Slik kartlegging bør gjøres før man bestemmer deg for mudringsdyp.

Ved mudringen hadde man fjernet anslagsvis 90 – 95 % av tungmetaller og PAH, 85 % av PCB og 50 % av TBT som var lagret i de øvre 50 cm. Samtidig satt man igjen med et overflatesjikt av fine partikler med høy forurensning, til dels høyere enn i overflaten før tiltak og med usikker opprinnelse. Kilden kunne være finstoff virvlet opp under mudringen eller fortsatt tilførsel fra andre kilder som kloakkoverløp, elveløp, diffus avrenning fra land, eller transport inn fra havna utenfor gjennom propellslagseffekten fra fergetrafikken. Nærmere måling/estimering av bidraget fra disse potensielle kildene ble gjort i etterkant som følge av den uventede ettersituasjonen, men dette kunne og burde vært gjort på forhånd. Derved ville man vite at de viktigste partikkelkildene til vannet i Kilen var fergenes pumping av vann innover, og oppvirvling i selve Kilen, og man kunne på forhånd bedømme den varige nytten av mudringstiltaket.

I førundersøkelsene ble analyse av tinnorganiske forbindelser tonet ned og prioritert bak de andre miljøgiftene. Blant annet anså fagfolkene at med TBTs relativt korte historie var det lite sannsynlig at forurensningen stakk dypere enn 50 cm, men ingen analyser ble gjort for å belyse dette. Etterundersøkelsene viste at TBT var den miljøgift som hadde de høyeste konsentrasjonene på den nye overflaten, og også det stoffet man hadde lyktes minst i å fjerne lageret av. Mangelen på tilsvarende før-data for TBT som for de andre miljøgiftene gjorde at det i etterhånd ble ekstra vanskelig å vurdere hvor vellykket mudringen var.

For Kamfjordkilen er mye av dette etterpåkløskap, men det er nyttig lærdom for andre tiltak, ikke minst i lys av at det også etter andre mudringsoperasjoner (bl.a. Herøya, Trondheim Havn og Haakonsvern) er erfart at sedimentoverflaten er blitt mer forurenset etterpå enn før tiltaket.

2.2 Praktisk-teknisk gjennomføring

Det er mudret ca 41 000 m³ fra et område av størrelse 87 000m², og deponert i gruntvannsdeponiet som dekker et areal på 28 000 m². Prosjektet har vist at det er mulig å utføre en kontrollert mudring av bløte, forurensete masser ved hjelp av sugemudring og kontrollert deponering under vann både i geotekstilposer og direkte deponering bak siltgardin. Arbeidet fungerte tilfredsstillende selv med mye båttrafikk, mens forekomst av skrot og andre gjenstander på bunnen virker sterkt inn på effektiviteten av mudringen. Informasjonen om forurensningstilstanden i sedimentene før mudring ansees som

tilfredsstillende for å kunne sette i gang det tekniske tiltaket. Den viste at områder i under SFT klasse IV var få og flekkvis fordelt. Derfor ble hele området mudret. Prosjektet viste også at bygging av undervannsdeponi med barriere av steinfylling på bløt grunn og tildekking av bløte masser med geotekstiler og ren sand, er gjennomførbart. I det erfaringsrapporten fra prosjektet ble skrevet i november 2003 var det ikke registrert noen setninger eller synlige skader i barrieren, og barrieren holdt tilbake de deponerte massene som planlagt. Det er nå gjort nye oppmålinger av deponiet som grunnlag for en rapport som skal ferdigstilles i 2005 (NGI).

Det er gjennom prosjektet testet ut tre ulike mudringsteknikker, hvorav to er basert på sugemudring. "Watermaster" var sårbar for skrot på bunnen noe som ga hyppig stans, tilbakestrøm og derved oppvirvling av bunnslammet. Utstyret krevde derfor siltskjørt. Miljøhav var lite sårbart for skrot og ut fra tidligere arbeid (Haakonsvern) og erfaring i den første perioden i Kilen fikk man fritak fra kravet om siltskjørt ved operasjon dette utstyret. Fartøyet for pneumatisk mudring Mudrun var meget sårbart for skrot, og krevde siltskjørt. I den grunne Kilen krevdes også en spesialtilpasning av pneuma-utstyret for å kompensere for lavt vanntrykk. Erfaringene fra prosjektet viser at Miljøhavs mudringsteknikk ga best totalt resultat og var mest effektiv, og ble vurdert som det eneste av mudringsalternativene egnet for denne type miljømudringsarbeider. Utstyret klarte å opprettholde den høyeste kapasiteten, selv med store variasjoner i sedimenttype innenfor små områder, innslag av søppel, store steiner og lignende obstruksjoner. Miljøhav ble nytt til å pumpe sedimentet i geotekstilposer, og dette fungerte svært bra. For Watermaster og Mudrun førte skrot til ekstraarbeid og kostnader knyttet til drift og vedlikehold, og mudringskapasiteten gikk ned.

Underveis i prosjektet har det vært utprøvd en rekke forskjellige alternativer for å optimalisere geotekstilposene. Samtlige ble laget av polyesterduk klasse IV. Utfordringene var at posene fikk for stort overtrykk, at koplingen mellom pose og rør hadde lett for å hoppe av med tap av masse og at det var vanskelig å kontrollere fyllingsgraden.

Innledningsvis ble det gjort forsøk med å sette en siltgardin på tvers av Kilen utenfor barrieren. Denne skulle være nedsenket hele tiden, noe som viste seg å være svært vanskelig grunnet sterke strømmer fra bl.a. fergene. Det ble derfor etter hver brukt lokale siltgardiner rundt mudringsfartøyene og deponiområdet. Siltgardinene som ble nytt til var fremstilt av fiberduk med flytelegeme i toppen og vektbelastning i bunnen. Erfaringene viste at de var svært ressurskrevende pga. kontinuerlig vedlikehold. Videre måtte siltgardinene flyttes i forhold til mudringsfartøyenes fremdrift. Turbiditetsmålinger gjennomført både på innsiden og utsiden av siltgardinene viste imidlertid at de fungerte etter hensikten. Det ble også nytt tilsvarende siltgardiner rundt de delene av deponiet som var til fylling. Målinger av turbiditet, visuell kontroll og dykkerkontroll viste at disse gardinene også fungerte etter intensjonen.

Utstyret for kontinuerlig kontroll av turbiditet under anlegg hadde ikke vært prøvet ut før. Turbiditet ble valgt som kontrollparameter fordi den lett måles i sanntid og gir mål for partikkelmengde. Det er imidlertid partiklens kvalitet og miljøgiftinnhold som er viktig i spredningssammenheng, og antallet prøver for analyse av dette ble for spinkelt til å gi tilfredsstillende bilde av miljøgiftkonsentrasjonene i et så variabelt system over så lang tid. Totalt 12 prøver fra ulike vannmasser ble analysert i løpet av hele anleggsperioden. Kun 3 av prøvene ble tatt før anleggsstart og på bare et prøvepunkt er det gjort analyser på ulike tidspunkter. Den store vekten man la på miljøgifttransport ved partikler burde utløse et langt større analyseprogram.

Kontrollen av turbiditet fungerte etter hensikt, men krevde mer reparasjon og vedlikehold enn forventet. Spesielt var kabelforbindelsen på bunnen mellom loggere i sjø og sender/strømforsyning på land sårbar og kablen ble i noen tilfeller kuttet over av fartøyer. Slik kabling bør derfor unngås ved at riggen er batteridrevet og med sender på overflaten. Sensorene var også sårbar for begroing og drivende søppel som hengte seg på, men dette reflekteres i de data som overføres og gjennom god

oppfølging fra entreprenøren ble periodene med ugyldige data korte. Slik begroing kan man ikke sikre seg mot.

2.3 Kommunikasjon/informasjon/myndighetskontakt

Der er holdt byggemøter mellom entreprenør og kommunen ukentlig eller hver fjortende dag, og dette har i følge kommunen vært tilstrekkelig for gjensidig oppdatering og for å kunne drøfte framdrift og eventuelle problemer. Fylket har primært vært involvert i forbindelse med endringsmeldinger. Avisoppslag og internett synes i tilstrekkelig grad å ha dekket allmennhetens behov for løpende informasjon om tiltaket.

2.4 Økonomi

Største usikkerhet i kostnadsestimaterne i forhold reelle kostnader gjaldt i hvilken grad nedgravd skrot ville forhindre/forsinke mudringen, forsinkelser på grunn av håndtering og reparasjon av siltgardiner, samt værforhold gjennom vinteren. Det var blant annet en lang periode med islegging av Kilen i desember 2002 og januar 2003. Det var også behov for å dekke kostnader til ekstraundersøkelser på grunn av de uventede resultatene i sluttkontrollanalysene. Prosjektet holdt likevel total kostnadsramme og fremdrift og målsetningen om fjernet masse (50 cm).

2.5 Gjenstående kunnskapshull når notatet skrives

Mange av de ubesvarte spørsmålene fra etterkontrollen ved fullført mudring og deponering er besvart i de oppfølgende undersøkelsene. Partikkeltransporten i selve Kilen og mellom Kilen og havneområdet utenfor er rimelig belyst, men et ubesvart spørsmål er hvordan partikkelkvaliteten og derved overflatesedimentene vil endre seg med tiden. Innblanding av overflatelaget med det løse underliggende, men mindre forurensede sedimentet kan føre til bedring av kvaliteten på partiklene, naturlig sedimentasjon likeså. Hvorvidt transporten av partikler til Kilen fra havneområdet utenfor vil endre situasjonen, avhenger av kvaliteten på disse partiklene. De nye miljøgiftresultatene fra sedimentene i havneområdet (DnV) bør sammenholdes med miljøgiftnivåene i Kilens sedimenter for å belyse dette nærmere.

Før tiltaket var gjennomsnittlig TBT-konsentrasjon i de øvre 50 cm av sedimentet 74 µg/kg. Etter tiltaket inneholdt de øvre 2 cm i samme delområdet gjennomsnittlig ca 1100 µg/kg. At den nye sedimentoverflaten skulle innholde vel 10 ganger så mye TBT som de massene som ble fjernet var svært uventet og vanskelig å forklare. Forskjellen var mye større enn for kvikksølv, PCB og PAH. Man kan spekulere rundt tilførsel fra småbåthavnen og slippen innerst på sørsiden av Kilen, men siden bruk av TBT er relativt ung burde man forvente at mesteparten av lageret ble fjernet med de øvre 50 cm av bunnen. Nå er som tidligere sagt grunnlagt for å vurdere TBT i Kilen svakere enn for de andre miljøgiftene, men resultatene indikerer likevel at det er betydelig kunnskapsmangel mht hvordan TBT oppfører seg i havner og havnesedimenter.

Kostholdsrådet for Sandefjordsfjorden er begrunnet i PCB-nivåer i torskelever, og PCB er eneste miljøgift der man basert på målinger kan konkludere at vannmassene er blitt renere siden før tiltaket. Sandefjord kommune anser ikke oppryddingen for ferdig i og med at man fortsatt skal vurdere tiltaksbehov for Hestekoens småbåthavn og Stub-området, men det kan likevel være behov for å gjenta overvåkingen av miljøgifter i torskelever (sist gjort i 1997) nå for å se om en bedring kan spores av det som allerede er gjennomført. Slik overvåking har kommunen allerede tatt initiativ til og den vil bli gjennomført høsten 2005. Samtidig bør man vurdere å gjennomføre et teoretisk anslag over nytten av videre tiltak (mudring, tildekking) før de settes i gang ved f. eks å ta i bruk modellverktøy utviklet for Grenlandsfjordene for slikt formål. Denne modellen er senere forenklet for å kunne anvendes på andre problemområder.

Pilotprosjektet i Kamfjordkilen har generert mye nyttig erfaring, men spørsmålet om mudringstiltaket var miljømessig vellykket eller ikke, er avhengig av hvordan man definerer vellykket. I forhold til det konkrete målet om SFT klasse III eller bedre i overflaten er det ikke vellykket. Man har etter alt å dømme kommet ned til sedimenter som før mudringen for en stor del lå i SFT klasse III eller bedre, men sitter også igjen med et overflatesjikt som er sterkere forurenset enn før mudringen. Det er en utfordring å bedømme om dette har forandret risikobildet for Kilen. Hvorvidt den langsiktige risikoen for miljøeffekter fra Kilen er blitt bedre eller uendret, synes nå primært å avhenge av hva som skjer med dette overflatesjiktet.