

Til: Statens vegvesen Region vest v/Mette Alsvik  
Fra: Norconsult v/ Jostein Kjørstad  
Dato/rev.: 2014-03-12

## Buøy – endret metode for tildekking av forurensede sedimenter

### INNLEDNING

I opprinnelig søknad om utfylling ved Buøy, *SHA/YM-038 Utfyllingssøknad Buøy [E03] – Næringsområde Buøy og Anleggsveg Bangarvågen* datert 2013-06-11, var det lagt opp til at tildekkingsmasser skulle legges ut med foringsrør.

I *SHA\_YM-067 Tillegg til Utfyllingssøknad Buøy* (2014-02-27), er det etter nye vurderinger i prosjektet foreslått en endring av metode. Det legges i stedet opp til at tildekkingsmassene legges ut med fallbunnslekter.

Som følge av den foreslåtte endringen av metode for tildekking, ønsker Fylkesmannen en ytterligere begrunnelse/dokumentasjon på hvorfor tildekking av sjøbunn kan gjøres med fallbunnslekter. Dette notatet er utarbeidet med tanke på å svare ut Fylkesmannen sitt ønske.

### METODEBESKRIVELSE

Beskrivelsen av metoden, bruk av fallbunnslekter, er dekket av kapittel 1.9 i *SHA\_YM-067 Tillegg til Utfyllingssøknad Buøy* (2014-02-27).

Entreprenøren som skal utføre jobben, Agder Marine AS, har imidlertid utarbeidet en prosedyre som gir utfyllende informasjon; Utførelse av tildekkingsarbeid av forurenset sjøbunn. Denne er laget for et annet prosjekt, men vil bli revidert og tilpasset de stedsspesifikke forholdene ved Buøy. Se Vedlegg A.

### DOKUMENTASJON OG ERFARINGER

Referanseliste for Agder Marine er lagt ved i *SHA\_YM-067 Tillegg til Utfyllingssøknad Buøy* (2014-02-27).

Agder Marine AS ved Petter Høivold har svart på forespørsel fra SVV, i e-post datert 2014-03-07:

*«Vi forstår at fylkesmannen ønsker en begrunnelse/dokumentasjon på hvorfor tildekking av sjøbunn best kan gjøres ved å benytte fallbunnslekter.*

*Vi skal prøve å begrunne dette. Det finnes en rekke publikasjoner og rapporter hos Miljødirektoratet, NIVA og NGI som omhandler tildekking/capping av sjøbunn. Disse er mest opptatt av vurdering av tildekkingsmateriale, effekt av tildekking, etc., og lite om metoder. Den første tildekking vi gjorde var i Kristiansandsfjorden i 1999 i regi av NIVA. Dette var et pilotprosjekt som skulle teste om det var mulig å legge ut et 10 cm sandlag oppå en bløt forurenset sjøbunn. Prosjektet viste at det var mulig å få til med minimal oppvirvling av partikler. Forsøket er omtalt i NIVA rapport 4010-99, og et sammendrag følger vedlagt [Komplett rapport lagt ved i Vedlegg C]. Resultatet av prosjektet førte til at vi senere tildekket hele Hannevikbukta (300.000 m<sup>2</sup>) med 50 cm sand. Alt ble utført med fallbunnslekter.*

*En av årsakene til at vi erfarer liten oppvirvling og spredning av partikler er at vi kan legge ut tildekkingen lagvis i tynne lag a 10 cm. Lagene legges vinkelrett på hverandre for å sikre en jevn tildekking. Vi har nå utført nærmere 30 oppdrag med tildekking utført med fallbunnslekter, også et par i Rogaland fylke (se referanseliste på våre hjemmesider). Der hvor det har vært krav om*

overvåking av vannkvalitet (turbiditetsmålinger) kan vi dokumentere ingen eller liten spredning i vannmassene. Vi må for ordens også presisere at alle oppdrag vi utfører er med tillatelse fra fylkesmannen i de respektive fylker.

Vi har i den senere tid erfart at tiltakshaver krever at fallbunnslekter skal benyttes ved tildekking. Vi har nylig tildekket sjøbunnen utenfor Revierkaia for Oslo Havn KF hvor dette var krav (se vedlegg [Utdrag fra NGI 20110489-00-11-TN: Tildekking av forurensede dokumenter, kravspesifikasjon]). Vi har likeledes akkurat gitt inn tilbud på tildekking av Store Lungegårdsvann i Bergen. Også her er det krav om bruk av fallbunnslekter (se vedlegg [utdrag fra JBV Kontraktdokument for omfattende entreprenørvtaler UUT21 Nye Ulriken Tunnel – Addendum])».

Supplerende dokumentasjon er lagt ved i Vedlegg B.

Sedimentbunnen i Store Lungegårdsvann er bløtere enn Buøy, og med større potensial for oppvirvling av sedimenter, så det at Jernbaneverket spesifiserer fallbunnslekter for utlegging av tildekkingsmasser tyder på at dette er en egnet metode for å unngå oppvirvling av sediment:

**Tildekking - Skånsom utlegging av tynne lag (4 lag á ca. 0,25 m hver, til sammen 1 m) med fin steinfraksjon på bløt bunn fra lekter (fallbunn - kontrollert utlegging). God kontroll på lagtykkelse grunnet utleggingsmetode og definert steinfraksjon.**

Figur 1 Utdrag fra JBV UUT21 Kontraktdokument (Vedlegg B)

Sammendrag fra NIVA-rapport 4010-99 der det ble brukt fallbunnslekter for å tildekke sediment i Hannevikbukta i Kristiansand konkluderer at «denne måten å deponere tildekkingsmassen på medførte liten oppvirvling»:

Sammendrag

Hannevikbukta, Kristiansand, er meget sterkt forurenset med klororganiske forbindelser og metaller. Forurensningen er av en slik art at det er ønskelig å gjøre avbøtende tiltak. I forbindelse med bygging av ny E18-trasé gjennom byen, har det vært vurdert å bruke overskudd av sandig masse til å dekke til sedimentene i Hannevikbukta. Dette ville være et "lavkostnadstiltak". Et meget viktig spørsmål i den sammenheng er om det kan gjennomføres uten at det blir vesentlig oppvirvling av forurenset bunnslam. En prøvetildekking har derfor blitt gjennomført hvor en fallbunnslekter er blitt brukt for å deponere massene. Oppvirvlingen har blitt kvantifisert ved hjelp av selvregistrerende instrumenter og ved analyse av vannprøver. Resultatene viser at denne måten å deponere tildekkingsmassen på medførte liten oppvirvling. Sammenlignet med dagens direkte tilførsler av f.eks. nikkel og dioksiner, ville en tildekking av sedimentene i hele Hannevikbukta (250 000 m<sup>2</sup>) medføre en oppvirvling som utgjør mindre enn en ukes utslipp fra Falconbridge Nikkelverk A/S (hovedkilden for disse forbindelsene). Metoden er derfor et aktuelt lavkostnadstiltak mot forurensede sedimenter.

Figur 2 Utdrag fra NIVA 4010-99 (Vedlegg C)

Dette er også referert i Miljødirektoratets veileder *Tildekking av forurensede sjøsedimenter* (TA-1865/2002).

Mens man med foringsrør nødvendigvis vil få ujevnheter i tildekkingslaget, vil man med fallbunnslekter få et jevnere lag, da tildekkingsmassene blir spredt utover på veg mot bunnen. Utleggingsmetoden sørger for at man får et jevnt lag med tildekkingsmasser over sedimentet, som diskutert i utdrag fra NIVA-rapport under:

Dykkerinspeksjon etter deponering av siste lekerlass samt videofilming av bunnen viste at massene var lagt ut i et jevnt lag. Det var ikke områder med "hauger" av dumpemasse. Bunntopografien i området som var tildekket, skilte seg ikke vesentlig fra områder som ikke var tildekket. Det var derfor en god spredning av massene nedover i vannmassene og tildekkingsmaterialet la seg som et fint lag over det forurensete sedimentet.

Den gode spredningen av dumpemassene ble bekreftet da man etter forsøket tok prøver av sedimentene med grabb i det tildekkede området. Materialet i grabben besto av at ca. 10 cm tykt sandlag over et rødbrunt, forurenset sediment. I sandlaget var det også mulig å påvise tildekkingen med det første lekerlasset som inneholdt mere finkornig tunnellmasse. Ut fra antagelsen av at et ca. 100m x 50m område ble tildekket med ca. 450 m<sup>3</sup> masse, stemmer det at tildekkingstykkelsen ideelt skulle bli ca. 10 cm.

*Figur 3 Utdrag fra NIVA 4010-99, kap 4.2 (Vedlegg C)*

Den tilgjengelige informasjonen viser at fallbunnslekter er en etablert og effektiv metode for å legge ut tildekkingsmasser over forurenset sediment.

Sandvika, 2014-03-12

Jostein Kjørstad  
Utarbeidet av

Jørn-Morten Dahl  
Fagkontroll

Vedlegg: Vedlegg A – Agder Marine UTFØRELSE AV TILDEKKINGSARBEIDER AV FORURENSET SJØBUNN

Vedlegg B – Supplerende dokumentasjon (Agder Marine)

Vedlegg C – NIVA 4010-99 *Forsøk med tildekking av sedimenter i Hannevikbukta, Kristiansand*

## **Vedlegg A – Agder Marine UTFØRELSE AV TILDEKKINGSARBEIDER AV FORURENSET SJØBUNN**



## **PROSEDYRE**

### **PAM - 5.05**

Sign.:

Godkj.:

Revisjon 3

Dato: 26.01.12

## **UTFØRELSE AV TILDEKKINGSARBEIDER AV FORURENSET SJØBUNN.**

### **1.0 HENSIKT**

Hensikten med denne prosedyren er å beskrive hvordan arbeidet med å tildekke forurenset sjøbunn med ren leire skal utføres.

### **2.0 DEFINISJONER**

Ingen

### **3.0 ANSVAR**

*Prosjektleder* er ansvarlig for å beskrive arbeidene og for å påse at arbeidet blir utført korrekt.

*Operatøren* er ansvarlig for å utføre tildekkingen som beskrevet i dokumentene for oppdraget.

### **4.0 BESKRIVELSE**

#### **Krav til tildekking**

Det vil normalt bli stilt to hovedkrav som tiltakshaver må forholde seg til:

- Metode. Det må velges en metode slik at tiltaket kan gjennomføres med minimal oppvirvling av bunnslam.
- Tykkelse av tildekkingen Denne må være slik at oppvirvling og videre transport av forurensete sedimenter hindres, samtidig som tildekkingen skal hindre gravende organismer i å få kontakt med forurensningen.

For å kunne tilfredsstille kravene er det viktig at massene som skal brukes til tildekkingen er tilpasset kravene og lokale forhold.

Tiltakshaver må dokumentere at de nødvendige dumpetillatelser foreligger før arbeidet settes i gang.

Det er vanskelig å oppnå en jevn fordeling av massene under vann. For å nå ønsket tykkelse over det forurensete laget må det derfor regnes med å bruke ca 15 % mer masse enn det teoretiske volum.

## **PROSEDYRE**

### **PAM - 5.05**

---

#### **Metode og utførelse**

For spredning av massene brukes en fallbunnslekter med regulerbare luker. Lekterrommet er delt opp i flere tverrstilte lukerom med hydraulisk opererte tverrstilte lukelemmer.

For å oppnå en jevn spredning er det viktig å finne frem til den optimale kombinasjon av slepefart på lekteren og åpningsgrad på lukene. For å finne frem til denne kombinasjon, kan det være nødvendig å avsette tid i forkant av prosjektet til å foreta prøvedumping.

Massene vil fra lekteren spre seg ned gjennom vannet. Med en lukebredde på 5 m og et vanddyb på 10 - 20 m vil spredningen på bunnen være ca 10 m i gjennomsnitt, med størst tykkelse i midten og tynnere mot kantene. Det er vanlig å legge et lag av gangen og så legge neste lag vinkelrett på det foregående. Tykkelsen kontrolleres ved hjelp av målestaver eller ved oppmåling.

For å kunne være sikker på at massene havner på riktig sted, er det nødvendig å bruke et spesielt posisjoneringsutstyr. Det som benyttes er et Olex 3 - D kartplottersystem linket opp mot en GPS. Hele tildekkingsområdet legges inn i kartcellen. Dette deles opp i et rutenett som passer til bredden av tildekkingen. Dimensjonene på rutenettet vil normalt være et multiplum av lukebredden, slik at man klart kan definere hvor mange slipp som skal dumpes i hver rute.

I tillegg til det som lagres i PC en (del av plottersystemet i slepebåten) loggfører skipperen også tidspunkt og sted (rutenummer) for hvert enkelt slipp.

#### **Kontroll og dokumentasjon**

Før spredning av masse starter, blir det satt ut et antall målestaver, tilstrekkelig til å dekke tildekkingsområdet. Målestavene kan være ca 1 m høye, stå på en bunnplate og delt inn med 10 cm merker. De bør forsynes med en bøye slik at de står stødigere og for at dykkeren lettere skal kunne finne dem. Bøyene nummereres for lettere identifisering.

Tykkelsen på tildekkingen blir med jevne mellomrom visuelt kontrollert av dykker som også dokumenterer oppnådd tykkelse ved hjelp av video.

Som alternativ til målestaver kan sjøbunnen bli profilert ved hjelp av et Wassp multistråle ekkolodd før og etter tildekkingen er lagt ut.

#### **5. REFERANSER**

Artikkel: Tildekking av sedimenter på havbunnen - erfaringer fra Hannevikbukta i Kristiansand. Artikkelen er publisert i tidsskriftet for Norsk vannforening "Vann", nr 3, år 2002.

#### **6. VEDLEGG**

Ingen.

## **Vedlegg B – Supplerende dokumentasjon (Agder Marine)**

## Sammendrag

Hannevikbukta er det sterkeste forurensede enkeltområdet i Kristiansandsfjorden. Forurensningen skyldes primært direkte utslipp av klororganiske forbindelser fra Falconbridge Nikkelverk A/S. Forurensningsbegrensende tiltak ved bedriften har ført til at utslippene har blitt sterkt redusert. I dag må man anta at både for torsk, krabbe og bunnfisk generelt skjer påvirkningen vesentlig gjennom byttedyr som i sin tur har fått i seg giftstoffene ved kontakt med forurenset sediment og hvor påvirkning fra Hannevikbukta kan spille en vesentlig rolle.

Diskusjoner har flere ganger vært ført om viktigheten av de forurensede sedimentene i bukta som kilde til forurensning i fjordområdet generelt. Undersøkelser har vist at sedimentpartiklene på større dyp i bukta (20 m) i stor grad er i ro. Man har derfor fram til i dag ikke sett klare kost-nytte effekter av kostnadsintensive tiltak. Imidlertid har "lavkostnadstiltak" vært ønskelig. Ved bygging av den nye E18 gjennom byen kan tildekking av sedimentene i Hannevikbukta med overskuddsløsmasser være et slikt lavkostnadstiltak. I en nylig oversikt over forurensede marine sedimenter utgitt av SFT er Hannevikbukta også inkludert i gruppen av lokaliteter som er gitt 1. prioritet for tiltak (Winter-Larsen 1998).

Det er flere tekniske vurderinger som må gjøres i forbindelse med en tildekking av sedimentene, spesielt problemene med oppvirvling og spredning av forurensede sedimentpartikler. Et forsøk med tildekking av sedimenter i Hannevikbukta har derfor blitt utført hvor formålet har vært å undersøke om det lot seg gjøre å legge et jevnt sandlag oppå de forurensede sedimentene på en teknisk sett, relativt enkel måte. Videre skulle forsøket beskrive den horisontale og vertikale påvirkningen på vannmassene fra oppvirvlede partikler samt kvantifisere mengden av partikler og utvalgte forurensningskomponenter som ble virvlet opp fra de forurensede sedimentene.

På et utvalgt bunnareal på ca. 15-20 meter dyp ble det dumpet 5 lass med sand/silt hver på ca. 100 m<sup>3</sup> fra en såkalt fallbunnslakter. Påvirkningen på vannmassene ble undersøkt ved hjelp av selvregistrerende instrumenter utplassert på sjøbunnen, målinger i vannmassene umiddelbart etter dumping av hvert lekerlass samt analyse av vannprøver. Det ble også foretatt dykker- og videoinspeksjon.

**Resultatene viste at det lot seg gjøre å legge et jevnt lag med sand oppå det forurensede bunnslammet. Oppvirvlingen av forurensede sedimentpartikler var relativt liten og i stor del begrenset til de fem bunnære meterne av vannmassene. På grunnlag av transmisjonsmålingene kan det da beregnes at 125 kg partikler ble virvlet opp fra dumpområdet på 100 m x 50 m. Antas en tilsvarende oppvirvling ved fullskala tildekking, vil oppvirvlingen av for eksempel nikkel og dioksiner som følge av tildekking av sedimentene i hele bukta utgjøre i størrelsesorden 20 kg nikkel og 10 mg dioksiner regnet som toksisitetsekvivalenter. Dette er i samme størrelsesorden som en ukes utslipp fra Falconbridge Nikkelverk A/S.**

Siden oppvirvlingen var liten vil også den horisontale spredningen av partikler være det. Dette samstemmer med at ½-1 time etter at dumping av massene hadde skjedd, ble det ikke målt partikkelkonsentrasjonen i bunnvannet vesentlig utover det normale.

Det kan derfor konkluderes med at hvis en fullskala tildekking av sedimentene i Hannevikbukta gjennomføres slik som det ble gjort i forsøket høsten 1998, vil påvirkningen på vannmassene være relativt liten.




#### 4.2 Karakterisering av tildekkingsmasser etter Miljødirektoratets veileder 2143/2005

Tillatelsens pkt.	Krav	Spesifikasjon	Ansvar for utførelse
5.3	Masser som skal benyttes til tildekking skal karakteriseres som rene etter Miljødirektoratets TA 2143/2005	Tildekkingsmassene skal karakteriseres etter veileder TA-2143/2005. Entreprenør skal dokumentere dette tildekking kan starte.	Entreprenør
5.4	Stedsspesifikk egnethetsvurdering av massene	Kornfordelingsanalyse og vurdering av permeabilitet Densitet og korndensitet Naturlige strømhastighet og erosjonsforhold Barriereegenskaper i forhold til miljøgiftene som ligger i sedimentene <i>Kan dels bruke vurderinger gjort for Ren Oslofjord</i>	Entreprenør
5.5	Vurdering/dokumentasjon av tildekkingsmassenes rekoloniseringsegenskaper	Bruk vurderinger som er utført for Ren Oslofjord	HAV

#### 4.3 Utlegging av tildekkingsmasser

Tillatelsens pkt.	Krav	Spesifikasjon	Ansvar for utførelse
4.7	Transport og håndtering av tildekkingsmasser skal gjøres slik at det blir minimal spredning av forurensning. Evt. Søl loggføres.		Entreprenør
5.7 og 5.8	Metode for utlegging av tildekkingslag skal beskrives, med vekt på presisjon som oppnås og fare for spredning av forurensning i tildekkingsfasen. Utlegging av dekkmasser skal foregå med en metodikk og på en slik måte at det blir minst mulig oppvirvling og spredning av stedlig forurenset sediment. Det skal iverksettes tiltak for å forhindre spredning av avfall utenfor tiltaksområdet.	Utlegging av massene kan gjøres ved fallbunnslekter, rainbowing eller tilsvarende, der massene legges ut i et jevnt lag. Entreprenøren må tilpasse fart og lukeåpning basert på erfaring med tilsvarende prosjekter slik at tykkelsen på hvert lag tilstrebes å bli 20 cm ± 10 cm. Dette gjøres for å minimere innblanding av tildekkingsmassen i de underliggende forurensete masser og for å hindre oppvirvling av disse. Det må ikke legges ut et for tykt lag slik at det blir konflikt med seilingsdypet.	Entreprenør

 <b>Jernbaneverket</b>	<b>Kontraktdokument for omfattende entreprenøravtaler</b>  <b>UUT21 Nye Ulriken tunnel - Addendum Tildeckings- og utfyllingsarbeider i Store Lungegårdsvann</b> <b>Beskrivelse og mengdefortegnelse</b>	<b>Kapittel D1</b> <b>Dato: 2013-12-20</b> <b>Rev.: 00B</b> <b>Side: 7 av 10</b>
---	--	---

### 3 ARBEIDER I DAGEN

#### 3.14 Tildeckings- og utfyllingsarbeider i Store Lungegårdsvann

##### 3.14.1 Tunnelmasser for tildekking og utfylling

Massene som skal brukes til tildekking og utfylling i Store Lungegårdsvann er steinmasser tatt ut fra tunneldriften. Fraksjonsfordeling og innhold av finstoff vil avhenge av drivemetode, salveplaner m.m.

Mengdeangivelse for utførte tildeckings- og utfyllingsarbeider er prosjekterte faste kubikkmeter pfm<sup>3</sup> (tatt ut fra tunnel).

Følgende begreper er benyttet i kapittel D1 og i beskrivelsen:

**Tildekking** - Skånsom utlegging av tynne lag (4 lag á ca. 0,25 m hver, til sammen 1 m) med fin steinfraksjon på bløt bunn fra leker (**fallbunn - kontrollert utlegging**). God kontroll på lagtykkelse grunnet utleggingsmetode og definert steinfraksjon.

**Utfylling** - Mer eller mindre kontrollert fylling eller dumping av stein av alle fraksjoner på tidligere utført tildekkingslag (med utlagt tykkelse 1 m). Kan gjøres fra splittleker, fallbunnsleker eller kjøreleker. Mindre god kontroll på lagtykkelse grunnet utleggingsmetode og stor variasjon av fraksjoner (gjelder sprengstein, TBM-masser vil ha en nokså definert fraksjonsfordeling).

Til bruk som tildekkingsmasser er det ønskelig med finkornet materiale med en høy andel av finstoff. TBM-masser fra eventuell fullprofilboring vil kunne brukes direkte til tildekking uten videre bearbeiding, mens sprengsteinmasser fra tunnelsprengning må knuses ned til fraksjon 0 – 300 mm før det kan benyttes.

For utfyllingsarbeider tillates grovere fraksjoner, også sprengstein fra tunnel som ikke er knust.

Sjøbunnsareal, dybder og tildekkingsbehov i Store Lungegårdsvann er tilstrekkelig stort til at alle tunnelmasser tatt ut ved Fløen kan benyttes til tildekking og utfylling på sjøbunnen.

Grunnet at det ikke er ønskelig å legge ut ubearbeidet sprengstein den første 1 m på de bløte sedimentene, vil det være aktuelt å benytte fiberduk som filterlag som sprengstein legges på i begrensede områder (f.eks. ved eventuell utfylling for kaianlegg).

Det vil kunne være behov for å kjøre bort sprengsteinmassene på bil inntil produksjon av TBM-masser eller knuste sprengsteinmasser inne i tunnelen er igangsatt. (Av miljø- og støyhensyn er ikke knusing av stein i dagen tillatt).

##### 3.14.2 Restriksjoner ved tildekking nær objekter på sjøbunnen

Det vil være begrensninger på utfylling over eksisterende kabler og ledninger på 50 cm. I den grad det oppnås enighet med eiere vil man legge nye vann- og avløpsledninger til erstatning for gamle ledninger slik at de nye ledningene legges oppå allerede tildekket sjøbunn. Restriksjoner på utfylling over ledninger som er tatt ut av drift vil bli opphevet. Dette vil sette føringer for hvor det kan fylles til enhver tid.

## **Vedlegg C – NIVA 4010-99 Forsøk med tildekking av sedimenter i Hannevikbukta, Kristiansand**



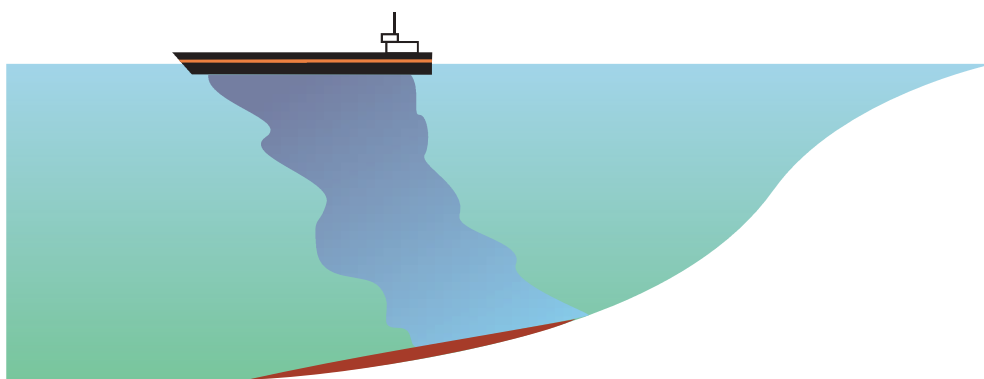
NIVA



RAPPORT LNR 4010-99

**Forsøk med  
tildekking av sedimenter  
i Hannevikbukta,  
Kristiansand**

I samarbeid med



**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 1  
4890 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  
5008 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-NIVA A/S**

9015 Tromsø  
Telefon (47) 77 68 52 80  
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Forsøk med tildekking av sedimenter i Hannevikbukta, Kristiansand	Løpenr. (for bestilling) 4010-99	Dato 1999-02-19
	Prosjektnr. Undernr. 98180	Sider Pris 46
Forfatter(e) Kristoffer Næs Jarle Molvær	Fagområde Miljøgifter i sjøvann	Distribusjon
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Kristiansand kommune, Kristiansand	Oppdragsreferanse Øystein Jørgensen
--	--

**Sammendrag**

Hannevikbukta, Kristiansand, er meget sterkt forurenset med klororganiske forbindelser og metaller. Forurensningen er av en slik art at det er ønskelig å gjøre avbøtende tiltak. I forbindelse med bygging av ny E18-trasé gjennom byen, har det vært vurdert å bruke overskudd av sandig masse til å dekke til sedimentene i Hannevikbukta. Dette ville være et "lavkostnadstiltak". Et meget viktig spørsmål i den sammenheng er om det kan gjennomføres uten at det blir vesentlig oppvirvling av forurenset bunnslam. En prøvetildekking har derfor blitt gjennomført hvor en fallbunnslekter er blitt brukt for å deponere massene. Oppvirvlingen har blitt kvantifisert ved hjelp av selvregistrerende instrumenter og ved analyse av vannprøver. Resultatene viser at denne måten å deponere tildekkingsmassen på medførte liten oppvirvling. Sammenlignet med dagens direkte tilførsler av f.eks. nikkel og dioksiner, ville en tildekking av sedimentene i hele Hannevikbukta (250 000 m<sup>2</sup>) medføre en oppvirvling som utgjør mindre enn en ukes utslipp fra Falconbridge Nikkelverk A/S (hovedkilden for disse forbindelsene). Metoden er derfor et aktuelt lavkostnadstiltak mot forurensete sedimenter.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Hannevikbukta</li> <li>Sedimenter</li> <li>Tildekking</li> <li>Miljøgifter</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Hannevikbukta</li> <li>Sediments</li> <li>Capping</li> <li>Organic contaminants</li> </ol>
---	--



*Kristoffer Næs*  
Prosjektleder



*Bjørn Braaten*  
Forskningsjef

O-98180

**Forsøk med tildekking av sedimenter i  
Hannevikbukta, Kristiansand**

## Forord

Dette prosjektet er gjennomført på oppdrag av Kristiansand kommune. Kontaktpersoner hos oppdragsgiver har vært avdelingsingeniør Øystein Jørgensen og miljøvernssjef Øystein Holvik. Prosjektet er finansiert av Kristiansand kommune, Falconbridge Nikkelverk A/S, SFT og NIVA.

Prosjektet er del av en prosess hvor man vurderer muligheten for å dekke til forurensede sedimenter i Hannevikbukta, Kristiansand. Prosjektet er gjennomført i samarbeid med Sørlandskonsult as ved Lars Bergh-Christensen. Sistnevnte har hatt det formelle prosjektansvaret.

Scan Mudring AS, Mandal, ved daglig leder Petter Høivold har vært utførende firma for deponering av tildekkingsmassene. Alf Jørgensen var skipper og lekteransvarlig.

Deler av massene som er anvendt i tildekkingsforsøket er stilt til rådighet av Statens Vegvesen, Kristiansand, ved overing. Anette Jørgensen.

Ved utsetting av måleinstrumenter samt oppmerking av området for tildekking, har Kristiansand Havnevesen ved havnedirektør Odd A. Salvesen stilt båt til disposisjon.

I planleggingsgruppen for prosjektet har overing. Finn Resmann, Falconbridge Nikkelverk A/S og Rolf Olav Stene, Fylkesmannens Miljøvernavdeling deltatt.

Til målingene i vannmassene i forbindelse med forsøket ble "O/F Munin" ved skipper Dag Isaksen tilhørende Fiskerisjefen for Skagerrak anvendt.

Ved NIVA har Jarle Molvær hatt ansvar for planlegging, feltarbeid og rapportering av de hydrofysiske målingene. Til dette har Einar Nygaard assistert. Kristoffer Næs har vært NIVAs prosjektansvarlige.

Alle takkes for innsats.

Grimstad, 9. mars 1999

*Kristoffer Næs*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Bakgrunn og idè</b>	<b>7</b>
<b>2. Formål</b>	<b>9</b>
<b>3. Gjennomføring</b>	<b>10</b>
3.1 Teknisk planlegging	10
3.1.1 Valg av tildekkingsmetode	10
3.1.2 Valg av tildekkingslokalitet	11
3.1.3 Spesifikasjoner for gjennomføring av tildekkingen	12
3.2 Måleprogram	13
<b>4. Resultater og diskusjon</b>	<b>15</b>
4.1 Beskrivelse av vannmasser og strømforhold	15
4.1.1 Vannmasser	15
4.1.2 Strømforhold	15
4.2 Deponering av tildekkingsmasser	19
4.3 Oppvirvling av partikler	19
4.3.1 Vertikal og horisontal spredning	19
4.3.2 Mengder virvlet opp	29
<b>5. Referanser</b>	<b>34</b>
<b>Vedlegg A. Målinger av transmisjon</b>	<b>35</b>

---

## Sammendrag

Hannevikbukta er det sterkest forurensede enkeltområdet i Kristiansandsfjorden. Forurensningen skyldes primært direkte utslipp av klororganiske forbindelser fra Falconbridge Nikkelverk A/S. Forurensningsbegrensende tiltak ved bedriften har ført til at utslippene har blitt sterkt redusert. I dag må man anta at både for torsk, krabbe og bunnfisk generelt skjer påvirkningen vesentlig gjennom byttedyr som i sin tur har fått i seg giftstoffene ved kontakt med forurenset sediment og hvor påvirkning fra Hannevikbukta kan spille en vesentlig rolle.

Diskusjoner har flere ganger vært ført om viktigheten av de forurensede sedimentene i bukta som kilde til forurensning i fjordområdet generelt. Undersøkelser har vist at sedimentpartiklene på større dyp i bukta (20 m) i stor grad er i ro. Man har derfor fram til i dag ikke sett klare kost-nytte effekter av kostnadsintensive tiltak. Imidlertid har "lavkostnadstiltak" vært ønskelig. Ved bygging av den nye E18 gjennom byen kan tildekking av sedimentene i Hannevikbukta med overskuddsløsmasser være et slikt lavkostnadstiltak. I en nylig oversikt over forurensede marine sedimenter utgitt av SFT er Hannevikbukta også inkludert i gruppen av lokaliteter som er gitt 1. prioritet for tiltak (Winter-Larsen 1998).

Det er flere tekniske vurderinger som må gjøres i forbindelse med en tildekking av sedimentene, spesielt problemene med oppvirvling og spredning av forurensede sedimentpartikler. Et forsøk med tildekking av sedimenter i Hannevikbukta har derfor blitt utført hvor formålet har vært å undersøke om det lot seg gjøre å legge et jevnt sandlag oppå de forurensede sedimentene på en teknisk sett, relativt enkel måte. Videre skulle forsøket beskrive den horisontale og vertikale påvirkningen på vannmassene fra oppvirvlede partikler samt kvantifisere mengden av partikler og utvalgte forurensningskomponenter som ble virvlet opp fra de forurensede sedimentene.

På et utvalgt bunnareal på ca. 15-20 meter dyp ble det dumpet 5 lass med sand/silt hver på ca. 100 m<sup>3</sup> fra en såkalt fallbunnslekter. Påvirkningen på vannmassene ble undersøkt ved hjelp av selvregistrerende instrumenter utplassert på sjøbunnen, målinger i vannmassene umiddelbart etter dumping av hvert lekterlass samt analyse av vannprøver. Det ble også foretatt dykker- og videoinspeksjon.

Resultatene viste at det lot seg gjøre å legge et jevnt lag med sand oppå det forurensede bunnslammet. Oppvirvlingen av forurensede sedimentpartikler var relativt liten og i stor del begrenset til de fem bunnære meterne av vannmassene. På grunnlag av transmisjonsmålingene kan det da beregnes at 125 kg partikler ble virvlet opp fra dumpeområdet på 100 m x 50 m. Antas en tilsvarende oppvirvling ved fullskala tildekking, vil oppvirvlingen av for eksempel nikkel og dioksiner som følge av tildekking av sedimentene i hele bukta utgjøre i størrelsesorden 20 kg nikkel og 10 mg dioksiner regnet som toksisitetsekvivalenter. Dette er i samme størrelsesorden som en ukes utslipp fra Falconbridge Nikkelverk A/S.

Siden oppvirvlingen var liten vil også den horisontale spredningen av partikler være det. Dette samstemmer med at ½-1 time etter at dumping av massene hadde skjedd, ble det ikke målt partikkelkonsentrasjonen i bunnvannet vesentlig utover det normale.

Det kan derfor konkluderes med at hvis en fullskala tildekking av sedimentene i Hannevikbukta gjennomføres slik som det ble gjort i forsøket høsten 1998, vil påvirkningen på vannmassene være relativt liten.

## Summary

Title: Test capping of sediments in Hannevikbukta, Kristiansand

Year: 1999

Author: Næs, K. and J. Molvær

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3609-0

The inner part of the Kristiansandsfjord, in particular Hannevikbukta is highly contaminated by chlorinated compounds, metals and PAHs. Due to high concentrations of chlorinated compounds in marine organisms, the food control authorities has issued a dietary advice against consumption of fish and shellfish from the area. Following a strong decline in the primary emissions over the last decade, today it is assumed that contaminated sediments represent a significant source for contaminants.

In connection with a new major road construction, the possibility of using sandy excavation residues for capping of the contaminated harbour sediments has been evaluated. A critical issue is to avoid resuspension of the sediments when deploying the cap with subsequent transport of contaminated particles. A test capping of an area of approximately 100 x 50 m has when been performed using a barge for to deploy the cap material. Resuspension of the sediments were quantified primarily by transmission measurements and analysis of water samples.

The results show that using this method for deployment of the cap material, resuspention occurred only to a small extent. Assuming the same rate of resuspention when capping the whole actual area (250 000 m<sup>2</sup>) the amount of resuspended contaminants (calculated for nickel and dioxins) would be less that one week's of discharge from the primary source.



# 1. Bakgrunn og idè

De indre deler av Kristiansandsfjorden og da særlig Vesterhavnområdet er forurenset, til dels meget sterkt forurenset av metaller og organiske miljøgifter. Situasjonen er dokumentert gjennom flere undersøkelser siden begynnelsen på 1980-tallet og da spesielt under det såkalte Statlig program for forurensningsovervåking. Det vises til Knutzen og medarb. (1998) for en nærmere oppstilling av de forskjellige undersøkelsene.

Forurensningssituasjonen i Kristiansandsfjorden har medført at det lokale Næringsmiddeltilsynet har frarådet konsum av all fisk og skalldyr fanget innenfor syd-/sydøstspissene av Odderøya - Dybingen - Bragdøya - Andøya, og videre frarådet å spise lever av torsk fanget innenfor Dvergøya - Flekkerøya. Tilrådingen er basert på resultater fra undersøkelsene gjennomført i 1992. Årsaken er sjømatens innhold av klororganiske stoffer, primært dioksiner og PCB-forbindelser med dioksinlignende virkning (fremst non-orto PCB), selv om også heksaklorbenzen, oktaklorstyren m.fl. kan bidra.

Resultatene fra 1992 (Knutzen og medarb. 1994), viste også at non-orto PCB spiller vesentlig større rolle for uspiseligheten av torskelever enn dioksiner. Målt som toksisitetsekvivalenter (TE-ekvivalenter av de giftigste dioksinforbindelsene) var det også et høyt bidrag fra PCB i krabbesmør (like høyt som fra dioksiner). Både i skrubbe, rødspette, ål og blåskjell var det relativt større bidrag fra non-orto PCB enn fra dioksiner.

Forurensningen av organismer med klororganiske forbindelser har primært skyldtes direkte utslipp fra Falconbridge Nikkelverk A/S. Forurensningsbegrensende tiltak ved bedriften har imidlertid ført til at utslippene har blitt sterkt redusert. I dag må man anta at både for torsk, krabbe og bunnfisk generelt skjer påvirkningen vesentlig gjennom byttedyr som i sin tur har fått i seg giftstoffene ved kontakt med forurenset sediment.

Hannevikbukta er det sterkest forurenset enkeltområdet i Kristiansandsfjorden. Tilstanden er spesielt blitt belyst ved analyser av miljøgiftforekomsten i sedimentene. De viktigste rapportene i den sammenheng er Næs (1985; 1992) og Knutzen og medarb. (1991; 1998). Spesialundersøkelser knyttet til dumping av sprengstein både i Hannevikbukta og ved KMV (Kristiansand Mekaniske Verksted) har vært utført henholdsvis av Helland (1996) og Konieczny (1992). Spredning av forurensete partikler fra Hannevikbukta har vært belyst av Næs (1995). Diskusjoner har flere ganger vært ført om viktigheten av de forurensete sedimentene i bukta som kilde til forurensning i fjordområdet generelt. Undersøkelser har vist at sedimentpartiklene på større dyp i bukta (20 m) i stor grad er i ro. Man har derfor fram til i dag ikke sett klare kost-nytte effekter av kostnadsintensive tiltak. Imidlertid har lavkostnadstiltak vært ønskelig. Ved bygging av den nye E18 gjennom byen har tildekking av sedimentene i Hannevikbukta med overskuddsløsmasser vært et slikt lavkostnadstiltak. I den forbindelse vises til et forprosjekt gjennomført i fellesskap av Sørlandskonsult as og NIVA (Sørlandskonsult as/NIVA 1998).

Basert på de opplysninger som nå foreligger for Hannevikbukta og erfaring med effektiv overdekking er følgende sannsynlig som resultat av tildekking av de forurensete sedimentene i Hannevikbukta ((Knutzen og Næs, 1997):

1. Overdekking i Hannevikbukta (1/2 m sand/silt) vil etter all sannsynlighet medføre betydelig redusert dioksininnhold i torsk (lever) og krabbe fra indre fjord.

2. Påvisningen av sterk forurensning med PCB i Hannevikbukta, og PCBs dominerende eller store bidrag til fisks og skaldyrers uspiselighet, tilsier så langt at en overdekking også vil endre grunnlaget for vurderingen av kostholdsrådene i gunstig retning.

Konklusjonene ovenfor må nødvendigvis være kvalitative og i mindre grad kvantitative. Det er et begrenset antall markert forurensede marine lokaliteter der man har observasjoner av dioksiner eller PCB i både sediment og fisk. I Norge gjelder dette bare Grenlandsfjordene, Kristiansandsfjorden, indre Drammensfjord, indre Oslofjord (ufullstendig mht registreringer i fisk) og fjordområdet ved Bergen (inkludert Haakonsvern). En gjennomgang av forholdet mellom konsentrasjonene i overflatesediment og i torskelever fra disse stedene viser betydelige forskjeller. Dette skyldes at situasjonene er ulike mht til flere viktige faktorer, spesielt størrelsen av forurenset bunnareal, forurensningsgrad, og hvor åpne eller lukkede de berørte fjordområdene er. Slike faktorer, sammen med de lokale torskebestandenes (ukjente) vandringsmønstre og næringsgrunnlag, vil være avgjørende for eksponeringen og dermed forurensningsnivået i leveren. Særlig når det gjelder PCB kommer det i tillegg inn den usikkerheten at man ikke kjenner den nåtidige belastning på de nevnte områder.

Videre trengs det for å kunne forutsi virkningene av å minske eksponeringen fra forurensede sedimenter, et modellverktøy der det inngår både fysiske, kjemiske og biologiske størrelser som til sammen beskriver de aktuelle stoffenes transport og skjebne i det akvatiske miljø. Slike modeller, der det også tas hensyn til stoffenes noe forskjellige egenskaper (løselighet, nedbrytbarhet/bestandighet) er utviklet for innsjøsystemer, men bare i utilstrekkelig grad for fjorder/kystområder som er mer åpne og mer komplisert mht. fysiske transportprosesser.

Når det gjelder forholdene i Kristiansandsfjorden, bør det også tilføyes at det arealet som er planlagt tildekket i Hannevikbukta ikke representerer mer enn ca. 30 % av den samlede beregnede mengde av dioksiner i de øvre 10 cm av sedimentene på dyp større enn 10 m. Både torsk og krabber blir følgelig utsatt for en restbelastning også etter en eventuell overdekking. I henhold til målingene i 1992 (5-10 gangers overkonsentrasjon i blåskjell fra innerst i fjorden), var det fremdeles en viss tilførsel til overflatelaget. Ut fra senere målinger i avløpene fra Falconbridge Nikkelverk A/S er slike tilførsler nå sannsynligvis ytterligere redusert. Dette bekreftes av analyser av blåskjell fra 1996 fra fjordområdet. Skjell samlet ved Fiskå og Kjosbukta hadde "normalverdier" av PCB og tilstanden karakteriseres som "God" i henhold til SFT's klassifiseringssystem (Molvær og medarb 1997). Skjell fra Hannevikbukta er ikke analysert.

Om man tross i all usikkerhet likevel skulle forsøke å tallfeste minskingen av toksisitetsinnholdet i torskelever og krabbeinnmat som resultat av en overdekking, kunne dette skjønnsmessig anslås til 30-50 %; mest i fjordens innerste del og sannsynligvis noe mer i torsk enn i krabbe.

## 2. Formål

På bakgrunn av det som er opplyst innledningsvis, er det ønskelig å gjøre tiltak for å redusere påvirkningen av de forurensede sedimentene i Hannevikbukta. Dette fremkammer også ved at området er inkludert i gruppen av lokaliteter som SFT har gitt 1. prioritet for tiltak i en landsomfattende oversikt over forurensede marine sedimenter (Winther-Larsen 1998). I utgangspunktet er det valgt å dekke de forurensede sedimentene med et lag med ren sand/silt.

Det er flere tekniske problemer som knytter seg til en slik tildekking. Spesielt er det problemer rundt oppvirvling og spredning av forurensede sedimentpartikler. Formålet med forsøksstildekkingen av sedimenter i Hannevikbukta har derfor vært å:

1. *Undersøke om det lot seg gjøre å legge et jevnt sandlag over de forurensede sedimentene på en teknisk sett, relativ enkel måte.*
2. *Beskrive den horisontale og vertikale påvirkningen på vannmassene fra oppvirvlede partikler.*
3. *Kvantifisere mengden av partikler og utvalgte forurensningskomponenter som ble virvlet opp fra de forurensede sedimentene.*

## 3. Gjennomføring

### 3.1 Teknisk planlegging

#### 3.1.1 Valg av tildekkingsmetode

Før aktuelle metoder for tildekking av de forurensede sedimentene i Hannevikbukta diskuteres, bør det nevnes at fjerning av massene og deponering i eget strandkantdeponi i bukta har vært vurdert. Et slikt tiltak vil medføre betydelige kostnader og gå utover de økonomiske rammene som er satt med målsetningen om å gjennomføre et "lavkostnadstiltak" i området. Det er også blitt vurdert at etableringen av et strandkantdeponi til medføre arealmessige problemer.

Som nevnt tidligere, har sedimentene i Hannevikbukta høye konsentrasjoner av miljøgifter. Et hovedspørsmål i forbindelse med eventuell tildekking vil derfor være spredning av forurensede partikler under tildekkingsoperasjonen. Hvis det skjer en oppvirvling, vil spredningen være avhengig av hvilken størrelsesfordeling det er på partiklene. Partikler i sandfraksjonene vil sedimentere hurtig, mens silt og leirpartikler vil ha muligheter for å spres over større avstander til områder utenfor Vesterhavna.

I praksis er tre metoder for tildekking av sedimentene i Hannevikbukta aktuelle. Det er dumping med splittlekter, dumping med fallbunnslekter og spredning av massene ved hjelp av utpumping. Disse tre forskjellige metodene vil trolig gi betydelig forskjell i oppvirvling av sedimentene. Samtidig representerer de store variasjoner i kostnader. Splittlekter og fallbunnslekter krever stor grad av nøyaktighet med hensyn til posisjonering. Deponering av massene med splittlekter er den enkleste, men også den mest grove måten å deponere tildekkingsmassen på. Ved denne metoden åpnes lekteren i hele lengderetningen og massene forlater lekteren i en porsjon. Splittlekter har blitt anvendt ved dumping av sprengstein i den såkalte Essobukta i indre del av Hannevikbukta. Målinger tydet på at et lekterlass som påvirket 150 m<sup>2</sup> sjøbunn, virvlet opp mer enn et tonn partikler (Helland 1996).

Kostnadmessig sett er deponering med splittlekter attraktiv. Ut fra forutsetningen at massene for tildekking stilles gratis til rådighet levert i Hannevikbukta, er det små ekstra kostnader forbundet med selve deponeringen. En mere skånsom måte å deponere massene på vil være ved bruk av fallbunnslekter. Lekteren er da delt med flere tverrgående skott hvor hver avdeling kan åpnes med en bunnluke, som kan styres hydraulisk. Masseflyt og dermed spredning kan styres ved åpningsgraden på lukene. Ytterligere spredning kan oppnås ved å holde en viss framdrift på lekteren under tømning. Det eksisterer ikke data om grad av oppvirvling ved bruk av fallbunnslekter.

Ved den tredje metoden for tildekkingen pumpes massene ut ved hjelp av en sandpumpe ombord på et sandsugeapparat gjennom en 12-16" fleksibel pumpeledning. Slangeenden utstyres med spreder. Ved å optimalisere den horisontale hastigheten på sprederen og massemengde pr. tidsenhet, kan man oppnå en meget god spredning av massene. Bruk av sandsugeapparat forutsetter at det på forhånd er etablert et tilstrekkelig sanddeponi i bukta.

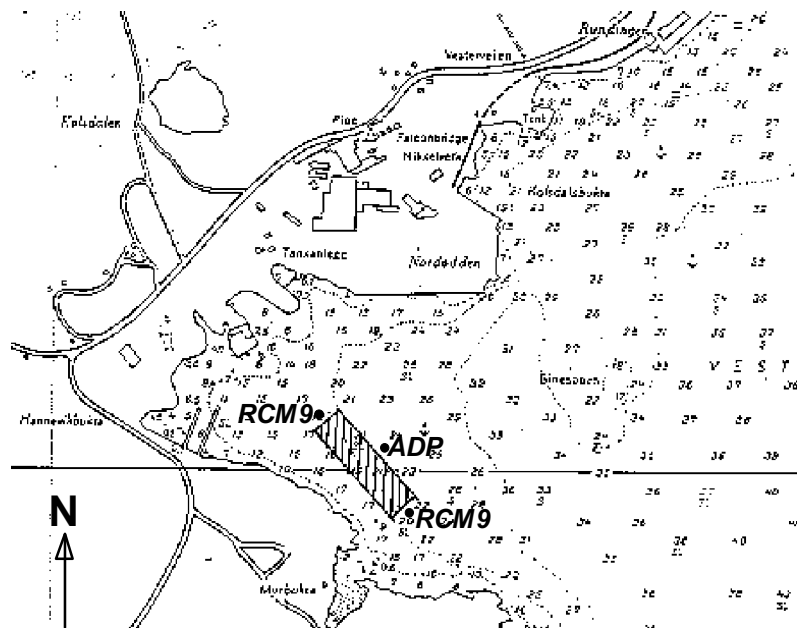
En metode for å begrense spredningen av oppvirvlede partikler på er å anvende en såkalt siltskjerm. Erfaringer fra dumpingen i Essobukta viste at skjermen holdt tilbake en vesentlig del av partiklene. Imidlertid, i undersøkelsen i Essobukta ble det anbefalt at siltskjermen burde gå fra bunnen og opp til sprangsjiktet som er på et par meters dyp. I tildekkingen av sedimentene i Hannevikbukta vil man operere på vanddyb ned til 20-30 meter. Bruk av siltskjerm kan dermed bli komplisert og utsettes for store krefter i forbindelse med vannbevegelser.

Basert på praktisk gjennomførbarhet og de økonomiske rammene som er skissert for en eventuell tildekkingsoperasjon i Hannevikbukta, ble bruk av fallbunnslekter valgt.

I vurderingen av tildekkingen av sedimentene i Hannevikbukta har det vært forutsatt at et ca. 0,5 m tykt sand-/siltlag etableres oppå de forurensede massene. Hvis det viser seg at tilgangen på masser ikke er tilstrekkelig til å oppnå dette, kan det være aktuelt å erstatte noe av sandlaget med finknust sprengstein. Det vil trolig kunne øke motstanden mot oppvirvling av de uforurensede massene. Imidlertid må sandlaget være tilstrekkelig tykt til å kunne bære den finknuste steinen uten at den trenger gjennom til de forurensede massene.

### 3.1.2 Valg av tildekkingslokalitet

En eventuell storskala-tildekking av sedimentene i Hannevikbukta vil medføre deponering av masser fra strandsonen ned til ca. 30 meters vandndyp. Det medfører også at sedimentene har forskjellig karakter. I hoveddelen av bukta er imidlertid sedimentene finkornige med hovedmengden av partiklene i siltfraksjonen, dvs. med kornstørrelse  $<63 \mu\text{m}$ . Disse vil også være de sedimentene som lettest lar seg virvle opp. For å få en mest mulig representativ lokalitet for tildekkingsforsøket ble et område på 50m x 200m i den sydvestre delen av bukta valgt (Figur 3.1). Vanddybden i det utvalgte området varierte fra 16-22m.



**Figur 3.1.** Kart over lokalitet for tildekking av sedimenter i Hannevikbukta. Området hvor dumpingene foregikk er vist som et rektangel. Figuren viser også bunnkontene for 10 m, 20 m og 30 m dyp samt posisjonen (•) for selvregistrerende instrumenter utplassert nær bunnen for måling av strømhastighet, strømrøtning, temperatur, salinitet og turbiditet. For omtale av instrumentene henvises til kap. 3.2

En sedimentprøve fra området ble analysert for innhold av nikkell og kobber samt prosentandel av partikler med kornstørrelse  $<63 \mu\text{m}$  (Tabell 1). Konsentrasjonen av nikkell og kobber indikerer også forurensningsnivået av de andre forbindelsene i sedimentene i Hannevikbukta.

**Tabell 1.** Kornfordeling og konsentrasjon av nikkel og kobber ( $\mu\text{g/g}$  tørt materiale) i overflatesedimentet (0-2 cm) på lokaliteten for prøvetiltekkning i Hannevikbukta.

% <63 $\mu\text{m}$	Kobber	Nikkel
95	5380	2947

Som tidligere påvist, var konsentrasjonene av nikkel og kobber meget høye.

### 3.1.3 Spesifikasjoner for gjennomføring av tildekkingen

Firma Scan Mudring AS, Mandal ble valgt til å forestå deponeringen av massene. De brukte fallbunnlekteren "Mudder 054" med lengde/bredde på 22,5 x 5,6 m. Lekteren har 2 x 6 luker med en total lysåpning på ca. 15 x 4 m som kan åpnes gradvis og kontrollert ved hjelp av hydraulisk styring. Alle lukene åpnes samtidig og like mye. Lasteevnen er 130 m<sup>3</sup> pr. lass, men for å sikre optimal dumping ble det lastet 80-100 m<sup>3</sup> pr. lass. Lekteren ble slept av taubåten "Mikki" som har trekkraft på 5 tonn. Lekteren hadde en hastighet på 2-3 knop. Posisjoneringsutstyret som ble brukt var av typen Telechart 2022 digitale kart med differensiell GPS. Systemet har en nøyaktighet på 3-4 meter.

På grunn av begrenset mengde tunnellsand fra E18-utbyggingen, ble ytterligere sandmasser mudret fra munningen av Otra. Disse massene ble tatt opp av Scan Mudring AS. De forskjellige massene hadde følgende karakteristika (Tabell 2).

**Tabell 2.** Kornfordeling (%), innhold av kobber og nikkel ( $\mu\text{g/g}$  tørt materiale) og aluminium (mg/g tørt materiale) i tildekkingsmassene.

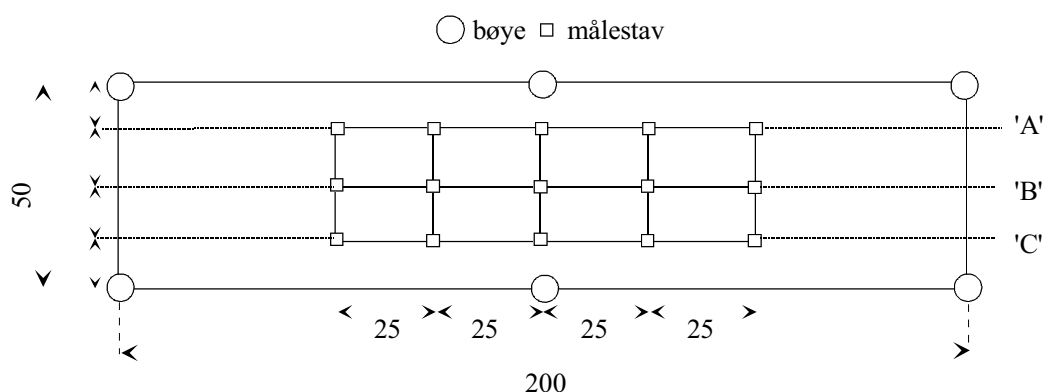
	<0,1 mm	0,1-1 mm	1-2 mm	>2 mm	Kobber	Nikkel	Aluminium
Tunnellmasse, øvre lag	3	87	9	1	7,4	9,9	61,5
Tunnellmasse, nedre lag	38	62	0	0	-	-	-
Otrasand	0	60	22	18	6,5	7,2	61,5

Området for dumping ble merket opp med bøyer forankret på bunnen. Videre ble målestaver bestående av rør sveiset fast til en stålplate utplassert av dykkere på bunnen.

Tildekkingen foregikk 30/9 og 1/10 1998. Det ble til sammen deponert 5 lass med sand. Første dag ble to lass forsøksvis lagt i to parallelle linjer (Figur 3.2). Andre dag ble første lass lagt i en tredje parallel linje. Det ble antatt at tildekkingsmassene ville spre seg på en slik måte at de tre første deponeringene dekket sedimentene i en bredde på ca. 30-50 meter. Ved den første deponeringen ble fart på lekter og lukeåpning justert slik at massene ble deponert over en avstand av 200 meter. Ved de andre deponeringene ble lengden snevret inn slik at sedimenter i en lengde av ca. 100 meter ble dekket til.

I de siste to deponeringene ble massene lagt langs senterlinjen av de tre foregående dumpingene.

Tunnellsand ble anvendt i de to første deponeringene (hver ca. 80 m<sup>3</sup>), mens Otrasand ble anvendt i resten (hvert lass ca. 100 m<sup>3</sup>).



**Figur 3.2.** Prinsippskisse for deponering av masser. Bøyene markerer det utvalgte dumpeområdet på overflaten. Målestaver ble utplassert på bunnen for å vise tykkelsen på overdekkingslaget. Linjene A, B og C er navigasjonslinjer for lekter. Avstander er gitt i meter.

### 3.2 Måleprogram

Målinger for å beskrive og kvantifisere oppvirvlingen som følge av deponeringen ble basert på selvregistrerende instrumenter og på målinger av transmisjon og vannprøver i vannmassene umiddelbart etter hver deponering. To selvregistrerende Aanderaa Instruments RCM-9 strømmålere ble utplassert ca. 2 meter over bunnen i utkanten av dumpeområdet (Figur 3.1). I praksis foregikk det meste av dumpingene i den søndre halvdel av området, og den nordre strømmåleren kom da relativt langt unna. Dette er en ultralyd strømmåler som bruker Doppler-prinsippet til beregning av strømfart og retning og som dermed ikke har noen utvendige bevegelige deler. RCM-9 strømmålere registrerer også temperatur, saltholdighet og turbiditet. Målerne registrerte hvert 10 minutt.

Målenøyaktigheten for de enkelte sensorene på Aanderaa Instruments RCM-9 strømmålere er:

Konduktivitet:	$\pm 0,1$ mmho/cm
Temperatur:	$\pm 0,05^{\circ}\text{C}$
Kompassretning:	$\pm 5^{\circ}$ for $0 - 15^{\circ}$ tilt
Fart:	$\pm 2$ cm/s eller $\pm 2\%$ av farten. Den høyeste av disse gjelder.
Laveste detekterbare fart:	0,5 cm/s
Turbiditet:	2 % av full skala. Måleområde 0,1-20 FTU.

En ADP-strømmåler (Acoustic Doppler Profiler, fabrikkat Nortek) ble plassert i midten ved yttergrensen av dumpeområdet, der bunn dyppet var 20 m. Måleren stod i 18 m dyp og fra 17 m dyp og oppover i vannmassen registrerte den hvert 5. minutt strømhastighet og retning, samt partikkelmengde i sjikt med 1 meters tykkelse.

Transmisjonsmålinger ble utført både for å bestemme spredningen av partikler fra dumpemassene og spredningen av partiklene som ble virvlet opp fra bunnsedimentene. Målingene beskriver hvor mye en lysstråle svekkes over en gitt distanse i vannet og denne svekkingen har oftest en nær sammenheng med partikkelkonsentrasjonen. Transmisjonsmålinger brukes derfor til å beskrive partikkelmengden i vannmassene, og hvordan partiklene fordeler seg i vertikalen. Målinger ble foretatt i og utenfor dumpeområdet med et transmisjonsmeter (Q-instrument) med en bølgelengde på 660 nm (rødt lys), umiddelbart før hver dumping og over et tidsrom på 1-2 timer etterpå. Ved utvalgte tidspunkter ble også vannprøver samlet inn for analyse av metallene kobber og nikkel.



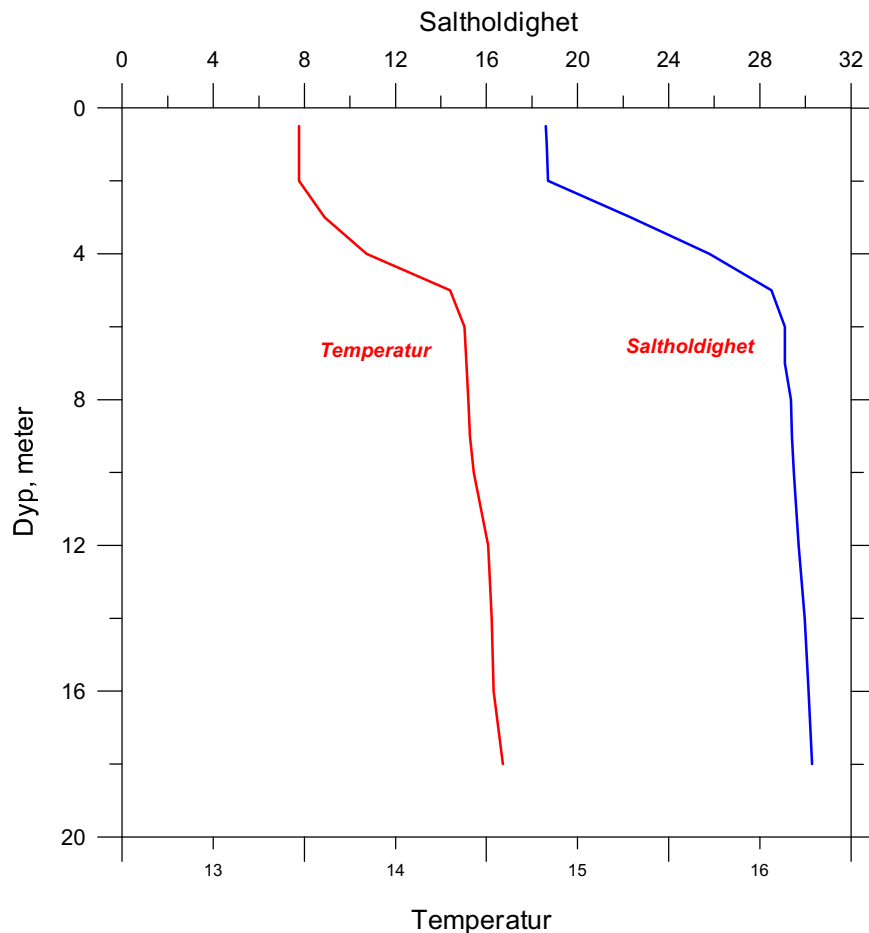
Vannprøver ble samlet fra utvalgte dyp ved utvalgte tidspunkter. Totalt suspendert materiale (TSM) ble bestemt ved å filtrere vannet gjennom forhåndsveide Nucleopore-filtre. Metallinnhold i TSM ble gjort ved å opplutte forhåndsveide og forhåndsvaskede GF/C-filtre i fluss-syre. Metallinnhold i sedimenter og tildekkingsmasse ble også bestemt etter opplutning i fluss-syre. Kornfordelingen ble bestemt ved sikting og gjennomført av Kristiansand Tekniske Skole.

## 4. Resultater og diskusjon

### 4.1 Beskrivelse av vannmasser og strømforhold

#### 4.1.1 Vannmasser

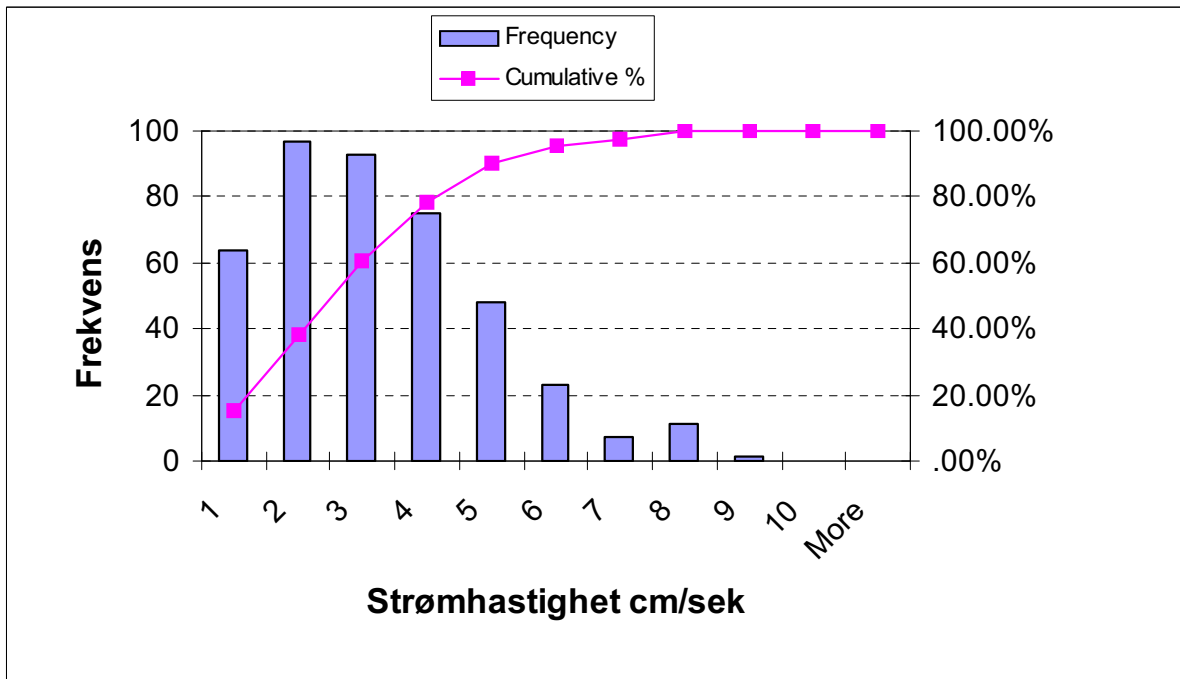
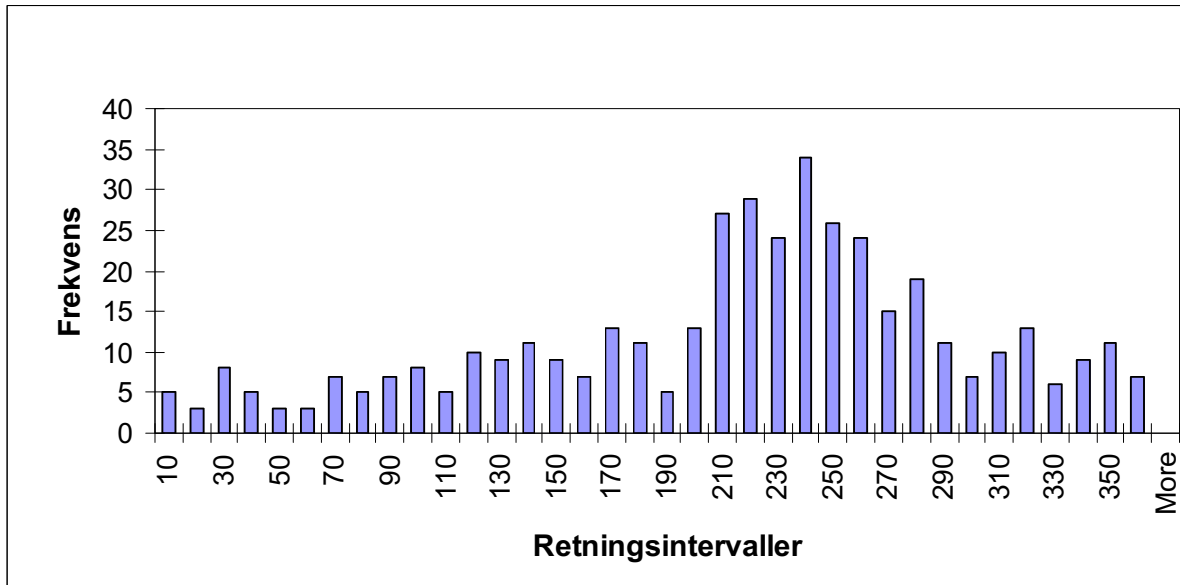
Figur 4.1 viser den vertikale temperatur- og saltholdighetsprofilen i dumpingsområdet den 30.9 1998. Vannmassen har en tydelig lagdeling, med et ca. 2 m tykt brakkvannslag øverst, derunder et ca. 3 m tykt sprangsjikt og mellom 5-6 m dyp og bunn en relativ homogen vannmasse av kystvann.



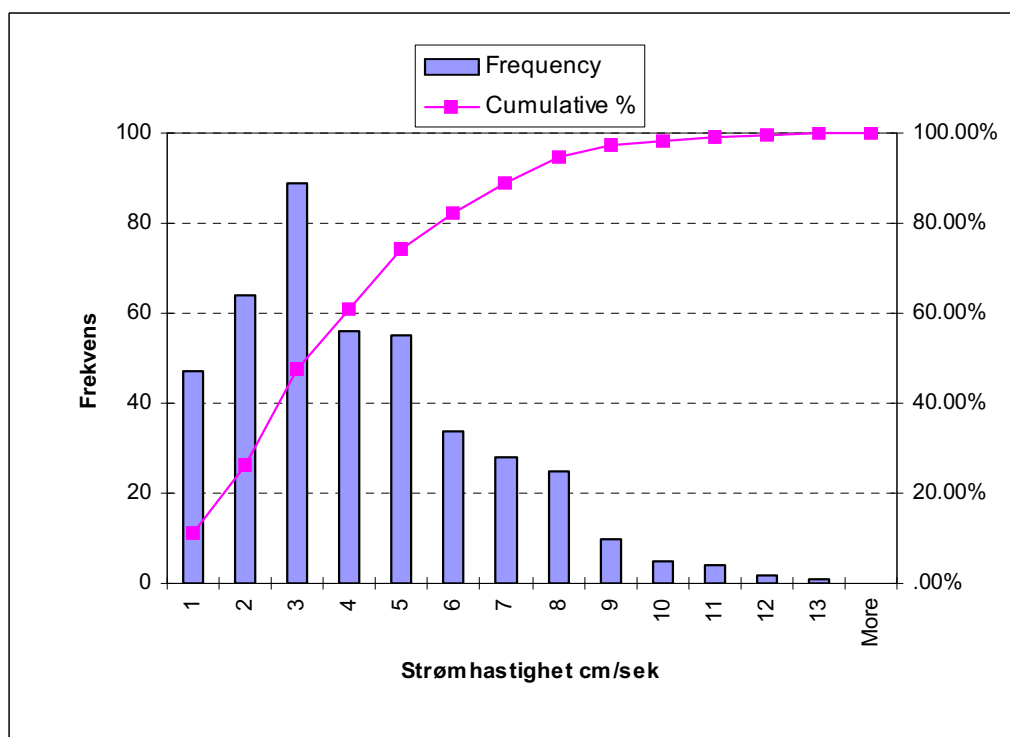
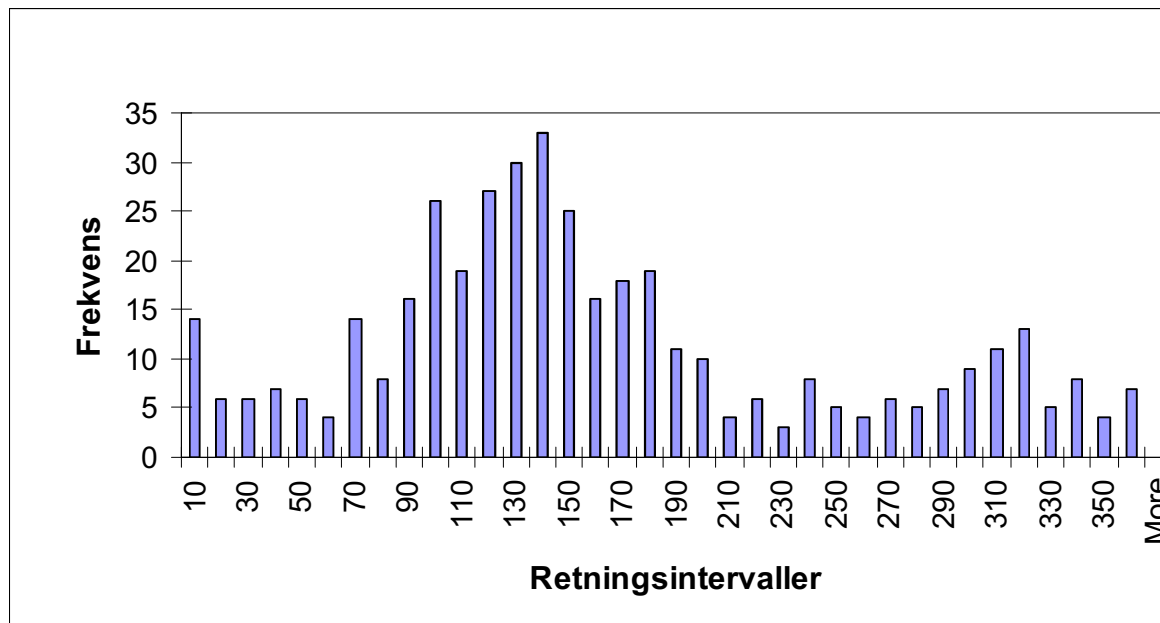
**Figur 4.1.** Vertikalprofil av saltholdighet og temperatur i Hannevikbukta den 30.9 1998.

#### 4.1.2 Strømforhold

Figur 4.2-4.3 oppsummerer målingene av strømretning og strømhastighet i 16-17 m dyp i henholdsvis nordre og søndre kant av dumpeområdet. I nord var hovedretningen 210-280°, dvs. strøm i sørvestlig retning, mens strømretningen i sørenden var hovedsakelig 90-180°. Dette strømbildet må antas å være skapt av den relativt sterke (opptil 12 m/s) østlige vinden forut og under selve dumpingene. Under de fire dumpingene var strømretningen i nord vestlig, mens strømretningen i sør under dumping 1, 2 og 4 var øst-sørøst og vest-sørvest under dumping nr. 3.



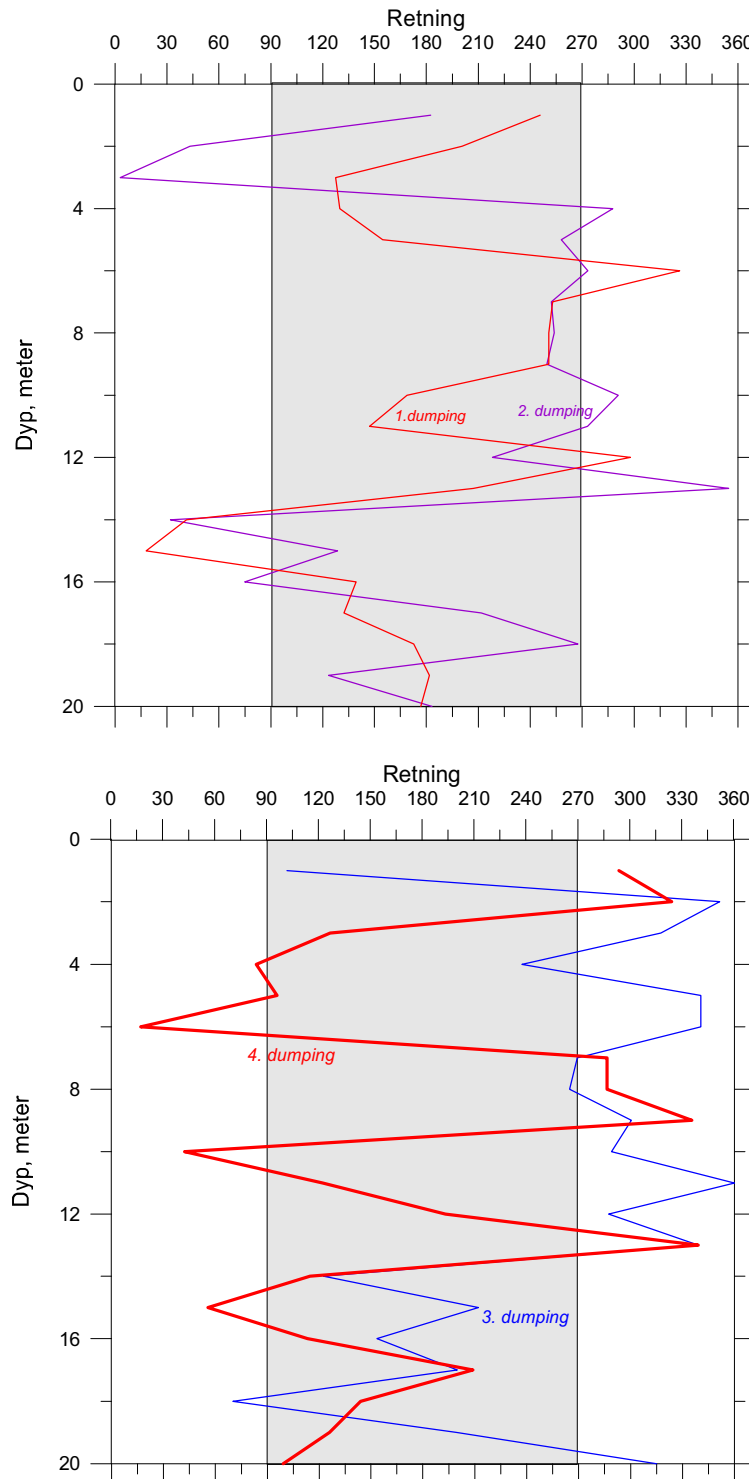
**Figur 4.2.** Dumpefeltets nordre del. Statistisk fordeling av strømretning og strømhastighet i 17m dyp.



**Figur 4.3.** Dumpefeltets søndre del. Statistisk fordeling av strømreretning og strømhastighet i 17m dyp.

Figur 4.4 viser den vertikale retningsfordelingen for strømmen i posisjonen for ADP-måleren ved starten av de 4 dumpingene. Variasjonene er store nedover i vannsøylen og illustrerer hvordan ”skyer” med suspendert materiale i forskjellige nivåer i vannsøylen kan bli ført i forskjellige retninger. I transmisjonsmålinger kan dette f.eks. framkomme som vannlag med lav transmisjon.

Ikke uventet er det også store variasjoner i strømretning fra den ene dumpingen og til den neste. Vi kommer ikke til å utrede årsakene til slike variasjoner, som kan skyldes skiftninger i vind og i tidevannsforhold.



**Figur 4.4.** Vertikal fordeling av strømretning målt med ADP ved start av de fire dumpingene i Hannevikbukta. Den sørlige halvsirkelen (90-270°) er vist i gråtone. Variasjonene er store, både i vertikalen og mellom hver dumping.

## 4.2 Deponering av tildekkingsmasser

Det var planlagt dykkerinspeksjon inklusive avlesning av målestaver utsatt på bunnen etter første og siste dumping. Første lekterlass besto av tunnelmasse (nedre lag) som var de mest finkornige massene. Farten på lekteren og åpningen på lukene ble justert slik at massene ble deponert i hele lengden av det oppmerkede dumpeområdet (200m). Dykkerinspeksjonen bekreftet beregninger som tilsa at kun et par cm tykt lag med ren masse ville bli lagt oppå de forurensede sedimentene. Ved deponeringen av resten av massene ble det valgt å avgrense dumpeområdet til 100 m lengde.

Dykkerinspeksjon etter deponering av siste lekterlass samt videofilming av bunnen viste at massene var lagt ut i et jevnt lag. Det var ikke områder med ”hauger” av dumpemasse. Bunntopografien i området som var tildekket, skilte seg ikke vesentlig fra områder som ikke var tildekket. Det var derfor en god spredning av massene nedover i vannmassene og tildekkingsmaterialet la seg som et fint lag over det forurensede sedimentet.

Den gode spredningen av dumpemassene ble bekreftet da man etter forsøket tok prøver av sedimentene med grabb i det tildekkede området. Materialet i grabben besto av at ca. 10 cm tykt sandlag over et rødbrunt, forurenset sediment. I sandlaget var det også mulig å påvise tildekkingen med det første lekterlasset som inneholdt mere finkornig tunnelmasse. Ut fra antagelsen av at et ca. 100m x 50m område ble tildekket med ca. 450 m<sup>3</sup> masse, stemmer det at tildekkingstykkelsen ideelt skulle bli ca. 10 cm.

## 4.3 Oppvirvling av partikler

### 4.3.1 Vertikal og horisontal spredning

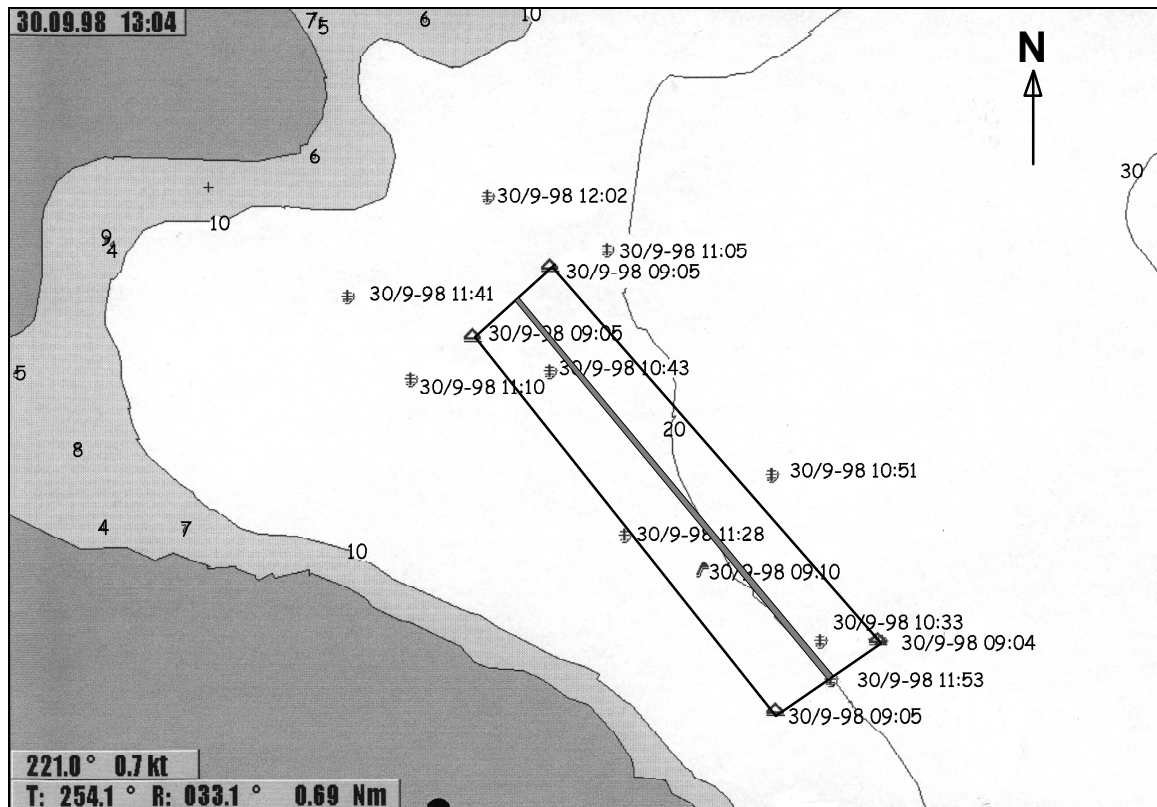
Med grunnlag i målinger av transmisjon og strøm vurderes den vertikale og horisontale partikkelspredningen under hver av de fire dumpingene.

#### **Første dumping, 30.9.98 kl. 10:10.**

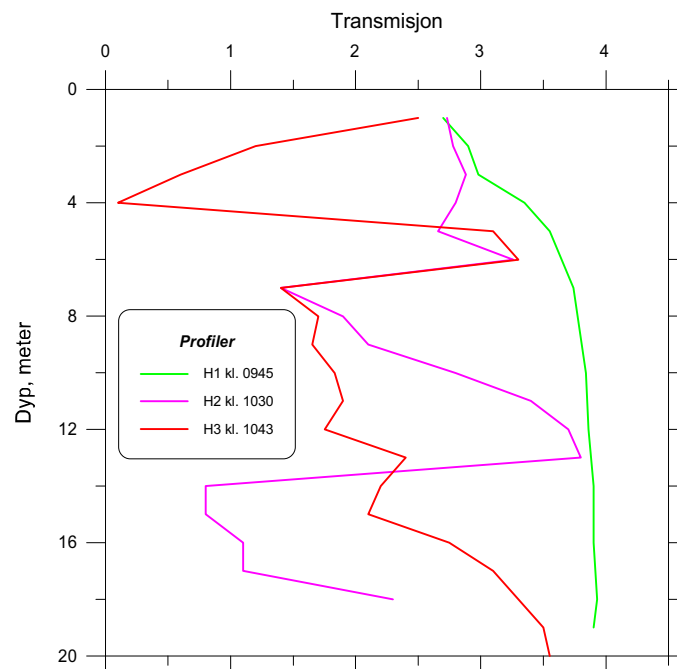
Under dumpingene og de etterfølgende to timene registrerte strømmåleren på 17 m dyp i dumpefeltets nordre del strøm i retning sørvest med hastighet 3-6 cm/s (20-40 m pr. 10 minutt). I dumpefeltets søndre del var strømrretningen på 17 m dyp sørøst og hastigheten litt lavere, 3-4 cm/s. Retningene stemmer med at ADP-måleren i hovedsak registrerte strøm i retning mellom 90° og 270° (Figur 4.4). Figur 4.5 viser posisjon og tidspunkt for alle transmisjonsmålingene som er gjengitt i Vedlegg A. Vi viser de mest karakteristiske som grunnlag for vurderingene.

Figur 4.6 illustrerer hvordan partiklene ble registrert i ytterkant og utenfor dumpeområdet før og etter dumpingene. Det er karakteristisk at skyen med suspendert materiale fort brytes opp i sjikt av varierende konsentrasjon, trolig p.g.a. av varierende strømrretning (jfr. Figur 4.4) og sjiktning. Hvorvidt et maksimum nær bunn på st. H3 skyldes oppvirvling av bunnsedimenter eller synkende partikler er uklart.

Turbiditetssensoren på strømmåleren på 17 m dyp i områdets søndre ende registrerte umiddelbart et maksimum, mens dette ikke ble påvist i den nordre enden (Figur 4.7). ADP'en litt øst for dumpefeltets midtre del registrerte en tydelig økning i signalstyrken, som et resultat av økt partikkelkonsentrasjon i vannmassen (Figur 4.8). Samlet sett etterlot dumpingene en betydelig mengde suspendert materiale i vannmassene, men i hovedsak sedimenterte partiklene raskt og ble ellers transportert ut av området i sør-sørøstlig retning.

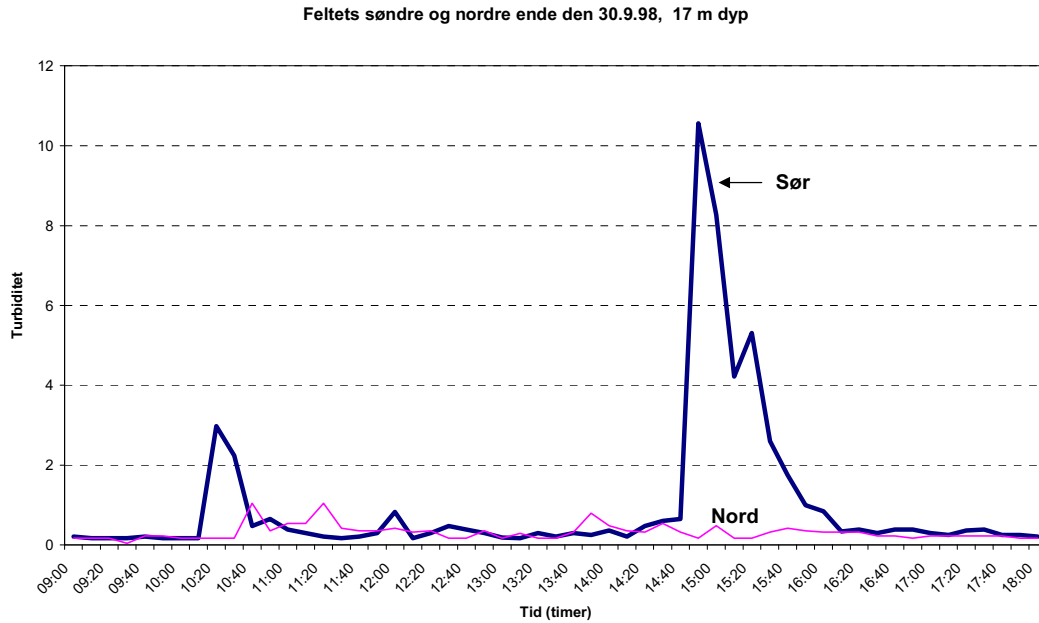


**Figur 4.5.** Posisjoner og tidspunkt for måling av transmisjon under den første dumpingen. Dumpingen foregikk i den midtre delen av området (tykk linje).

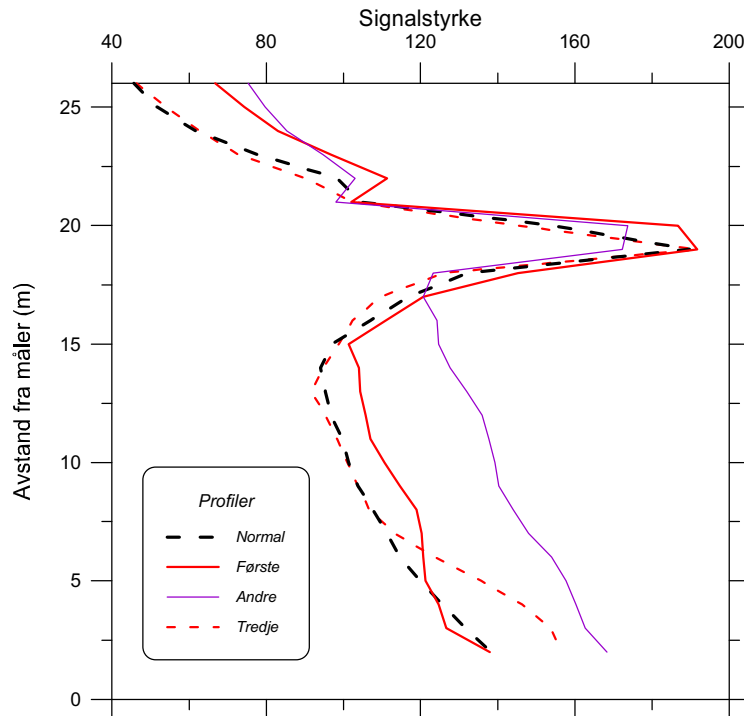


**Figur 4.6.** Vertikale transmisjonsprofiler umiddelbart før den første dumpingen, og to profiler i løpet av den etterfølgende halvtimen. For stasjonsposisjoner, se Figur 4.5.





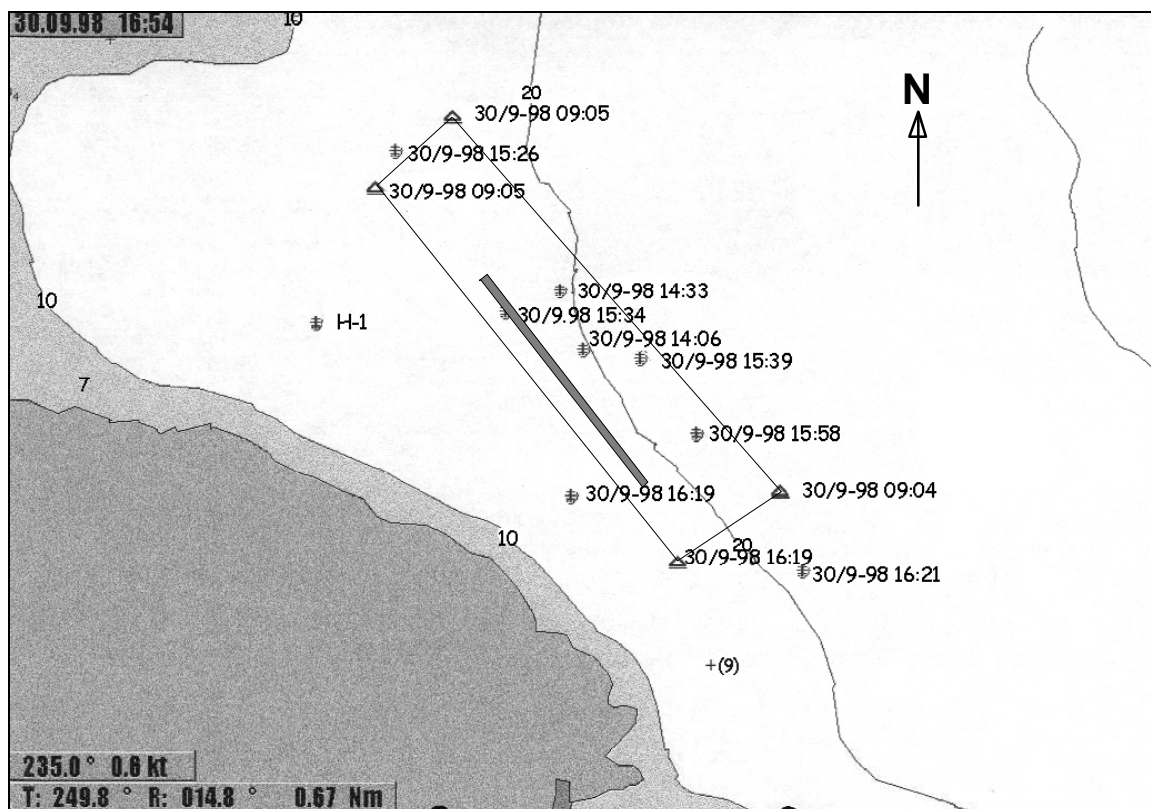
**Figur 4.7.** Transmisjon målt av strømmålerne på 17 m dyp ved dumpefeltets søndre og nordre ende den 30.9 1998. En partikkelsky etter dumpingene kl. 10:10 og kl. 14:10 sees tydelig i søndre del.



**Figur 4.8.** Vertikalprofiler av signalstyrke målt med ADP før (normal) og umiddelbart etter de tre første dumpingene. Høy signalstyrke viser relativ høy konsentrasjon av partikler (se spesielt 2. dumping).

### Annen dumping, 30.9.98 kl. 14:10.

Under dumping og de etterfølgende to timene registrerte strømmåleren på 17 m dyp i dumpefeltets nordre del i retning sørvest med hastighet 6-10 cm/s (40-60 m pr. 10 minutt). I dumpefeltets søndre del var strømrretningen på 17 m dyp sørøst og hastigheten omkring halvparten (3-5 cm/s). Retningene stemmer med at ADP-måleren i hovedsak registrerte strøm i retning mellom 90° og 270° (Figur 4.4). Retningen hadde altså endret seg lite siden første dumping 4 timer tidligere, men strømhastigheten var noe større. Figur 4.9 viser posisjon og tidspunkt for alle transmisjonsmålingene som er gjengitt i Vedlegg A. Vi viser de mest karakteristiske som grunnlag for vurderingene.

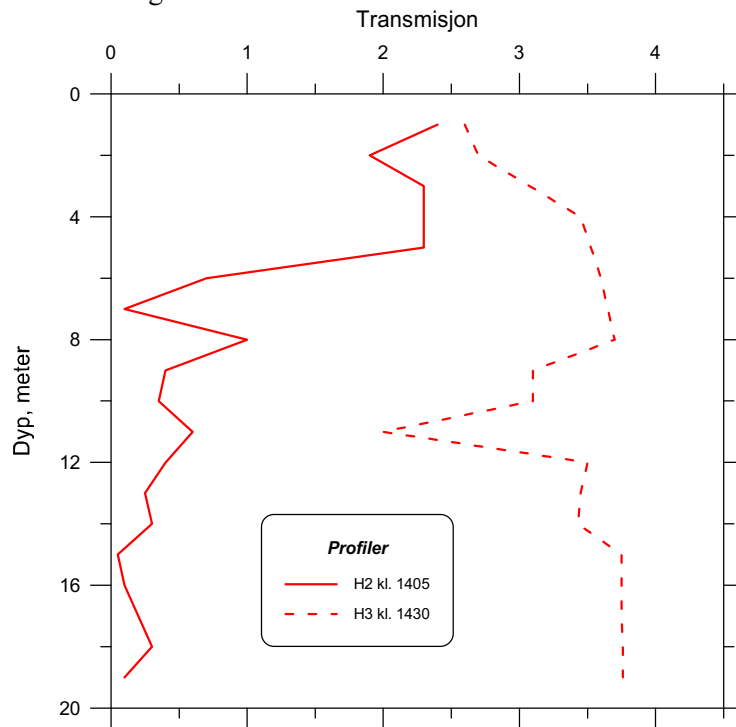


**Figur 4.9.** Posisjoner og tidspunkt for måling av transmisjon under den andre dumping. Dumpingen foregikk i den sørøstlige halvdelen av området (skravert felt).

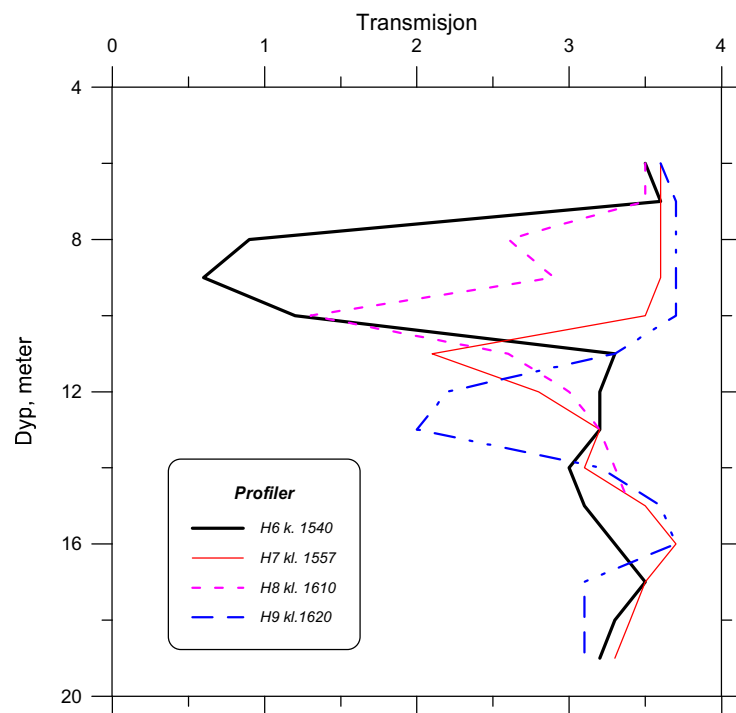
Figur 4.10 illustrerer hvordan partiklene ble registrert i dumpeområdet før (st. H2) og 15-20 minutter etter dumping (st. H3). På H3 i nordre del av området der dumping foregikk ble registrert en tett sky av partikler fra ca. 5 m dyp og til bunnen. På st. H6, H7, H8 og H9 ble det inntil 2 timer etter dumping registrert svekket transmisjon i sjikt mellom ca. 8 m dyp og 13 m dyp (Figur 4.11). Man kan anta at partiklene i dette sjiktet stammet fra massen som ble dumpet og ikke fra oppvirvlet bunnsediment. Når bunnen sees et svakere minimum som kan skyldes oppvirvlet bunnsediment eller dumpemasser.

Etter dumping registrerte turbiditetssensoren på strømmåleren på 17 m dyp i områdets søndre ende umiddelbart et kraftig maksimum, mens dette ikke ble påvist i den nordre enden (Figur 4.7). ADP'en litt øst for dumpefeltets midtre del registrerte en sterk økning i signalstyrken, som et resultat av økt partikkelkonsentrasjon i vannmassen (Figur 4.8). Ved denne dumping ble det registrert større mengder partikler enn ved den første, både ved transmisjonsmålingene og fra strømmålerne. Årsaken kan være at strømmen har ført partiklene mer direkte mot strømmålerne enn tilfellet var første gangen,

men også annen konsistens av dumpemassen og/eller dumping som fordelte massen over en større vannmasse er tenkbare forklaringer.



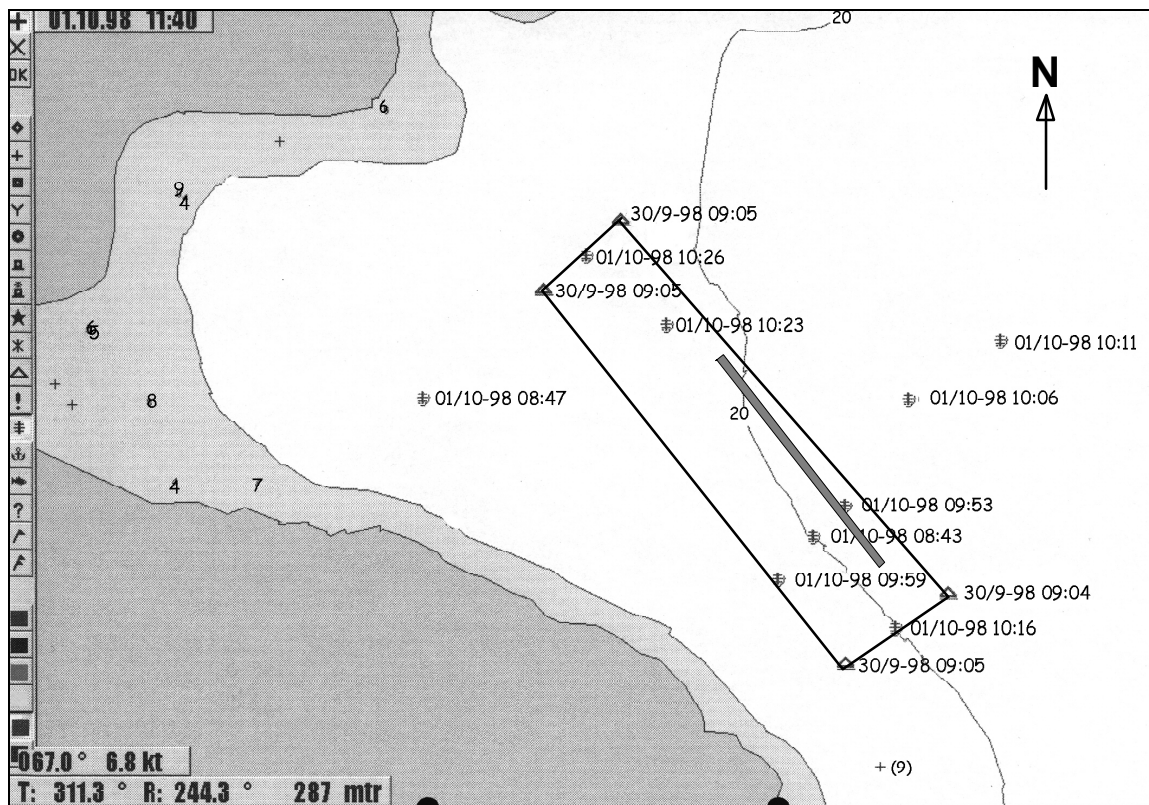
**Figur 4.10.** Vertikale transmisjonsprofiler umiddelbart før dumping, og 15-20 minutter senere. For stasjonsposisjoner, se Figur 4.9.



**Figur 4.11.** Transmisjonsmålinger på st. H6-H9 under annen dumping. Man ser et markert minimum mellom ca. 8 m og 13 m dyp, og et svakere minimum nær bunnen.

### Tredje dumping, 1.10.98, kl. 09:45.

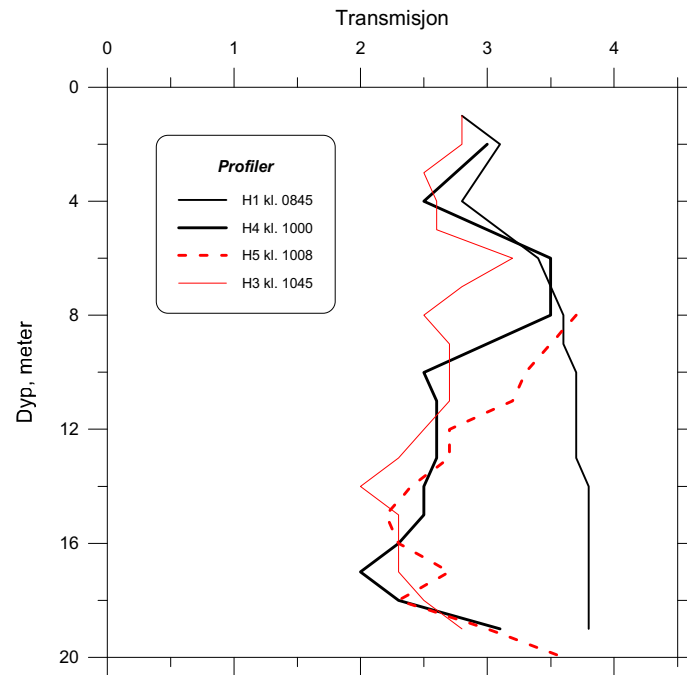
Under dumpingen og de etterfølgende to timene registrerte både strømmåleren på 17 m dyp i dumpefeltets nordre del og måleren i den søndre delen strøm i retning nordvest med hastighet 1-4 cm/s (ca. 6-25 m pr. 10 minutt). Dette var altså et annet strømsystem enn dagen før. Retningene stemmer med at ADP-måleren i hovedsak registrerte strøm i retning mellom 90° og 270° (Figur 4.4). Figur 4.12 viser posisjon og tidspunkt for alle transmisjonsmålingene som er gjengitt i Vedlegg A. Vi viser de mest karakteristiske som grunnlag for vurderingene.



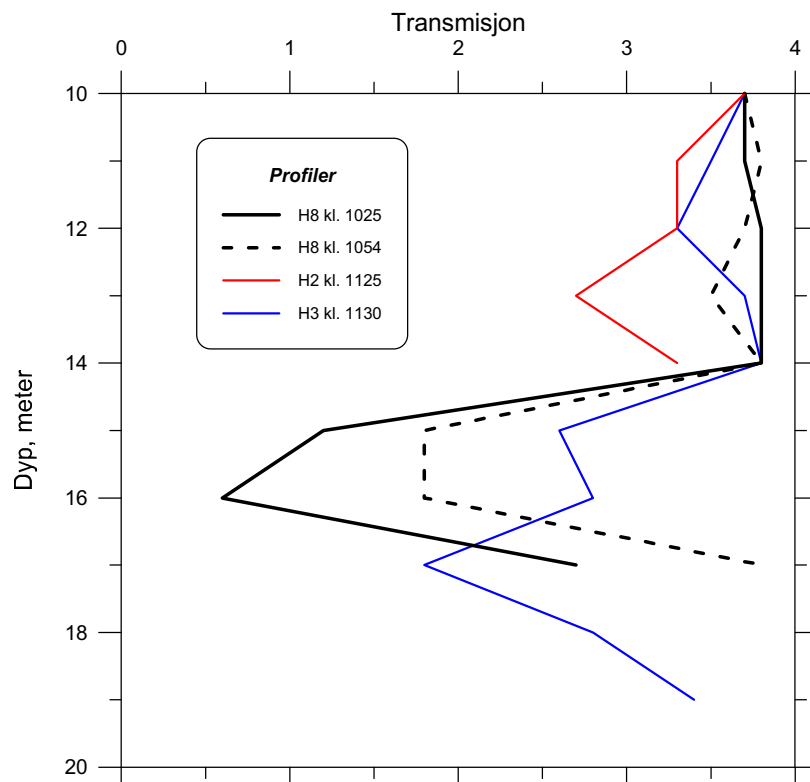
**Figur 4.12.** Posisjoner og tidspunkt for måling av transmisjon under den tredje dumpingen. Dumpingen foregikk hovedsakelig i den sørøstlige halvdel av området (se skravur).

Figur 4.13 illustrerer hvordan partiklene ble registrert i dumpeområdet før (st. H2) og etter dumpingen (st. H3). På H3 i nordre del av området der dumpingen foregikk ble registrert en tett sky av partikler fra ca. 5 m dyp og til bunnen. På st. H6, H7, H8 og H9 ble det inntil 2 timer etter dumpingen registrert svekket transmisjon i sjikt under ca. 14 dyp (Figur 4.14). At transmisjonen på disse stasjonene økte mot bunnen tyder på at partiklene i dette sjiktet stammet fra massen som ble dumpet og ikke fra oppvirvlet bunnsediment.

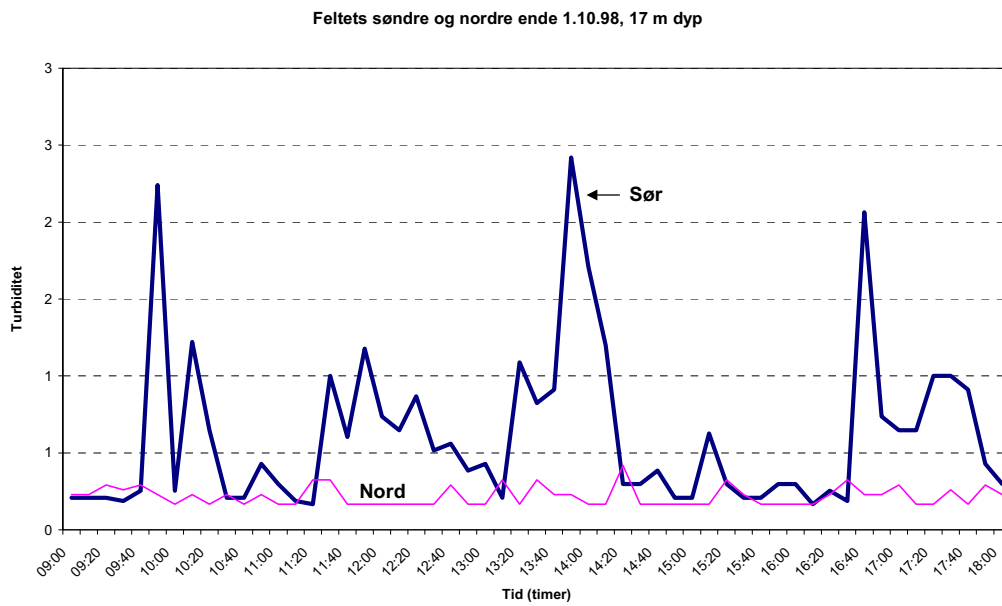
Turbiditetssensoren på strømmåleren på 17 m dyp i områdets søndre ende registrerte umiddelbart et tydelig maksimum, mens dette ikke ble påvist i den nordre enden (Figur 4.15). ADP'en litt øst for dumpefeltets midtre del registrerte en mindre økning i signalstyrken nær bunnen, som et resultat av økt partikkelkonsentrasjon i vannmassen (Figur 4.8). Dette kan være et resultat av oppvirvling fra bunnen, eller være partikler fra dumpemassen som sprer seg i en sky over bunnen.



**Figur 4.13.** Vertikale transmisjonsprofiler umiddelbart før dumping og inntil 1 time senere. For stasjonsposisjoner, se Figur 4.12.



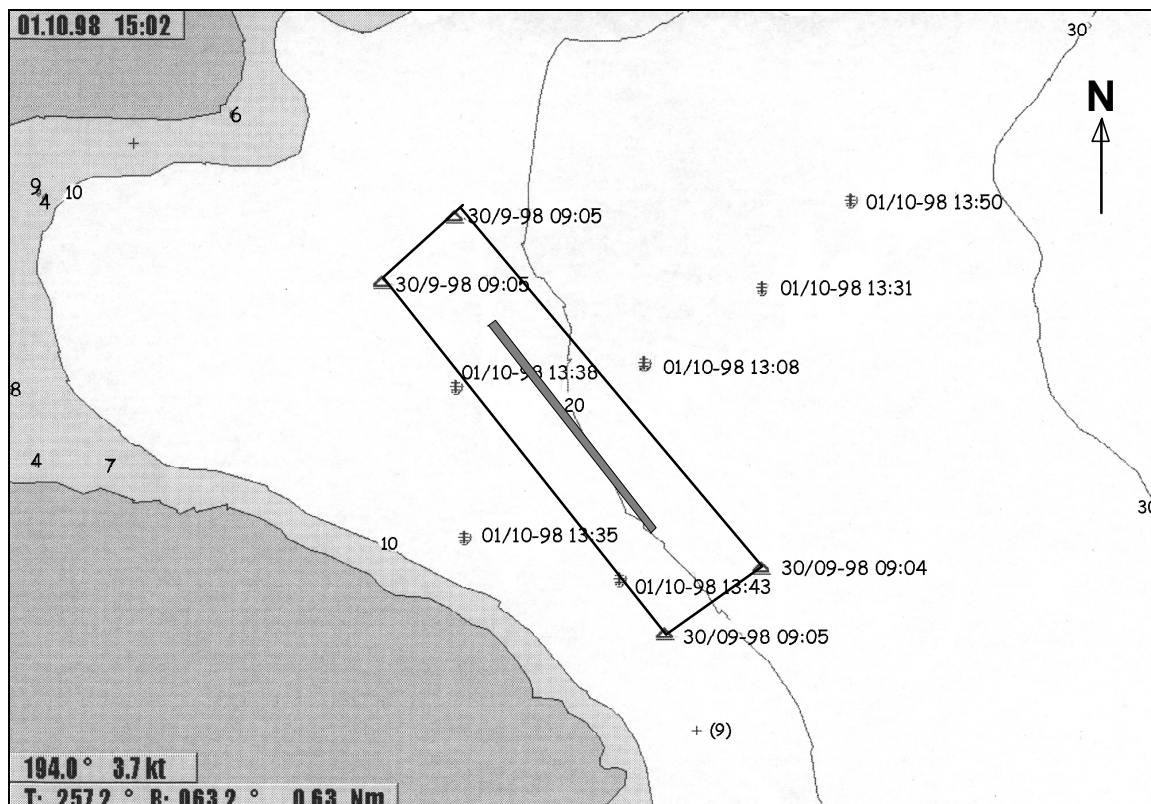
**Figur 4.14.** Transmisjonsmålinger på st. H2-H8 under tredje dumping. Man ser et markert minimum under ca. 14 m dyp, med mindre partikkeltetthet nærmere bunnen.



**Figur 4.15.** Transmisjon målt av strømmålerne på 17 m dyp ved dumpefeltets søndre og nordre ende den 1.10 1998. En partikkelsky etter dumping kl. 09:45 og kl. 13:10 sees tydelig i søndre del. I tillegg er registrert andre maksima, særlig omkring kl. 16:50.

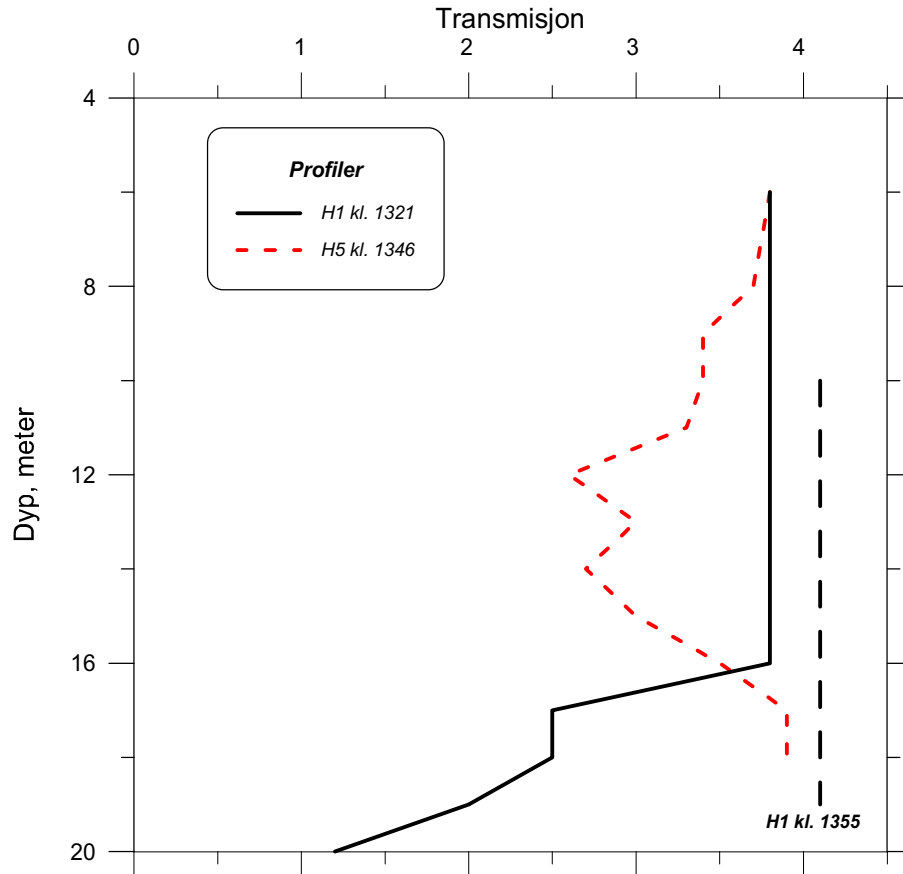
### Fjerde dumping, 1.10.98 kl. 13:10.

Strømbildet var et annet enn om formiddagen. Under dumpingene og de etterfølgende to timene registrerte strømmåleren på 17 m dyp i dumpefeltets nordre del strøm i retning sørvest med hastighet 1-4 cm/s (6-25 m pr. 10 minutt). I dumpefeltets søndre del var strømmretningen på 17 m dyp sørøst og hastigheten høyere (3-7 cm/s). Retningene stemmer med at ADP-måleren i hovedsak registrerte strøm i retning mellom 90° og 270° (Figur 4.4) og er i hovedsak samme strømbildet som dagen før. Figur 4.16 viser posisjon og tidspunkt for alle transmisjonsmålingene som er gjengitt i Vedlegg A. Vi viser de mest karakteristiske målingene som grunnlag for vurderingene.



**Figur 4.16.** Posisjoner og tidspunkt for måling av transmisjon under den fjerde dumpingene. Dumpingen foregikk i den midtre delen av området (se skravor)

I hovedsak ble partikkelskyen ført raskt i sør-sørøstlig retning, noe som bekreftes av et markert turbiditetsmaksimum for strømmåleren på 17 m dyp ved dumpefeltets søndre ende (Figur 4.15). Dette skifte av strømbildet førte til at registreringen av skyen ble vanskelig. På st. H1 øst for dumpefeltet ble det registrert en partikkelsky nær bunnen, men inne i dumpefeltet viste bare målingen på stasjon H5 kl. 13:45 spor av dumpemasser oppe i vannsøylen (Figur 4.17).



**Figur 4.17.** Transmisjon på st. H1 og st. H5 etter den 4. dumpinga viser en partikkelsky nær bunnen på st. H1 og på 13-16 m dyp på st. H5. Etter 45 minutter var det ikke spor av partikler på stasjon H1.



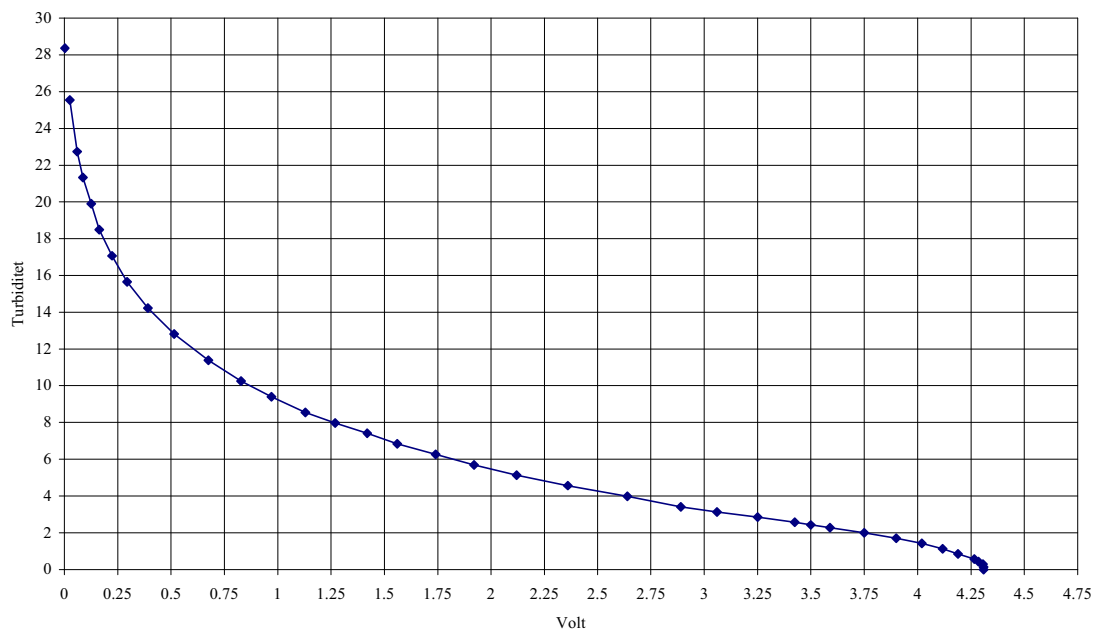
### 4.3.2 Mengder virvlet opp

#### Metodikk

Det ble gjort langt flere målinger av transmisjon enn av suspendert materiale (TSM). For å kunne bedømme mengden av partikler i vannmassen er det ønskelig å regne om fra transmisjon til den tilsvarende konsentrasjonen av TSM. Dette er gjort som følger:

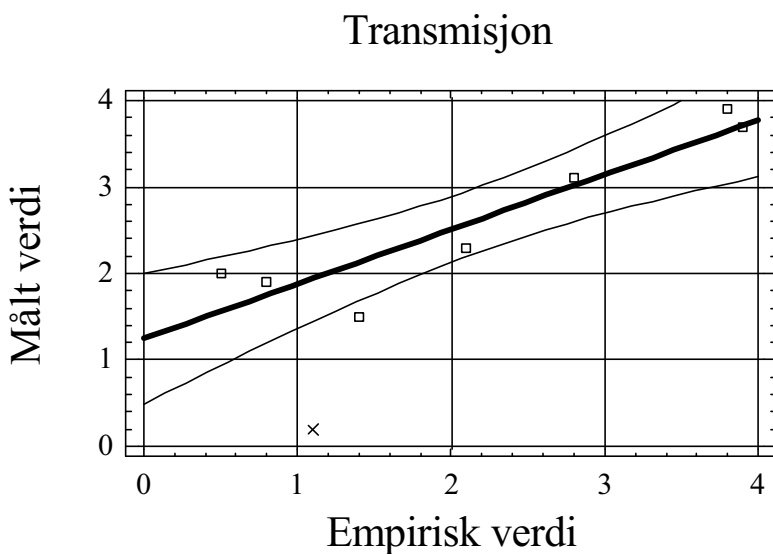
1. For små uorganiske partikler vil erfaringsmessig verdiene for TSM og turbiditet være noenlunde like store, noe som gir anledning til å betrakte de målte TSM-verdiene som målinger av turbiditet.
2. Ut fra et stort materiale har man ved NIVA beskrevet en sammenheng mellom turbiditet og transmisjon (Figur 4.18). Denne sammenhengen passer for vannmasser som har liten egenfarge, dvs. for vann som i utgangspunktet er relativt klart.
3. Ved bruk av denne metoden er TSM-verdiene regnet om til såkalt ”empirisk bestemt transmisjon”.

**Sammenhengen mellom volt og turbiditet (0-30)**

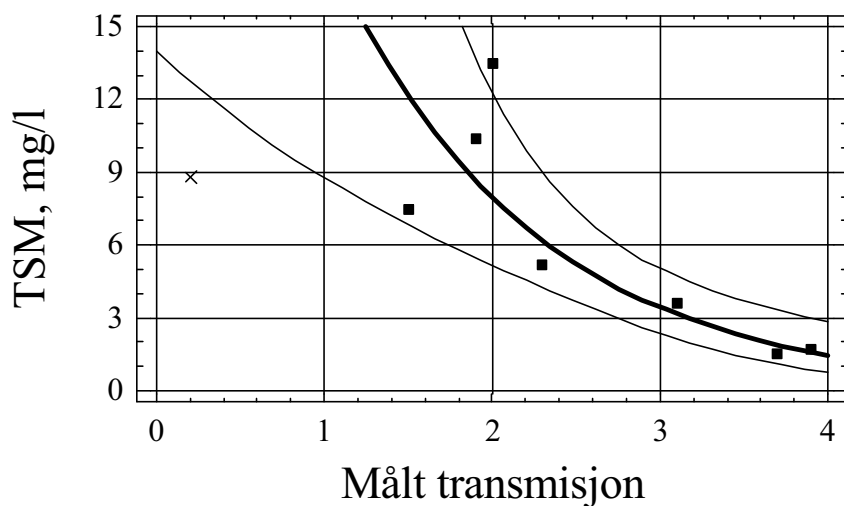


**Figur 4.18.** Empirisk sammenheng mellom transmisjon (som volt) og turbiditet (Kai Sørensen, NIVA, pers. medd.).

Figur 4.19 viser en lineær regresjonslinje for ”empirisk” mot målt transmisjon basert på 7 målinger av TSM. Den åttende målingen (vist med ”x” i figuren) avvek mye i forhold til de andre, og ble dermed utelatt fra beregningen. Det er god overensstemmelse mellom de målte og de empiriske verdiene ( $r^2=0.852$ ). Med dette resultatet har vi regnet tilbake til en regresjonslinje for TSM mot målt transmisjon, som gir en god eksponensiell sammenheng ( $r^2=0.857$ ), (Figur 4.20). Denne sammenhengen vil heretter bli brukt for omregning fra den målte transmisjonen til den tilsvarende konsentrasjonen av TSM. Vi vil imidlertid understreke at dette er en grov beregningsmetode som bare er egnet til å gi et bilde av hovedtrekkene av konsentrasjoner og mengder.



**Figur 4.19.** Sammenheng mellom empirisk verdi for transmisjon og verdier som ble målt i Hannevikbukta. Korrelasjonskoeffisienten for den lineære regresjonslinja er  $r^2=0.852$ . Tynnere linjer omkring regresjonslinja viser 95% konfidensintervall. Måling angitt med "x" er ekskludert fra beregningene.



**Figur 4.20.** Sammenhengen mellom målt transmisjon og konsentrasjon av TSM i Hannevikbukta. Korrelasjonskoeffisienten for den eksponensielle regresjonslinja er 0.857. Tynnere linjer omkring regresjonslinja viser 95% konfidensintervall. Måling angitt med "x" er ekskludert fra beregningene.

#### Mengden av oppvirvlede bunnsedimenter

I beregningene for å kvantifisere oppvirvlingen, er resultatene fra dumpingene av det fjerde lekerlasset valgt for å illustrere forholdene. Figur 4.17 viste noen av disse transmisjonsmålingene. Umiddelbart

etter dumpingene ser vi at det er en øking i partikkelmengden fra 15 meters dyp og mot bunnen. Disse partiklene stammer både fra oppvirvling og fra sanden som ble deponert. For å kvantifisere oppvirvlingen antar vi følgende:

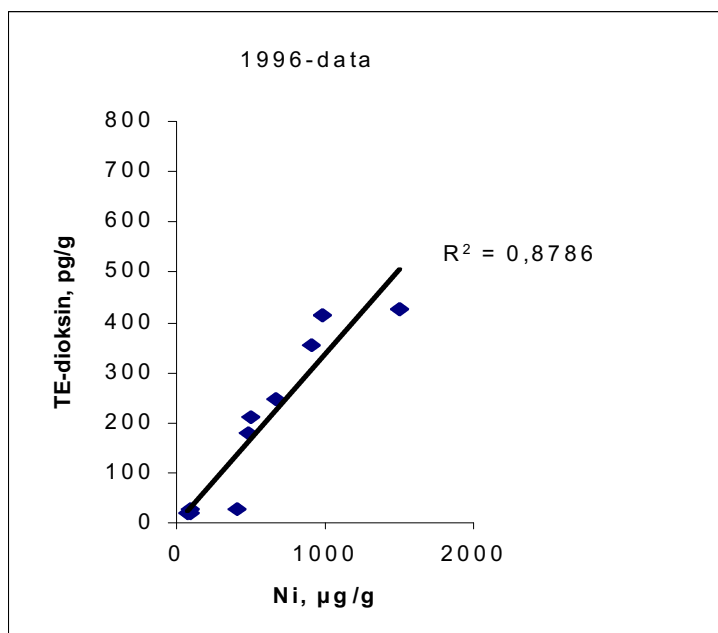
- Transmisjonen på 18 meters dyp (antatt å tilsvare en partikkelkonsentrasjon på omlag 5 mg/l) representerer et gjennomsnitt for vannmassene i 5 meters høyde over bunnen.
- Partikkelmengden er representativ for hele dumpeområdet på 100m x 50 m = 5000 m<sup>2</sup>.

Volumet av 5 m vannsøyle over dette arealet blir da 25000 m<sup>3</sup> og partikkelmengden i dette vannvolumet blir  $25 \times 10^3 \text{ m}^3 \times 5 \text{ g/m}^3 = 125 \text{ kg}$ . Vi antar at dette kun er partikler som er virvlet opp (som er en maksimalbetraktning).

Konsentrasjonen av Ni i bunnsedimentene på dumpestedet var ca. 3000 µg/g, mens den var 550 µg/g i oppvirvlede partikler fra vannmassene nær bunnen. Hvis vi igjen anvender en maksimalbetraktning og bruker konsentrasjonen i bunnsedimentene, medfører det at 375 g Ni ble virvlet opp.

Falconbridge Nikkelverk A/S opplyser (F. Resmann pers. medd.) at forventet utslipp av Ni fra bedriften i 1998 vil være i størrelsesorden 1500 kg eller gjennomsnittlig ca. 3 kg/døgn. Hvis vi antar at oppvirvlingen ved en eventuell fullskala tildekking av sedimentene i Hannevikbukta (areal 250000 m<sup>3</sup>) vil være tilsvarende den ved prøvedumpingene, tyder disse overslagsberegningene på en oppvirvling av  $0,375 \text{ kg} \times 250000/50 = 18,8 \text{ kg}$ , dvs. i størrelsesorden 20 kg for hele bukta. Sammenlignet med utslippet fra Falconbridge Nikkelverk A/S representerer dette ca. 1 ukers utslipp fra bedriften.

Innholdet av nikkell (Ni) kan brukes som et mål for forurensningsgraden av alle de andre forbindelsene som har Falconbridge Nikkelverk A/S som hovedkilde. Tilsvarende beregninger kan derfor gjøres for dioksiner, hvor det er en nær sammenheng mellom konsentrasjonen av de to stoffene (Figur 4.21).



**Figur 4.21.** Sammenhengen mellom nikkell (Ni) og dioksiner målt som toksitetskvivalenter på grunnlag av sedimentdata fra Vesterhavnområdet fra 1996 (Knutzen og medarb. 1998).

Ut fra samme maksimalbetraktning som ovenfor, vil oppvirvling som følge av overdekking av sedimentene i hele Hannevikbukta medføre oppvirvling av ca. 7 mg dioksin regnet som toksisitetsekvivalenter. Falconbridge Nikkelverk A/S opplyser (F. Resmann pers. medd.) at forventet utslipp av dioksin fra bedriften i 1998 var i ca. 500 mg. Oppvirvlingen som følge av tildekking av sedimentene i hele bukta er dermed i samme størrelsesorden som mindre enn en ukes utslipp fra bedriften. Det gjøres oppmerksom på at i løpet av de siste 10 årene har nikkel og dioksinutslippene fra bedriften blitt redusert med ca. 90 %.

### **Spredning av oppvirvlede bunnsedimenter**

Det andre sentrale spørsmålet i forbindelse med en tildekking er horisontal spredning av oppvirvlede partikler. Transmisjonsmålingene har registrert partikler fra to kilder: massene som ble dumpet og massene som ble virvlet opp. Tabell 2 beskriver kornfordelingen i massene som ble dumpet. I alt vesentlig var partikkelens diameter større enn 0.1 mm (100 µm). Synkehastigheten vil i stor grad variere med partikkelstørrelsen og den teoretiske synkehastighet kan beregnes ved Stokes' lov:

$$v = \frac{2}{9\eta} * g * R^2 * \Delta\rho \quad (1)$$

der:  $v$  = synkehastigheten

$\eta$  = sjøvannets viskositet (her satt til 0,014 kg/ms, for sjøvann ved 10°C)

$g$  = 9,81 m/s<sup>2</sup>

$R$  = partikkelens radius

$\Delta\rho$  = tetthetsforskjell mellom partikkelen og sjøvannet

Formelen beskriver synkehastigheten for finkornet sfæriske partikler av bestemt / konstant størrelse og tetthet i stillestående vann med konstant viskositet og tetthet. Dette var ikke tilfelle for massene som ble dumpet og oppvirvlet i Hannevikbukta. Bruk av denne formelen på små partikler vil derfor gi en grov tilnærming av de virkelige synkehastighetene i området, bl.a. fordi:

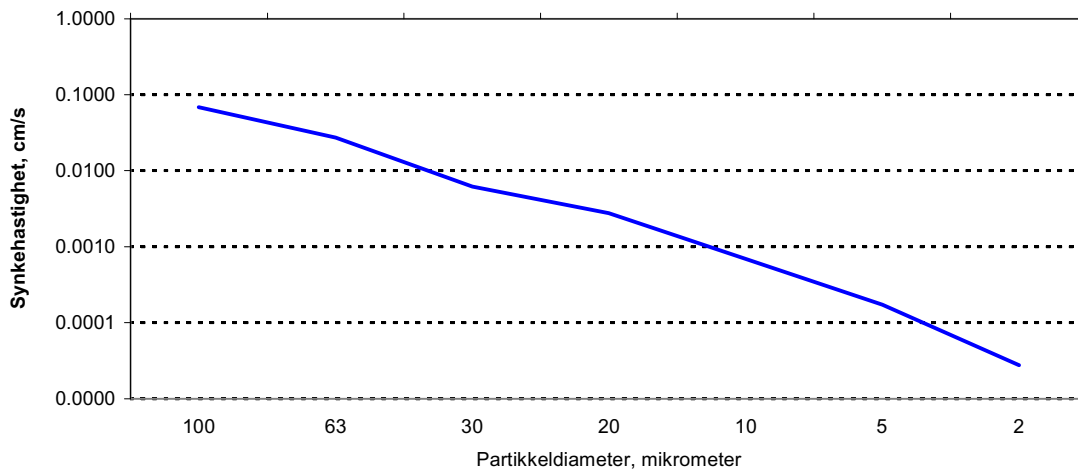
- Partiklene er ikke "kulerunde", men har en irregulær form med større overflate enn en kule. Dette gjør seg særlig gjeldene med avtagende partikkelstørrelse, noe som vil bidra til å redusere synkehastigheten.
- Av størst betydning er flokkulering. En stor andel av partiklene som dumpes eller virvles opp vil ikke sedimentere som enkeltkorn, men som fnokker eller aggregater av flere "sammenklistrede" enkeltkorn. Organiske hinner av forskjellige slag er ofte bindemidlet i slike aggregater, noe som øker både størrelse og styrke på aggregatene. Flokkulering vil altså bidra til å øke partikkelstørrelsen og dermed synkehastigheten.

Teoretisk (ved bruk av Stokes lov, Figur 4.22) vil partikler med diameter 100 µm synke omkring 4 m/minutt, og tyder dermed på at allerede etter 5 minutter hadde partiklene som ble løst ut fra selve dumpemassen i hovedsak sunket til bunns. Det meste av partiklene som ble registrert i vannmassen nær bunnen 15-30 minutter etter dumpingen måtte derfor sannsynligvis stamme fra oppvirvlede bunnsedimenter, men også leire og små siltpartikler fra dumpemassen vil kunne holde seg svevende i lang tid.

Tabell 1 gir en karakteristikk av bunnsedimentene i området, og bare 5% av partiklene hadde diameter større enn 63µm. Figur 4.18 viser at synkehastigheten for partikler med diameter <63 µm kan være svært liten, men uten en nærmere beskrivelse av kornfordelingen i dette størrelsesområdet kan ikke utsynkingen anslås mengdemessig som funksjon av tid. På den annen side er det altså sannsynlig at den oppvirvlede massen for en stor del besto av større partikler som var aggregert ("sammenkittet") av mindre partikler, og som dermed hadde en betydelig større synkehastighet. Men teoretisk vil partikler med diameter ned til 30 µm synke nær 4 m/10 minutter.

De vertikale transmisjonprofilene fra de tre første dumpingene ga få signaler som kan tydes som oppvirvlede bunnsedimenter. Forklaringen kan delvis være at skyen av partikler var brutt opp i mindre deler som ble ført av gårde med strømmen i ulike retninger av et komplisert strømmønster (kap. 4.1.2 og Fig. 4.4) og ikke ble registrert på stasjonene hvor målingene ble foretatt. På den annen side ble målingene foretatt fra 10 minutter til 2 timer etter dumpingene, og sedimentasjonsbetraktningene ovenfor tyder på at partikler som kan ha blitt virvlet 4-8 m opp i vannsøylen i alt vesentlig befant seg på bunnen igjen etter 10-20 minutter. Ved de tre dumpingene varierte strømhastigheten en god del, og typisk i intervallet 10-60 m/10 minutter. Sett i sammenheng med synkehastigheten tyder dette på at de oppvirvlede sedimentene i alt vesentlig sedimenterte innenfor en radius på 100 m fra dumpeområdet.

Resultatene av disse overslagsberegningene og vurderingene for begge typer masser passer med at 0.5-1 time etter at dumpingene hadde skjedd, ble det ikke målt partikkelkonsentrasjoner i bunnvannet vesentlig utover det normale. Konklusjonen er dermed at hvis tildekking av sedimentene planlegges og gjennomføres slik det ble gjort i forsøket høsten 1998, vil oppvirvlingen og spredningen av bunnsedimentene sannsynligvis bli relativt liten.



**Figur 4.22.** Teoretisk synkehastighet for partikler, beregnet ved bruk av Stokes lov.

## 5. Referanser

- Helland, A., 1996. Overvåking av dumping av steinmasser i Essobukta. NIVA-notat O-96007.
- Knutzen, J., K. Martinsen, K. Næs, M. Oehme og E. Oug, 1991. Tiltaksorientert overvåking av miljøgifter i organismer og sedimenter fra Kristiansandsfjorden 1988 og 1990. Rapport 443/91 innen Statlig program for forurensningsovervåking. NIVA-rapport 2554.
- Knutzen, J., G. Becher, A. Kringstad og M. Oehme, 1994. Overvåking av miljøgifter i organismer fra Kristiansandsfjorden 1992. Rapport 547/94 innen Statlig program for forurensningsovervåking. NIVA-rapport 2996.
- Knutzen, J. og K. Næs, 1997. Overdekking av sedimenter i Hannevikbukta. Virkning på spiselighet av fisk og krabber. NIVA-notat.
- Knutzen, J., K. Næs, L. Berglind, Aa. Biseth, E.M. Brevik, N. Følsvik og M. Schlabach, 1998. Overvåking av miljøgifter i organismer og sedimenter fra Kristiansandsfjorden 1996. Rapport 729/83 innen Statlig program for forurensningsovervåking. NIVA-rapport 3833.
- Koneiczny, R., 1992. Overvåking av steinmasseutfylling ved KMV-vest, Kristiansand havn. NIVA-rapport 2801.
- Molvær, J., J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei og J. Sørensen, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. Veiledning. SFT-rapport TA 1467/1997.
- Næs, K., 1985. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport 2. Metaller i vannmassene, metaller og organiske miljøgifter i sedimentene, 1983. Rapport 193/85 innen Statlig program for forurensningsovervåking. NIVA-rapport 1754.
- Næs, K., 1992. PAH i sedimenter utenfor Elkem Fiskaa, Kristiansand 1991. NIVA-rapport 2753.
- Næs, K., 1995. Oppvirvling av bunnsedimenter i Hannevika, Kristiansand. NIVA-notat O-93027.
- Sørlandskonsult as/NIVA Sørlandsavdelingen, 1998. Kristiansand kommune, Hannevika. Tildekking av bunnsedimenter. Forprosjekt.
- Winther-Larsen, T., 1998. Forurensede marine sedimenter. Oversikt over tilstand og prioriteringer. SFT-rapport TA1547/1998.

## Vedlegg A. Målinger av transmisjon

Stasjon	Dato	Tid	Dyp	Transmisjon
H1	980930	09:45	1	2.7
H1	980930	09:45	2	2.9
H1	980930	09:45	3	2.98
H1	980930	09:45	4	3.35
H1	980930	09:45	5	3.55
H1	980930	09:45	6	
H1	980930	09:45	7	3.74
H1	980930	09:45	8	
H1	980930	09:45	9	
H1	980930	09:45	10	3.84
H1	980930	09:45	11	
H1	980930	09:45	12	3.86
H1	980930	09:45	13	
H1	980930	09:45	14	3.9
H1	980930	09:45	15	
H1	980930	09:45	16	3.9
H1	980930	09:45	17	
H1	980930	09:45	18	3.93
H1	980930	09:45	19	3.9
H1	980930	10:20	1	2.4
H1	980930	10:20	2	0.4
H1	980930	10:20	3	0.4
H1	980930	10:20	4	0.4
H1	980930	10:20	5	2.7
H1	980930	10:20	6	1.7
H1	980930	10:20	7	2.8
H1	980930	10:20	8	1.5
H1	980930	10:20	9	1.6
H1	980930	10:20	10	1.1
H1	980930	10:20	11	0.9
H1	980930	10:20	12	0.8
H1	980930	10:20	13	3
H1	980930	10:20	14	3.5
H1	980930	10:20	15	3.4
H1	980930	10:20	16	3.6
H1	980930	10:20	17	3.75
H1	980930	10:20	18	3.75
H1	980930	10:20	19	3.3
H1	980930	10:20	20	3
H2	980930	10:30	1	2.5
H2	980930	10:30	2	1.2
H2	980930	10:30	3	0.6
H2	980930	10:30	4	0.1
H2	980930	10:30	5	3.1
H2	980930	10:30	6	3.3
H2	980930	10:30	7	1.4
H2	980930	10:30	8	1.7
H2	980930	10:30	9	1.65

H2	980930	10:30	10	1.83
H2	980930	10:30	11	1.9
H2	980930	10:30	12	1.75
H2	980930	10:30	13	2.4
H2	980930	10:30	14	2.2
H2	980930	10:30	15	2.1
H2	980930	10:30	16	2.75
H2	980930	10:30	17	3.1
H2	980930	10:30	18	3.3
H2	980930	10:30	19	3.5
H2	980930	10:30	20	3.55
H3	980930	10:43	1	2.73
H3	980930	10:43	2	2.78
H3	980930	10:43	3	2.88
H3	980930	10:43	4	2.8
H3	980930	10:43	5	2.66
H3	980930	10:43	6	3.26
H3	980930	10:43	7	1.4
H3	980930	10:43	8	1.9
H3	980930	10:43	9	2.1
H3	980930	10:43	10	2.8
H3	980930	10:43	11	3.4
H3	980930	10:43	12	3.7
H3	980930	10:43	13	3.8
H3	980930	10:43	14	0.8
H3	980930	10:43	15	0.8
H3	980930	10:43	16	1.1
H3	980930	10:43	17	1.1
H3	980930	10:43	18	2.3
H4	980930	10:55	1	2.9
H4	980930	10:55	2	3
H4	980930	10:55	3	3.1
H4	980930	10:55	4	3.15
H4	980930	10:55	5	3.35
H4	980930	10:55	6	3.5
H4	980930	10:55	7	3.55
H4	980930	10:55	8	3.56
H4	980930	10:55	9	3.6
H4	980930	10:55	10	3.6
H4	980930	10:55	11	3.65
H4	980930	10:55	12	3.8
H4	980930	10:55	13	3.8
H4	980930	10:55	14	3.85
H4	980930	10:55	15	3.85
H4	980930	10:55	16	3.91
H4	980930	10:55	17	3.92
H4	980930	10:55	18	3.94
H4	980930	10:55	19	3.9
H5	980930	11:05	12	3.8
H5	980930	11:05	13	3.8
H5	980930	11:05	14	3.8
H5	980930	11:05	15	3.8
H5	980930	11:05	16	3.9
H5	980930	11:05	17	3.9



H5	980930	11:05	18	3.9
H6	980930	11:10	8	3.7
H6	980930	11:10	9	3.5
H6	980930	11:10	10	3.6
H6	980930	11:10	11	1.3
H6	980930	11:10	12	1.5
H6	980930	11:10	13	1.8
H6	980930	11:10	14	2.5
H6	980930	11:10	15	0.03
H6	980930	11:10	16	1.5
H7	980930	11:30	2	3
H7	980930	11:30	3	
H7	980930	11:30	4	3.5
H7	980930	11:30	5	3.5
H7	980930	11:30	6	2
H7	980930	11:30	7	3.4
H7	980930	11:30	8	1.1
H7	980930	11:30	9	2.3
H7	980930	11:30	10	2.8
H7	980930	11:30	11	3.5
H7	980930	11:30	12	3.6
H7	980930	11:30	13	2.9
H7	980930	11:30	14	3.7
H7	980930	11:30	15	3.65
H8	980930	11:40	5	3.5
H8	980930	11:40	6	
H8	980930	11:40	7	3.7
H8	980930	11:40	8	3.8
H8	980930	11:40	9	3.8
H8	980930	11:40	10	1.3
H8	980930	11:40	11	1
H8	980930	11:40	12	1.9
H8	980930	11:40	13	1.4
H9	980930	11:55	10	3.6
H9	980930	11:55	11	3.6
H9	980930	11:55	12	3.6
H9	980930	11:55	13	3.6
H9	980930	11:55	14	3.6
H9	980930	11:55	15	3.1
H9	980930	11:55	16	3.5
H9	980930	11:55	17	3.7
H9	980930	11:55	18	3.6
H9	980930	11:55	19	
H9	980930	11:55	20	3.7
H10	980930	12:05	10	3.7
H10	980930	12:05	11	3.8
H10	980930	12:05	12	0.8
H10	980930	12:05	13	3.8
H10	980930	12:05	14	3.7
H10	980930	12:05	15	3.8
H10	980930	12:05	16	3.8
H10	980930	12:05	17	4.5

H1	980930	13:50	6	3.2
H1	980930	13:50	7	3.1
H1	980930	13:50	8	2.3
H1	980930	13:50	9	1.6
H1	980930	13:50	10	1.5
H1	980930	13:50	11	1.8
H1	980930	13:50	12	3.55
H1	980930	13:50	13	3.55
H1	980930	13:50	14	3.55
H1	980930	13:50	15	3.55
H2	980930	14:05	1	2.6
H2	980930	14:05	2	2.7
H2	980930	14:05	3	
H2	980930	14:05	4	3.45
H2	980930	14:05	5	
H2	980930	14:05	6	3.6
H2	980930	14:05	7	
H2	980930	14:05	8	3.7
H2	980930	14:05	9	3.1
H2	980930	14:05	10	3.1
H2	980930	14:05	11	2
H2	980930	14:05	12	3.5
H2	980930	14:05	13	3.45
H2	980930	14:05	14	3.43
H2	980930	14:05	15	3.75
H2	980930	14:05	16	3.75
H2	980930	14:05	17	3.75
H2	980930	14:05	18	3.76
H2	980930	14:05	19	3.76
H3	980930	14:30	1	2.4
H3	980930	14:30	2	1.9
H3	980930	14:30	3	2.3
H3	980930	14:30	4	0.3-1
H3	980930	14:30	5	2.3
H3	980930	14:30	6	0.7
H3	980930	14:30	7	0.1
H3	980930	14:30	8	1
H3	980930	14:30	9	0.4
H3	980930	14:30	10	0.35
H3	980930	14:30	11	0.6
H3	980930	14:30	12	0.4
H3	980930	14:30	13	0.25
H3	980930	14:30	14	0.3
H3	980930	14:30	15	0.05
H3	980930	14:30	16	0.1
H3	980930	14:30	17	0.2
H3	980930	14:30	18	0.3
H3	980930	14:30	19	0.1
H4	980930	15:25	1	2.6
H4	980930	15:25	2	2.5
H4	980930	15:25	3	
H4	980930	15:25	4	3.2
H4	980930	15:25	5	
H4	980930	15:25	6	2.6

H4	980930	15:25	7	
H4	980930	15:25	8	3.3
H4	980930	15:25	9	3.4
H4	980930	15:25	10	3.65
H4	980930	15:25	11	3.65
H4	980930	15:25	12	3.65
H4	980930	15:25	13	3.7
H4	980930	15:25	14	3.7
H4	980930	15:25	15	3.8
H4	980930	15:25	16	3.8
H4	980930	15:25	17	3.5
H5	980930	15:35	10	3
H5	980930	15:35	11	3
H5	980930	15:35	12	3.5
H5	980930	15:35	13	3.6
H5	980930	15:35	14	3.6
H5	980930	15:35	15	3.7
H5	980930	15:35	16	3.7
H5	980930	15:35	17	3.7
H6	980930	15:40	6	3.5
H6	980930	15:40	7	3.6
H6	980930	15:40	8	0.9
H6	980930	15:40	9	0.6
H6	980930	15:40	10	0.5-3
H6	980930	15:40	11	3.3
H6	980930	15:40	12	3.2
H6	980930	15:40	13	3.2
H6	980930	15:40	14	3
H6	980930	15:40	15	3.1
H6	980930	15:40	16	3.3
H6	980930	15:40	17	3.5
H6	980930	15:40	18	3.3
H6	980930	15:40	19	3.2
H3	980930	15:47	6	3.5
H3	980930	15:47	7	3.6
H3	980930	15:47	8	3.6
H3	980930	15:47	9	3.2
H3	980930	15:47	10	2.9
H3	980930	15:47	11	3.2
H3	980930	15:47	12	3
H3	980930	15:47	13	3.5
H3	980930	15:47	14	3.7
H3	980930	15:47	15	3.75
H3	980930	15:47	16	3.7
H3	980930	15:47	17	3.6
H3	980930	15:47	18	3.55
H3	980930	15:47	19	3.5
H7	980930	15:57	6	3.6
H7	980930	15:57	7	3.6
H7	980930	15:57	8	3.6
H7	980930	15:57	9	3.6
H7	980930	15:57	10	3.5
H7	980930	15:57	11	2.1
H7	980930	15:57	12	2.8

H7	980930	15:57	13	3.2
H7	980930	15:57	14	3.1
H7	980930	15:57	15	3.5
H7	980930	15:57	16	3.7
H7	980930	15:57	17	3.5
H7	980930	15:57	18	3.4
H7	980930	15:57	19	3.3
H8	980930	16:10	6	3.5
H8	980930	16:10	7	3.5
H8	980930	16:10	8	2.6
H8	980930	16:10	9	2.9
H8	980930	16:10	10	1.3
H8	980930	16:10	11	2.6
H8	980930	16:10	12	3
H8	980930	16:10	13	3.2
H8	980930	16:10	14	3.3
H8	980930	16:10	15	3.4
H8	980930	16:10	16	
H9	980930	16:20	6	3.6
H9	980930	16:20	7	3.7
H9	980930	16:20	8	3.7
H9	980930	16:20	9	3.7
H9	980930	16:20	10	3.7
H9	980930	16:20	11	3.3
H9	980930	16:20	12	2.2
H9	980930	16:20	13	2
H9	980930	16:20	14	3.2
H9	980930	16:20	15	3.6
H9	980930	16:20	16	3.7
H9	980930	16:20	17	3.1
H9	980930	16:20	18	3.1
H9	980930	16:20	19	3.1
H1	981001	08:44	1	2.8
H1	981001	08:44	2	3.1
H1	981001	08:44	3	
H1	981001	08:44	4	2.8
H1	981001	08:44	5	
H1	981001	08:44	6	3.4
H1	981001	08:44	7	
H1	981001	08:44	8	3.6
H1	981001	08:44	9	3.6
H1	981001	08:44	10	3.7
H1	981001	08:44	11	3.7
H1	981001	08:44	12	3.7
H1	981001	08:44	13	3.7
H1	981001	08:44	14	3.8
H1	981001	08:44	15	3.8
H1	981001	08:44	16	3.8
H1	981001	08:44	17	3.8
H1	981001	08:44	18	3.8
H1	981001	08:44	19	3.8

H2	981001	08:50	1	2.85
H2	981001	08:50	2	3.1
H2	981001	08:50	3	
H2	981001	08:50	4	2.5
H2	981001	08:50	5	
H2	981001	08:50	6	3.55
H2	981001	08:50	7	
H2	981001	08:50	8	3.6
H2	981001	08:50	9	3.6
H2	981001	08:50	10	3.6
H2	981001	08:50	11	3.7
H2	981001	08:50	12	3.7
H2	981001	08:50	13	3.8
H2	981001	08:50	14	3.8
H3	981001	09:54	1	2.8
H3	981001	09:54	2	2.8
H3	981001	09:54	3	2.5
H3	981001	09:54	4	2.6
H3	981001	09:54	5	2.6
H3	981001	09:54	6	3.2
H3	981001	09:54	7	2.8
H3	981001	09:54	8	2.5
H3	981001	09:54	9	2.7
H3	981001	09:54	10	2.7
H3	981001	09:54	11	2.7
H3	981001	09:54	12	2.5
H3	981001	09:54	13	2.3
H3	981001	09:54	14	2
H3	981001	09:54	15	2.3
H3	981001	09:54	16	2.3
H3	981001	09:54	17	2.3
H3	981001	09:54	18	2.5
H3	981001	09:54	19	2.8
H4	981001	10:00	2	3
H4	981001	10:00	3	
H4	981001	10:00	4	2.5
H4	981001	10:00	5	
H4	981001	10:00	6	3.5
H4	981001	10:00	7	
H4	981001	10:00	8	3.5
H4	981001	10:00	9	
H4	981001	10:00	10	2.5
H4	981001	10:00	11	2.6
H4	981001	10:00	12	2.6
H4	981001	10:00	13	2.6
H4	981001	10:00	14	2.5
H4	981001	10:00	15	2.3
H4	981001	10:00	16	2
H4	981001	10:00	17	2.3
H4	981001	10:00	18	3.1
H5	981001	10:08	8	3.7
H5	981001	10:08	9	
H5	981001	10:08	10	3.3
H5	981001	10:08	11	3.2

H5	981001	10:08	12	2.7
H5	981001	10:08	13	2.7
H5	981001	10:08	14	2.4
H5	981001	10:08	15	2.2
H5	981001	10:08	16	2.3
H5	981001	10:08	17	2.7
H5	981001	10:08	18	2.3
H5	981001	10:08	19	3
H5	981001	10:08	20	3.6
H6	981001	10:12	10	3.7
H6	981001	10:12	11	
H6	981001	10:12	12	3.7
H6	981001	10:12	13	
H6	981001	10:12	14	3.7
H6	981001	10:12	15	
H6	981001	10:12	16	3.8
H6	981001	10:12	17	
H6	981001	10:12	18	3.9
H6	981001	10:12	19	
H6	981001	10:12	20	3.9
H6	981001	10:12	21	
H6	981001	10:12	22	3.9
H6	981001	10:12	23	3.9
H6	981001	10:12	24	
H7	981001	10:20	8	3.6
H7	981001	10:20	9	
H7	981001	10:20	10	3
H7	981001	10:20	11	2.8
H7	981001	10:20	12	3.4
H7	981001	10:20	13	3.7
H7	981001	10:20	14	2.9
H7	981001	10:20	15	3.5
H7	981001	10:20	16	3.4
H7	981001	10:20	17	3.7
H7	981001	10:20	18	3.8
H7	981001	10:20	19	3.8
H8	981001	10:25	8	3.7
H8	981001	10:25	9	
H8	981001	10:25	10	3.7
H8	981001	10:25	11	3.7
H8	981001	10:25	12	3.8
H8	981001	10:25	13	3.8
H8	981001	10:25	14	3.8
H8	981001	10:25	15	1.2
H8	981001	10:25	16	0.6
H8	981001	10:25	17	2.7
H9	981001	10:28	6	3.6
H9	981001	10:28	7	
H9	981001	10:28	8	3.7
H9	981001	10:28	9	
H9	981001	10:28	10	3.7
H9	981001	10:28	11	3.8
H9	981001	10:28	12	3.8
H9	981001	10:28	13	3.8

H9	981001	10:28	14	3.8
H9	981001	10:28	15	3.8
H9	981001	10:28	16	3.8
H9	981001	10:28	17	3.8
H3	981001	10:35	8	3.6
H3	981001	10:35	9	
H3	981001	10:35	10	3.5
H3	981001	10:35	11	3.3
H3	981001	10:35	12	3
H3	981001	10:35	13	3.4
H3	981001	10:35	14	2.2
H3	981001	10:35	15	3
H3	981001	10:35	16	3.2
H3	981001	10:35	17	3
H3	981001	10:35	18	3.8
H3	981001	10:35	19	3.8
H4	981001	10:40	8	3.7
H4	981001	10:40	9	
H4	981001	10:40	10	3.6
H4	981001	10:40	11	3.3
H4	981001	10:40	12	2.9
H4	981001	10:40	13	3.2
H4	981001	10:40	14	3.2
H4	981001	10:40	15	3.5
H4	981001	10:40	16	3.5
H4	981001	10:40	17	3.7
H4	981001	10:40	18	3.1
H8	981001	10:54	8	3.7
H8	981001	10:54	9	
H8	981001	10:54	10	3.7
H8	981001	10:54	11	3.8
H8	981001	10:54	12	3.7
H8	981001	10:54	13	3.5
H8	981001	10:54	14	3.8
H8	981001	10:54	15	1.9
H8	981001	10:54	16	1.8
H8	981001	10:54	17	3.8
H2	981001	11:25	6	3.6
H2	981001	11:25	7	
H2	981001	11:25	8	3.6
H2	981001	11:25	9	
H2	981001	11:25	10	3.7
H2	981001	11:25	11	3.3
H2	981001	11:25	12	3.3
H2	981001	11:25	13	2.7
H2	981001	11:25	14	3.3
H3	981001	11:30	10	3.7
H3	981001	11:30	11	3.5
H3	981001	11:30	12	3.3
H3	981001	11:30	13	3.7
H3	981001	11:30	14	3.8
H3	981001	11:30	15	2.6
H3	981001	11:30	16	2.8
H3	981001	11:30	17	1.8

H3	981001	11:30	18	2.8
H3	981001	11:30	19	3.4
H6	981001	11:37	10	3.8
H6	981001	11:37	11	3.8
H6	981001	11:37	12	3.8
H6	981001	11:37	13	3.8
H6	981001	11:37	14	3.8
H6	981001	11:37	15	3.9
H6	981001	11:37	16	3.9
H6	981001	11:37	17	3.9
H6	981001	11:37	18	3.8
H6	981001	11:37	19	3.8
H6	981001	11:37	20	3.9
H6	981001	11:37	21	3.9
H6	981001	11:37	22	3.9
H6	981001	11:37	23	3.9
H1	981001	13:03	2	3.1
H1	981001	13:03	3	
H1	981001	13:03	4	3.1
H1	981001	13:03	5	
H1	981001	13:03	6	3.6
H1	981001	13:03	7	
H1	981001	13:03	8	3.7
H1	981001	13:03	9	
H1	981001	13:03	10	3.7
H1	981001	13:03	11	
H1	981001	13:03	12	3.8
H1	981001	13:03	13	
H1	981001	13:03	14	3.8
H1	981001	13:03	15	
H1	981001	13:03	16	3.8
H1	981001	13:03	17	
H1	981001	13:03	18	3.8
H1	981001	13:03	19	3.8
H1	981001	13:21	6	3.8
H1	981001	13:21	7	
H1	981001	13:21	8	3.8
H1	981001	13:21	9	
H1	981001	13:21	10	3.8
H1	981001	13:21	11	
H1	981001	13:21	12	3.8
H1	981001	13:21	13	
H1	981001	13:21	14	3.8
H1	981001	13:21	15	3.8
H1	981001	13:21	16	3.8
H1	981001	13:21	17	2.5
H1	981001	13:21	18	2.5
H1	981001	13:21	19	<b>ca.2</b>
H1	981001	13:21	20	<b>fra 1.2-2.5</b>
H2	981001	13:33	8	3.8
H2	981001	13:33	9	
H2	981001	13:33	10	3.8
H2	981001	13:33	11	3.8
H2	981001	13:33	12	3.8



H2	981001	13:33	13	3.8
H2	981001	13:33	14	3.9
H2	981001	13:33	15	3.9
H2	981001	13:33	16	3.9
H2	981001	13:33	17	3.9
H2	981001	13:33	18	3.9
H2	981001	13:33	19	3.9
H2	981001	13:33	20	3.85
H2	981001	13:33	21	3.9
H3	981001	13:35	11	3.9
H3	981001	13:35	12	3.9
H3	981001	13:35	13	3.8
H3	981001	13:35	14	3.9
H3	981001	13:35	15	3.8
H4	981001	13:41	12	3.8
H4	981001	13:41	13	3.8
H4	981001	13:41	14	3.9
H4	981001	13:41	15	3.9
H4	981001	13:41	16	3.9
H4	981001	13:41	17	3.9
H5	981001	13:46	6	3.8
H5	981001	13:46	7	
H5	981001	13:46	8	3.7
H5	981001	13:46	9	3.4
H5	981001	13:46	10	3.4
H5	981001	13:46	11	3.3
H5	981001	13:46	12	2.6
H5	981001	13:46	13	3
H5	981001	13:46	14	2.7
H5	981001	13:46	15	3
H5	981001	13:46	16	3.5
H5	981001	13:46	17	3.9
H5	981001	13:46	18	3.9
H2	981001	13:51	10	4.1
H2	981001	13:51	11	
H2	981001	13:51	12	4.1
H2	981001	13:51	13	
H2	981001	13:51	14	4.1
H2	981001	13:51	15	4.1
H2	981001	13:51	16	4.1
H2	981001	13:51	17	4.1
H2	981001	13:51	18	4.1
H2	981001	13:51	19	4.1
H2	981001	13:51	20	4.1
H2	981001	13:51	21	4.1
H1	981001	13:55	1	3.3
H1	981001	13:55	2	
H1	981001	13:55	3	
H1	981001	13:55	4	3.2
H1	981001	13:55	5	
H1	981001	13:55	6	
H1	981001	13:55	7	
H1	981001	13:55	8	
H1	981001	13:55	9	

H1	981001	13:55	10	4.1
H1	981001	13:55	11	
H1	981001	13:55	12	4.1
H1	981001	13:55	13	4.1
H1	981001	13:55	14	4.1
H1	981001	13:55	15	4.1
H1	981001	13:55	16	4.1
H1	981001	13:55	17	4.1
H1	981001	13:55	18	4.1
H1	981001	13:55	19	3.95