



RAPPORT LNR 5040-2005

Sedimentundersøkelser i Vikkilen knyttet til fylkesvis tiltaksplan



Foto: NIVA Sørlandsavdeling

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

Midt-Norge

Postboks 1264 Pirsenteret
7462 Trondheim
Telefon (47) 73 87 10 34 / 44
Telefax (47) 73 87 10 10

Tittel Sedimentundersøkelser i Vikkilen knyttet til fylkesvis tiltaksplan	Løpenr. (for bestilling) 5040-2005	Dato 24.06.2005
	Prosjektnr. Undernr. O-24239	Sider Pris 60
Forfatter(e) Kristoffer Næs Lise Tveiten Jarle Håvardstun	Fagområde Miljøgifter marint	Distribusjon
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) AS Nymo	Oppdragsreferanse Rolf Urfjell
-----------------------------	-----------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Forurensningssituasjonen i Vikkilen er blitt kartlagt gjennom undersøkelser av bunnsedimentet og blåskjell. Vikkilen er i liten grad forurenset av PCB. Fjordområdet er relativt lite forurenset av tungmetaller bortsett fra enkelte steder i nærområdet til AS Nymo. Kilen er markert til meget sterkt forurenset av PAH. Det forurensningsmessige hovedproblemet i Vikkilen er knyttet til TBT. Verdiene er svært høye og hele fjordområdet må karakteriseres som meget sterkt forurenset. Hovedkilden til forurensningen har vært aktivitetene ved AS Nymo. Imidlertid er det også andre mindre kilder som småbåthavn og generell skipstrafikk. Resultatene tyder på at spredningen fra aktivitetene ved AS Nymo i dag er lokal og avtagende.</p> <p>Belastningen på Vikkilen har avtatt og vil fortsatt avta som følge av restriksjoner på bruk av TBT-holdig bunnstoff. Imidlertid vil sedimentene representere en kilde til forurensning i lang tid fremover og tiltak mot sedimentforurensningen må vurderes dersom man vil redusere belastningen ytterligere. Eventuelle tiltak må være forankret i miljømål for Vikkilen og kost/nytte-vurderinger må gjøres før tiltak besluttes.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Vikkilen Skipsverft Sedimenter TBT 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Vikkilen Shipyard Sediments TBT
--	---

Kristoffer Næs
Kristoffer Næs
Prosjektleder

Kristoffer Næs
Kristoffer Næs
Forskningsleder

Ansvarlig

O-24239

**Sedimentundersøkelser i Vikkilen knyttet til
fylkesvis tiltaksplan**

Forord

Denne undersøkelsen er gjennomført på oppdrag av AS Nymo i henhold til programforslag fra NIVA av 7/7-2004 ved Kristoffer Næs og i henhold til kontrakt av 7/9-2004.

Feltarbeidet er i hovedsak gjennomført av John Arthur Berge, supplert av Jarle Håvardstun, Einar Kleiven og Lise Tveiten, alle NIVA.

Kristoffer Næs har hatt det faglige ansvaret og rapportert undersøkelsene. Figurene i rapporten er produsert av Jarle Håvardstun.

Sedimentundersøkelsene i Vikkilen har vært supplert med et prosjekt knyttet til opptak av TBT i blåskjell og intersex hos snegl finansiert av Fylkesmannen i Aust-Agder, Miljøvernavdelingen. Lise Tveiten har hatt hovedansvaret for dette.

Grimstad, 24. juni 2005

Kristoffer Næs

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn og målsetting	6
2. Materiale og metoder	7
2.1 Feltarbeid	7
2.2 Analyser	9
3. Resultater fra sedimentanalysene	11
3.1 Posisjoner og sedimenttype	11
3.2 Bedømmelse av forurensningsgrad	12
3.3 Tungmetaller	12
3.4 Tinnorganiske forbindelser	15
3.4.1 Overflatesedimenter	15
3.4.2 Kjerneprøver	16
3.5 PCB	17
3.6 PAH	17
3.7 Olje	18
4. Resultater fra analyser av blåskjell og standsnegl	19
5. Diskusjon	20
5.1 Forurensningssituasjonen i sedimentene	20
5.2 Kilder til forurensningen	20
5.3 Spredning av forurensede sedimenter	20
5.4 Eventuelle tiltak mot spredning	21
6. Referanser	23
Vedlegg A. Stasjonsoversikt	25
Vedlegg B. Rådata - sedimenter	27
Vedlegg C. Rådata - blåskjell	31
Vedlegg D. Dateringer	33

Sammendrag

På oppdrag av AS Nymo har Norsk institutt for vannforskning (NIVA) gjennomført sedimentundersøkelser i Vikkilen. Formålet har vært å:

- Avklare forurensningssituasjonen i sedimentene i nærområdet til AS Nymo og Vikkilen generelt og dermed også avklare forurensningsproblematikken
- Klarlegge eventuelle kilder til forurensningen
- Vurdere spredning av eventuelle forurensede sedimenter
- Vurdere eventuelle tiltak mot spredning

Undersøkelsene har vist at:

Vikkilen i liten grad er forurenset av PCB. Fjordområdet er relativt lite forurenset av tungmetaller bortsett fra enkelte steder i nærområdet til AS Nymo. Kilen er markert til meget sterkt forurenset av PAH.

Det forurensningsmessige hovedproblemet i Vikkilen er knyttet til TBT. Verdiene er svært høye og hele fjordområdet må karakteriseres som meget sterkt forurenset med hensyn på denne forbindelsen. TBT-forurensningen gir biologiske skader på snegl (intersex).

Hovedkilden til forurensningen har vært aktivitetene ved AS Nymo. Imidlertid er det også andre mindre kilder som småbåthavn og generell skipstrafikk.

Forurensede sedimentpartikler vil kunne spres som følge av aktivitetene ved AS Nymo. Imidlertid tyder undersøkelsene på at denne spredningen er lokal og at den i dag i mindre grad påvirker hele Vikkilen. Som støtte for denne konklusjonen, viste målinger at konsentrasjonen av TBT i blåskjell fra Odden, Biodden og Naxbie var den samme. Skjellene fra disse stasjonene kunne karakteriseres som markert forurenset. Helt i nærområdet til dokka til AS Nymo økte konsentrasjonen og skjellene var meget sterkt forurenset av TBT.

Det har over tid blitt innført restriksjoner på bruk av TBT-holdig bunnstoff. Fra 1/1-2005 er det ikke tillatt å påføre og fra 1/1-2008 vil det ikke være tillatt å ha dette på skip i det hele tatt. Man må derfor forvente at den direkte belastningen på Vikkilen har avtatt og vil avta ytterligere. Imidlertid vil sedimentene representere en kilde til forurensning i lang tid fremover og tiltak mot sedimentforurensningen må vurderes om man vil redusere belastningen ytterligere. Eventuelle tiltak må være forankret i miljømål for Vikkilen og kost/nytte-vurderinger må gjøres før tiltak besluttes.

1. Bakgrunn og målsetting

Tidligere undersøkelser har vist at Vikkilen er påvirket av miljøgifter, særlig tinnorganiske forbindelser (Næs og medarb. 2000). Kilder til påvirkningen kan være mekanisk industri, småbåthavner, skipstrafikk, o.a. I denne sammenheng kan AS Nymo ha vært/være en hovedkilde. Det er ikke utstedt noen råd knyttet til konsum av sjømat fra området.

SFT har nå gitt bedriften pålegg i forbindelse med ny tillatelse til virksomhet. Her heter det at AS Nymo skal gjennomføre en undersøkelse av sedimentene utenfor bedriften for å klarlegge omfanget av eventuell forurensning, inkludert eventuelle kilder til forurensningen, og legge fram eventuelle forslag til tiltak for å hindre spredning av forurensning.

Undersøkelsene i Vikkilen kan dermed naturlig deles i fire elementer og har hatt følgende mål:

1. Avklare forurensningssituasjonen i sedimentene i nærområdet til AS Nymo og Vikkilen generelt og dermed også avklare forurensningsproblematikken
2. Klarlegge eventuelle kilder til forurensningen
3. Vurdere spredning av eventuelle forurensede sedimenter
4. Vurdere eventuelle tiltak mot spredning

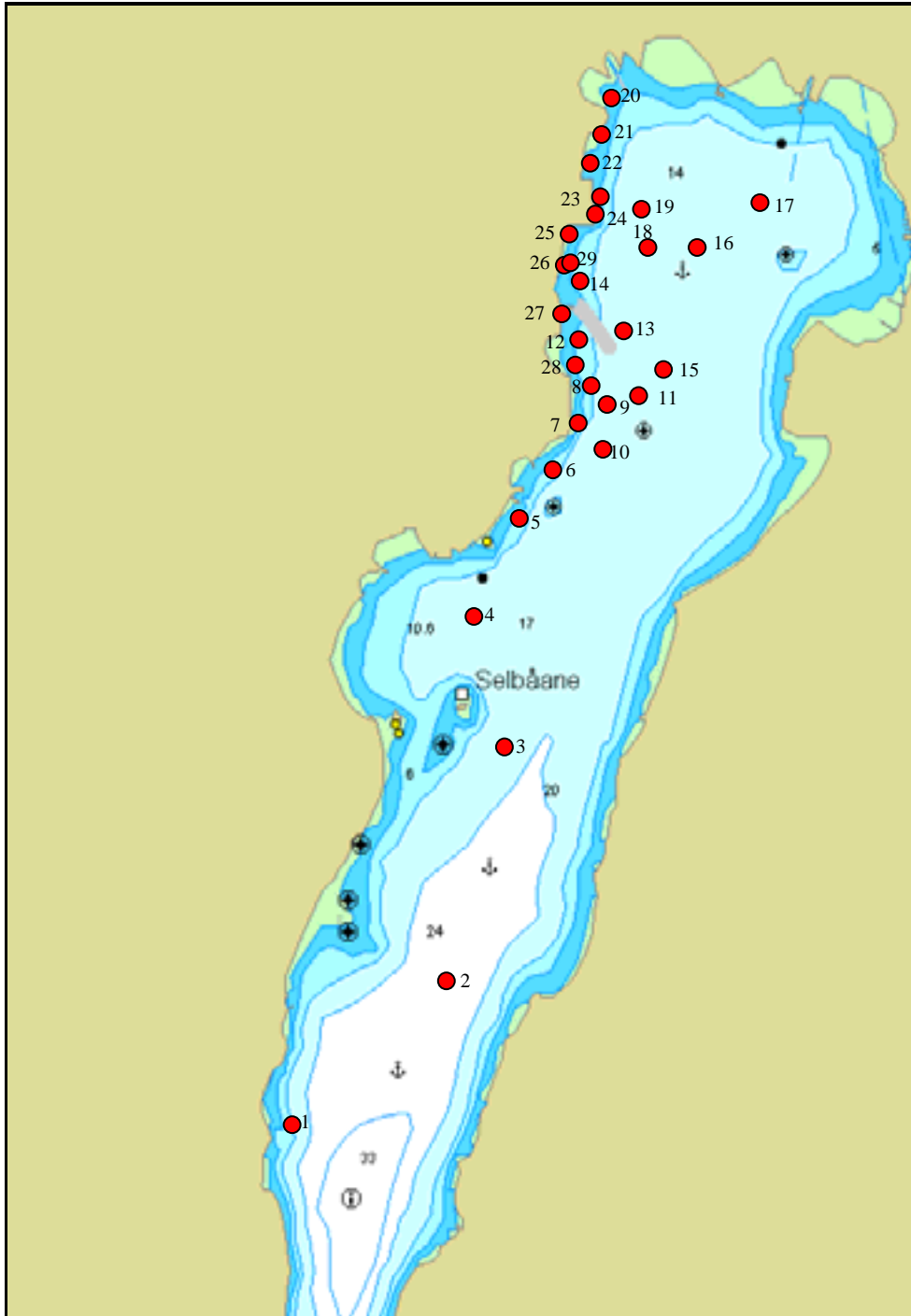
2. Materiale og metoder

2.1 Feltarbeid

Hoveddelen av innsamlingen av sedimentprøver ble gjennomført 8/9-2004 med bruk av sjark tilhørende Odd Pettersen, Hesnesøy. Prøvene ble tatt med grabb og de øverste to cm av sedimentoverflaten ble snittet av for eventuell analyse.

Senere ble kjerneprøver for kjemisk analyse og for aldersdatering tatt på stasjonene 2, 15 og 16. Dette ble gjennomført 16/2-2005.

Figur 1 gir en oversikt over stasjoner for sedimentprøvetakingen.



Figur 1. Kart over prøvetakingsstasjoner i Vikkilen. Sedimentstasjonene er merket med røde sirkler. På stasjon 2, 15 og 16 ble det også tatt kjerneprøver. Kjemiske analyser ble gjort på et utvalg av stasjonene.

Den 27/1-2005 ble blåskjell og strandsnegl samlet på 6 stasjoner fra Bratte Rivingen til innerst i Vikkilen. **Figur 2** viser stasjonsplasseringen.



Figur 2. Kart over stasjoner for innsamling av blåskjell og strandsnegl.

2.2 Analyser

På grunnlag av kunnskap om forurensningssituasjonen og industriaktiviteten i området ble det i utgangspunktet valgt å analysere sedimentprøvene for følgende variabler:

Tinnorganiske forbindelser derav TBT:	Forbindelser brukt i bunnstoff
Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH):	Påvirkning fra diverse forbrenningsprosesser
Polyklorete bifenylter (PCB):	Tidligere brukte industrikjemikalier (maling, skjæreoljer, osv)
Tungmetallene kvikksølv (Hg), kobber (Cu), kadmium (Cd) og sink (Zn):	Grunnstoffer, men som også kan tilføres miljøet fra bl.a. industriell aktivitet
Olje (THC):	Påvirkning fra oljesøl
Totalt organisk karbon (TOC):	Støttevariabel i tolkningen av resultatene
Kornfordeling (%<63 µm):	Støttevariable i tolkningen av resultatene

Blåskjellene ble analysert for tinnorganiske forbindelser samt tørrstoffinnhold.

Strandsnegl ble mikroskopert for bestemmelse av intersex.

Analysemetodene var som følger:

Andel finstoff ble bestemt ved våt-sikting og TOC ved hjelp av en CHN-elementanalysator etter at karbonater var fjernet i syredamp.

Metallene (bortsett fra kvikksølv) ble bestemt på ICP etter opplutning i salpetersyre. Kvikksølv ble bestemt med kalddampeteknikk.

Ekstraksjon av PCB og PAH i sedimentene ble gjort ved en teknikk kalt "Accelerated Solvent Extraction". Metoden baserer seg på ekstraksjon av vått sediment med en blanding av organiske løsningsmidler (diklormetan:cyklohexan i forhold 1:1) under høyt trykk og temperatur. Prøveekstraktene ble rensset med bl.a. gel-permeasjonskromatografi før analyse. De klororganiske komponentene bestemmes med GC/ECD mens PAHene ble analysert ved hjelp av GC/MSD.

TBT bestemmes ved at 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-permeasjonskromatografi 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.

3. Resultater fra sedimentanalysene

3.1 Posisjoner og sedimenttype

Grunnleggende informasjon om sedimentprøvene er gitt i Vedlegg A.

Sedimentene var i stor grad finkornige med et høyt prosentvis innhold av partikler med kornstørrelse mindre enn 63 (**Tabell 1**).

Tabell 1. Kornfordeling (prosent partikler <63µm) og innhold av organisk karbon (TOC) i sedimentet.

Stasjon	Sediment- dyp	KORN<63µm % t.v.	TOC µg/mg C TS
St. 2	0-2	89	32
St. 2	0-1	84	-
St. 2	1-2	83	-
St. 2	2-3	82	-
St. 2	3-4	82	-
St. 2	4-5	81	-
St. 2	6-7	76	-
St. 2	8-9	83	-
St. 2	11-12	79	-
St. 2	14-15	54	-
St. 2	17-18	61	-
St. 3	0-2	82	31,1
St. 4	0-2	89	41,3
St. 6	0-2	66	37,9
St. 8	0-2	85	53,1
St. 12	0-2	86	55,6
St. 13	0-2	81	34
St. 14	0-2	59	32
St. 15	0-2	88	32,1
St. 15	0-1	84	-
St. 15	1-2	88	-
St. 15	2-3	89	-
St. 15	3-4	87	-
St. 15	4-5	86	-
St. 15	6-7	83	-
St. 15	8-9	79	-
St. 15	11-12	80	-
St. 15	14-15	77	-
St. 15	17-18	79	-
St. 16	0-2	83	36,7
St. 16	0-1	89	-
St. 16	1-2	89	-
St. 16	2-3	88	-
St. 16	3-4	88	-

Stasjon	Sediment- dyp	KORN<63µm % t.v.	TOC µg/mg C TS
St. 16	4-5	88	-
St. 16	6-7	87	-
St. 16	8-9	85	-
St. 16	11-12	86	-
St. 16	14-15	85	-
St. 16	17-18	86	-
St. 20	0-2	65	25,5
St. 22	0-2	65	4,3
St. 24	0-2	21	7,6
St. 26	0-2	26	22,1

3.2 Bedømmelse av forurensningsgrad

SFT har utviklet et klassifiseringssystem for bedømmelse av miljøtilstand ut fra de observerte konsentrasjonene (SFT 1997). Dette systemet er delt inn i fem klasser med følgende benevning:

Tabell 2. SFTs system for klassifisering av miljøtilstand (SFT 1997).

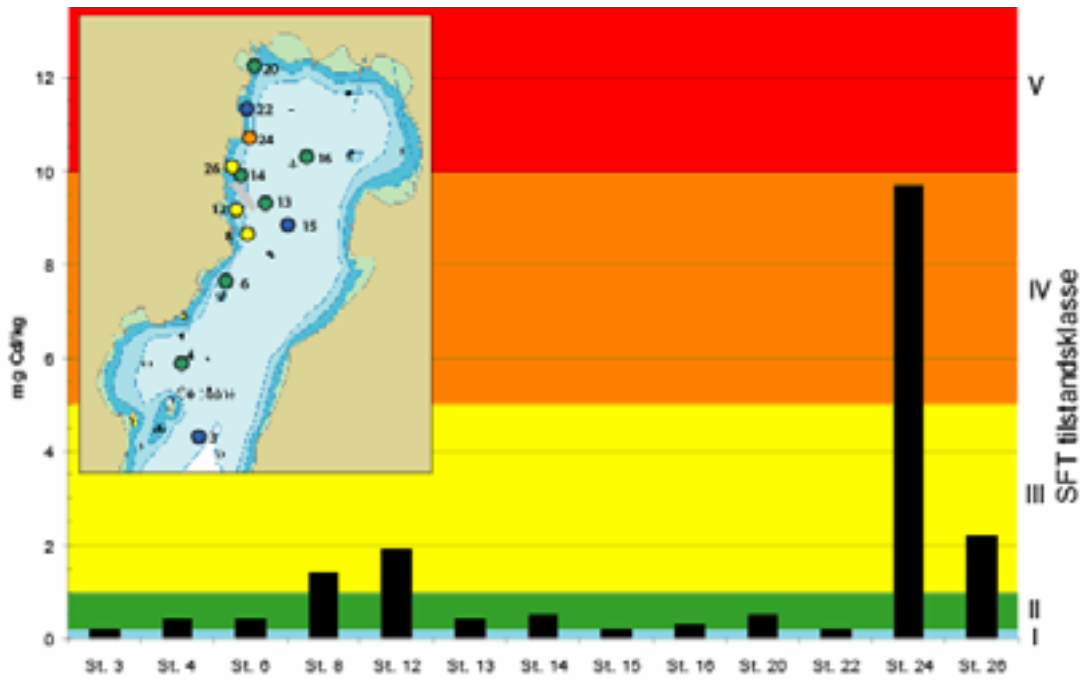
Tilstandsklasse	Miljøtilstand
I	Ubetydelig forurenset
II	Moderat forurenset
III	Markert forurenset
IV	Sterkt forurenset
V	Meget sterkt forurenset

Inndeling og fargegiving er anvendt i figurfremstillingen videre i rapporten.

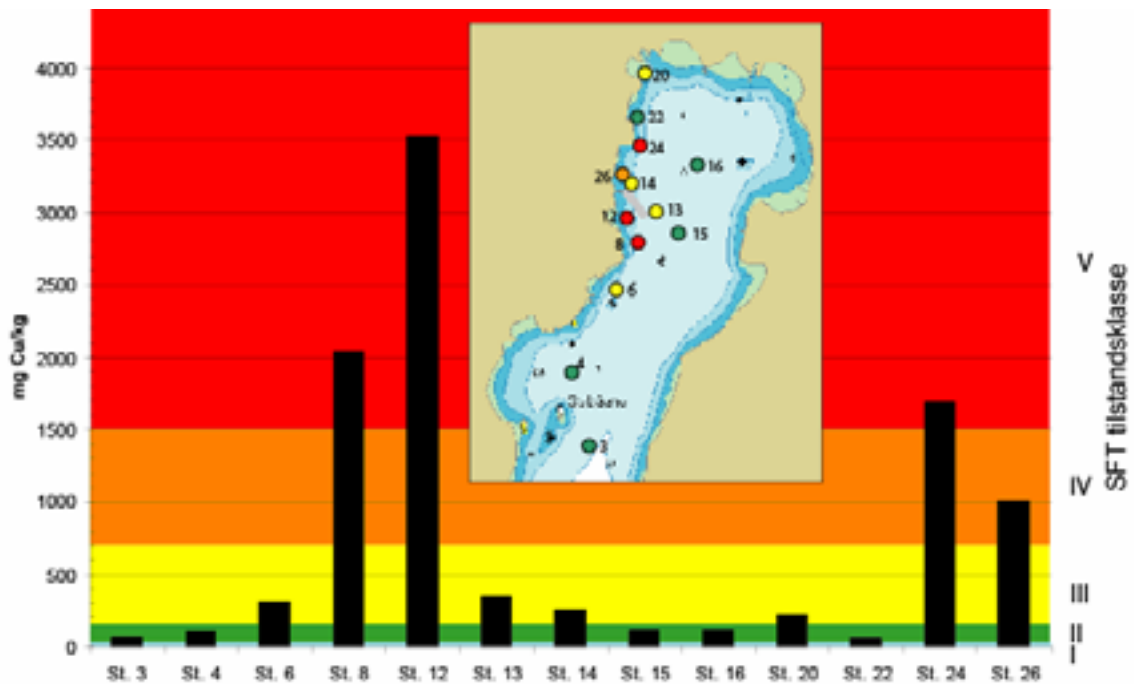
I henhold til beskjed fra SFT er konsentrasjonen av PCB₇ multiplisert med to før tilstandsgrensene er anvendt.

3.3 Tungmetaller

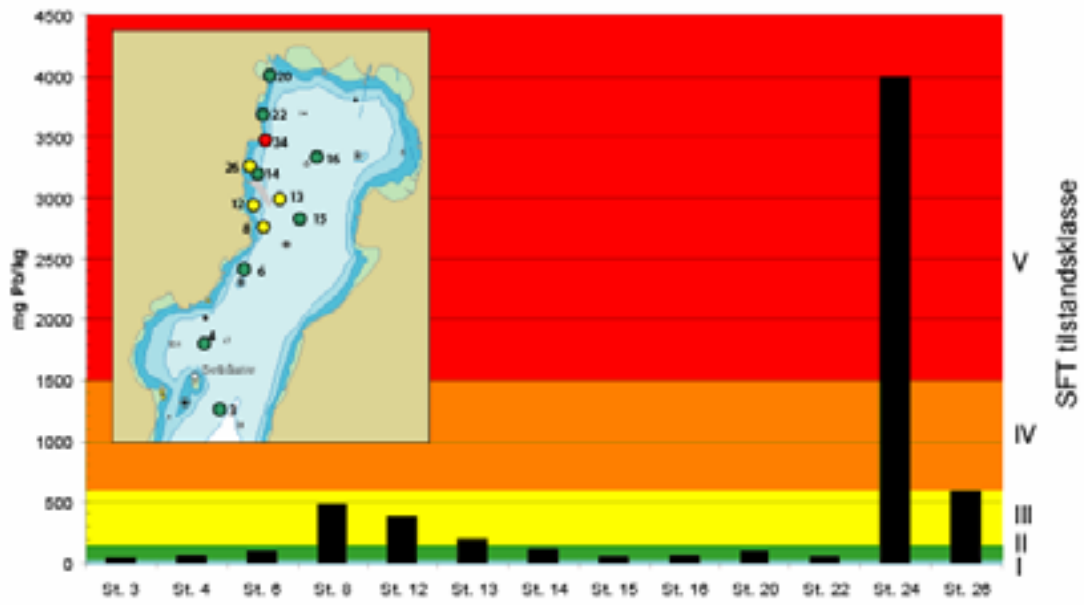
Konsentrasjonene av tungmetallene kadmium, kobber, bly, kvikksølv og sink i overflatesedimentene i Vikkilen er vist i **Figur 3**, **Figur 4**, **Figur 5**, **Figur 6** og **Figur 7**. Generelt i Vikkilen var verdiene relativt lave. Enkelte stasjoner i nærområdet til AS Nymo skiller seg imidlertid ut. Det gjelder særlig stasjonene 8, 12 og 26 nær dokka og stasjon 24 ved kaia. På disse stasjonene ble det observert konsentrasjoner opp til tilstandsklasse V, meget sterkt forurenset, for alle metallene bortsett fra for kvikksølv. For kvikksølv var sedimentene ubetydelig til moderat forurenset på alle stasjonene så nær som en (st. 14 ved dokka) hvor sedimentet karakteriseres som markert forurenset med hensyn på denne forbindelsen.



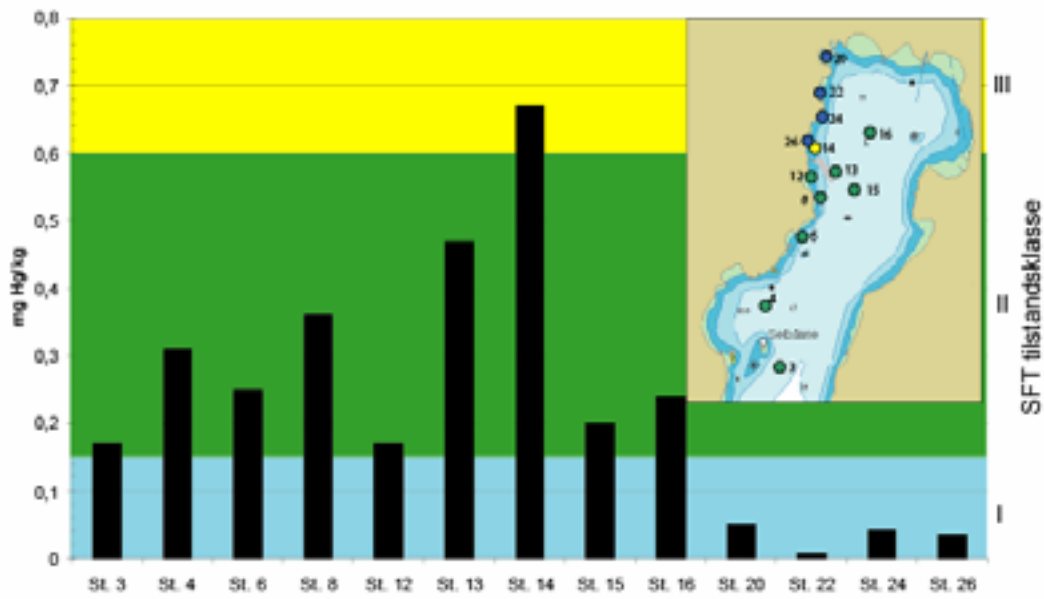
Figur 3. Konsentrasjon av kadmium i overflatesedimentene (0-2 cm).



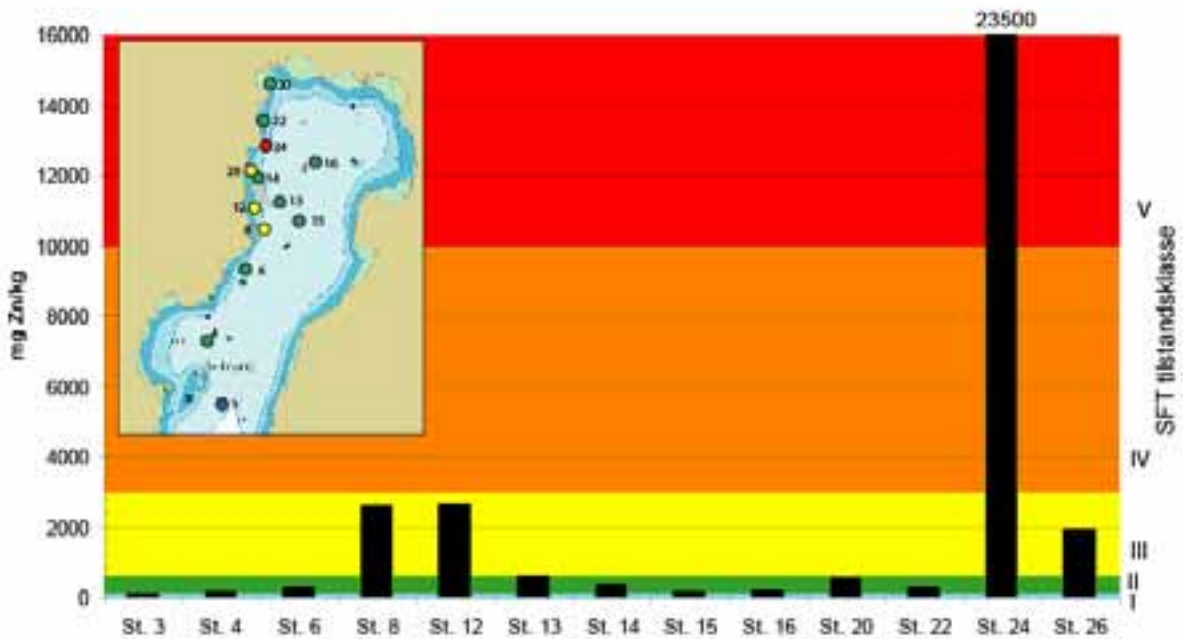
Figur 4. Konsentrasjon av kobber i overflatesedimentene (0-2 cm).



Figur 5. Konsentrasjon av bly i overflatesedimentene (0-2 cm).



Figur 6. Konsentrasjon av kvikksølv i overflatesedimentene (0-2 cm).

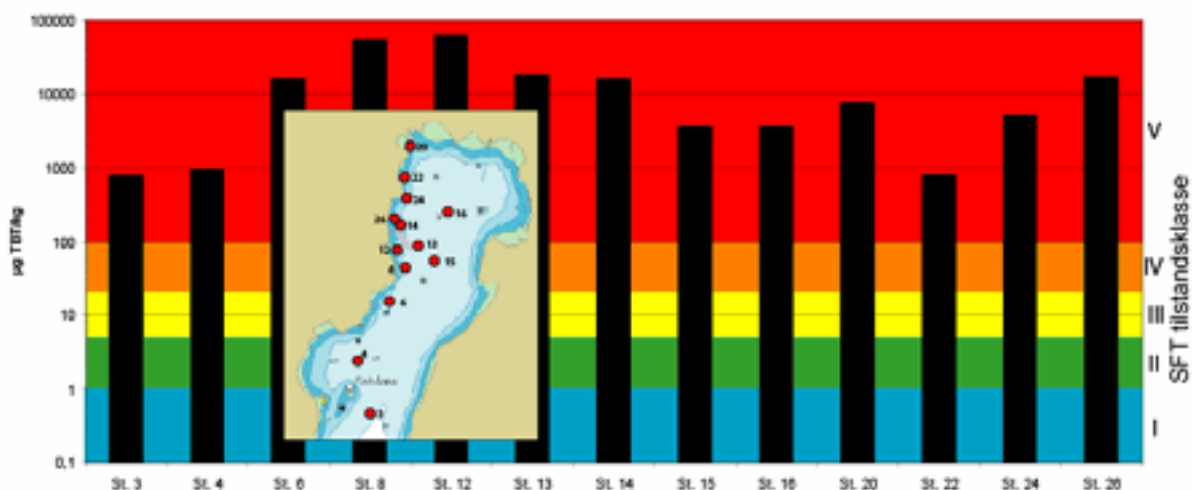


Figur 7. Konsentrasjon av sink i overflatesedimentene (0-2 cm).

3.4 Tinnorganiske forbindelser

3.4.1 Overflatesedimenter

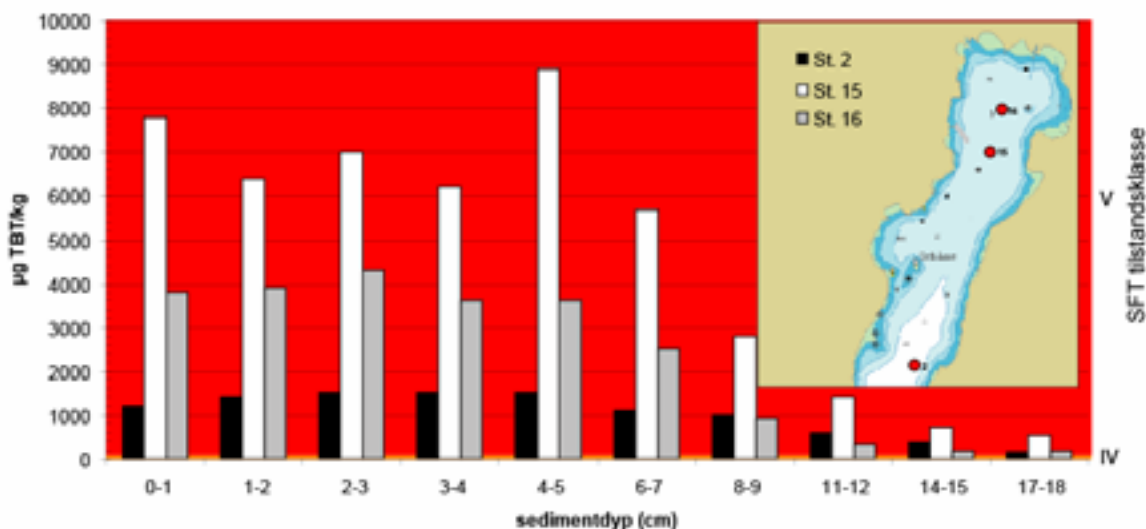
Konsentrasjonen av TBT i overflatesedimentene er vist i **Figur 8**. Konsentrasjonene var til dels svært høye på alle stasjonene og sedimentet må karakteriseres som meget sterkt forurenset med hensyn på TBT.



Figur 8. Konsentrasjon av TBT i overflatesedimentene (0-2 cm). Merk logaritmisk akse.

3.4.2 Kjerneprøver

Det har over tid blitt innført restriksjoner i bruk av tinnholdig bunnstoff og fra 1/1-2005 er det ikke tillatt å påføre på skip. En slik endring i bruk av TBT burde også avspeiles i konsentrasjonene i sedimentet. For å få informasjon om dette ble den vertikale fordelingen av TBT nedover i sedimentet på stasjonene 2, 15 og 16 analysert, (**Figur 9**).



Figur 9. Fordeling av TBT vertikalt i sedimentet på stasjonene 2, 15 og 16.

Det generelle bildet på alle tre stasjonene er nogenlunde samme konsentrasjonsnivå til ca. 5 cm ned i sedimentet. Dypere enn dette faller konsentrasjonene. En slik fordeling kan forklares med at tilførslene ikke har avtatt de senere årene alternativt at dyrs gravende aktivitet blander om sedimentet og maskerer en eventuell redusert belastning. Kjernene ble derfor aldersdatert for å avklare dette spørsmålet. Utvalgte resultater fra dateringen er gitt i **Tabell 3**.

Tabell 3. Resultater fra aldersdateringen av sedimentkjernene.

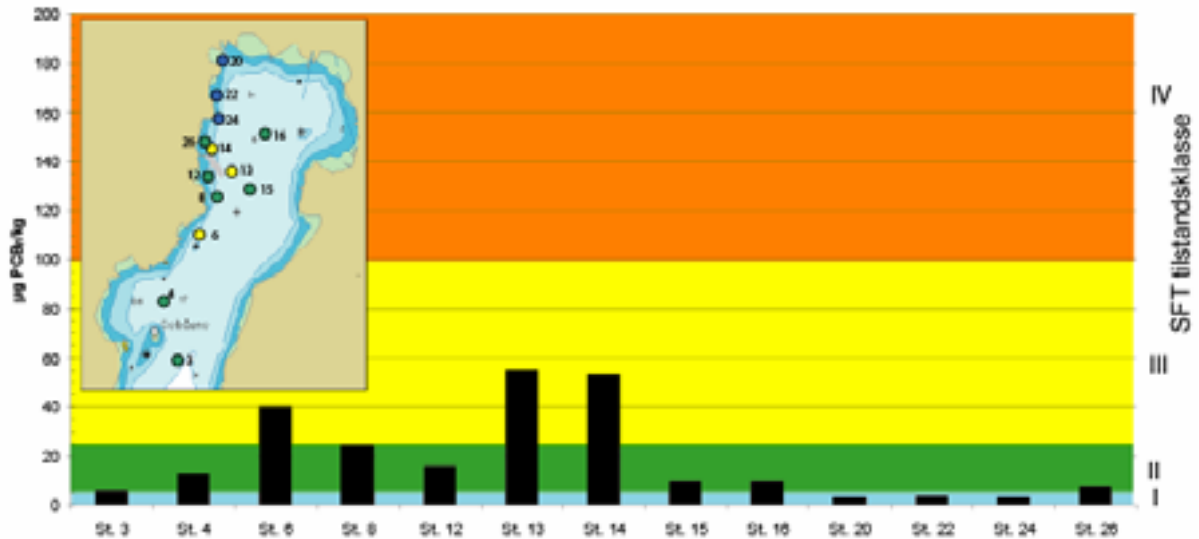
Stasjon	Masseakkumulasjonsrate g/m ² /år ± std.avv.	Lineær akkumulasjons- rate mm/år	Blandingsdybde cm
2	1683 ± 251	6,6	3,4-5,1
15	550 ± 74	1,4	1,8-2,7
16	410 ± 8	1,4	3,2-4,8

Tabellen viser at det er en meget liten sedimenttilvekst på stasjon 15 og 16, samtidig som de øverste 3-5 cm av sedimentet er omblandet av gravende organismer. Ut fra dette er det sannsynlig at man ikke kan påvise en antatt nedgang til tilførslene av TBT til sedimentene selv om belastningen har avtatt.

Stasjon 2 hadde den høyeste sedimentasjonsraten og muligheten for å påvise en endring skulle dermed være størst på denne stasjonen. **Figur 9** viser at de høyeste konsentrasjonene (selv om dette er usikkert pga analysepresisjonen) ble målt i 3-4 cm dyp i sedimentet. Det øverste 0-3 cm tykke laget hadde noen lavere konsentrasjoner. Det er derfor mulig at en nedgang i belastning kan spores på stasjon 2.

3.5 PCB

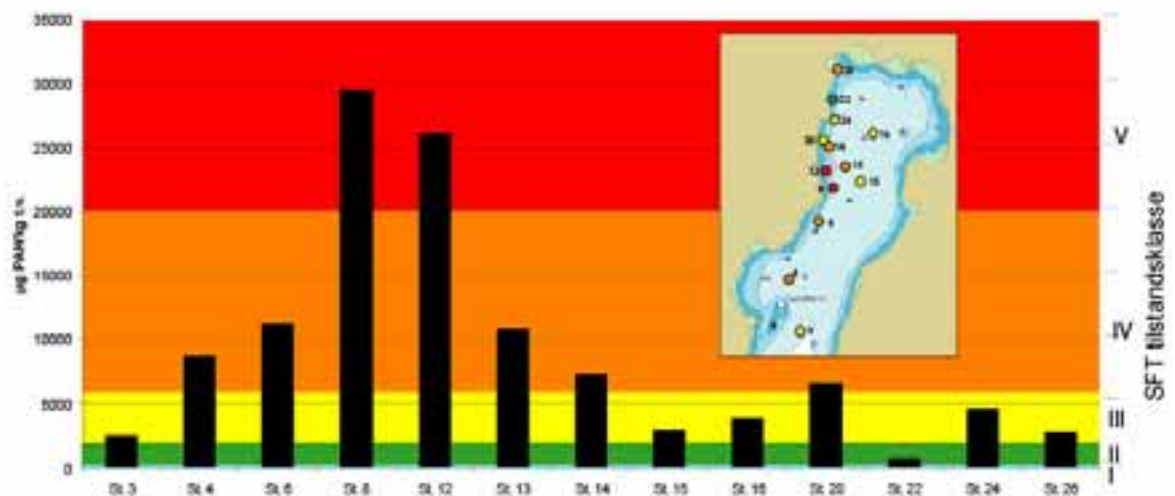
Konsentrasjonen av PCB₇ er vist i **Figur 10**. Det var relativt lave konsentrasjoner på de fleste stasjonene som dermed kan karakteriseres som ubetydelig til moderat forurenset med hensyn på PCB₇. Kun på stasjonene 6, 13 og 14 var verdiene såpass høye at sedimentet må karakteriseres som markert forurenset.



Figur 10. Konsentrasjonen av PCB₇ i overflatesedimentene (0-2 cm). Den analytiske verdien av PCB₇ er i hht SFT multiplisert med to før tilstandsklassene beregnes.

3.6 PAH

PAH-konsentrasjonen i sedimentene i Vikkilen tilsvarte generelt markert til sterkt forurensete sedimenter. På stasjon 8 og 12 nær dokka, var konsentrasjonene i tilstandsklasse V, meget sterkt forurenset, (**Figur 11**).



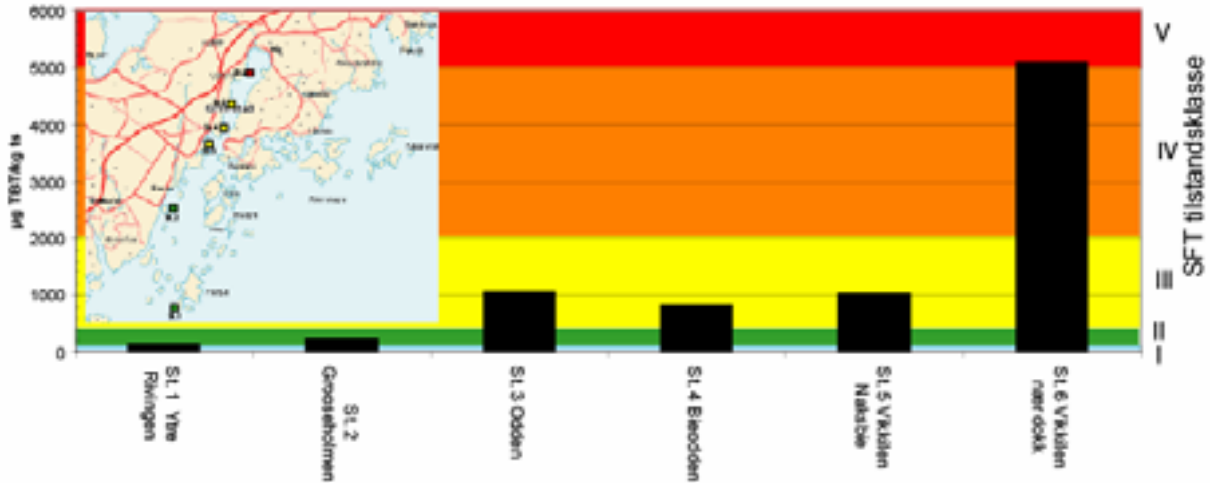
Figur 11. Konsentrasjonen av PAH i overflatesedimentene (0-2 cm).

3.7 Olje

Innhold av olje i sedimentene var relativt lavt. På stasjonene 3, 4, 6, 15 var konsentrasjonen under deteksjonsnivået på 100 µg/g. På stasjonene 8, 12, 13, 14 varierte konsentrasjonene fra 120-160 µg/g. SFT har ikke utviklet tilstandsklasser for denne type forurensning.

4. Resultater fra analyser av blåskjell og standsnegl

Blåskjell fra 6 stasjoner ble samlet inn og analysert for innhold av TBT. Stasjonene ble fordelt slik at de representerer den ytre skjærgården (st.1, Bratte Rivingen), i relativ nærhet av en større småbåthavn (st. 2, Gooseholmen), Grimstad havneområde (st. 3, Odden) og en gradient i Vikkilen fra munningen til nærområdet ved dokka til AS Nymo. Resultatene er vist i **Figur 12**.



Figur 12. Konsentrasjoner av TBT i blåskjell.

Resultatene viser at skjellene fra den ytre skjærgården kun så vidt er over i tilstandsklasse II. På stasjon 2 ved Gooseholmen må skjellene også karakteriseres som moderat forurenset. Det er derfor interessant å merke seg at skjellene fra Oddenområdet, Biødden og Naxbie var svært like og svarende til markert forurenset. Faktisk hadde skjellene fra Odden den høyeste konsentrasjonen av TBT innenfor disse tre stasjonene. I nærområdet til dokka var TBT-konsentrasjonen i skjellene høye og de må karakteriseres som meget sterkt forurenset (tilstandsklasse V).

Intersex-analysene av strandsnegl viste store variasjoner fra ytterst ved Bratte Rivingen til innerst ved Vikkilen. I skadevurderingen er de delt i tre effektklasser, nemlig friske, skadde og sterile (**Tabell 4**).

Tabell 4. Effekter av TBT-forurensning på strandsnegl i Vikkilen/Groosefjorden.

Stasjon	% friske	% skadde	% sterile
St.1, Bratte Rivingen	100	0	0
St.2, Gooseholmen			
St.3, Odden			
St.4, Biødden	60	35	5
St.5, Naxbie	30	20	50
St.6, nær dokk	0	0	100

5. Diskusjon

5.1 Forurensningssituasjonen i sedimentene

Oppsummert kan situasjonen i Vikkilen karakteriseres ved:

Helt lokalt ved dokka og kaia til AS Nymo er det et metallproblem knyttet til kobber, bly og sink. Det samme gjelder også for PAH. PCB-konsentrasjonene er imidlertid lave i hele området.

Hovedproblemet i Vikkilen er knyttet til TBT-forurensningen. Konsentrasjonene er høye, tildels meget høye. Den nedre grensen for at sedimentet skal karakteriseres som meget sterkt forurenset med hensyn på TBT i SFTs klassifiseringssystem, er 100 µg TBT/kg. På ingen av stasjonene var konsentrasjonen i overflatesedimentet ned mot denne verdien. Verdiene varierte fra 600 til høyeste konsentrasjon på ca. 60 000 µg TBT/kg. Det er tidligere målt TBT på en stasjon i indre deler av Vikkilen (Næs og medarb. 2000). Konsentrasjonen var da 2500 µg TBT/kg. Den verdien samstemmer således med undersøkelsene som er gjennomført i 2005. Det er også nylig målt TBT-konsentrasjoner i sedimentene i nærområdet til et 20-tall skipsveft på Vestlandet. Konsentrasjonene var der generelt i området noen tusen µg/TBT/kg med høyeste verdi på 16 000 µg TBT/kg (Uriansrud og medarb. 2004).

5.2 Kilder til forurensningen

Hovedkilen til TBT-forurensningen i Vikkilen er aktivitetene knyttet til AS Nymo. Helt innerst i kilen ligger en liten småbåthavn. Bruk av tinnholdig bunnstoff kan ha representert en liten lokal kilde her. Man skal også merke seg at blåskjell samlet fra Odden (Grimstad havn) hadde like høye konsentrasjoner som skjell fra den indre delen av Vikkilen. Det tyder på at i dagens situasjon representerer generell skipstrafikk, i alle fall i området utenfor Vikkilen, en reell kilde.

5.3 Spredning av forurensete sedimenter

Ut fra forurensningssituasjonen vil spredningen av miljøgifter fra sedimentene i hovedsak være knyttet til TBT-problematikken. Tre prosesser vil være aktuelle, nemlig spredning knyttet til oppvirvling fra skipstrafikk, spredning knyttet til diffusjon (justert for biologisk aktivitet) og spredning knyttet til opptak i fisk. Det finnes ikke stedsspesifikke målinger fra området. Problemstillingene må dermed belyses ut fra det formelverket som foreligger i SFTs veileder for "Risikovurdering av forurenset sediment" (faktaboks 6, 7 og 8) (www.sft.no). Det samstemmer også med at i pålegget til bedriften fra SFT, ble det eksplisitt uttalt at forurensningen i Vikkilen skulle vurderes i lys av den fylkesvise tiltaksplanen mot forurensete sedimenter.

I beregningene for oppvirvling knyttet til skipstrafikk, er det antatt 50 skipsanløp pr. år (opplysninger fra AS Nymo). Den suspenderte fraksjonen av den totale oppvirvlede sedimentmengden er satt til 25 % og organisk karboninnhold til 4 %. Betydningen av skipsoppvirvlingen i forhold til de andre transportprosessene er sterkt avhengig av hvilket areal man betrakter. Dette fremkommer tydelig i **Tabell 5**.

Tabell 5. Spredning av TBT knyttet til skipsoppvirvling, diffusjon og via organismer beregnet ut fra SFTs risikoveileder.

Arealbenevnelse	Areal m x m	Sediment- konsentrasjon µg TBT/kg	Skipsoppvirvling mg/m ² /år	Diffusjon mg/m ² /år	Via organismer mg/m ² /år
Nymo, kainært	50 x 10	10 000	323	295	9
Nymo, generelt	100 x 100	10 000	16	295	9
Nymo, generelt	300 x 300	10 000	1,6	295	9
Vikkilen, utenom Nymo-nært område	2500 x 400	1000	0,16	29,5	0,9

Det fremgår av tabellen at diffusjonen ut av sedimentet er den dominerende transportmekanismen. Kun når det aktuelle arealet hvor man sammenligner prosessene er så lite som 500 m², blir viktigheten av skipsoppvirvlingen tilsvarende den for diffusjonen.

Videre viser tabellen at transporten av TBT fra sedimentet innenfor et areal på 300 m x 300 m (= 90 000 m², karakterisert som Nymo-området), er i samme størrelse som fra resten av Vikkilen med et areal på 2500 m x 400 m. Begge arealene gir en årlig transport av TBT på ca. 30 kg.

Blåskjellene representerer miljøsituasjonen i Vikkilen integrert over uker, mens sedimentene representerer situasjonen integrert over mange år. Blåskjellanalysene viste at skjellene fra Odden, Biødden og Naxbie hadde nær samme konsentrasjon, mens skjellene fanget i nærområdet til dokka hadde betydelig høyere verdier. Det tyder på at det ikke er en stor spredning av forurensede partikler fra dagens aktivitet ved AS Nymo til Vikkilen som helhet. Spredningen må være lokal. Denne konklusjonen stemmer også med beregningene vist i **Tabell 5**.

5.4 Eventuelle tiltak mot spredning

Tiltak for å redusere effektene av de forurensede sedimentene må knyttes til hvilke miljømål man vil stille for Vikkilen som helhet og til eventuelle underområder. Fastsettelse av miljømål er en prosess som involverer problemeier, forurensningsmyndigheter, kommunale myndigheter, interessegrupper, osv. En slik prosess er ikke inkludert i denne rapporteringen. Eventuelle tiltak blir derfor kun diskutert på et mer generelt grunnlag.

Eventuelle tiltak mot spredning kan tenkes gjennomført på to nivåer, nemlig knyttet til aktive utslipp i dag og knyttet til de forurensede sedimentene. Det er i dag forbudt å påføre TBT-holdig bunnmaling på skip, men det er tillatt å ha denne malingstypen på hvis den var påført før 1/1-2005. Det er derfor muligheter for at bedriften fremdeles vil motta skip til reparasjon med TBT-holdig bunnstoff. Imidlertid vil problemet avta siden et forbud om i det hele tatt å ha dette på skip vil tre i kraft innen 1/1-2008.

Spredningen av forurensede partikler vil være knyttet til skipsbevegelser ved kaiene og til heving og senking av dokka. Begrensninger i spredningen knyttet til skipsbevegelser kan løses enten ved mudring eller tildekking i et kainært/dokknært område. Det er etter hvert en generell oppfatning nasjonalt og internasjonalt at mudring for å fjerne forurensning i hovedsak er aktuelt der hvor man i

tillegg trenger øking av seilingsdybden. Etter mudring vil man også sannsynligvis sitte igjen med restkonsentrasjoner i overflatesedimentet som må håndteres, for eksempel med tildekking.

Heving/senking av dokka skjer ved at vann pumpes ut eller inn. De høye konsentrasjonene på stasjonene 8 og 12, kan delvis skyldes denne aktiviteten. Endringer i retningen av pumpevannet vil kunne redusere spredningen.

Videre tiltak mot spredning av TBT vil være knyttet til tiltak for å hindre diffusjonen ut av de forurensede sedimentene. Den mest hensiktsmessige måten å redusere denne transporten på vil sannsynligvis være tildekking av sedimentene. I denne sammenheng må kost-/nytte vurderinger gjøres. Ut fra beregningene i **Tabell 5** vil man kunne redusere transporten av TBT i Vikkilen som helhet med 50 % hvis man dekker til et areal på 300m x 300m i det mest forurensede området. Imidlertid, hvilket ambisjonsnivå man vil ha for miljøtilstanden i Vikkilen, er et forvaltnings spørsmål som myndighetene må ta stilling til. I den sammenheng må også kostnader for eventuelle tiltak vurderes opp mot den miljømessige nytteverdien.

I forbindelse med tiltaksplan for forurensede sedimenter i Oslo havnedistrikt (Oslo kommune 2005) er kostnader ved forskjellige tiltaksalternativer gitt. Følgende enhetspriser er satt opp:

Mudring	kr. 50-100 pr. m ³ (avh. av utnyttelse av kapasitet)
Transport av sediment	kr. 20 pr. m ³ (3-5 km)
Deponering i godkjent deponi	kr. 200-300 pr. tonn (inklusive transport)
Tildekking med leire	kr. 50-200 pr. m ³ (inkl. anskaffelse, transport og utlegging)
Tildekking med sand	kr. 130 pr. m ³ (inkl. anskaffelse, transport og utlegging)
Utlegging av sand	kr. 30 pr. m ³
Byggherre, drift og rigg	15 % av kostnadene for utførelse
Uforusett	20 % av totale kostnader

Beregninger for tiltak i Oslo havn viser altså at kostnader for anskaffelse, transport og utlegging av tildekkingslag for sand beløper seg til 130 kr/m³. Det er et spørsmål om hvilken tykkelse på dekklaget som vil være hensiktsmessig. Tidligere regnet man at en tykkelse på 50 cm var nødvendig. Det er imidlertid oppfatninger nasjonalt og internasjonalt at en slik tykkelse ikke er nødvendig. I dag snakker man ofte om tynnsjikttildekking med et lag på 10-20 cm. På denne måten kan mer kostnadseffektive tiltak gjennomføres. Hvis det skulle gjøres tiltak i Vikkilen på et areal på 300m x 300m med en tildekkingsstykkelse på gjennomsnittlig 30 cm, ville det beløpe seg til i størrelsesorden 4 mill. kroner for anskaffelse, transport og utlegging. Hvis man kunne anskaffe aktuelle masser som har liten kommersiell verdi, ville kostnadene kunne reduseres betydelig.

6. Referanser

Næs, K., J. Knutzen, J. Håvardstun, T. Kroglund, M.C. Lie, J.A. Knutsen, M.L. Wiborg 2000. Miljøgiftundersøkelse i havner på Agder 1997-1998. PAH, PCB, tungmetaller og TBT i sedimenter og organismer. Statlig program for forurensningsovervåking 799/00. NIVA rapport l.nr. 4232-2000.

Oslo kommune, 2005. Helhetlig tiltaksplan for forurensede sedimenter i Oslo havnedistrikt. Høringsutkast, april 2005.

SFT, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. SFT-veiledning 1997:03. TA nr. 1467/1997. 36 s.

F. Uriansrud, A. Helland, S. Øxnevad, M. Schøyen og N. Green, 2004. Miljøgifter i fjorder og kystfarvann, supplerende undersøkelser av havner og skipsverft i Hordaland, Møre og Romsdal og Sør og Nord Trøndelag. NIVA, Toktrapport, Utkast Rev. 1. november 2004.

Vedlegg A. Stasjonsoversikt

Stasjons nr	Dyp (FM)	Dyp (m)	GPS- posisjon, N	GPS- posisjon Ø	Lukt	Farge	Tekstur	Anmerkning
1	13	24,1	58 20,696	8 36,153	Ingen	Olivengrønn overflate, resten grå med grønnskjær	Silt/leire	Noen større skjellrester
2	13,5	25,0	58 20,855	8 36,445	Ingen	Olivengrønn overflate, resten grå med grønnskjær	Silt/leire	
3	10,5	19,4	58 21,086	8 36,578	Ingen	Olivengrønn overflate, resten grå med grønnskjær	Silt/leire	
4	7,8	14,4	58 21,217	8 36,484	Svak lukt av "Gørrsaule" (ikke H2S)	Olivengrønn overflate, resten grå med grønnskjær	Silt/leire	
5	6	11,1	58 21,322	8 36,600	Ingen	Gråsort	Silt/leire	Ikke liv å se
6	6	11,1	58 21,372	8 36,666	Svak lukt av "Gørrsaule" (ikke H2S)	Olivengrønn overflate, resten gråsort	Silt/leire	
7	6	11,1	58 21,419	8 36,720	Moderat lukt av "Gørrsaule" (ikke H2S)	Sort	Silt/leire	Ikke liv å se
8	6,6	12,2	58 21,459	8 36,733	Moderat lukt av "Gørrsaule" (ikke H2S)	Sort	Silt/leire	
9	8,9	16,5	58 21,440	8 36,784	Moderat lukt av "Gørrsaule" (ikke H2S)	Svakt grønnskjær i overflaten (ca 1 mm), gråsort lenger ned silt/leire		
10	9,4	17,4	58 21,387	8 36,785	Ingen lukt	Olivengrønn sedimentoverflate (1mm), resten gråsort	Silt/leire	
11	9,1	16,9	58 21,436	8 36,821	Meget svak lukt av "Gørrsaule" (ikke H2S)	Olivengrønn sedimentoverflate (1mm), resten gråsort	Silt/leire	
12	6,9	12,8	58 21,495	8 36,716	Moderat lukt av "Gørrsaule" (ikke H2S)	Sort	Silt/leire	
13	8,6	15,9	58 21,504	8 36,813	Meget svak lukt av "Gørrsaule" (ikke H2S)	Olivengrønn sedimentoverflate (1mm), resten gråsort	Silt/leire	Noen få stein (1-2 cm) i grabben + levende "kuskjell"?
14	5,9	10,9	58 21,564	8 36,718	Meget svak lukt av "Gørrsaule" (ikke H2S)	Olivengrønn sedimentoverflate (1mm), resten gråsort	Silt/leire	Noen skjell (Corbula gibba) på overflaten - de vi sjekket var døde

Stasjons nr	Dyp (FM)	Dyp (m)	GPS-posisjon, N	GPS-posisjon Ø	Lukt	Farge	Tekstur	Anmerkning
15	8,9	16,5	58 21,475	8 36,893	Ingen	Olivengrønn sedimentoverflate (0-5mm), resten gråsort	Silt/leire	Levende "Echinocardium" ble observert
16	8,9	16,5	58 21,594	8 36,961	Meget svak lukt av "Gørrsaule" (ikke H2S)	Olivengrønn sedimentoverflate (1mm), resten gråsort	Silt/leire	Levende "kuskjell"?
17	7,8	14,4	58 21,648	8 37,087	Ingen	Olivengrønn sedimentoverflate (1mm), resten gråsort	Silt/leire	
18	8,2	15,2	58 21,583	8 36,863	Ingen	Olivengrønn sedimentoverflate (1mm), resten gråsort	Silt/leire	
19	8,1	15,0	58 21,636	8 36,859	Ingen	Olivengrønn sedimentoverflate (1mm), resten gråsort	Silt/leire	
20	4	7,4	58 21,741	8 36,783	Litt lukt av "Gørrsaule" (ikke H2S)	Olivengrønn sedimentoverflate (1mm), resten sort	Silt/leire	
21	4,3	8,0	58 21,706	8 36,756	Litt lukt av "Gørrsaule" (ikke H2S)	Olivengrønn sedimentoverflate (1mm), resten gråsort	Silt/leire	
22	5	9,3	58 21,675	8 36,733	Ingen lukt	Gråsort i hele dybden	Silt/leire	Sedimentet så litt "kunstig" ut
23	5,4	10,0	58 21,651	8 36,748	Lite/ingen lukt (ikke H2S)	Olivengrønn sedimentoverflate (1mm), resten gråsort	Silt/leire	Sedimentet inneholdt også en del stein/rustbiter og døde skjell
24	5,7	10,6	58 21,631	8 36,744	Ingen	Sort	Silt/leire	Mange store biter (sannsynligvis jern/rust)
25	3,4	6,3	58 21,610	8 36,686	Ingen	Sort	Silt/leire	Mange store døde blåskjell-skall
26	3,5	6,5	58 21,575	8 36,681	Svak lukt av "Gørrsaule" (ikke H2S)	Sort/gråsort	Silt/sand	
27	3	5,6	58 21,519	8 36,677	Ingen	Grå	Fin sand	Sandblåasersand?
28	3,9	7,2	58 21,478	8 36,697	Ingen	Olivengrønn sedimentoverflate (1mm), resten sort		
Uten nr. (kalles 29)	3,5	6,5	58 21,576	8 36,683				Fjell/stein, ingen prøve

Vedlegg B. Rådata - sedimenter

Merket	Prøvedyp	Vanndyp	GPS-N	GPS-E	Prøve Tatt	TTS/% % B 3	KORN<63µm % l.v. Intern*	TOC/F µg/mg C TS G 6	Cd/ICP-Sm µg/g E 9-5	Cu/ICP-Sm µg/g E 9-5	Hg-Sm µg/g E 4-3	Pb/ICP-Sm µg/g E 9-5	Zn/ICP-Sm µg/g E 9-5
St.2	0-2	25,0	58 20,855	8 36,445			32	89					
St. 2	0-1	24,0	58 20,696	8 36,153	16.02.2005	20,7	84						
St. 2	1-2	24,0			16.02.2005	26	83						
St. 2	2-3	24,0			16.02.2005	27,7	82						
St. 2	3-4	24,0			16.02.2005	28,4	82						
St. 2	4-5	24,0			16.02.2005	29,9	81						
St. 2	6-7	24,0			16.02.2005	33,8	76						
St. 2	8-9	24,0			16.02.2005	35,5	83						
St. 2	11-12	24,0			16.02.2005	38,3	79						
St. 2	14-15	24,0			16.02.2005	26,8	54						
St. 2	17-18	24,0			16.02.2005	46,2	61						
St. 3	0-2	19,4	58 21,086	8 36,578	08.09.2004	35,3	82	31,1	<0,2	70,2	0,17	43,6	121
St. 4	0-2	14,4	58 21,217	8 36,484	08.09.2004	30,3	89	41,3	0,4	108	0,31	62,7	170
St. 6	0-2	11,1	58 21,372	8 36,666	08.09.2004	38,5	66	37,9	0,4	308	0,25	96,1	317
St. 8	0-2	12,2	58 21,459	8 36,733	08.09.2004	20,7	85	53,1	1,4	2040	0,36	483	2620
St. 12	0-2	12,8	58 21,495	8 36,716	08.09.2004	19	86	55,6	1,9	3530	0,17	386	2680
St. 13	0-2	15,9	58 21,504	8 36,813	08.09.2004	36,3	81	34	0,4	347	0,47	194	619
St. 14	0-2	10,9	58 21,564	8 36,718	08.09.2004	42,6	59	32	0,5	256	0,67	118	393
St. 15	0-2	16,5	58 21,475	8 36,893	08.09.2004	36,7	88	32,1	0,2	112	0,2	54	176
St. 15	0-1	16,0	58 21,485	8 36,893		34,1	84						
St. 15	1-2	16,0				33,9	88						
St. 15	2-3	16,0				34,9	89						
St. 15	3-4	16,0				36,3	87						
St. 15	4-5	16,0				36,3	86						
St. 15	6-7	16,0				43,6	83						
St. 15	8-9	16,0				48,5	79						
St. 15	11-12	16,0				52,2	80						
St. 15	14-15	16,0				53	77						
St. 15	17-18	16,0				50,5	79						
St. 16	0-2	16,5	58 21,594	8 36,961	08.09.2004	33,6	83	36,7	0,3	113	0,24	65,7	213
St. 16	0-1	17,0	58 21,595	8 36,961	16.02.2005	25,4	89						
St. 16	1-2	17,0			16.02.2005	28,2	89						
St. 16	2-3	17,0			16.02.2005	30,8	88						
St. 16	3-4	17,0			16.02.2005	32,4	88						
St. 16	4-5	17,0			16.02.2005	32,8	88						
St. 16	6-7	17,0			16.02.2005	42,1	87						
St. 16	8-9	17,0			16.02.2005	44	85						
St. 16	11-12	17,0			16.02.2005	47,5	86						
St. 16	14-15	17,0			16.02.2005	50,1	85						
St. 16	17-18	17,0			16.02.2005	48,8	86						
St. 20	0-2	7,4	58 21,741	8 36,783	08.09.2004	39,8	65	25,5	0,5	228	0,051	93,1	577
St. 22	0-2	9,3	58 21,675	8 36,733	08.09.2004	72,4	65	4,3	<0,2	60,7	0,008	57,7	286
St. 24	0-2	10,6	58 21,631	8 36,744	08.09.2004	66,7	21	7,6	9,69	1690	0,04	3980	23500
St. 26	0-2	6,5	58 21,575	8 36,681	08.09.2004	43,2	26	22,1	2,2	1010	0,035	592	1930

NIVA 5040-2005

Markert	CB52-Sm µg/kg t.v. H 3-3	CB101-Sm µg/kg t.v. H 3-3	CB118-Sm µg/kg t.v. H 3-3	CB153-Sm µg/kg t.v. H 3-3	CB138-Sm µg/kg t.v. H 3-3	CB180-Sm µg/kg t.v. H 3-3	Sum PCB µg/kg t.v. Beregnet*	Seven Dutch µg/kg t.v. Beregnet*	NAP-Sm µg/kg t.v. H 2-3	ACNLE-Sm µg/kg t.v. H 2-3	ACNE-Sm µg/kg t.v. H 2-3	FLE-Sm µg/kg t.v. H 2-3
St. 2												
St. 2												
St. 2												
St. 2												
St. 2												
St. 2												
St. 2												
St. 2												
St. 2												
St. 2												
St. 3	0,35	0,56	0,58	i	0,84	0,21	2,84	2,84	26	5,2	17	16
St. 4	0,61	0,99	0,99	i	1,7	1,4	6,42	6,42	63	22	49	55
St. 6	1,1	2,9	2,1	i	5,6	7,7	20,2	20,2	65	28	140	90
St. 8	2,1	2,6	2,5	i	2,5	1,2	12,3	12,3	97	31	690	330
St. 12	1,2	1,6	1,4	i	1,7	0,64	8,04	8,04	120	31	420	250
St. 13	4,5	6	5,5	i	7,2	2,6	27,4	27,4	270	16	190	120
St. 14	4,3	6,6	5,8	i	6,8	2,2	26,8	26,8	91	30	61	95
St. 15	0,44	0,85	0,79	i	1,5	0,92	4,85	4,85	26	6,3	38	31
St. 15												
St. 15												
St. 15												
St. 15												
St. 15												
St. 15												
St. 15												
St. 15												
St. 15												
St. 15												
St. 16	0,48	0,87	1	i	1,3	0,84	4,94	4,94	36	10	46	35
St. 16												
St. 16												
St. 16												
St. 16												
St. 16												
St. 16												
St. 16												
St. 16												
St. 16												
St. 16												
St. 20	<0,2	0,39	0,3	i	0,47	0,25	1,62	1,62	19	5,8	100	82
St. 22	0,34	0,42	0,56	i	0,44	0,25	2,01	2,01	6,4	<1	20	15
St. 24	0,22	0,37	0,33	i	0,53	0,2	1,65	1,65	37	9,7	170	81
St. 26	0,48	0,89	0,79	i	0,99	0,36	3,81	3,81	12	3,8	45	35

NIVA 5040-2005

Merket	ANT-Sm µg/kg t.v. H 2-3	FLU-Sm µg/kg t.v. H 2-3	PYR-Sm µg/kg t.v. H 2-3	BAA-Sm µg/kg t.v. H 2-3	CHRTR-Sm µg/kg t.v. H 2-3	BBF-Sm µg/kg t.v. H 2-3	BKF-Sm µg/kg t.v. H 2-3	BAP-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
St 2											
St. 2											
St. 2											
St. 2											
St. 2											
St. 2											
St. 2											
St. 2											
St. 2											
St. 2											
St. 2											
St. 3	41	400	340	200	220	220	230	210	240	48	200
St. 4	160	1500	1200	730	760	730	720	760	640	190	620
St. 6	200	1800	1500	960	1100	920	1100	1000	750	220	720
St. 8	390	4200	4700	2300	3000	2300	2800	2600	1700	600	1700
St. 12	400	5000	3700	2100	2500	2100	2300	2000	1600	490	1500
St. 13	150	1500	1500	770	1100	900	1100	970	670	230	770
St. 14	280	1100	980	560	590	630	570	620	510	150	450
St. 15	44	450	380	220	260	220	260	260	280	70	250
St. 15											
St. 15											
St. 15											
St. 15											
St. 15											
St. 15											
St. 15											
St. 15											
St. 15											
St. 15											
St. 15											
St. 15											
St. 16	57	580	490	280	340	350	340	320	340	79	310
St. 16											
St. 16											
St. 16											
St. 16											
St. 16											
St. 16											
St. 16											
St. 16											
St. 16											
St. 16											
St. 20	160	1200	870	540	610	520	520	500	430	120	380
St. 22	16	130	92	55	68	47	53	44	46	12	42
St. 24	62	840	630	280	490	320	340	280	230	61	230
St. 26	43	500	380	220	290	210	230	210	170	43	160

NIVA 5040-2005

Markert	Sum KPAH µg/kg t.v. Beregnet*	Sum PAH SFT	Sum NPD µg/kg t.v. Beregnet*	MBT-Sm µg MBT/kg H 14-1*	DBT-Sm µg DBT/kg H 14-1*	TBT-Sm µg TBT/kg H 14-1*	MPhT-Sm µg MPhT/kg H 14-1*	DPhT-Sm µg DPhT/kg H 14-1*	TPhT-Sm µg TPhT/kg H 14-1*	Olje/GC-Sm µg/g t.v. Intern*
St. 2					390	590	1800	i	7,2	42
St. 2				330	240	1200	25	4,8	i	
St. 2				420	410	1400	150	55	i	
St. 2				390	400	1500	64	13	i	
St. 2				380	460	1500	82	31	i	
St. 2				360	350	1500	64	23	i	
St. 2				210	290	1100	47	17	8,1	
St. 2				210	330	1000	53	19	7,3	
St. 2				140	190	590	44	16	5,4	
St. 2				89	95	380	20	8,1	2,8	
St. 2				41	47	160	i	i	i	
St. 3	1148	2527,2	166	210	230	760	37	24	25	<100
St. 4	3770	8726	653	210	300	s950	37	17	25	<100
St. 6	4950	11228	765	s1400	s2700	s16000	300	150	400	<100
St. 8	12300	29441	2197	s890	s4400	s54000	810	820	1100	120
St. 12	10590	26091	1820	s1000	s6900	s63000	310	580	1000	160
St. 13	4640	10856	1140	s1000	s1700	s18000	s990	610	s920	120
St. 14	3040	7296	761	500	s1200	s16000	76	33	110	160
St. 15	1310	2969,3	226	260	570	s3600	73	55	190	<100
St. 15				2100	2800	s7800	300	35	170	
St. 15				1300	2000	s6400	170	19	200	
St. 15				1500	2700	s7000	99	19	320	
St. 15				1700	3400	s6200	i	8,3	220	
St. 15				780	2300	s8900	i	17	1500	
St. 15				720	1400	s5700	380	81	160	
St. 15				590	1100	2800	i	7	110	
St. 15				260	490	1400	39	4,6	49	
St. 15				210	350	720	54	8,1	66	
St. 15				210	280	540	62	21	53	
St. 16	1709	3837	296	320	500	s3600	95	35	71	<100
St. 16				610	940	3800	70	i	19	
St. 16				420	950	3900	49	i	25	
St. 16				350	810	4300	88	4,2	29	
St. 16				300	700	3600	49	2,5	15	
St. 16				460	890	3600	110	8,2	28	
St. 16				250	550	2500	54	4,3	42	
St. 16				160	350	910	41	3,6	6,8	
St. 16				59	130	330	i	1,8	23	
St. 16				43	92	200	i	2	4,3	
St. 16				43	94	200	i	<1	2,8	
St. 20	2630	6617,8	599	240	s760	s7500	120	120	340	<100
St. 22	257	712	78,4	100	100	s800	74	11	44	<100
St. 24	1511	4573,7	587	110	310	s5100	120	23	94	100
St. 26	1083	2759,8	232	s600	s1300	s17000	120	130	s620	100

Vedlegg C. Rådata - blåskjell

Merket	Prøve Tatt	GPS-N	GPS-E	TTS/%	MBT-B	DBT-B	TBT-B	MPhT-B	DPhT-B	TPhT-B
				% B 3	µg MBT/kg H 14-2*	µg DBT/kg H 14-2*	µg TBT/kg H 14-2*	µg MPhT/kg H 14-2*	µg DPhT/kg H 14-2*	µg TPhT/kg H 14-2*
St. 1 Ytre Rivingen	27.01.2005	58 18,105	8 35,144	14,6	<1	3,2	20	<1	<1	<1
St. 2 Gooseholmen	27.01.2005	58 19,242	8 34,939	12,9	<1	5,5	29	<1	<1	<1
St. 3 Odden	27.01.2005	58 20,405	8 35,704	17,1	1,5	35	180	<1	<1	<1
St. 4 Bieodden	27.01.2005	58 20,578	8 36,147	18,1	1,6	34	150	<1	<1	<1
St. 5 Vikkilen Naksbie	27.01.2005	58 21,047	8 36,333	12,7	1,6	20	130	2,8	<1	<1
St. 6 Vikkilen nær dokk	27.01.2005	58 21,460	8 36,694	16,7	27	250	850	<1	<1	<1

Alle analyseverdier for blåskjell er oppgitt som våtvekt

Vedlegg D. Dateringer

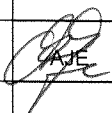
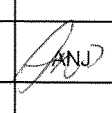
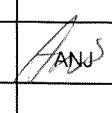
**^{210}Pb -datering af tre sedimentkerner
fra Vikkilen og Grimstad, Norge**

²¹⁰Pb-datering af tre sedimentkerner fra Vikkilen og Grimstad, Norge

April 2005

Agern Allé 11
DK-2970 Hørsholm, Denmark

Tlf: +45 4516 9200
Fax: +45 4516 9292
Afd. fax:
E-mail: dhi@dhi.dk
Web: www.dhi.dk

Klient NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING		Klientens repræsentant Kristoffer Næs			
Projekt ²¹⁰ Pb-datering af tre sedimentkerner fra Vikkilen og Grimstad, Norge		Projekt nr. 91340			
Forfattere Arne Jensen		Dato 18. april 2005			
		Godkendt af Anders Jensen			
1	Endelig rapport				4/18-05
Revision	Beskrivelse	Udført	Kontrolleret	Godkendt	Dato
Nøgleord ²¹⁰ Pb-datering Sediment Vikkilen og Grimstad Norge		Klassifikation <input type="checkbox"/> Åben <input type="checkbox"/> Intern <input checked="" type="checkbox"/> Tilhører klienten			
Distribution NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING: DHI:				Antal kopier PDF 2	
				Kristoffer Næs AJE, Bibliotek	



INDHOLDSFORTEGNELSE

1	INDLEDNING	1-1
2	ANALYSEMETODE	2-1
3	DATERING OG BESTEMMELSE AF AKKUMULATIONS-RATER.....	3-1
3.1	Vægtet lineær regression	3-1
3.2	CIC-metoden.....	3-2
3.3	CRS-metoden	3-2
3.4	Korrigeret CRS-metode.....	3-3
3.5	Valg af den rette dateringsmetode	3-4
3.6	Beregning af akkumulationsrater.....	3-4
3.7	Estimation af diffusionsrater for ^{210}Pb i sedimentet	3-4
4	RESULTATER OG KOMMENTARER	4-1
4.1	Resultater	4-1
4.2	Kommentarer	4-2
4.2.1	Generelle kommentarer.....	4-2
4.2.2	Specifikke kommentarer til dateringen fra Drammensfjorden st. SOL.....	4-2
4.2.3	Specifikke kommentarer til dateringen fra Drammensfjorden st. DSV.....	4-4
4.2.4	Specifikke kommentarer til dateringen fra Drammensfjorden st. Lierstranda	4-6
5	ÆNDRINGER I FORURENINGSBELASTNINGEN	5-7
6	KONKLUSION	6-1
7	REFERENCER	7-1

BILAG

A	Rådata for sedimentet fra Grimstad st. nr. 2
B	Rådata for sedimentet fra Vikkilen st. nr. 15
C	Rådata for sedimentet fra Vikkilen st. nr. 16



1 INDLEDNING

DHI – Institut for Vand og Miljø har for Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA), Kristoffer Næs, foretaget bly-210 (^{210}Pb) datering af tre sedimentkerner fra Vikkilen og Grimstad. Formålet med undersøgelsen var at bestemme sedimentets alder og sedimentakkumulationsraten ($\text{g m}^{-2} \text{år}^{-1}$) samt at undersøge eventuelle forstyrrelser i de øverste sedimentlag (blandingsdybden). Kernerne blev opskåret af rekvirenten i 1,0 til 2,0 cm tykke skiver afhængig af lokaliteten. DHI modtog de udskårne tørrede prøver sammen med oplysninger om tørstofindholdet og saliniteten ved havbunden.

^{210}Pb isotopen i sedimenter hidrører dels fra atmosfærisk deposition (unsupported ^{210}Pb) og dels fra radioaktiv henfald af radon i sedimentet (supported ^{210}Pb). ^{210}Pb -isotopen tilføres atmosfæren ved henfald af radon (^{222}Rn), som diffunderer ud af jorden. Disse isotoper er en del af urans (^{238}U) henfaldskæde. ^{210}Pb isotopen har en halveringstid på 22,3 år. Baggrundsværdien for ^{210}Pb bestemmes ud fra mængden af supported ^{210}Pb , som er uafhængig af sedimentationen. Bestemmelsen af supported ^{210}Pb sker fra de dybere lag i sedimentet, hvor koncentrationen er konstant, idet al unsupported ^{210}Pb er henfaldet. Alderen af en sedimentkerne og sedimentakkumulationsraten bestemmes ved måling af ^{210}Pb -aktiviteten i forskellige sedimentlag



2 ANALYSEMETODE

^{210}Pb måles i sedimentskiverne ved α -spektrometri på DHI. I ca. 10 sedimentskiver (normalt 1-2 cm tykkelse) jævnt fordelt ned igennem sedimentkernen måles ^{210}Pb -aktiviteten indirekte ved at måle aktiviteten af ^{210}Po (polonium) med α -spektrometri. Det tørrede sediment (ca. 0,5 g) destrueres med en blanding af salt- og salpetersyre, hvorefter ^{210}Po elektrolyseres over på en sølvplade. ^{210}Po -aktiviteten på sølvpladerne måles derefter ved α -spektrometri. Alle prøverne bliver tilsat ^{208}Po for at bestemme det kemiske udbytte. Kalibreringen udføres ved at behandle en ^{210}Pb -standard på samme måde som prøverne. ^{210}Pb -aktiviteten forudsættes at være i ligevægt med ^{210}Po -aktiviteten. Den anvendte metode er beskrevet i ref. /1/.



3 DATERING OG BESTEMMELSE AF AKKUMULATIONS-RATER

Ud fra aktivitetsprofilen af unsupported ^{210}Pb i sedimentkernen bestemmes alderen af de forskellige sedimentlag under den forudsætning, at ^{210}Pb ikke er mobilt i sedimentkernen. Der anvendes flere forskellige metoder til dateringen, som bygger på lidt forskellige antagelser. Der beregnes desuden et skøn for usikkerheden på dateringerne. Akkumulationsraterne beregnes ud fra dateringerne. Alle beregninger er udført på tørstofbasis korrigeret for saltindhold ud fra saliniteten på prøvetagningslokaliteten.

3.1 Vægtet lineær regression

Den første metode antager både, at sedimentationsraten er konstant, og at koncentrationen af ^{210}Pb i det aflejrede sediment er konstant. Dette medfører desuden, at fluxen af ^{210}Pb er konstant. Hvis dette er tilfældet, gælder der at

$$A_i = A_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t_i) \Leftrightarrow \\ t_i = \frac{\ln(A_0) - \ln(A_i)}{\lambda} \quad ,$$

hvor

A_i = aktiviteten i det i 'te lag (dpm g^{-1})

λ = henfaldskonstanten for ^{210}Pb

t_i = henfaldstiden.

Samtidig gælder, at

$$\ln(A_i) = \alpha + \beta \cdot (M_i - \tilde{M}),$$

hvor

M_i = massedybden (g cm^{-2})

\tilde{M} = et vægtet gennemsnit af M_i , altså en konstant.



Sættes dette ind i ovenstående fås, at

$$t_i = \frac{-\beta \cdot M_i}{\lambda},$$

Parametrene α og β estimeres ved hjælp af en variansvægtet lineær regressionsmetode. Varianserne på de enkelte målinger sættes i første omgang lig med tælleusikkerhederne, og variansen på $\ln(A_i)$ beregnes ud fra formlen

$$V(f(X)) \approx \left(\frac{\partial f}{\partial X} \right)^2 \cdot V(X) \Rightarrow$$
$$V(\ln(A_i)) \approx \frac{V(A_i)}{A_i^2}$$

Det antages, at der ud over tælleusikkerheden også er et variansbidrag fra andre fejlkilder, V_o , på den enkelte måling af $\ln(A_i)$, som er ens for alle målinger. Denne størrelse estimeres ud fra målingernes afvigelser fra regressionslinien. Herefter foretages den lineære regression på ny med de nye variansvægte. Proceduren gentages, indtil en stabil værdi for V_o er fundet. Det skal bemærkes, at hvis en eller begge antagelserne for brug af metoden ikke er opfyldt, vil dette resultere i et forøget estimat af V_o .

3.2 **CIC-metoden**

Den anden metode antager, at koncentrationen af unsupported ^{210}Pb i det deponerende stof er konstant med tiden for lokaliteten, dvs. at sedimentationsraten kan variere med tiden. Dette kaldes CIC-metoden (Constant Initial Concentration). Der fås, at

$$t_i = \frac{\ln(A_0) - \ln(A_i)}{\lambda}.$$

3.3 **CRS-metoden**

Den tredje metode antager, at fluxen til sedimentet af unsupported ^{210}Pb er konstant med tiden for lokaliteten, dvs. at sedimentationsraten, og dermed koncentrationen af ^{210}Pb i det aflejrede sediment, kan variere. Dette kaldes CRS-metoden (Constant Rate of Supply). Der fås, at



$$t_{i=} = \frac{\ln\left(\int_0^{\infty} A \cdot dM\right) - \ln\left(\int_{M_i}^{\infty} A \cdot dM\right)}{\lambda},$$

I øvrigt henvises der til ref. /1/ for en nærmere beskrivelse af CIC og CRS-metoderne.

Integralerne beregnes ud fra de målte værdier ved hjælp af trapez-integration. $A(0)$ sættes lig med $A(M_I)$. I praksis antages det, at integralet til det dybest målte lag, M_N , er tilnærmelsesvis lig integralet til uendelig dybde. Dette har dog den beregningsmæssige ulempe, at alderen går mod uendelig, når M går mod M_N , og derfor estimerer CRS-metoden alderen til at være større i de dybere lag end de andre metoder.

3.4 **Korrigeret CRS-metode**

For at korrigere for det ovenstående problem, er det nødvendigt at estimere

$$\int_{M_N}^{\infty} A \cdot dM.$$

Dette kan gøres på grundlag af den første metode, den vægtede lineære regression. Her bliver variansvægtningen dog foretaget på grundlag af tælleusikkerhederne alene, dvs. V_0 sættes til nul. Dette gøres, fordi der ikke længere antages at være en lineær sammenhæng mellem $\ln(A_i)$ og M_i , og V_0 blev estimeret ud fra afvigelserne fra regressionslinien. Integralet udregnes som

$$\begin{aligned} A_i &= \exp(\alpha + \beta \cdot (M_i - \tilde{M})) \Rightarrow \\ \int_{M_N}^{\infty} A \cdot dM &= \int_{M_N}^{\infty} \exp(\alpha + \beta \cdot (M_i - \tilde{M})) dM = \\ &= \frac{-\exp(\alpha + \beta \cdot (M_i - \tilde{M}))}{\beta} \end{aligned}$$

Bemærk, at β er negativ (ensbetydende med faldende aktivitet ned gennem sedimentet).



3.5 Valg af den rette dateringsmetode

Hver enkelt dateringsmetode bygger på nogle forudsætninger, som kan være mere eller mindre i overensstemmelse med virkeligheden.

Hvis der gælder, at både sedimentationsraten er konstant, og at fluxen af ^{210}Pb ned i sedimentet er konstant, vil den lineære regressionsmetode være den bedste. Den har den fordel frem for de andre metoder, at alle målinger bruges til datering af hvert enkelt lag, og at de vægtes efter deres skønnede varians. Desuden gives der et skøn for variansen af målingerne ud over tælleusikkerheden. Variansskøn i forbindelse med de andre metoder bygger udelukkende på tælleusikkerhederne.

Hvis kun én af de to forudsætninger anført ovenfor er opfyldt, kan CIC eller CRS-metoden anvendes. Fordelen ved disse metoder er således, at de hver især kun kræver én af de to forudsætninger for brug af den lineære regressionsmetode. Under de fleste forhold vil antagelsen om, at fluxen af ^{210}Pb ned i sedimentet er konstant (CRS-metoden), være den mest rimelige, da ^{210}Pb tilføres fra atmosfæren i rimeligt konstante mængder. CRS-metoden er derfor også den mest almindeligt anvendte.

Den modificerede CRS-metode kan korrigere for en systematisk fejl ved den traditionelle CRS-metode, men kun under den forudsætning, at skønnet for den resterende integrerede aktivitet er rimeligt, hvilket igen forudsætter, at betingelserne for brug af den lineære regressionsmetode er tilnærmelsesvist opfyldt.

Man må bruge den tilgængelige viden om lokaliteten for prøvetagningen og kigge på data for at vurdere hvilken metode, der er den mest rimelige i de enkelte tilfælde.

3.6 Beregning af akkumulationsrater

Når datering af sedimentet er foretaget, beregnes middelakkumulationsraten (R som $\text{g tørstof cm}^{-2} \text{år}^{-1}$) mellem massedybden M_i og M_{i+1} som

$$R = \frac{M_{i+1} - M_i}{t_{i+1} - t_i}.$$

Usikkerheden kan beregnes ud fra usikkerheden på dateringerne.

3.7 Estimation af diffusionsrater for ^{210}Pb i sedimentet

Alle de ovenfor anførte dateringsmetoder forudsætter, at ^{210}Pb ikke er mobilt i sedimentet, dvs. at der ikke forekommer hverken diffusion eller opblanding i sedimentet. Hvor godt denne forudsætning er opfyldt, kan testes med den nedenstående diffusionsmodel. Modellen giver desuden yderligere et skøn for sedimentationsraten, der, ligesom for den lineære regressionsmodel, antages at være konstant med tiden for lokaliteten.



Fordelingen af unsupported ^{210}Pb i en sedimentkerne kan matematisk beskrives ved advektions-diffusionsligningen:

$$(1) \quad \frac{\partial A}{\partial t} = D \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} - \omega \frac{\partial A}{\partial z} - \lambda A$$

hvor

A = aktiviteten af ^{210}Pb (dpm g^{-1})

D = blandingskoefficient ($\text{cm}^2 \text{år}^{-1}$)

z = dybde fra overfladen (cm)

ω = lineær akkumulationsrate (cm år^{-1})

λ = henfaldskonstanten for ^{210}Pb (år^{-1})

t = tiden (år)

Denne ligning løses, idet man forudsætter stationære sedimentationsforhold ($dA/dt = 0$). Blandingsintensiteten D antages at følge en halv gaussisk fordeling, ref. /2/:

$$(2) \quad D = D_0 e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}}$$

hvor D_0 er blandingsintensiteten i sedimentoverfladen og σ er den effektive blandingsdybde. Blandingsparametrene er fundet ved at optimere løsningen af ligning (1) i forhold til det målte ^{210}Pb profil.



4 RESULTATER OG KOMMENTARER

4.1 Resultater

Bilag A, B og C viser alle resultaterne, som anvendes til dateringsberegningerne, inkl. bestemmelserne af ^{210}Pb . Disse resultater anvendes til at gennemregne alle modellerne, som er beskrevet i kapitel 3. Der foretages en detaljeret vurdering af de opnåede modelresultater set i lyset af kendskabet til prøvetagningslokaliteten. På dette grundlag vælges den model, som bedst beskriver alderen af sedimentet samt akkumulationsraten af sedimentet. Disse resultater beskrives i det følgende.

Tabel 4.1 Antal snit af kernen inkluderet i beregningerne

Stationsnavn og nr.	Bilagsnr.	Antal snit inkl. model	Antal snit ekskl. i modeloptimering
Grimstad st. nr. 2	A	15 cm	0 - 2 cm
Vikkilen st. nr. 15	B	9 cm	0 - 2 cm
Vikkilen st. nr. 16	C	12 cm	0 - 4 cm

Tabel 4.2 Akkumulationsrater, blandingskoefficient, effektiv og reel blandingsdybde

Stationsnavn og nr.	Masseakkumulationsrate $\text{g m}^{-2} \text{år}^{-1} \pm \text{s.d.}$ (% CV)	Lineær akkumulationsrate mm år^{-1} (dybde 0-2 cm)	Blandingskoefficient $\text{cm}^2 \text{år}^{-1}$	Effektiv blandingsdybde-model cm	Reel blandingsdybde cm	Kvalitet af datering
Grimstad st. nr. 2	1.683 ± 251 (15)	6,6	525	1,7	3,4-5,1	**
Vikkilen st. nr. 15	550 ± 74 (13)	1,4	43	0,9	1,8-2,7	***
Vikkilen st. nr. 16	410 ± 8 (2)	1.4	12	1.6	3,2-4,8	***

s.d. = standard deviation *** fin datering, ** rimelig datering, *dårlig datering

I figurerne 4.2, 4.5 og 4.8 er vist dels de målte koncentrationer af ^{210}Pb (unsupported ^{210}Pb) og dels den optimerede løsning af ligning (1), (afsnit 3.7), for sedimentkernen som funktion af massedybden (g cm^{-2}). Løsningen af ligning (1) er baseret på det antal snit, som er vist i tabel 4.1. Meget ofte er den øverste del af sedimentsøjlen opblandet på grund af bioturbation. Opblanding kan også være forårsaget af det anvendte prøvetagningsudstyr. For at opnå den optimale modelløsning kan der derfor være udelukket



nogle af de øverste snit i modelberegningerne. Dette bevirker, at akkumulationsraten bestemmes på snittene derunder. Blandingskoefficienten, D_0 , og den effektive blandingsdybde, σ , bestemmes ved en iterativ beregning over hele sedimentsøjlen. Tabel 4.2 giver en oversigt over de opnåede resultater.

4.2 **Kommentarer**

4.2.1 **Generelle kommentarer**

Ved konstant sedimentationsrate bør sammenhængen imellem unsupported ^{210}Pb som funktion af massedybden være lineær (figur 4.2, 4.5 og 4.8). Er dette tilfældet, kan resultaterne af dateringen tolkes med relativ stor sikkerhed, idet dette normalt bevirker, at der findes en god sammenhæng imellem sedimentets dybde og alder (figur 4.3, 4.6 og 4.9).

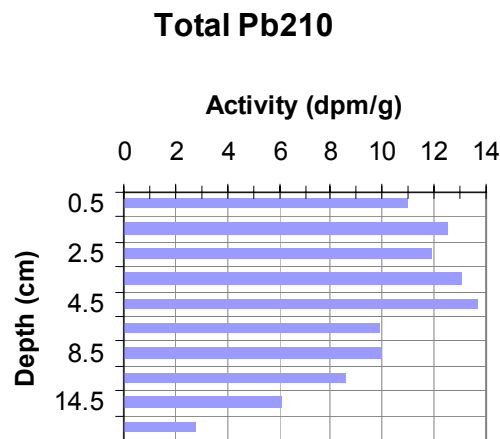
Den optimale løsning til steady state modellen (figur 4.2, 4.5 og 4.8) passer normalt med de målte værdier af unsupported ^{210}Pb . Når dette er tilfældet beskriver den beregnede akkumulationsrate derfor sedimentationen i den anførte tidsperiode. Afvigelser fra den lineære sammenhæng ses ofte i den øverste del af profilet og indikerer forstyrrelser i sedimentoverfladen, f.eks. bioturbation. Normalt, findes en lineær sammenhæng under den forstyrrede zone. Sedimentakkumulationsraten ($\text{g tørstof m}^{-2} \text{ år}^{-1}$) beregnes på den lineære, uforstyrrede del af kernen.

I alders/dybdeprofilerne (figur 4.3, 4.6 og 4.9) ses normalt en lineær akkumulationsrate i den øverste del af sedimentkernen med en meget lille standardafvigelse på de estimerede aldre (de vandrette linier viser 95% prædiktionsinterval). Hældningen ændres normalt i den dybere del af sedimentkernen samtidigt med, at standardafvigelsen stiger.

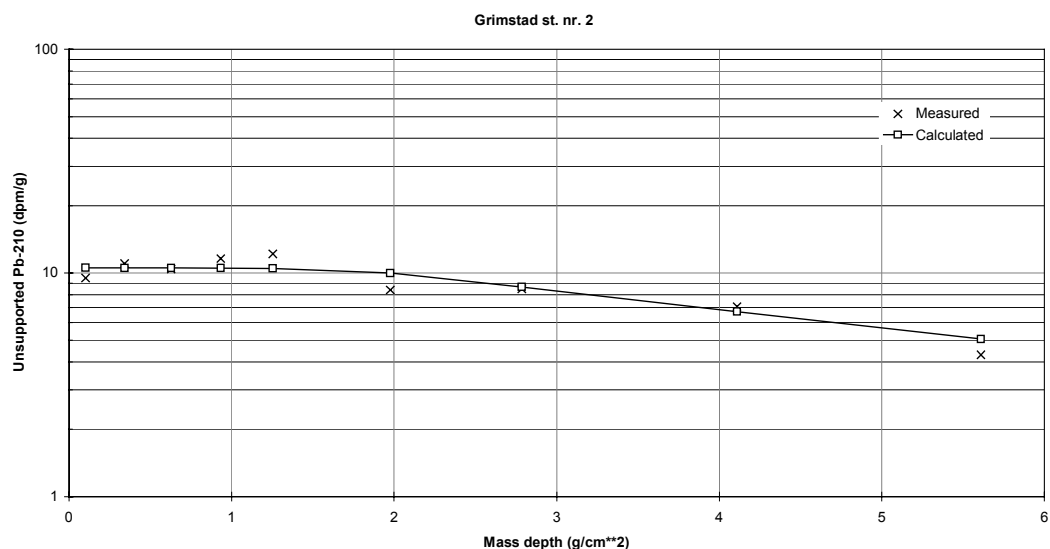
4.2.2 **Specifikke kommentarer til dateringen fra Grimstad st. nr. 2**

Figur 4.1 viser et noget varierende ^{210}Pb indhold i de øverste 3-4 cm, hvorefter indholdet falder ned igennem sedimentsøjlen. Dateringen er udført på hele søjlen; men med udelukkelse af de øverste to cm.

Af figur 4.2 ses det, at de observerede værdier spreder sig noget omkring den tilpassede steady state model af sedimentationsforholdene og med en lav hældningskoefficient. Den beregnede akkumulationsrate ($1.683 \text{ g/m}^2/\text{år}$) beskriver sedimentationen i den anførte tidsperiode med en variationskoefficient på 15 %. Der er stor opblanding i den øverste del af sedimentsøjlen, idet den effektive blandingsdybde er 1,7 cm med en høj blandingskoefficient. Da blandingsdybden er beregnet som en halv gaussisk fordeling, svarer opblandingen til 3,4 - 5,1 cm dybde.

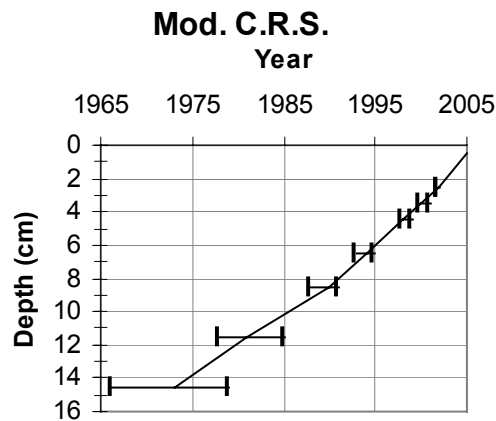


Figur 4.1 Totalindholdet af ^{210}Pb ned igennem sedimentsøjlen – Grimstad st. nr. 2



Figur 4.2 Grimstad st. nr. 2 - unsupported ^{210}Pb som funktion af massedybden

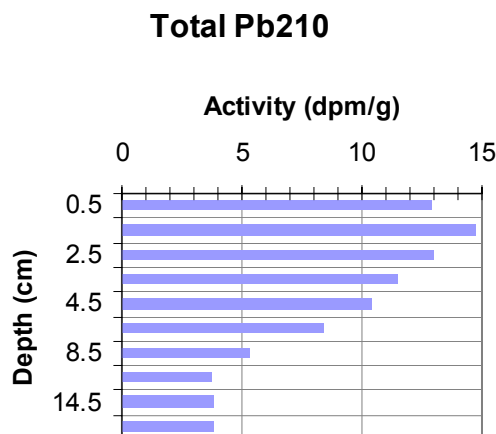
Figur 4.3 viser alderen på sedimentkernen som funktion af dybden bestemt ved den modificerede CRS-metode. På de dybeste snit er der en meget stor usikkerhed på aldersbestemmelsen. Da der er en fin lineær sammenhæng imellem dybden og alderen som vist i figur 4.3, kan alderen beregnes ned igennem kernen; men det forudsætter, at sedimentationsforholdene ikke har ændret sig i den beregnede tidsperiode. Dateringen betragtes som rimelig på grund af den kraftige opblanding i den øverste del af sedimentsøjlen.



Figur 4.3 Grimstad st. nr. 2 – sediments alder som funktion af dybden (cm) med 95% prædiktionsinterval. Lineær sammenhæng imellem dybde og alder: $Dybde = -0,428 \cdot alder + 859,38$. $R^2 = 0,9887$.

4.2.3 Specifikke kommentarer til dateringen fra Vikkilen st. nr. 15

Figur 4.4 viser et jævnt faldende indhold af ^{210}Pb ned igennem sedimentsøjlen bortset fra 0-1 cm og med konstant indhold i den nederste del, hvilket svarer til supported ^{210}Pb . Opblanding i den øverste del forekommer ofte.

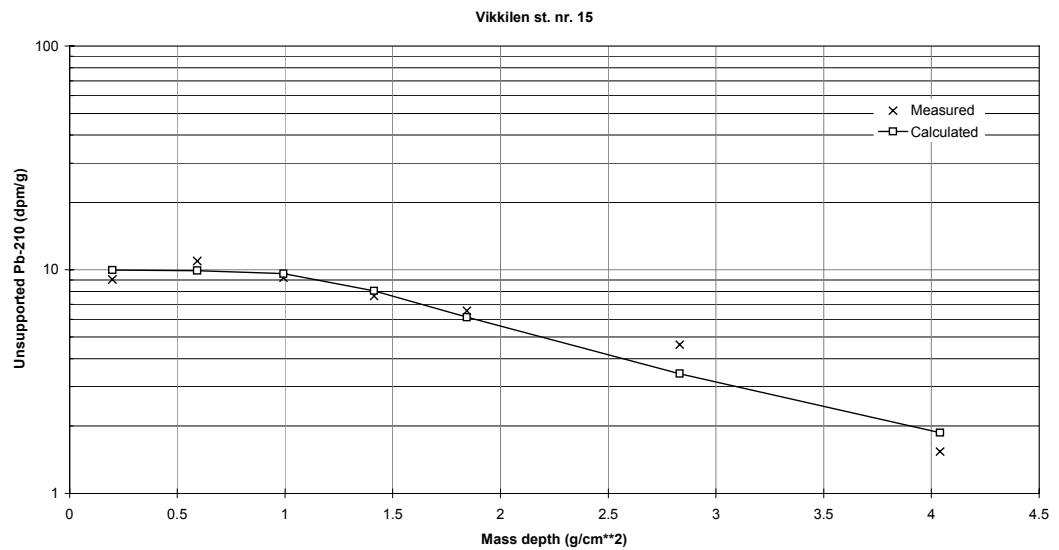


Figur 4.4 Totalindholdet af ^{210}Pb ned igennem sedimentsøjlen – Vikkilen st. nr. 15

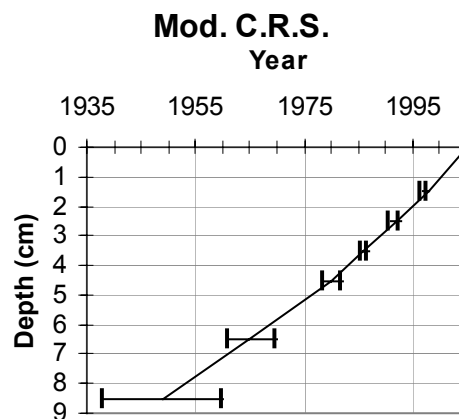
Af figur 4.5 ses det, at de observerede værdier passer med den tilpassede steady state model af sedimentationsforholdene med nogen spredning om regressionslinien. Den beregnede akkumulationsrate ($550 \text{ g/m}^2/\text{år}$) beskriver sedimentationen med en variationskoefficient på 14 %. Der er nogen opblanding i den øverste del af sedimentsøjlen, idet den effektive blandingsdybde er 0,9 cm med en høj blandingskoefficient. Da blandings-



dybden er beregnet som en halv gaussisk fordeling, svarer opblandingen til 1,8-2,7 cm dybde.



Figur 4.5 Vikkilen st. nr. 15 - unsupported ²¹⁰Pb som funktion af massedybden



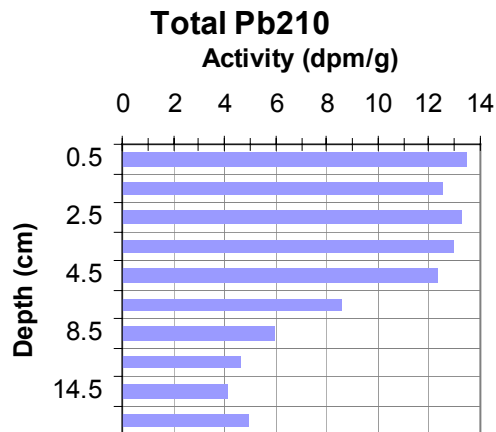
Figur 4.6 Vikkilen st. nr. 15 - sediments alder som funktion af dybden (cm) med 95% prædiktionsinterval. Lineær sammenhæng imellem dybde og alder: $Dybde = -0,1493 \cdot alder + 299,8$. $R^2 = 0,991$.

Figur 4.6 viser alderen på sedimentkernen som funktion af dybden bestemt ved den modificerede CRS-metode. På de dybeste snit er der en meget stor usikkerhed på aldersbestemmelsen. Da der er en fin lineær sammenhæng imellem dybden og alderen som vist i figur 4.6, kan alderen beregnes ned igennem kernen; men det forudsætter, at sedimentationsforholdene ikke har ændret sig i den beregnede tidsperiode. Dateringen betragtes som værende fin, selv om der er kraftig opblanding i den øverste del af sedimentsøjlen.



4.2.4 Specifikke kommentarer til dateringen fra Vikkilen st. nr. 16

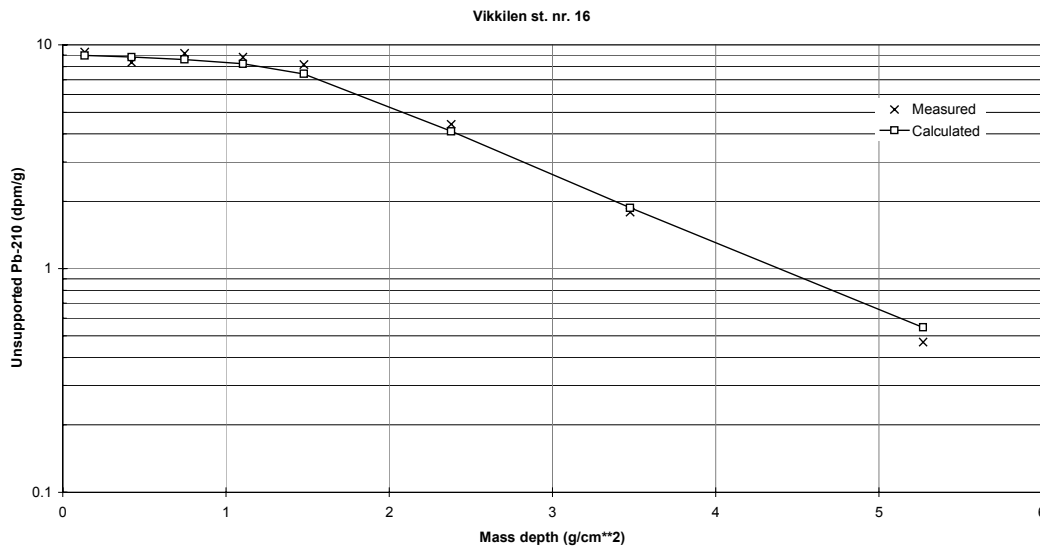
Figur 4.7 viser et noget varierende ^{210}Pb indhold i de øverste 3-4 cm, hvorefter indholdet falder ned igennem sedimentsøjlen til konstant niveau i den nederste del, hvilket svarer til supported ^{210}Pb . Dateringen er udført på de hele søjlen; men med udelukkelse af de øverste fire cm.



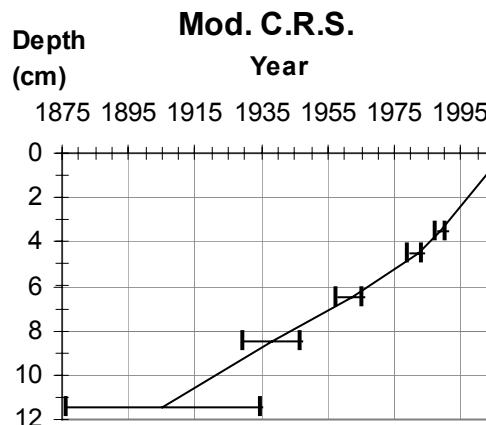
Figur 4.7 Totalindholdet af ^{210}Pb ned igennem sedimentsøjlen – Vikkilen st. nr. 16

Af figur 4.8 ses det, at de observerede værdier passer fint med den tilpassede steady state model af sedimentationsforholdene. Den beregnede akkumulationsrate ($410 \text{ g/m}^2/\text{år}$) beskriver sedimentationen i den anførte tidsperiode med en variationskoefficient på 1,9 %. Der er stor opblanding i den øverste del af sedimentsøjlen, idet den effektive blandingsdybde er 1,6 cm med en lav blandingskoefficient. Da blandingsdybden er beregnet som en halv gaussisk fordeling, svarer opblandingen til 3,2-4,8 cm dybde.

Figur 4.8 viser alderen på sedimentkernen som funktion af dybden bestemt ved den modificerede CRS-metode. På de dybeste snit er der en meget stor usikkerhed på aldersbestemmelsen. Dateringen betragtes som værende fin, selv om der er kraftig opblanding i den øverste del af sedimentsøjlen.



Figur 4.8 Vikkilen st. nr. 16 - unsupported ²¹⁰Pb som funktion af massedybden



Figur 4.9 Vikkilen st. nr. 16 – sediments alder som funktion af dybden (cm) med 95% prædiktionsinterval.

5 ÆNDRINGER I FORURENINGSBELASTNINGEN

På grundlag af de udførte dateringer er der foretaget en modelberegning over de udtagne sedimentprøvers følsomhed til at beskrive eventuelle ændringer i tilførslerne af forurenede stoffer til sedimentet. Den anvendte metode er beskrevet i ref. /4/.

I tabel 5.1 er vist resultaterne af disse beregninger for de daterede prøve. Der er anvendt følgende input i modelberegningerne:



- dybde af overfladesedimentprøven (10 mm anvendt);
- sedimentakkumulationsraten;
- blandingsparametrene D_0 og σ ;
- antal år imellem prøvetagningerne er valgt til henholdsvis 3, 5 og 10 år.
- der regnes med en relativ analyser reproducibilitet (% RSD) på 10 %, hvilket svarer til den reproducerbarhed, som kan opnås på ét laboratorium, f.eks. ved at bestemme indholdet af en række tungmetaller i sedimenter afhængigt af tungmetal og metoder. Hvis der forventes en højere RSD, skal den relative ændring i inputfluxen multipliceres med denne faktor (en %RSD på 20% betyder, at fluxen skal multipliceres med to).

Tabel 5.1 Mulighed for detektering af ændring i inputflux med en relativ standard afvigelse på 10% på de kemiske analyser

Stationsnavn og nr.	% relativ ændring i inputflux		
	År imellem prøvetagning		
	3	5	10
Grimstad st. nr. 2	80 %	50 %	30 %
Vikkilen st. nr. 15	95 %	60 %	35 %
Vikkilen st. nr. 16	100 %	70 %	45 %

På dette grundlag beregnes i modellen, hvor stor en relativ ændring i inputfluxen der kan detekteres efter henholdsvis 3, 5 og 10 år. Disse resultater er vist i tabel 5.1. Under disse forudsætninger vil det - med prøvetagning og analyser foretaget hvert femte år - være muligt at bestemme ændringer i inputfluxene for de tre kerner på 50 -70 % på grund af den høje opblanding i den øverste del af sedimentkernen.



6 KONKLUSION

På de to sedimentkerner fra Vikkilen (st. nr. 15 og 16) er der blevet udført en fin datering, selv om der er stor opblanding i de øverste dele af de to sedimentkerner. På sedimentkernen fra Grimstad er der blevet udført en rimelig datering på grund af den meget store opblanding.

På grundlag af dateringsresultaterne er sedimentstationernes egnethed til at detektere ændringer i forureningsbelastningen blevet vurderet. Ved sedimentprøvetagning hvert femte år indikerer følsomhedsanalysen, at det er muligt at detektere ændringer i inputfluxen på 50-70 % på grund af den høje opblanding i den øverste del af alle tre sedimentkerner.



7 REFERENCE

- /1/ Pfeiffer Madsen, P. and J Sørensen, 1979. Validation of the Lead-210 Dating Method. *J. Radioanal. Chem.* **54**, 39-48.
- /2/ Christensen, E. R., 1982. A Model for Radionuclides in Sediment Influenced by Mixing and Compaction. *J. of Geophysical Research* **87**, 566-572.
- /3/ Christensen, E. R. and PK Bhunia, 1986. Modeling Radiotracers in Sediments: Comparison with Observations in Lakes Huron and Michigan. *J. of Geophysical Research* **91**, 8559-8571.
- /4/ Larsen, B. and A Jensen, 1989. Evaluation of the Sensitivity of Sediment Stations in Pollution Monitoring. *Mar. Pollut. Bull.* **20**, 556-560.



B I L A G



B I L A G A

Rådata for sedimentet fra Grimstad st. nr. 2



Ref. no.: 91340
 Date: 18-Apr-05
 Description: Grimstad st. nr. 2

Sample No.	Top	Bottom	Dry weight	Loss on ignition	Total ²¹⁰ Pb	Total ²¹⁰ Pb, st. dev.	Dry volume weight	Dry weight	Linear depth	Unsupported ²¹⁰ Pb	St.dev., unsupported ²¹⁰ Pb	Accumulated mass depth
	cm.	cm.	% v/v	% dry	dpm/g	S	g/cm ³	g/cm ²	cm	dpm/g	dpm/g	g/m ²
	0	1	18.16	IM	10.99	0.81	0.204	0.20	0.50	9.49	0.83	0.10192
	1	2	23.63	IM	12.52	0.56	0.275	0.28	1.50	11.02	0.58	0.34152
	2	3	25.39	IM	11.89	0.74	0.299	0.30	2.50	10.39	0.76	0.62894
	3	4	26.11	IM	13.11	0.56	0.310	0.31	3.50	11.61	0.58	0.93347
	4	5	27.66	IM	13.68	0.82	0.332	0.33	4.50	12.18	0.83	1.25406
	5	6	29.67	IM	IM	IM	0.361	0.36	5.50	IM	IM	1.60033
	6	7	31.68	IM	9.90	0.42	0.391	0.39	6.50	8.40	0.45	1.97639
	7	8	32.56	IM	IM	IM	0.405	0.40	7.50	IM	IM	2.3743
	8	9	33.44	IM	9.98	0.42	0.418	0.42	8.50	8.48	0.45	2.78575
	9	10	34.40	IM	IM	IM	0.433	0.43	9.50	IM	IM	3.21161
	10	11	35.36	IM	IM	IM	0.449	0.45	10.50	IM	IM	3.65277
	11	12	36.33	IM	8.57	0.47	0.464	0.46	11.50	7.07	0.50	4.10945
	12	13	37.74	IM	IM	IM	0.488	0.49	12.50	IM	IM	4.5856
	13	14	39.15	IM	IM	IM	0.512	0.51	13.50	IM	IM	5.08532
	14	15	40.56	IM	5.80	0.33	0.536	0.54	14.50	4.30	0.36	5.60914
	15	16	41.86	IM	IM	IM	0.559	0.56	15.50	IM	IM	6.15667
	16	17	43.17	IM	IM	IM	0.583	0.58	16.50	IM	IM	6.72752
	17	18	44.48	IM	2.77	0.20	0.607	0.61	17.50	1.27	0.25	7.32218

No. of lines used in calculation:	15	Mixing depth:	1.7 cm.
Supported ²¹⁰ Pb:	1.5 dpm/g	Mixing intensity:	525 cm ² /y.
St. dev. of supported ²¹⁰ Pb:	0.15 dpm/g	Linear accumulation rate (0-2 cm):	6.6 mm/y.
Year of sampling:	2005	Sedimentation rate:	1683 g/m ² /y.
No. of points to exclude (from top):	2 points	St. dev. of sedimentation rate:	251 g/m ² /y.
		% Coefficient of variation	14.9



B I L A G B

Rådata for sedimentet fra Vikkilen st. nr. 15



Ref. no.: 91340
 Date: 15-Apr-05
 Description: Vikkilen st. nr. 15

Sample No.	Top	Bottom	Dry weight	Loss on ignition	Total ²¹⁰ Pb	Total ²¹⁰ Pb, st. dev.	Dry volume weight	Dry weight	Linear depth	Unsupported ²¹⁰ Pb	St.dev., unsupported ²¹⁰ Pb	Accumulated mass depth
	cm.	cm.	% v/v	% dry	dpm/g	S	g/cm ³	g/cm ²	cm	dpm/g	dpm/g	g/m ²
	0	1	31.99	IM	12.88	0.69	0.396	0.40	0.50	9.05	0.72	0.19795
	1	2	31.78	IM	14.77	0.60	0.393	0.39	1.50	10.94	0.64	0.59228
	2	3	32.82	IM	13.04	0.56	0.409	0.41	2.50	9.21	0.61	0.99297
	3	4	34.26	IM	11.46	0.38	0.431	0.43	3.50	7.63	0.45	1.41292
	4	5	34.26	IM	10.38	0.53	0.431	0.43	4.50	6.55	0.57	1.84419
	5	6	38.03	IM	IM	IM	0.493	0.49	5.50	IM	IM	2.30618
	6	7	41.80	IM	8.45	0.33	0.558	0.56	6.50	4.62	0.40	2.83145
	7	8	44.32	IM	IM	IM	0.604	0.60	7.50	IM	IM	3.41228
	8	9	46.85	IM	5.37	0.26	0.652	0.65	8.50	1.54	0.35	4.04005
	9	10	48.12	IM	IM	IM	0.677	0.68	9.50	IM	IM	4.70423
	10	11	49.40	IM	IM	IM	0.702	0.70	10.50	IM	IM	5.39357
	11	12	50.67	IM	3.78	0.26	0.728	0.73	11.50	-0.05	0.34	6.10862
	12	13	50.95	IM	IM	IM	0.734	0.73	12.50	IM	IM	6.83951
	13	14	51.22	IM	IM	IM	0.739	0.74	13.50	IM	IM	7.57611
	14	15	51.50	IM	3.86	0.21	0.745	0.75	14.50	0.03	0.31	8.31845
	15	16	50.64	IM	IM	IM	0.727	0.73	15.50	IM	IM	9.05473
	16	17	49.78	IM	IM	IM	0.710	0.71	16.50	IM	IM	9.77326
	17	18	48.92	IM	3.84	0.23	0.692	0.69	17.50	0.01	0.32	10.4743

No. of lines used in calculation:	9	Mixing depth:	0.9 cm.
Supported ²¹⁰ Pb:	3.83 dpm/g	Mixing intensity:	43 cm ² /y.
St. dev. of supported ²¹⁰ Pb:	0.23 dpm/g	Linear accumulation rate (0-2 cm):	1.4 mm/y.
Year of sampling:	2005	Sedimentation rate:	550 g/m ² /y.
No. of points to exclude (from top):	2 points	St. dev. of sedimentation rate:	74 g/m ² /y.
		% Coefficient of variation	13.4



B I L A G C

Rådata for sedimentet fra Vikkilen st. nr. 16



Ref. no.: 91340
 Date: 18-Apr-05
 Description: Vikkilen st. nr. 16

Sample No.	Top	Bottom	Dry weight	Loss on ignition	Total ²¹⁰ Pb	Total ²¹⁰ Pb, st. dev.	Dry volume weight	Dry weight	Linear depth	Unsupported ²¹⁰ Pb	St. dev., unsupported ²¹⁰ Pb	Accumulated mass depth
	cm.	cm.	% v/v	% dry	dpm/g	S	g/cm ³	g/cm ²	cm	dpm/g	dpm/g	g/m ²
	0	1	23.01	IM	13.46	0.62	0.267	0.27	0.50	9.29	0.69	0.1335
	1	2	25.90	IM	12.53	0.75	0.307	0.31	1.50	8.36	0.81	0.42034
	2	3	28.59	IM	13.33	0.65	0.345	0.35	2.50	9.16	0.72	0.7462
	3	4	30.24	IM	12.97	0.59	0.369	0.37	3.50	8.80	0.66	1.10341
	4	5	30.65	IM	12.35	0.66	0.376	0.38	4.50	8.18	0.72	1.47588
	5	6	35.45	IM	IM	IM	0.450	0.45	5.50	IM	IM	1.88878
	6	7	40.25	IM	8.59	0.49	0.531	0.53	6.50	4.42	0.57	2.37921
	7	8	41.23	IM	IM	IM	0.548	0.55	7.50	IM	IM	2.9184
	8	9	42.21	IM	5.96	0.38	0.565	0.57	8.50	1.79	0.48	3.4749
	9	10	43.41	IM	IM	IM	0.587	0.59	9.50	IM	IM	4.05102
	10	11	44.62	IM	IM	IM	0.609	0.61	10.50	IM	IM	4.64916
	11	12	45.82	IM	4.64	0.38	0.632	0.63	11.50	0.47	0.48	5.26975
	12	13	46.71	IM	IM	IM	0.649	0.65	12.50	IM	IM	5.91025
	13	14	47.61	IM	IM	IM	0.666	0.67	13.50	IM	IM	6.56802
	14	15	48.50	IM	4.17	0.30	0.684	0.68	14.50	0.00	0.43	7.24331
	15	16	48.06	IM	IM	IM	0.675	0.68	15.50	IM	IM	7.92301
	16	17	47.61	IM	IM	IM	0.666	0.67	16.50	IM	IM	8.59387
	17	18	47.16	IM	4.89	0.33	0.658	0.66	17.50	0.72	0.45	9.25597

No. of lines used in calculation:	12	Mixing depth:	1.6 cm.
Supported ²¹⁰ Pb:	4.17 dpm/g	Mixing intensity:	12.3 cm ² /y.
St. dev. of supported ²¹⁰ Pb:	0.3 dpm/g	Linear accumulation rate (0-2 cm):	1.4 mm/y.
Year of sampling:	2005	Sedimentation rate:	410 g/m ² /y.
No. of points to exclude (from top):	4 points	St. dev. of sedimentation rate:	8 g/m ² /y.
		Coefficient of variation	1.94 %