



RAPPORT LNR 5472-2007

Kittelsbukta, Arendal

Miljøgifter i sedimenter,
vurdering av risiko og tiltak



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 18 51 00
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

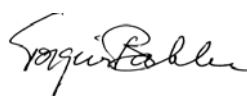
9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Kittelsbukta, Arendal. Miljøgifter i sedimenter, vurdering av risiko og tiltak.	Løpenr. (for bestilling) 5472-2007	Dato 2007.09.04
	Prosjektnr. Undernr. O-27143	Sider Pris 27
Forfatter(e) Aud Helland, Hans Christer Nilsson, Torgeir Bakke	Fagområde Oceanografi	Distribusjon
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) St. Ybes AS v/ Hanne Smedal Sørensen	Oppdragsreferanse
--	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>I forbindelse med mulig utfylling for planlagt kaiutbygging i Kittelsbukta, Arendal er det gjennomført en undersøkelse av miljøtilstanden i bunnsedimentene i området. Sedimentene bestod av sand og grus, og hadde konsentrasjoner av metaller, spesielt kobber og kvikksølv, i forurensningsklasse II til V (moderat til meget sterkt forurenset), PCB i klasse III til V (markert til meget sterkt forurenset) og PAH og TBT i klasse IV og V (sterkt til meget sterkt forurenset). Sedimenter fra sandfangkummer oppstrøms Kittelsbukta var mindre forurenset. Avrenning herfra er derfor neppe kilden til forurensning i sjøen. Ut fra en risikovurdering utgjør sedimentene en uakseptabel risiko både for human helse og for økosystemet, og det bør utarbeides lokal tiltaksplan. Skråningen langs land hvor kaiutbyggingen skal foregå er fjell. For å hindre oppvirvling av de utenforliggende sedimentene under anlegg anbefales tildekking ut til 5-10 m foran kaifront. Ved peling vil lokal tildekking være tilstrekkelig, men hel tildekking anbefales. Ved utfylling anbefales hel tildekking med fiberduk og sandlag. Kilden til svært høy PAH som ble påvist i et lite område ytterst i bukta, bør identifiseres og stoppes. Ved gjennomføring av den fylkesvise tiltaksplanen anbefales det at man vurderer tynnsjikttildekking utenfor det aktuelle anleggsområdet.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sedimenter 2. Miljøgifter 3. Risikovurdering 4. Kai utbygging 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sediments 2. Micropollutants 3. Risk Assessment 4. Quay development
--	--



Torgeir Bakke
Prosjektleder



Kristoffer Næs
Forskningsleder



Jarle Nygard
Fag- og markedsdirektør

Kittelsbukta

Miljøgifter i sedimenter, vurdering av risiko og tiltak

Forord

St. Ybes AS har planlagt en utbygging langs land og i sjøen på vestsiden av indre Kittelsbukt i Arendal. I den forbindelse er NIVA engasjert til å vurdere risiko og tiltak i forhold til forurensede sedimenter i bukta. Målsetting og gjennomføring av undersøkelsene er gitt i NIVAs tilbud av 23.4.2007. Programmet ble godkjent av Fylkesmannen i Aust-Agder den 14. mai 2007 (v/ Veronica Skjævestad). Sten Terje Jørgensen i Arendal kommune takkes for velvillig veiledning og assistanse ved prøvetaking i sandfangkummer i Arendal sentrum. Aud Helland har ledet prosjektet fram til 1 august, hvoretter Torgeir Bakke overtok som prosjektleder.

Oslo, 4 september 2007

Torgeir Bakke

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn	6
2. Målsetting	8
3. Materiale og metode	9
3.1 Feltarbeid	9
3.2 Analyser	9
3.3 Risikovurdering	12
4. Resultater og diskusjon	13
4.1 Beskrivelse av området	13
4.2 Sedimentenes miljøkvalitet	13
4.3 Vurdering av sedimentenes miljørisiko	14
4.3.1 Risikovurdering Trinn 1	14
4.3.2 Risikovurdering Trinn 2	15
5. Anbefalinger	18
6. Referanser	19
Vedlegg A. Analysemetoder	20
Vedlegg B. Analyseresultater	22

Sammendrag

St. Ybes AS har planlagt en utbygging langs land og ut i sjøen på vestsiden av indre Kittelsbukta i Arendal. I den forbindelse ønsker Fylkesmannen en miljøundersøkelse i bukta. Formålet har vært å analysere innholdet av miljøgifter i sedimentene, klassifisere sedimentenes miljøkvalitet, bedømme sedimentenes miljørisiko, undersøke tilførsler av miljøgifter fra overvannsledninger og foreslå tiltak for å hindre spredning av forurensning fra sedimentene.

Sedimentprøver ble samlet fra 10 punkter i utbyggingsområdet, alle ved foten av steinskråningen langs land og på 11 – 17 m dyp. Det ble også tatt prøver av sediment i 4 sandfangkummer i Arendal sentrum oppstrøms bukta. Bunnen ble videofotografert langs 10 linjer fra land og utover i sørvestlig retning til jevn bunn med sediment. Linjene krysset sedimentstasjonene. Feltarbeidet ble gjort 15 – 16 mai 2007. Sedimentanalysene (TOC, % finstoff, Cd, Cu, Hg, Pb, PCB₇, PAH₁₆ og TBT) er utført av NIVA. Risikovurdering er gjort etter SFTs veileder TA 2085/2005, Trinn 1 og 2.

Sedimentene ved foten av skråningen og utover var sand og grus. De var moderat til meget sterkt forurenset (SFTs forurensningsklasse II til V) av metaller, spesielt kobber og kvikksølv, markert til meget sterkt forurenset av PCB (SFT klasse III til V) og sterkt til meget sterkt forurenset av PAH og TBT (SFT klasse IV og V). Sedimentene fra sandfangkummene var mindre forurenset enn sjøsedimentene og dagens avrenning fra land er derfor neppe kilden til den forurensningen som ble registrert i sjøen.

Ingen av de analyserte sedimentene innebærer ubetydelig miljørisiko etter risikosystemets Trinn 1. Samtlige stasjoner overskrider også grenseverdiene for akseptabel risiko både for økologisk skade og skade på human helse i systemets Trinn 2. Risiko for spredning som følge av propelloppvirvling ansees ubetydelig. Beregningene viser at metaller og til dels PAH og TBT vesentlig spres gjennom utlekking mens PCB spres gjennom opptak i organismer. Resultatene viser derfor at sedimentene på vestsiden av Kittelsbukta utgjør en uakseptabel risiko både for human helse og for økosystemet slik de ligger i dag, og at det bør utarbeides tiltaksplan for området.

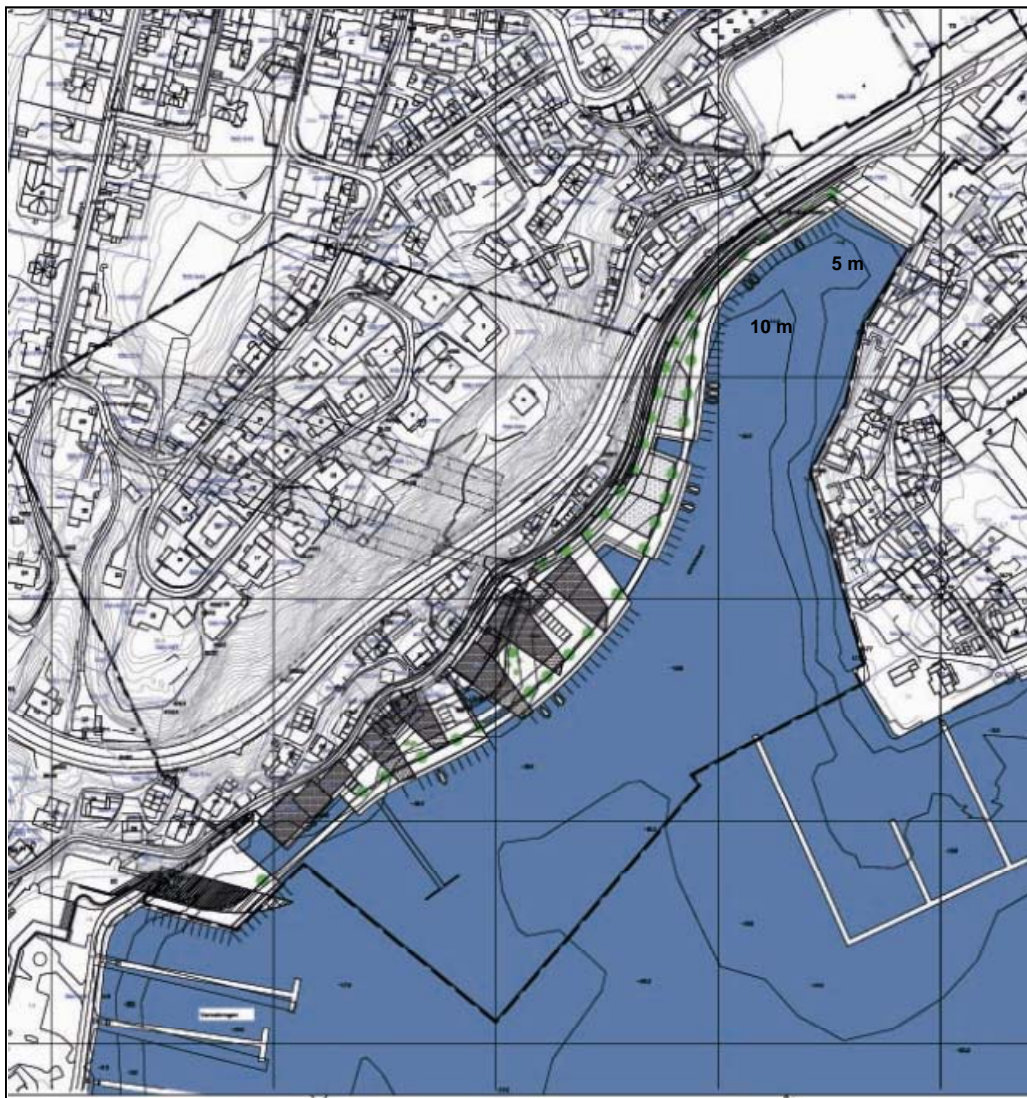
I skråningen hvor kaiutbyggingen skal foregå er det påvist fjell og stor stein og det er ikke fare for spredning av forurensning ved arbeider her. For å hindre oppvirvling av utenforliggende sedimentene under arbeidene, for eksempel ved utrasing, peling, ankring og utfylling, anbefales tildekking med 20 cm sand fra foten av fjellet og utover til ca 5-10 m utenfor fremtidig kaifront. Dersom det bare skal gjennomføres peling vil lokal tildekking der pelene skal settes være tilstrekkelig, men en tildekking på hele sedimentet fra foten av skråningen til 10 m utenfor den nye kaifronten vil sikre mot annen utilsiktet oppvirvling. Dersom man velger utfyllingsløsning anbefales at bunnen under utfyllingen på forhånd tildekkes med fiberduk pålagt et sandlag, for eksempel etter mønster av kaiutbyggingen ved Arendal smelteverk.

Det bør undersøkes nærmere hva som er kilden til svært høy PAH-forurensning i området på vestsiden ytterst i bukta. Kilden bør stoppes eller reduseres før man kan forvente et varig resultat av tiltaket.

Informasjonen om forurensningstilstanden i den sentrale delen av Kittelsbukta tyder på at sedimentene i hele bukta utgjør en uakseptabel miljørisiko. Jo større område som tildekkes jo større miljøgevinst vil en oppnå. Ved gjennomføring av den fylkesvise tiltaksplanen anbefales det derfor at man vurderer tylnnsjiktstildekking i hele bukta utenfor det aktuelle anleggsområdet.

1. Bakgrunn

St. Ybes AS har planlagt en utbygging ut i sjøen i indre Kittelsbukta i Arendal (**Figur 1**). Utbyggingen har som mål å innvinne nytt land i sjøen langs nordsiden av bukta.



Figur 1. Kittelsbukta med inntegning av ny strandlinje og bryggesystem langs vestbredden.

I forbindelse med Tiltaksplan for Arendal Fase 2 ble det påvist forurensning i sedimentene i Kittelsbukta (Nilsson og Næs 2005). Sedimentene var sterkt forurenset, særlig av kvikksølv (Hg) og polyklorerte bifenyler (PCB). Undersøkelsene tydet på at det fortsatt foregår en tilførsel av PCB fra diffuse kilder. I forbindelse med den planlagte utbyggingen i indre Kittelsbukta ønsket Fylkesmannen en nøyere undersøkelse av forurensningen i bukta som grunnlag for vurdering av risikoen for forurensningsskade.

I forbindelse med arbeidene i sjø er de forurensede bunnsedimentene planlagt tildekket hvis nødvendig. Dette er i tråd med Tiltaksplanen Fase 2 (Nilsson og Næs 2005) og kommunens miljømål for området. For å oppnå et varig tiltak er det viktig at kildene til forurensning er stoppet. Siden Kittelsbukta er grunnere enn sjøområdet utenfor er det tilførsler fra land eller aktiviteter i selve bukta som sannsynlig utgjør den største kilden til fortsatt forurensning av bukta. Utenforliggende forurensede sjøområder på dypere vann vil i liten grad bidra. Kildene til fortsatt forurensning er ikke åpenbare. Kildesporing har derfor vært en del av oppgaven. Dette gjelder særlig for PCB.

2. Målsetting

Formålet med undersøkelsene har vært å:

- undersøke innholdet av utvalgte miljøgifter i sedimentene i området for utbygging,
- klassifisere sedimentene i henhold til SFTs kvalitetskriterier,
- bedømme risikoen sedimentene representerer i henhold til kriterier nedfelt i SFTs "Veileder for risikovurdering av forurenset sediment" (SFT TA 2085/2005),
- undersøke tilførsler av miljøgifter fra overvannsledninger til Kittelsbukta og
- komme med forslag til tiltak for å hindre spredning av forurensning, under og etter utbygging.

3. Materiale og metode

3.1 Feltarbeid

Prøvetaking og undervannsfotografering ble utført den 15 – 16.5.2007 ved bruk av lettboat. Undersøkelsene omfatter prøvetaking av sedimentene i 10 punkter i utbyggingsområdet. For prøvetakingen ble en KC-Van Veen grabb benyttet (prøvetakingsareal 20 x 20 cm), hvor de øvre 2cm av sedimentene fra hver grabb ble tatt ut gjennom inspeksjonsluker på toppen av grabben og overført til vaskede og brente glass for analyse. Beskrivelse av sedimentene og posisjonsangivelse er gitt i **Tabell 1** og **Figur 2**.

For å undersøke om det tilføres forurensning fra land til Kittelsbukta ble det tatt prøver av bunnfelt materiale i 4 sandfangkummer i Arendal sentrum. Valg av kummer ble gjort i samråd med Sten Terje Jørgensen i Arendal kommune. Posisjoner for prøvetaking er vist i **Figur 3**. Kummene ble valgt slik at mest mulig av byområdet ble dekket og slik at prøvepunktene ligger i en gradient ned mot hovedutløpet til sjøen, innerst i Kittelsbukta. Prøvene ble analysert for de samme elementene som prøvene fra sjøen.

Det ble også utført undervannsfotografering av bunnen langs 10 linjer (transekter) fra land og utover i sørvestlig retning til jevn bunn med sedimenter ble påtruffet. De 10 transektene ble lagt gjennom hvert punkt hvor sedimentprøvetaking var utført. Video-opptaket er tidligere oversendt oppdragsgiver.

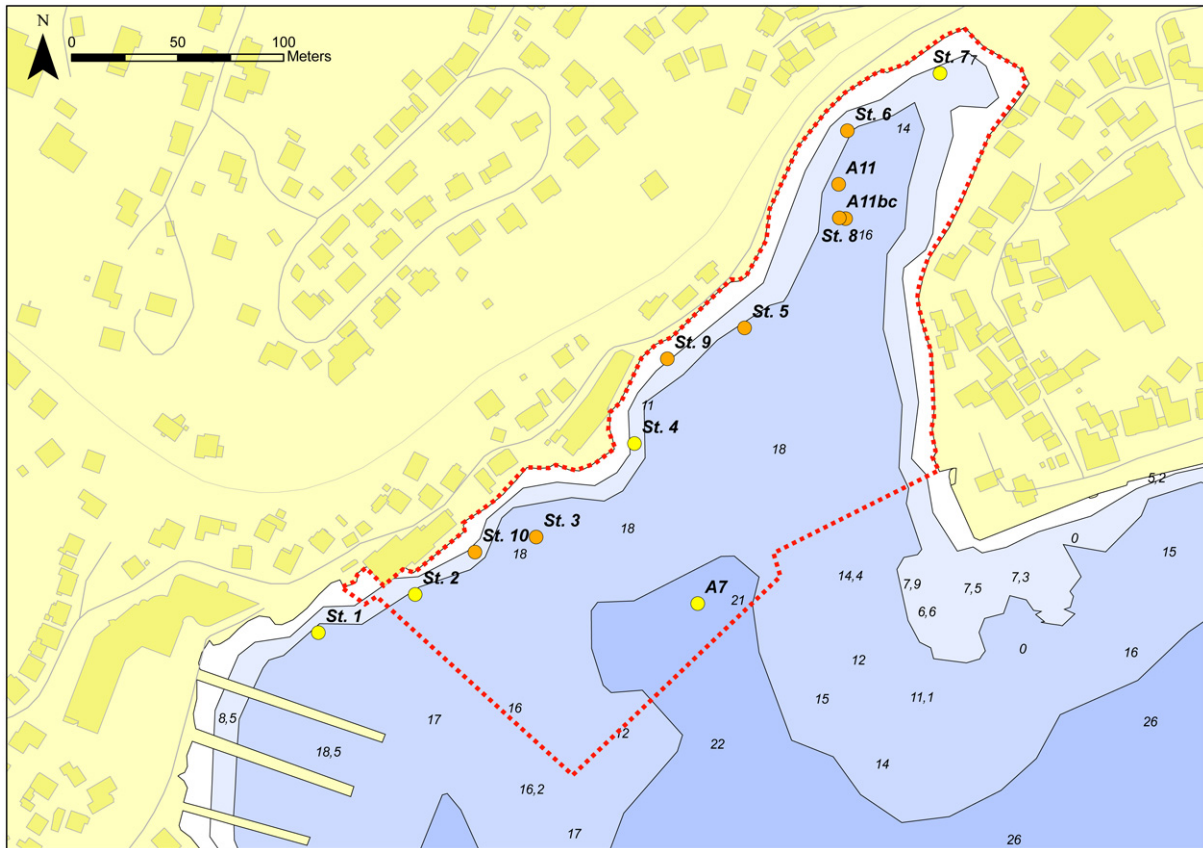
3.2 Analyser

Analysene er utført ved NIVAs laboratorium i Oslo og har omfattet metallene kadmium (Cd), kobber (Cu), bly (Pb) og kvikksølv (Hg) og organiske miljøgifter som polyaromatiske hydrokarboner (PAH), polyklorerete bifenyl (PCB) og tributyltinn (TBT). Beskrivelse av analysemetodene er gitt i Vedlegg A. I tillegg ble prøvene analysert for totalt innhold av organisk karbon (TOC) og andel av sediment med kornstørrelse i silt og leir fraksjonen (63µm).

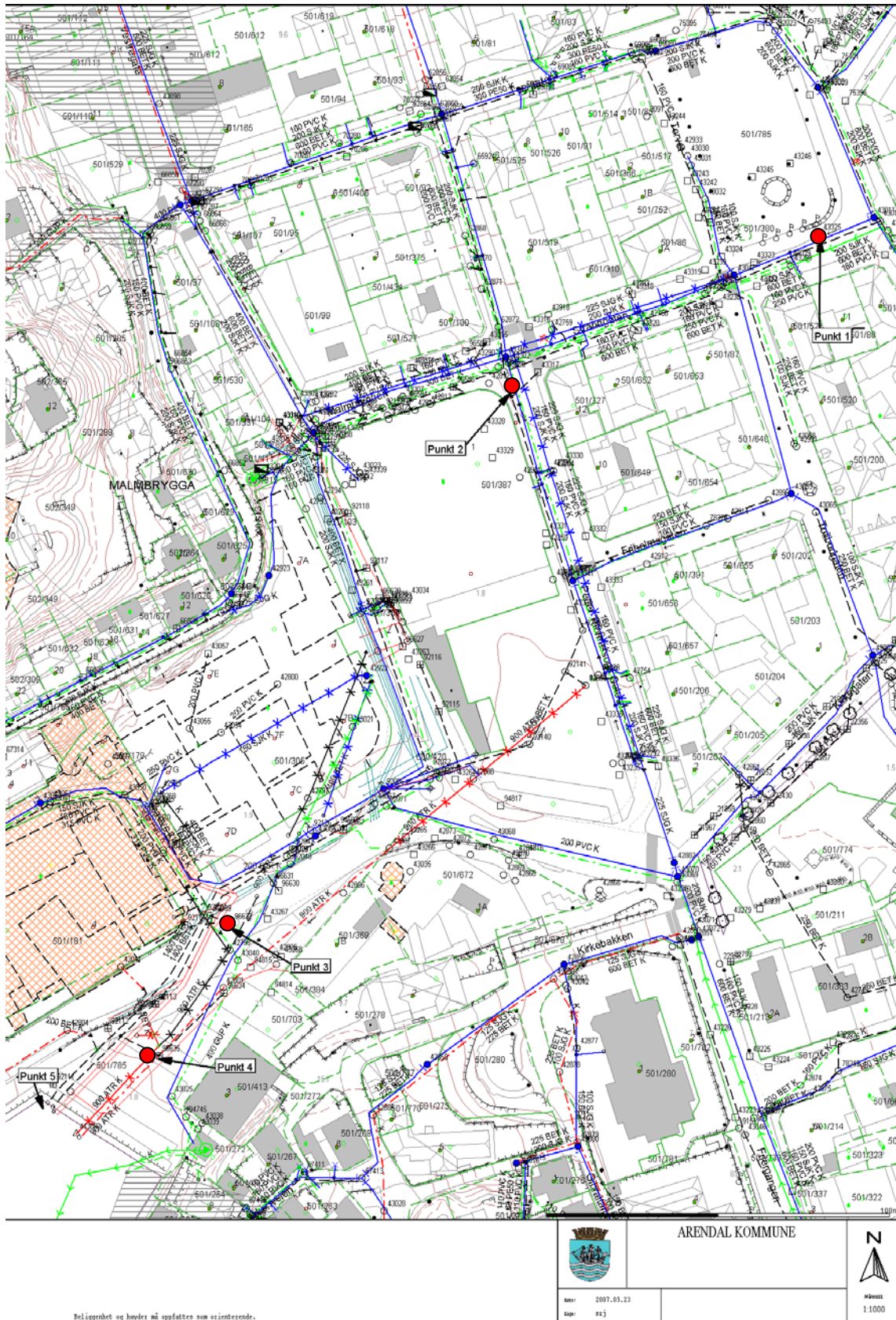
Tabell 1. Beskrivelse av sedimentprøver fra 10 stasjoner i Kittelsbukta og 4 sandfangkummer i Arendal sentrum 15 – 16.5.2007.

Stasjon	Vanddyb	Posisjon bredde	Posisjon lengde	% leire silt (<63 µm)
1	14,0	58,45613	8,75810	19
2	14,0	58,45633	8,75885	38
3	12,5	58,45662	8,75978	21
4	13,0	58,45705	8,76050	17
5	17,0	58,45758	8,76130	54
6	12,0	58,45845	8,76198	48
7	11,0	58,45873	8,76268	48
8	16,5	58,45808	8,76203	44
9	13,0	58,45742	8,76070	42
10	17,0	58,45653	8,75930	32
Kum 1	-	*	*	27
Kum 2	-	*	*	27
Kum 3	-	*	*	60
Kum 4	-	*	*	35

* For posisjonsangivelse se **Figur 3**.



Figur 2. Posisjoner for sedimentstasjonene. Stasjoner merket A er i fra Nilsson og Næs (2005). Fargekoden på stasjonssymbolene viser SFTs tilstandsklasse med hensyn på PCB₇. Rødt stiptet område angir sjøområdet brukt som grunnlag i risikovurderingen.



Figur 3. Posisjoner for prøvetaking av sedimenter i sandfangkummer (røde fylte sirkler) i Arendal sentrum 16. mai 2007

3.3 Risikovurdering

Ved vurdering av miljørisiko for sedimentene i utbyggingsområdet er SFTs veileder for risikovurdering av forurenset sediment (SFT TA 2085/2005) benyttet. Veilederen anbefaler at vurderingen gjøres i 3 trinn.

Trinn 1 gjøres ved å sammenlikne målte miljøgiftkonsentrasjoner i sedimentet med faste, universelle grenseverdier for miljøeffekter. Grenseverdiene er utledet fra erfaringstall i litteraturen. Veilederen anbefaler også et utvalg av generelle toksisitetstester i Trinn 1 for å dekke risikobidraget fra toksiske stoffer som ikke er analysert/analyserbare, men dette er ikke gjort i foreliggende undersøkelse. Trinn 1 har som mål å raskt kunne skille ut områder eller stasjoner med ubetydelig miljørisiko fra de som bør risikovurderes videre. For å rangere områder eller stasjoner i forhold til hverandre kan det på basis av Trinn 1 beregnes en risikoindeks som gir mål for samlet overskridelse av grenseverdiene for alle miljøgiftene. Denne er benyttet her.

Trinn 2 er mer omfattende enn Trinn 1 og har som mål å skille sedimentområder med akseptabel risiko fra de som det må utarbeides en tiltaksplan for. Trinn 2 legger vekt på hvordan miljøgiftene eventuelt sprer seg fra sedimentene og omfatter tre uavhengige vurderinger som knyttes opp mot typiske formuleringer av miljømål.

A: risiko for spredning fra sedimentet

B: risiko for human helse

C: risiko for effekter på økosystemet

Risiko for spredning vurderes ut fra beregnet miljøgifttransport fra sedimentet til vannmassene via diffusjon og bioturbasjon, oppvirvling som følge av skipstrafikk og annen turbulens og spredning gjennom opptak i organismer. For Kittelsbukta ansees risikoen for oppvirvling fra skipstrafikk å være ubetydelig siden det kun vil være småbåter (ikke skip) som frekventerer bukta og siden vanddypet stort sett vil være >15m utenfor kaia.

Risiko for human helse vurderes ut fra hvordan risikoområdet brukes: rekreasjon, fangst av fisk og skalldyr osv. Eksponeringsveier er via konsum av fisk og skalldyr, samt inntak av og kontakt med sediment og vann. Formelverket benyttes for å beregne den livstidsbelastning som miljøgiftene fra sedimentet forårsaker. Dette sammenlignes med maksimalt akseptabel livstidsbelastning for å beregne den risikoen for human helseskade som sedimentene utgjør.

Risiko for effekter på økosystemet vurderes ut fra estimert eksponering til miljøgiftene både for organismer i direkte kontakt med sedimentet og organismer i vannmassene rundt. Eksponeringen sammenholdes med grenseverdier for økologiske effekter. Risikoveilederen anbefaler at vurderingen styrkes ved en test på effekter på atferd og overlevelse og en test på bioakkumulering, begge ved direkte eksponering for det aktuelle sedimentet. Disse testene er ikke gjennomført for Kittelsbukta.

Etablerte miljømål for et område samt nåværende og planlagt bruk vil bestemme hvordan delresultatene fra Trinn 2 tolkes og vektlegges. Er miljømålene knyttet til konsumbegrensninger-/kostholdsråd vil man for eksempel legge hovedvekten på sedimentenes risiko overfor human helse.

Trinn 3. Man kan velge å utarbeide en tiltaksplan på grunnlag av Trinn 2, eller gjennomføre Trinn 3 som omfatter utvidede lokale målinger med mål å gjøre beregningene i Trinn 2 mer pålitelige. For Kittelsbukta er det valgt å utarbeide en tiltaksplan basert på Trinn 2.

4. Resultater og diskusjon

4.1 Beskrivelse av området

Området som skal bygges ut er bratt; 10m vanddyb eller mer påtreffes i en avstand av ca 25 m fra land. Ved sedimentprøvetakingen ble det forsøkt tatt prøver omtrent midt i skråningen som blir berørt av utbyggingen, men uten at det lyktes. Prøvene ble derfor tatt ved foten av skråningen, hvor bunnen flater ut. Prøvetakingsdybepet varierer fra 11 til 17m. Fotograferingen av bunnen i transekter gjennom prøvetakingspunktene bekreftet at det ikke er sedimenter tilstede i selve skråningen. Den består av fast fjell eller stor stein, begrodd med fastsittende alger. Undervannsarbeider i selve skråningen representerer derfor ingen fare for spredning av forurensede sedimenter.

Sedimentene ved foten av skråningen besto for en stor del av sand og grus (50 – 80 % > 63µm), men med et relativt høy organisk innhold (5 – 16 % TOC). Grove sedimenter har normalt et lavere TOC innhold enn mer finkornete sedimenter. Marine sedimenter med god miljøkvalitet har normalt et TOC-innhold fra 1 – 5 %. En kilde til organisk karbon kan være overvannet. Sedimentene fra sandfangkummene hadde også relativt høyt TOC innhold (**Tabell 2**). Under prøvetaking i kummene ble det også stedvis registrert lukt av kloakk.

4.2 Sedimentenes miljøkvalitet

Ved vurdering av sedimentenes miljøkvalitet er SFTs miljøkvalitetskriterier for marine sedimenter benyttet (Molvær et al 1997).

Bunnsedimentene i Kittelsbukta var fra moderat (SFTs klasse II) til meget sterkt (SFTs klasse V) forurenset av metaller (**Tabell 2**). Kobber og kvikksølv viste sterk forurensning. Den høyeste kvikksølvforurensningen ble registrert innerst i bukta, mens den høyeste kobberforurensningen ble funnet på stasjon 4, like utenfor utspringet midt i bukta. Som det fremgår av **Tabell 2** var kobberkonsentrasjonen her svært mye høyere enn på alle andre stasjoner. Blykonsentrasjonen var også høyest her, mens kvikksølvnivået var lavere enn på noen annen stasjon. Konsentrasjonen av metaller i sedimentene fra sandfangkummene var gjennomgående lavere enn i sedimentene i bukta. Siden dette er representativt for hva som føres ut i bukta i dag via overløp, er det ingenting som tyder på at dagens avrenning fra land er kilden til forhøyet kvikksølv og kobber i sedimentene i bukta.

Konsentrasjonen av PCB (**Tabell 2** og **Figur 2**) tilsvarte SFTs klasse III (markert forurenset) og IV (sterkt forurenset). Dette er samme nivåer som registrert tidligere (Nilsson og Næs 2005). Konsentrasjonene viste ikke noe entydig geografiske mønster. De laveste konsentrasjonene av PCB ble målt i sedimentene fra sandfangkummene, stort sett lite til moderat forurenset. Som for metaller er det derfor ikke sannsynlig at tilførsler fra land via overløp i dag er kilden til PCB i bukta. Det var ikke forskjell i kornstørrelse og innhold av organisk karbon mellom sedimentene i kummene og i bukta. Slike forskjeller kunne ellers kanskje forklart forskjellene i konsentrasjoner av PCB.

Konsentrasjonen av tjærestoffer (PAH) (**Tabell 2**) var høy i hele bukta (SFTs klasse IV og V, sterkt til meget sterkt forurenset). Særlig på stasjon 2 i ytre del av bukta var konsentrasjonene svært høye. Sedimentene var videre meget sterkt forurenset av benzo(a)pyren, som regnes som den potensielt mest kreftfremkallende PAH-forbindelsen. Sedimentene i sandfangkummene viste fra moderat til meget sterk forurensning av PAH. Det er normalt å finne høye PAH-konsentrasjoner i avrenning fra urbane områder og særlig gater ved slitasje av asfalt.

Konsentrasjonen av TBT var også høye (SFTs klasse IV og V, sterkt til meget sterkt forurenset, **Tabell 2**). Dette er vanlig i havneområder og generelt i områder med båttrafikk. Nivåene var likevel

ikke spesielt høye i forhold til det som er funnet i andre norske havneområder (ofte mellom 1000 og 10 000 µg/kg tørrvekt). Deteksjonsgrensen for TBT i sandfang er noe høy, 20µg/kg, som tilsvarer øvre grense for SFTs klasse III (markert forurenset). I og med at konsentrasjonene likevel var betydelig lavere enn i sedimentene i bukta, er det ingenting som tyder på at tilførsler via overløp er noen kilde til TBT i bukta.

Tabell 2. Innhold av total organisk karbon (TOC %), metaller, sum PCB₇, sum PAH₁₆, PAH-forbindelsen benzo(a)pyren (BAP) og tributyltinn (TBT). Metallene er gitt i mg/kg tørrvekt, de øvrige i µg/kg tørrvekt. Fargeangivelsen er i henhold til SFTs miljøkvalitetskriterier (Molvær et al 1997). De målte konsentrasjonene av sumPCB₇ er multiplisert med en faktor 2 før klassifiseringen.

	TOC	Cd	Cu	Hg	Pb	ΣPCB ₇ *2	BAP	ΣPAH ₁₆	TBT
St. 1	5,8	0,77	99,8	1,87	186	31,7	3800	42740	79
St. 2	8,7	0,69	592	2,73	363	82,2	>150000	>3000000	110
St. 3	16,0	0,6	365	2,87	293	235,2	9000	116200	120
St. 4	11,8	1,6	12500	0,88	623	67,6	2600	29771	81
St. 5	8,3	0,75	246	6,69	256	259,8	4500	49890	230
St. 6	6,6	1,4	221	7,48	198	195,8	1100	12220	250
St. 7	6,3	1,1	154	1,82	148	67,4	1300	15302	87
St. 8	7,8	1,8	198	7,22	321	137,8	2400	26970	92
St. 9	5,4	0,4	259	3,77	227	207,8	2700	32921	260
St. 10	8,9	3	337	2,41	240	193,6	2800	34170	81
Kum 1	11,7	0,2	94,8	0,043	13	35,0	3200	34149	<20
Kum 2	6,7	0,2	188	0,055	15	8,5	220	4990	<20
Kum 3	9,6	0,2	111	0,054	15	1,2	360	7021	<20
Kum 4	7,9	0,3	102	0,091	19	21,0	340	5674	<20

1) Σ PAH: sum av tri- til hexacycliske forbindelser. Omfatter alle potensielt kreftfremkallende PAH (KPAH).

2) Σ PCB₇: sum av de syv enkeltforbindelsene nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180.

Lite forurenset	Moderat forurenset	Markert forurenset	Sterkt forurenset	Meget sterkt forurenset
Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV	Klasse V

4.3 Vurdering av sedimentenes miljørisiko

4.3.1 Risikovurdering Trinn 1

I henhold til SFTs risikoveileder Trinn 1 kan ingen av de analyserte sedimentene sies å utgjøre en ubetydelig risiko (**Figur 4**). Risikoindeksen (total overskridelse av grenseverdiene for miljøeffekter) varierte fra 200 til over 30000 ganger på de enkelte stasjonene. Sedimentene innerst i bukta utgjorde i følge indeksen en mindre risiko enn sedimentene lengre ute. Det er særlig PAH som bidrar med høy risiko.



Figur 4. Beregnet total risikoindeks for hver av stasjonene i denne undersøkelsen. Størrelsen på punktet er proporsjonal med indeksverdien og tallet angir antall ganger konsentrasjonen overskrider grenseverdien summert over alle de analyserte stoffene.

4.3.2 Risikovurdering Trinn 2

Samtlige stasjoner overskrider grenseverdiene for akseptabel risiko både for økologisk skade og skade på human helse. **Figur 5** viser en overskridelse av grenseverdiene for human helse på 90 til 3000 ganger og **Figur 6** viser at grenseverdiene for økologisk risiko overskrides fra 50 til 6500 ganger. Det er særlig PAH som gir et stort risikobidrag.

Spredning av miljøgifter fra sedimentene kan skje via diffusjon forsterket av bioturbasjon (aktivitet av gravende organismer) og via opptak i sedimentlevende organismer og transport gjennom næringskjeden. Risiko for spredning som følge av oppvirling fra skips- og båttrafikk er ansett som neglisjerbar i Kittelsbukta, ut fra relativt stort dyp og trafikk kun med småbåter.

Spredningsberegningene viser at spredning av metaller og til dels PAH og TBT vesentlig skjer gjennom utlekking (diffusjon/bioturbasjon), mens spredning av PCB skjer via organismer. Spredningen av Cu og Hg, som har de største overkonsentrasjonene i sedimentene, er beregnet til hhv. 20 og 0,03 mg/m²/år (**Tabell 3**). Spredningen av PAH er vesentlig større med 560 mg/m²/år.

Resultatene viser derfor at sedimentene på vestsiden av Kittelsbukta utgjør en uakseptabel risiko både for human helse og for økosystemet slik de ligger i dag, og at det bør utarbeides tiltaksplan for området. Den planlagte utbyggingen i samme område må sees i lys av dette. Ved å benytte utlekkingstallene i **Tabell 3** kan en beregne den totale miljøgevinsten et tiltak vil gi i form av redusert mobilisering av miljøgiftene, og hvorvidt tiltaket er tilstrekkelig for å redusere risikoen til akseptabel. Beregningene vil også være støtte for å vurdere hvilke deler av området og hvor mange m² som det bør gjøres tiltak på.

Tabell 3. Beregnet nåtidig, gjennomsnittlig totaltransport ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{år}$) av forskjellige stoffer ut fra sedimentene innen tiltaksområdet (ref **Figur 2**) og fordelingen mellom diffusiv transport og transport via opptak i organismer.

Transport / Stoff	Pb	Cd	Cu	Hg	Zn	sumPAH	PCB ₇	TBT
F _{diffusjon}	93 %	100 %	98 %	98 %	84 %	76 %	7 %	91 %
F _{organismer}	7 %	0 %	2 %	2 %	16 %	24 %	93 %	9 %
Total ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{år}$)	0,58	0,01	20	0,03	8,4	560	0,16	2,8



Figur 5. Human helserisiko for de enkelte stasjoner i henhold til Trinn 2. Tallet angir antall ganger konsentrasjonene overskrider grenseverdien for human helse summert over alle de analyserte stoffene. Størrelsen på punktet illustrerer størrelsen på risikobidraget fra denne stasjonen.



Figur 6. Økologisk risiko for de enkelte stasjoner i henhold til Trinn 2. Tallet angir antall ganger konsentrasjonene overskrider grenseverdien for skade på økosystemet summert over alle de analyserte stoffene. Størrelsen på punktet illustrerer størrelsen på risikobidraget fra denne stasjonen.

5. Anbefalinger

En målsetning med denne rapporten er å gi anbefalinger om tiltak for å hindre spredning av forurensning både under og etter utbyggingen som nå planlegges. I skråningen hvor kaiutbyggingen skal foregå er det påvist fjell og stor stein med mye algepåvekst. Det er lite eller ingen sedimenter i dette området. Det vil derfor ikke være fare for spredning av forurensning ved arbeider i selve skråningen.

Ved foten av skråningen og videre utover i bukta er ligger det sedimenter som er sterkt til meget sterkt forurenset av kobber, bly, kvikksølv, TBT, PCB og PAH. De utgjør i dag en uakseptabel miljø- og helseisiko, og arbeider som forstyrrer sedimentene og sprer forurensningen kan øke denne risikoen.

For å hindre mulig oppvirvling av sedimentene under arbeidene med ny kai, ved f.eks. utrasing fra skråningen ved peling og annen aktivitet, peling i sedimentene, ankring og utfylling, anbefales det at sjøbunnen fra foten av fjellet og utover tildekkes før arbeidene starter opp. Utlekking av 20 cm sand vil gi tilstrekkelig beskyttelse under arbeidene. Denne tildekkingen bør gå så langt ut at den dekker bunnområdene som kan bli påvirket under anlegg. Vi vil tro at anslagsvis 5-10 m utenfor planlagt kaifront bør være tilstrekkelig. Sedimentene ligger på såpass dypt vann at et slikt tildekkingslag ikke vil være til hinder for båttrafikken, og vil heller ikke forstyrrer av den typiske båttrafikken i området etter at anleggsarbeidet er over.

Dersom det bare skal gjennomføres peling i sedimentområdet bør man som minimum dekke til sedimentene der pelene skal settes (anslagsvis ut til 2-5 m fra disse). Full tildekking av sedimentene langs hele skråningen og til utenfor kaifronten vil imidlertid også sikre mot annen utilsiktet oppvirvling (utrasing, ankring), og også vil effektivt hindre senere diffusjon og graving fra organismer ned i forurenset sediment.

Dersom man velger å bygge ut ved utfylling anbefales at eksisterende bunn først tildekkes med fiberduk pålagt et sandlag for å hindre oppvirvling under selve utfyllingen. Dette kan gjøres etter mønster av kaiutbyggingen ved Arendal smelteverk i Eydehavn. Hvor langt ut det er behov for tildekking er avhengig av hvilken skråning utfyllingen skal ha og hvor skånsomt man kan legge ut utfyllingsmassene.

Området på vestsiden ytterst i bukta har svært høye PAH konsentrasjoner. Det bør undersøkes nærmere hva som er kilden til PAH, det være seg lokal avrenning fra spesielle virksomheter på land, allerede eksisterende båthavn eller muligens andre pågående aktiviteter i området. Denne kilden må stoppes eller reduseres før man kan forvente et varig resultat av tiltaket. I dette området bør en også vurdere en tildekking av 20 cm tykkelse i noe større omfang enn i andre deler av bukta.

Vi vet lite om forurensningstilstanden i den sentrale delen av Kittelsbukta med unntak av stasjon A7 (**Figur 2**) som hadde Hg og sumPCB₇ i SFT klasse III og sumPAH₁₆ i klasse V (Nilsson og Næs 2005). Dette tyder derfor på at sedimentene ikke bare i utbyggingsområdet, men i hele Kittelsbukta utgjør en uakseptabel miljørisiko. Jo større område som tildekkes jo større miljøgevinst vil en oppnå i form av redusert tilgjengelighet av miljøgiftene. Som ledd i gjennomføringen av den fylkesvise tiltaksplanen bør en derfor vurdere å legge ut et tynnere sjikt av tildekkingsmasser utenfor den tildekking som gjøres i forbindelse med kaiutbyggingen. Selv en ”tynnsjikt” tildekking har vist seg å ha en positiv effekt på redusert utlekking, ved at total konsentrasjon av miljøgifter i det bioaktive laget blir lavere. Kornstørrelsen på tildekkingsmassene bør ikke være finere enn stedets masser.

6. Referanser

Nilsson, HC og Næs, K, 2005. Sedimentundersøkelser i forbindelse med tiltaksplan for forurensete sedimenter i Arendal: fase 2. Norsk institutt for vannforskning, Rapport nr 5118-2005. 42 s.

SFT, 2005. Veileder for risikovurdering av forurenset sediment. SFT Rapport TA 2085/2005.

Vedlegg A. Analysemetoder

Prøvene ble analysert ved NIVAs laboratorier etter akkrediterte metoder der disse er etablert, forøvrig etter NIVAs interne standardprosedyrer. Analysene omfatter følgende parametre:

Prosent tørrstoff (TTS%)

Tørrstoffinnholdet bestemmes ved at en kjent mengde prøve tørkes til tørrhet ved 105°C, og den gjenværende rest veies.

Totalinnhold organisk karbon (TOC)

Tørr prøve veies inn i tinnkapsler som forbrennes i oksygenmettet heliumgass ved ca. 1800°C. Ved hjelp av katalysatorer vil forbrenningen bli fullstendig. Overskudd av oksygen fjernes ved hjelp av kobber ved ca. 650°C. Her reduseres også nitrogenoksyder til N₂-gass. Forbrenningsgassene passerer deretter en kromatografisk kolonne, og N₂- og CO₂-gassene detekteres i en varmetrådsdetektor. Arealet under toppene integreres, og integralverdiene behandles av et PC-program. Resultatene regnes ut i prosent.

Prosent finfraksjon (silt og leire) (%<63µm)

Innveid prøve våtsiktes gjennom 63 µm sikt. begge fraksjonene tørkes ved 105°C til tørr prøve og veies.

Tungmetaller I (bly Pb og kobber Cu)

Tørket og knust prøve oppsluttes med salpetersyre i lukkede teflonrør i autoklav og fortynnes med vann. Analysen foregår ved ICP-MS. Forstøvet prøve føres inn i et argonplasma som atomiserer og ioniserer prøven, som blir eksitert og sender ut lys med bølgelengder som er spesifikke for hvert element. Etter å ha passert inngangspalten vil et prisme og et diffraksjonsgitter spre lyset. Deretter blir det fokusert på en CID (charge injection device)-detektor som omformer energien fra lyset til en elektrisk strøm, hvis størrelse er proporsjonal med lysintensiteten. Den integrerte strøm blir målt og konsentrasjonen av analytten bestemmes ved å jevnføre prøvens intensitet med kjente kalibreringsløsningers intensitet.

Tungmetaller II (kvikksølv Hg)

Analysert ved kalddampeteknikk/atomabsorpsjons-spektrofotometer. SnCl₂ som reduksjonsmiddel blandes med prøven og omformer ionisk kvikksølv til metallisk kvikksølv (Hg). En inert bæregass (argon) transporterer kvikksølvet til spektrofotometeret. Kvikksølvet oppkonsentreres i et amalgameringsystem.

Tungmetaller III (kadmium Cd)

En passende mengde prøve (20-50 µl), konservert med salpetersyre, overføres til et grafittrør som oppvarmes elektrotermisk. Ved trinnsvis øking av temperaturen etter et program tilpasset for hvert enkelt metall, gjennomføres tørking, foraskning og atomisering. Som lyskilde benyttes en hulkatodelampe, der katoden inneholder det metallet som skal bestemmes, eller en elektrodsløse lampe (EDL). Lampene avgir et linjespektrum som er spesifikt for lampen og det metallet som skal bestemmes. Lyset absorberes selektivt av Cd-atomene når det passerer gjennom den atomiserte prøven. Metallkonsentrasjonen bestemmes ved å jevnføre prøvens absorbanse med kjente kalibreringsløsningers absorbanse.

Sum PCB-7 (sum seven Dutch)

Prøvene tilsettes indre standard og ekstraheres med organiske løsemidler. Ekstraktene gjennomgår ulike rensetrinn for å fjerne forstyrrende stoffer. Til slutt analyseres ekstraktet ved bruk av

gasskromatograf utstyrt med elektroninnfangningsdetektor, GC/ECD. De klororganiske forbindelsene identifiseres utfra de respektives retensjonstider på to kolonner med ulik polaritet. Kvantifisering utføres ved hjelp av indre standard.

Sum PAH-16 (EPAs liste)

Prøvene tilsettes indre standarder og PAH ekstraheres i Soxhlet med diklormetan. Ekstraktet gjengår så ulike renseprosesser for å fjerne forstyrrende stoffer. Tilslutt analyseres ekstraktet med GC/FID eller GC/MSD. PAH identifiseres med FID ut fra retensjonstider og med MSD ut fra retensjonstider og forbindelsenes molekylioner. Kvantifisering utføres ved hjelp av de tilsatte indre standarder.

TBT (tinnorganiske forbindelser)

Prøvene tilsettes en indre standard og oppsluttes med alkoholisk lut. Etter pH-justering og direkte derivatisering ekstraheres de tinnorganiske forbindelsene med organiske løsningsmidler og prøvene renses ved hjelp av gel-permeasjons kromatografi og oppkonsentreres. Prøvene analyseres ved bruk av gasskromatografi og atomemisjons-deteksjon GC-AED. De ulike forbindelsene identifiseres ved hjelp av retensjonstidene som oppnås og selve kvantifiseringen utføres med den indre standarden.

Vedlegg B. Analyseresultater

Tørrstoff, TOC og metaller

Stasjon	TTS/%	TOC/F	Cd/ICP-Sm	Cu/ICP-Sm	Hg-Sm	Pb/ICP-Sm	Zn/ICP-Sm
	%	µg/mg C TS	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
	B 3	G 6	E 9-5	E 9-5	E 4-3	E 9-5	E 9-5
St. 1	38	57,8	0,77	99,8	1,87	186	764
St. 2	20	87,3	0,69	592	2,73	363	1390
St. 3	32	160	0,6	365	2,87	293	740
St. 4	26	118	1,6	12500	0,88	623	1940
St. 5	23	83,1	0,75	246	6,69	256	445
St. 6	36	66,4	1,4	221	7,48	198	542
St. 7	38	63,4	1,1	154	1,82	148	599
St. 8	28	78,3	1,8	198	7,22	321	537
St. 9	33	53,7	0,4	259	3,77	227	492
St. 10	36	88,9	3	337	2,41	240	994
Kum 1	47	117	0,2	94,8	0,043	13	297
Kum 2	50	67,1	0,2	188	0,055	15	347
Kum 3	39	96,3	0,2	111	0,054	15	327
Kum 4	57	79,2	0,3	102	0,091	19	321

PCB

Stasjon	CB28-Sm	CB52-Sm	CB101-Sm	CB118-Sm	CB153-Sm	CB138-Sm	CB180-Sm	Sum PCB
	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.
	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	H 3-3	Beregnet*
St. 1	0,98	0,85	2,1	2,1	4,1	3,6	2,1	15,83
St. 2	s5,5	s7,2	8	7,6	i	7,4	5,4	s41,1
St. 3	s3,9	12	24	29	21	18	9,7	s117,6
St. 4	<4	<1,3	6,1	4,7	i	13	10	33,8
St. 5	s3,9	s5,0	16	16	38	29	22	s129,9
St. 6	s2,9	5	15	12	25	21	17	s97,9
St. 7	1,9	2,4	6,2	4,5	i	9,8	8,9	33,7
St. 8	s2,5	3,9	13	9,5	i	20	20	s68,9
St. 9	2,5	s3,4	13	13	28	26	18	s103,9
St. 10	2,3	2,5	12	12	27	25	16	96,8
Kum 1	s2,6	s2,6	s2,9	3	i	3,9	2,5	s17,5
Kum 2	s0,91	<0,5	s0,91	0,61	i	1,1	0,7	s4,23
Kum 3	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	i	0,59	<0,5	0,59
Kum 4	1,1	0,72	1,4	0,97	2,1	1,8	2,4	10,49

Tinnorganiske forbindelser

Stasjon	MBT-Sm	DBT-Sm	TBT-Sm	MPhT-Sm	DPhT-Sm	TPhT-Sm
	µg MBT/kg	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.
	H 14-1*	H 14-1*	H 14-1*	H 14-1*	H 14-1*	H 14-1*
St. 1	55	75	79	i	<5	43
St. 2	91	160	110	i	<5	27
St. 3	110	210	120	i	<5	32
St. 4	21	37	81	i	<5	130
St. 5	150	410	230	i	<5	130
St. 6	95	340	250	i	<5	57
St. 7	79	200	87	<5	<5	i
St. 8	52	130	92	i	<5	i
St. 9	100	370	260	i	<5	i
St. 10	56	120	81	i	<5	26
Kum 1	s120	s170	<20	<20	<20	i
Kum 2	s55	s83	<20	<20	<20	<20
Kum 3	s76	s51	<20	<20	<20	i
Kum 4	s34	s58	<20	<20	<20	i

PAH

Stasjon	NAP-Sm	ACNLE-Sm	ACNE-Sm	FLE-Sm	DBTHI-Sm	PA-Sm	ANT-Sm	FLU-Sm	PYR-Sm	BAA-Sm	BKF-Sm	BEP-Sm
	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.	µg/kg t.v.
	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3	H 2-3
St. 1	1200	340	240	320	230	3300	1100	s7200	s6400	s3500	2000	3000
St. 2	>25000	>66000	>35000	>130000	>80000	>680000	>210000	>610000	>500000	>190000	>72000	>100000
St. 3	510	810	580	1100	950	s14000	3400	s23000	s20000	s8700	4400	s6900
St. 4	270	200	91	140	160	2600	570	5300	4700	2500	1400	2100
St. 5	380	220	280	360	260	4100	1100	s8800	s8000	4400	2300	3600
St. 6	220	74	60	86	60	780	230	1800	2000	810	600	1100
St. 7	380	88	94	140	98	990	380	2700	2500	1200	680	1200
St. 8	570	170	180	320	190	2000	770	4000	4800	2100	1300	2000
St. 9	310	240	81	190	200	2800	490	s6300	s5900	2300	1400	2400
St. 10	310	260	110	300	220	2700	640	s6400	s6000	2600	1500	2500
Kum 1	340	190	89	180	160	2400	610	s6200	s5500	s2800	1600	2500
Kum 2	110	17	63	290	45	960	75	550	980	160	77	760
Kum 3	110	40	61	180	76	1100	130	960	1600	290	140	940
Kum 4	140	28	39	160	50	830	100	730	1100	250	130	800

Forts.

PAH forts.

Stasjon	BAP-Sm µg/kg t.v. H 2-3	PER-Sm µg/kg t.v. H 2-3	ICDP-Sm µg/kg t.v. H 2-3	DBA3A-Sm µg/kg t.v. H 2-3	BGHIP-Sm µg/kg t.v. H 2-3	Sum PAH µg/kg t.v. Beregnet*	Sum PAH16 µg/kg t.v. Beregnet*	Sum KPAH µg/kg t.v. Beregnet*	Sum NPD µg/kg t.v. Beregnet*	9BBJF-Sm µg/kg t.v. H 2-3	9CHR-Sm µg/kg t.v. H 2-3
St. 1	s3800	950	2400	540	2200	s46920	s42740	s12240	4730	s4900	3300
St. 2	>150000	>40000	>80000	>20000	>70000	-	>3000000	-	-	>170000	>140000
St. 3	s9000	2200	5300	1200	5300	s126250	s116200	s28600	s15460	s11000	s7900
St. 4	2600	620	1600	400	1500	32651	29771	8500	3030	3300	2600
St. 5	4500	1100	2700	650	2500	s54850	s49890	14550	4740	s5600	4000
St. 6	1100	300	830	190	980	13680	12220	3530	1060	1600	860
St. 7	1300	410	870	210	970	17010	15302	4260	1468	1700	1100
St. 8	2400	560	1500	360	1500	29720	26970	7660	2760	3100	1900
St. 9	2700	630	1900	410	1800	s36151	s32921	8710	3310	s3600	2500
St. 10	2800	680	1800	450	1800	s37570	s34170	9150	3230	s3800	2700
Kum 1	s3200	790	2100	440	1900	s37599	s34149	s10140	2900	s3800	2800
Kum 2	220	280	160	88	440	6075	4990	705	1115	450	350
Kum 3	360	380	240	120	570	8417	7021	1150	1286	640	480
Kum 4	340	290	210	97	520	6814	5674	1027	1020	560	440