

# Risikovurdering og revidert tiltaksplan for sjøsedimentene i Vikkilen



Norsk institutt for vannforskning

# RAPPORT

**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

Jon Lilletuns vei 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 59  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 31 22 14

**NIVA Midt-Norge**

Pirsenteret, Havnegata 9  
Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Risikovurdering og revidert tiltaksplan for sjøsedimentene i Vikkilen	Løpenr. (for bestilling) 6688-2014	Dato 19.05.2014
	Prosjektnr. Undernr. O-14067	Sider Pris 36
Forfatter(e) Bakke, Torgeir Næs, Kristoffer	Fagområde Marine miljøgifter	Distribusjon
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA

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

**Sammendrag**

På oppdrag fra Nymo AS har NIVA utarbeidet revidert tiltaksplan for sjøsedimentene i Vikkilen. Revisjonen er gjort på grunnlag av tidligere innsendt tiltaksplan (NIVA l.nr 6360-2012) og diskusjon mellom Miljødirektoratet og Nymo av 19.02.2014. Sedimentene er sterkt forurenset av TBT og betydelig forurenset av andre miljøgifter. Kilen er inndelt i tre delområder for risiko- og tiltaksvurdering: delområde A nærmest Nymos verft, delområde B nord for Skjevika og delområde C resten ut til munningen. Trinnsvis risikovurdering viser at største gevinst i forhold til kostnad oppnås ved tildekking i delområde A, dernest i underområde Bs1 av delområde B som grenser til A mot øst. Gevinsten i resten av delområde B er tilnærmet lineært knyttet til øket tiltaksareal. Anbefalt tiltak er tildekking på minimum 20 cm i område A og det området av B hvor de hyppigst ankomne fartøyene manøvrerer, og minimum 10 cm i et ytre område hvor bare de største skipene manøvrerer, dessuten overvåket naturlig forbedring i resten av Vikkilen. Nymo tar sikte på gjennomføring av tiltaket i løpet av 2014, eventuelt med en forskyvning av tildekkingen av det ytre manøvreringsområdet til 2016-2017. Oppfølgende langsiktig miljøovervåking vil ha som mål å følge med eventuell rekontaminering av tildekkede områder og naturlig restitusjon i øvrige områder.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Skipsverft	1. Shipyard
2. Sedimentforurensning	2. Sediment contamination
3. Risikovurdering	3. Risk assessment
4. Tiltaksplan	4. Remedial action plan



*Torgeir Bakke*  
Prosjektleder



*Morten Thorne Schaanning*  
Forskningsleder

# **Risikovurdering og tiltaksplan for sjøsedimentene i Vikkilen**

## Forord

*NIVA utarbeidet i 2012 på oppdrag for AS Nymo en tiltaksplan for sjøsedimentene i Vikkilen. Planen ble sendt til Miljødirektoratet 30.05.2012. På basis av tilbakemelding fra direktoratet med varsel om pålegg av 19.11.2013, og etter diskusjon mellom direktoratet og AS Nymo den 19.02.2014, ble NIVA bedt om å revidere tiltaksplanen, først og fremst ut fra en nærmere beskrivelse av manøvreringsmønster for skip som ankommer verftet i Vikkilen. Denne rapporten presenterer den reviderte tiltaksplanen. Planen er basert på en rekke miljøundersøkelser og risikovurderinger gjort i følge Miljødirektoratets veiledere TA-2230/2007 og TA-2802/201. Disse undersøkelser og vurderinger ble også presentert i forrige tiltaksplan.*

*Torgeir Bakke har vært prosjektleder og ansvarlig for risikovurderinger og utforming av tiltaksplanen. Kristoffer Næs har bidratt med faglige innspill under planlegging og gjennomføring av oppgaven. Kontaktperson hos AS Nymo har vært Per Ståle Windegaard.*

*Oslo, 19.05.2014*

*Torgeir Bakke*

---

# Innhold

<b>Innhold</b>	<b>5</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>7</b>
<b>Summary</b>	<b>10</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>13</b>
<b>2. Problembeskrivelse</b>	<b>14</b>
2.1 Områdebeskrivelse	14
2.2 Forurensningstilstand	15
2.3 Tidligere risikovurderinger	17
2.3.1 Helse­risiko	17
2.3.2 Miljørisiko	17
2.3.3 Spredningsrisiko	17
2.3.4 Konklusjoner fra risikovurderingene	18
<b>3. Risikoendring som funksjon av tenkt tiltaksomfang i delområde B</b>	<b>19</b>
3.1 Mål og metode	19
3.2 Resultater	20
3.2.1 Overskridelse av Klasse II for miljøgifter i sediment	20
3.2.2 Overskridelse av grenseverdier for økologiske effekter av miljøgifter i porevann	22
3.2.3 Endring i total årlig utlekking av miljøgifter fra sedimentene	22
3.2.4 Endring i årlig utlekking av miljøgifter til vannmassene	23
3.2.5 Overskridelse av grenseverdier for effekter av miljøgifter i overliggende vann	24
3.2.6 Endring i årlig miljøgiftutlekking fra sedimentene til organismer	24
3.2.7 Overskridelse av grenseverdier for effekter på human helse via næringskjeden.	25
3.3 Samlet inntrykk av utlekkings- og risikoreduksjon ved trinnvist tiltak i delområde B.	25
3.3.1 Utlekkingsreduksjon	25
3.3.2 Risikoreduksjon	25
<b>4. Tiltaksplan</b>	<b>27</b>
4.1 Tiltaksalternativer	27
4.2 Forholdet til vannforskriften	27
4.3 Anbefalte tiltak	28
4.3.1 Delområde A	28
4.3.2 Delområde B	28
4.3.3 Delområde C	30
4.4 Teknisk gjennomføring	31
4.4.1 Plan	31
4.4.2 Utførelse	31
4.4.3 Kontroll	32

---

4.5 Kostnadsberegning for anbefalt tiltak	32
4.6 Alternativt tiltak	32
4.7 Disponering av masser	33
4.8 Fremdriftsplan	33
<b>5. Kontroll og avbøtende tiltak</b>	<b>34</b>
5.1 Miljøkontroll under tiltak	34
5.2 Sluttverifisering	34
5.3 Oppfølgende miljøovervåking	34
<b>6. Litteratur</b>	<b>36</b>

## Sammendrag

I brev av 08.11.2010 påla Klima og forurensningsdirektoratet (nå Miljødirektoratet) AS Nymo, Grimstad å gjennomføre supplerende undersøkelser ved verftsområdet i Vikkilen, Grimstad kommune, og utarbeide tiltaksplan for å fjerne uakseptabel risiko for forurensning på land og i sjøbunnen. I den sammenhengen er Vikkilen delt inn i tre delområder A (utenfor Nymo), B (øvrige område innenfor Skjevika) og C (ytre del av Vikkilen). På forespørsel fra AS Nymo har NIVA i flere omganger gjennomført supplerende undersøkelser bl.a. av sediment, bunnfauna, miljøgifter i sjømat fra Vikkilen, gjennomført risikovurderinger og gitt forslag til tiltaksplan for sedimentene. For å nyansere risikobildet og effekter av tiltak er delområde B inndelt i fem underområder med ulik TBT-forurensning og skipstrafikk (Figur S1). Det er gjort en trinnvis vurdering av endring i risiko ved gradvis økning av tiltaksomfang etter Klifs veileder TA-2802/2011. På denne basis fremla Nymo i 2012 en anbefalt tiltaksplan for Miljødirektoratet. Tiltaksplanen er i mai 2014 revidert på basis av bedret beskrivelse av skipspåvirkede områder. Denne rapporten presenterer både den trinnvise risikovurdering og den reviderte tiltaksplanen for sjøsedimentene.

### Risikovurdering

Det samlede risikobildet viser en klart høyere risiko for økologiske effekter i sedimentene i delområde A, enn i delområde B og C. Dette samsvarer også med tilstanden i bunnfauna, selv om denne også kan skyldes andre faktorer enn miljøgifter i sedimentene. Forskjellen i risiko for økologiske effekter mellom delområde B og C er liten, men er likevel noe høyere i delområde B. Toksisitetstester viser klar toksisitet av porevannet i delområde A, men ikke i B og C. Helseisikoen synes først og fremst å være knyttet til transport av benzo(a)pyren fra sedimentet gjennom næringskjeden til sjømat, og bidraget fra de tre delområdene synes å være relativt lik. Analyse av PAH i lokal sjømat vil vise om risikoen er reell. Spredningen av metaller og TBT som mengde pr m<sup>2</sup> og år minker i rekkefølge A, B, C, mens den er omtrent lik for benzo(a)pyren. Grunnet svært forskjellig størrelse varierer den totale årlige transporten fra sedimentet (mengde pr år) mer usystematisk mellom delområdene. Samlet beregnet risiko fra sedimentene er høyest i delområde A og lavest i delområde C.



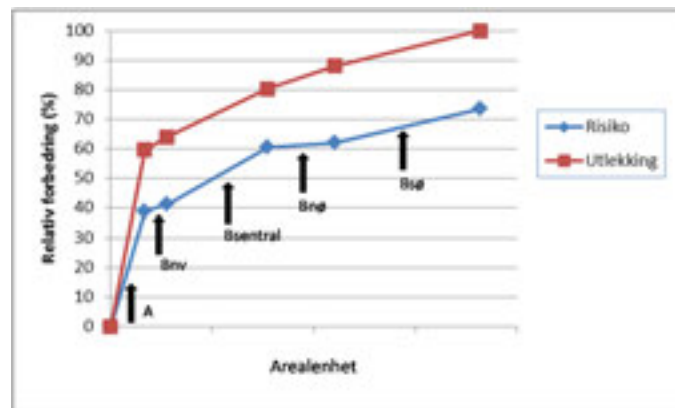
Figur S1. Inndeling av delområde A og B i underområder som grunnlag for en stegvis risiko- og tiltaksvurdering. Mørk skravering: manøvreringsområde for typiske fartøyer; lys skravering tilleggsareal der store skip manøvrerer.

Teoretisk sprednings- og risikogevinst er beregnet for et gradvis større tildekket underområde innenfor A og B (se figur S1 for plassering av underområdene).

Til sammen 8 tiltaksscenarioer er risikovurdert:

1. Ingen tiltak (dagens situasjon)
2. Tiltak i delområde A
3. Tiltak i delområde A og Bsentralt underområde 1 (Bs1)
4. Tiltak i delområde A og Bsentralt underområde 1 og 2 (Bs1 og Bs2)
5. Tiltak i delområde A og hele Bsentralt
6. Tiltak i delområde A, Bsentralt og Bnv
7. Tiltak i delområde A, Bsentralt, Bnv og Bnø,
8. Tiltak i delområde A Bsentralt, Bnv, Bnø og Bsø (dvs hele A+B).

Den trinnvise risikovurderingen gjør det mulig å beregne bedringen i spredning, miljø- og helserisiko som funksjon av tiltaksareal (Figur S2).



Figur S2. Beregnet redusert risiko (overskridelse av akseptgrenser) og redusert utlekking av de aktuelle miljøgiftene fra sedimentene i område A+B som funksjon av gradvis økende tiltaksareal. Verdiene er gitt som prosent forbedring i forhold til dagens situasjon.

Den klart største spredningsreduksjonen (i snitt 62 %) oppnås ved tiltak i delområde A. For spredning til vannmassene vil tiltak i Bs1 gi størst tilleggsgevinst i forhold til kostnad enn tiltak i de øvrige områdene. For spredning til næringskjeden vil gevinsten ved tiltak i delområde B øke lineært med kostnad, bortsett fra lavest netto gevinst i Bsø.

Reduksjonen i miljø- og helserisiko skjer mer gradvis med tiltaksareal/kostnad enn reduksjonen i spredning. Tiltak i delområde A vil omtrent halvere risikoen fra TBT. Risikoreduksjonen ved videre tiltak i Bsentralt er omtrent lineært koblet til kostnad, mens det er lavest gevinst ved tiltak utenfor dette delområdet. For de øvrige miljøgiftene vil tiltak i delområde A alene gi reduksjon i overskridelse av de ulike grenseverdiene for risiko på 11 – 50 %, lavest for PAH-forbindelsene. Hvis det gjøres tiltak også i underområde Bs1 er samlet reduksjon i overskridelser 15 – 57 %. Ved tiltak i hele Bsentralt er samlet reduksjon i overskridelser 16 – 64 %. M.a.o. vil tiltak i Bsentralt bare gi marginal gevinst ut over tiltak i A.



**Tiltaksplan**

**Anbefalt tiltak** i delområde A er tildekking av sedimentene på minimum 20 cm med egnede masser (sand). Etter tidligere tildekking gjenstår det nå ca. 25 000 m<sup>2</sup> som må dekkes til. For delområde B anbefales tildekking av hyppigst propellpåvirket område (Figur S1) på samme måte som i delområde A. For øvrig område for manøvrering anbefales 10 cm tildekking. For resten av Vikkilen anbefales overvåking av naturlig forbedring.

Tildekking vil bli utført i flere omganger innenfor et definert rutenett ved bruk av fallbunnslekter. Tykkelsen på dekklaget kontrolleres ved bruk av målestaver forhåndsplassert på bunnen og videoregistrering.

Samlet estimert kostnad pr dato for anbefalt tiltak er ca. 15 mill. NOK, inklusive kontrollprogram og etterfølgende miljøovervåking.

Gjennomføring av tiltaket inklusive klargjøring og opprydding forventes å ta i overkant av 3 mnd. Det er ønskelig at tiltaket gjennomføres i 2014. Dersom man antar at islegging i Vikkilen skjer i midten av desember 2014, bør tilrigging skje medio september. Det må tas forbehold om at driftsmessige forhold som kompliserer tilrigging, en høringsprosess og håndtering av eventuelle klager fra naboene kan kreve forskyving av tidsplanen til 2015.

**Alternativt tiltak** vil være tildekking som i anbefalt tiltak, samt 10 cm tildekking av de deler av underområde Bs2, Bs3 og Bnv som ikke allerede er tildekket. Hovedbegrunnelsen for alternativet er å oppfylle et krav om Klasse II for miljøgifter i hele delområde B raskere enn det man oppnår ved naturlig forbedring. For øvrig omfatter alternativt tiltak en overvåket naturlig restitusjon i resten av Vikkilen.

**Kontrollprogram**

Det vil bli etablert et kontrollprogram under anleggsperioden etter sedvanlig mønster med kontinuerlig logging av turbiditet knyttet til alarm ved overskridelse av avtalt turbiditetsgrense, samt stikkprøvekartlegging av turbiditetsprofiler og miljøgifter i suspendert stoff. Avbøtende tiltak vil ført og fremst være å justere utleggingsprosedyren, men om nødvendig vil bruk av siltskjørt bli vurdert.

Etter avsluttet anleggsarbeid vil man verifisere at sedimentforholdene tilfredsstillende kravene gitt i tiltaksplanen. Det vil også bli gjennomført analyse av miljøgifter i lokal sjømat for å fastslå om anleggsarbeidet har forårsaket spredning av biotilgjengelige miljøgifter.

Det vil bli etablert et etterfølgende miljøovervåkingsprogram med mål å følge den forventede forbedringen av miljøforholdene i Vikkilen på lengre sikt. Elementer vil være:

- fysisk og kjemisk undersøkelse av sedimenttilstand (etter ca 6 år)
- tidsutvikling av miljøgifter i lokal sjømat dersom sluttverifiseringen viser forhøyede nivåer av betydning (hvert 3. år til normaltilstand)
- tidsutviklingen i etableringen av ny sedimentfauna på tildekket bunn og endring/bedring i sedimentfaunaen forøvrig (hvert 3. år til normaltilstand)
- følge reduksjonen i kjønnsforstyrrelse i utvalgte snegle-arter (hvert 2-3. år til normaltilstand).

## Summary

Title: Environmental risk assessment and revised remediation plan for the marine sediments in Vikkilen.

Year: 2014

Author: Bakke, Torgeir; Næs, Kristoffer

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-6423-4

The Climate and Pollution Directorate (now the Norwegian Environment Agency) made a request dated 08.11.2010 to AS Nymo, Grimstad municipality to conduct supplementary investigations at their shipyard in Vikkilen and develop a remedial action plan for contaminated ground and seabed sediments at the shipyard. AS Nymo has commissioned NIVA to produce the risk assessment and plan development. For the risk assessment purpose Vikkilen has been divided into three subareas: A (just outside the yard), B (remaining seafloor north of Skjevika), and C (outer Vikkilen). To make a finer grading of the risk pattern and remediation effects area B has been further divided into 5 sediment areas based on levels of TBT and extent of ship traffic (Figure S1). A stepwise assessment was made of the risk reduction as function of increase in the remediation area, by use of the Klif guidelines TA-2802/2011. A recommended remediation plan was presented to the Norwegian Environment Agency in 2012. This plan has now been revised on basis of an improved description of areas that may be eroded by ship propellers. This report presents both the stepwise risk assessment of the subareas, and the revised sediment remediation plan.



Figure S1. Definition of subareas of the inner Vikkilen as basis for a stepwise risk analysis and remediation plan. Dark shading: maneuvering area for typical ships calling to port; light shading extended area for maneuvering by occasional large ships.

### Risk assessment

The risk pattern shows clearly higher ecological risk from the sediments in subarea A than in the rest of Vikkilen. This corresponds to the state of the sediment fauna, although the reduced fauna condition at approach to the yard also may be explained by other factors than the micropollutants. The difference in risk level between subareas B and C appears to be small and unsystematic, but risk level is still

somewhat higher in B. Pore water from A was clearly toxic to selected test organisms, but not pore water from B and C. The health risk was primarily linked to transport of benzo(a)pyrene from the sediments to seafood, and the contribution from the various subareas did not differ. Whether this risk is real or not can only be clarified by seafood tissue analysis. Differences between the subareas in risk of contaminant leakage depend on type of contaminant. The estimated overall risk from the sediments was highest in subarea A and least in C, but the difference between B and C was not very distinct. The benefit in risk and leakage reduction was estimated in 8 scenarios with gradually larger remediation areas within A and B (cf Figure S1):

1. No remediation
2. Capping of subarea A
3. Capping of subarea A and Bs1
4. Capping of subarea A, Bs1, and 2
5. Capping of subarea A and Bs1, 2, and 3
6. Capping of subarea A Bs1-3, and Bnv
7. Capping of subarea A Bs1-3, Bnv, and Bnø,
8. Capping of total A+Barea.

This enabled calculation of expected improvement in contaminant leakage and environmental/health risk as function of remediation cost.

The largest benefit to cost ratio will be achieved by capping of subarea A. The largest added benefit regarding leakage to the water masses will be achieved by further capping of subarea Bs1. For transport through the food chain the benefit increases linearly with capping area size within B except for least benefit from capping of Bsø.

The health and environmental risks will be reduced more gradually with extent of capping than the contaminant leakage. Capping of subarea A reduces the overall risk from TBT by about 50 %, and from other contaminants by 11-50 %. Capping in Bs1-3 will only give a marginal added benefit.

### **Remedial action plan**

*The recommended remediation* in subarea A is capping with a 20 cm cap that resists propeller erosion (sand). This will comprise an area of 25 000 m<sup>2</sup>. The recommended remediation in subarea B is to cap maneuvering area for typical ships (cf Figure S1) as in A. In the wider area for large ship maneuvering a similar cap of 10 cm thickness is recommended. The recommended remediation in the rest of Vikkilen is monitored natural attenuation.

Capping will be achieved through repeated additions of cap material from a bottom hatch barge. Cap thickness will be controlled by vertical metering sticks at the bottom and by video recording

The overall preliminary estimated cost for this action is about 15 mill NOK included compliance control and subsequent environmental monitoring.

Completion of the plan including rigging and remobilization is expected to be achieved in about 3 months, preferably in 2014. If Vikkilen is covered by ice from medio December, rigging will have to start medio September. Regular operations that may disturb preparations as well as the progress of a public hearing of the plan may cause postponement to 2015.

*An alternative remediation plan* will be to cap as in the recommended plan, and in addition 10 cm capping of remaining sediments in subareas Bs2, Bs3 and Bnv (Figure s1). The only purpose will be to comply with the assumed Water Quality Regulations demand to achieve environmental quality Class II for the sediments more rapidly than can be expected from natural attenuation.

### **Control program**

A control program will be established during the capping exercise covering continuous fixed point turbidity logging triggering an alarm function at exceedance, point sampling of water for contaminant analysis and logging of turbidity profiles. Remediation in case of unacceptable particle spreading will be to adjust the capping procedure. If necessary the use of particle curtain will be considered.

After remediation the capping will be controlled for compliance to specifications, and analysis of seafood will be made to assess if the remediation activity has mobilized bioavailable contaminants.

Also a long term environmental monitoring program will be initiated to follow the expected improvements in environmental conditions in Vikkilen. This will consist of

- Physical/chemical characterization of cap and sediment conditions (after 6 years)
- Following temporal development in levels of seafood contaminants in case these are elevated as result of the remediation work (3 years interval).
- Following establishment of new sediment fauna in the cap, and improvement in the existing fauna state (3 years interval).
- Follow further reduction in reproductive disturbance selected species of littoral gastropods following reduced exposure to TBT (2-3 years interval).

# 1. Innledning

I brev av 08.11.2010 påla Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif, tidligere SFT) AS Nymo, Grimstad, å gjennomføre supplerende undersøkelser ved verftsområdet i Vikkilen, Grimstad kommune og utarbeide tiltaksplan for å fjerne uakseptabel risiko for at forurensning på land og i sjøbunnen medfører fare for helse, miljø og spredning av miljøgifter. Bakgrunnen var forurensning av sjøsedimentene, primært av tinnorganiske forbindelser, men også av andre miljøgifter. Frist for å sende inn tiltaksplan var 1. juni 2011. Etter søknad fra AS Nymo ble denne fristen forlenget til 1. desember 2011. På forespørsel fra AS Nymo har NIVA i flere omganger gjennomført supplerende undersøkelser bl.a. av sedimenter, bunnfauna, miljøgifter i sjømat fra Vikkilen, gjennomført risikovurderinger og gitt forslag til tiltaksplan for sedimentene (Schaanning og Næs 2006, Bakke m. fl. 2008, 2012, Bakke og Næs 2012). Siste reviderte risikovurdering og tiltaksplan (Bakke og Næs 2012) ble oversendt Miljødirektoratet 30.05.2012. I brev fra direktoratet datert 19.11.2013 ble det varslet at direktoratet vil sette krav om tildekking med minimum 20 cm masser i et større område av indre del av Vikkilen enn det som tiltaksplanen anbefalte. Et sentralt moment i direktoratets begrunnelse er faren for rekontaminering fra ubehandlede områder som blir påvirket av skipsmanøvrering. Varslet ble etterfulgt av et møte mellom direktoratet og AS Nymo den 19.02.2014 der planen ble drøftet og der det ble bestemt at AS Nymo skulle gi en nærmere beskrivelse av områder påvirket av manøvrering, som grunnlag for en revisjon av planen.

Denne rapporten presenterer den reviderte tiltaksplanen. Rapporten omfatter også den underliggende beskrivelsen av miljøforholdene i Vikkilen og de gjennomførte risikovurderingene av sedimentene som ble presentert i forrige tiltaksplan (Bakke og Næs 2012).

## 2. Problembeskrivelse

### 2.1 Områdebeskrivelse

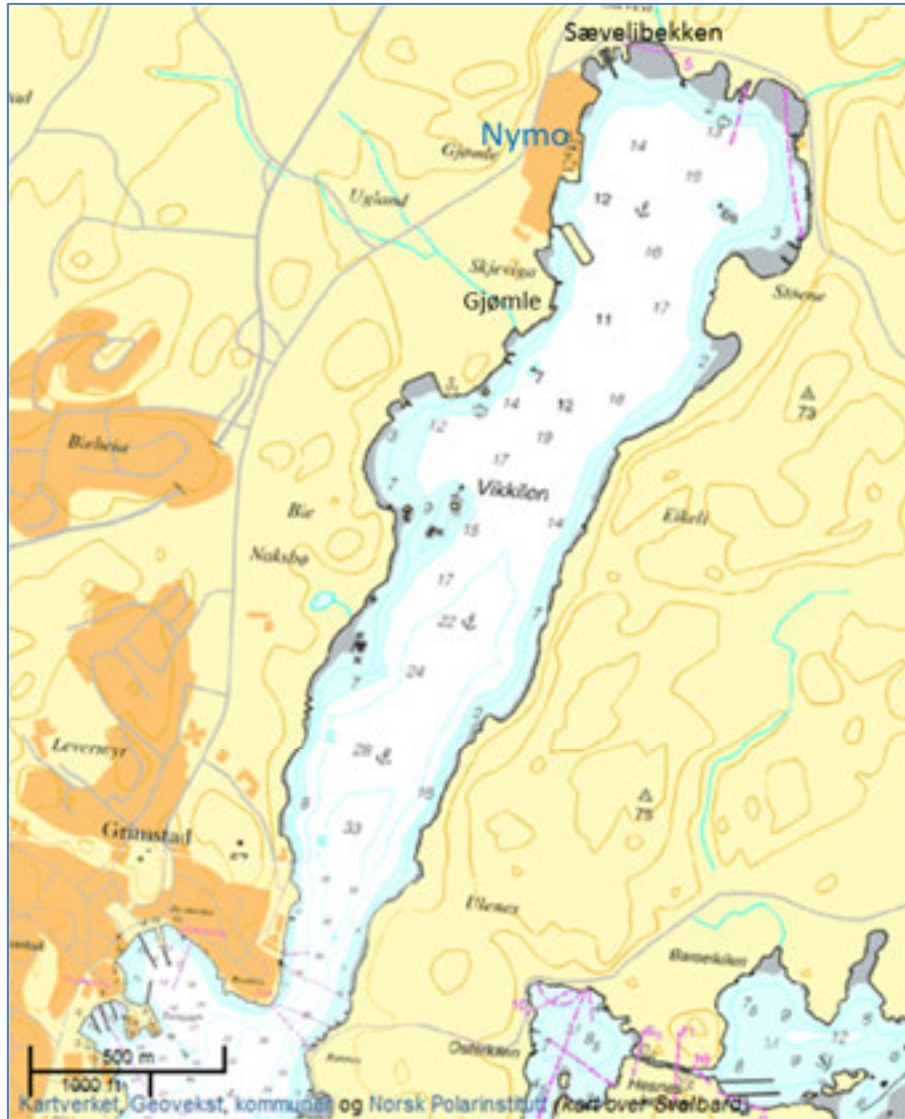
Vikkilen er en forlengelse av Groosefjorden ved Grimstad og strekker seg i en lengde av ca 3 km mot NØ fra selve fjorden (Figur 1). Største bredde, ca. 500 m, finnes i indre del av kilen, og smaleste er ca. 150 m ytterst ved Bieodden. Største dybde er på 40 meter ved Grimstad havn og kilen blir gradvis grunnere innover til ca. 13 meter dyp i indre del. Totalt vannvolum er anslagsvis 30 mill m<sup>3</sup>. Eneste ferskvannstilførsel av betydning er Sævelibekken som renner ut innerst i Vikkilen og har en midlere vannføring på ca. 260 m<sup>3</sup>/time.

Vikkilen er omkranset av spredt boligbebyggelse. Eneste aktive industrivirksomhet i dag er Ugland AS Nymo dokk og mekanisk verksted på vestsiden i indre del av kilen. Innerst i kilen finnes også en småbåthavn. Kystlaget Terje Vigen har sitt kultursenter i tidligere Brattebergs båtbyggeri i Skjeviga på vestsiden av kilen. Videre har Kystverket en stasjon i Skjevika for oppussing og reparasjon av sjømerker.

Det er ikke gjort strømmålinger i Vikkilen. Man må anta et typisk strømmønster der Sævelibekken gir opphav til en utgående strøm av brakkvann i overflaten og at dette river med seg underliggende vannmasser slik at det også genereres en inngående motstrøm av sjøvann ved bunnen. Hastighet og volumtransport av disse strømmene er ikke kjent, slik at det er usikkert å anslå oppholdstid på vannet i kilen. Man må også regne med at strømbildet varierer betydelig som følge av vindforhold, med oppstuvning av vann under vind fra SV.

Biologiske forhold i Vikkilen er ikke spesifikt beskrevet, og det er liten grunn til å tro at kilen inneholder de man kan kalle særlig verdifulle biologiske ressurser. Et unntak er at Sævelibekken produserer sjøørret, og Fylkesmannen i Aust-Agder anser det som svært viktig at produksjonen opprettholdes. Det er gjort tiltak i bekken (bygging av trappeterskler) for å lette oppvandring til de øvre delene, men det er god produksjon i nederste partiet også. Forholdet innebærer at det vil stå ganske mye sjøørret innerst i Vikkilen sensommer og høst som venter på mulighet til å gå opp i bekken (gunstig vannføring). Det vil også foregå utvandring av ørretsmolt til Vikkilen i mai-juni.

Gjømlebekken som også munner ut i Vikkilen, har tidligere hatt oppgang av sjøørret, men er praktisk talt ute av produksjon i dag av flere årsaker. Det er i følge Fylkesmannen ikke planer om restaurering av ørretproduksjonen her, bl.a. fordi forhold til grunneiere ikke er avklart.



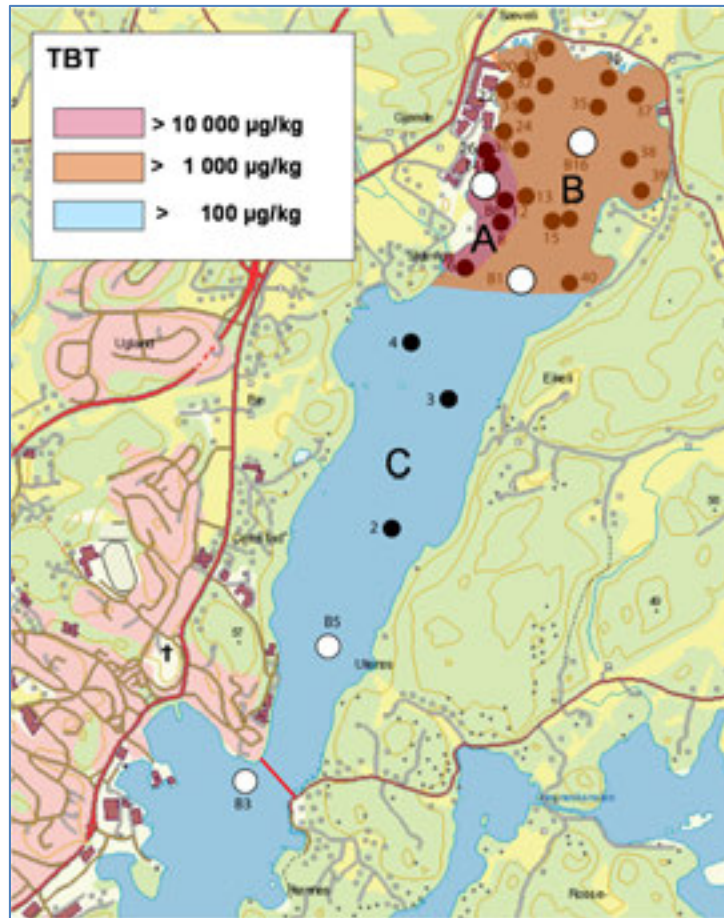
Figur 1. Kart over Vikkilen

## 2.2 Forurensningstilstand

En omfattende kartlegging av forurensningstilstanden i sediment ble gjort i 2004/2005 (Næs m. fl. 2005) og supplert med nye undersøkelser i den indre østre delen av kilen i 2008. Undersøkelsene dekket miljøgifter i bunnsedimenter og blåskjell. Undersøkelsene viste at Vikkilen i liten grad er forurenset av PCB. Fjordområdet er også relativt lite forurenset av tungmetaller bortsett fra enkelte steder i nærområdet til Nymo. Kilen er markert til meget sterkt forurenset av PAH. Innholdet av olje er relativt lavt.

Det forurensningsmessige hovedproblemet i Vikkilen er knyttet til tinnorganiske stoffer, spesielt tributyltinn – TBT fra bunnstoff på båter. Verdiene er svært høye og hele fjordområdet må karakteriseres som meget sterkt forurenset av TBT. Nivåene varierte fra ca. 600 til ca. 60 000 µg/kg (Figur 2). Nivåene tilsvarer det som er funnet utenfor andre skipsverft i Norge. Grensen for

SFTs klasse V for sedimenter er 100 µg/kg, og de høyeste nivåene er de høyeste som noen gang er registrert i norske farvann.



Figur 2. Definisjon av delområde A, B og C, samt stasjoner for kjemisk/biologisk karakterisering av overflatesedimentene i Vikkilen 2004 og 2008. Alle stasjonene er kjemisk karakterisert. Prøvene fra 2008 omfatter alle stasjoner merket B samt stasjon 30-40. Prøver for biologisk analyse av bunnfauna er angitt med hvite sirkler. TBT-innhold i bunnfauna ble analysert på stasjon B5 og B16 i tillegg til en referansestasjon utenfor Vikkilen. Fargede felter viser mønster av TBT-nivå i sedimentet.

I tilknytning til en risikovurdering av sedimentene (Bakke m. fl. 2008, 2012) etter Klifs veiledere TA\_2203/2007 og TA-2802/2011 Trinn 2 og 3, ble det gjennomført toksisitetstester og porevannsanalyser av PAH, PCB og TBT i sedimentene i de tre delområdene vist i Figur 2. Videre ble utlekking av TBT til vannmassene målt direkte i eksperimenter. Det ble også ved en anledning målt oppvirvling av partikler i forbindelse med manøvrering av et større kranskip i området utenfor Nymo, som grunnlag for å bedømme effekter av propelloppvirvling på miljøgiftspredning. Videre ble det også gjort analyser av TBT og PCB i lokal sjømat, og TBT og biologisk tilstand i bunnfauna. Disse viste at området ytterst i Vikkilen har en relativt rik bunnfauna, bedre enn det TBT-nivåene skulle tilsi, mens det er en gradvis og klar forverring av tilstanden jo lenger innover man kommer. Rett utenfor Nymo finnes en meget fattig fauna. TBT i porevannet sammenholdt med sedimentkonsentrasjonene viser at SFTs risikoveileder Trinn 2 overestimerer utlekkingen av TBT og PAH til porevannet, mens beregnet utlekking for PCB etter Trinn 2 er ganske pålitelig.



Nivåene av TBT i bunnfauna og av TBT og PCB i lokal sjømat viser også at Trinn 2 overestimerer reelt opptak og transport i næringskjeden av disse miljøgiftene. I følge toksisitetstestene i risikoveilederens Trinn 1 er porevannet i delområde B og C ikke toksisk, mens porevannet i område A er klart toksisk.

Den mest påtakelige økologiske effekten av TBT er forstyrrelse av kjønnsutviklingen hos bløtdyr, spesielt snegl. En undersøkelse av intersex-frekvens (misdannelse/maskulinisering av hunners formeringsorgan) hos strandsnegl fra 4 stasjoner som NIVA gjennomførte i 2005, viste en gradvis økende påvirkning fra helt friske snegl i fjordområdet utenfor Grimstad til 99 % sterile snegl utenfor AS Nymo (Tveiten 2005). To år senere var denne andelen redusert til 55 %, og det var også en klar bedring i forholdene lengre ute i kilen. Foreløpige analyser fra 2011 viser at forbedringen fortsetter. Dette viser at forekomst av TBT i vannmassene er for nedadgående, som følge enten av stans i tilførsel fra land, tildekking i område A eller redusert spredning fra de øvrige sedimentene.

## 2.3 Tidligere risikovurderinger

Det er tidligere gjort risikovurdering av sedimentene i hele Vikkilen samlet (Bakke m. fl. 2008) og for delområdene B og C separat (Bakke m. fl. 2008, 2012). Det er senere gjennomført en separat risikovurdering av område A og av 5 underområder i delområde B inndelt etter sedimentnivå av TBT (Bakke og Næs 2012).

### 2.3.1 Helse- og miljørisiko

Bakke m. fl. (2008, 2012) viste at sedimentene i Vikkilen totalt sett utgjør en uakseptabel risiko for effekter på human helse grunnet innholdet av benzo(a)pyren. Det samme gjaldt for delområde C alene. Bakke m. fl. (2012) fant også uakseptabel helse- og miljørisiko grunnet innholdet av PCB og bly i hvert av delområde B og C alene, for delområde B også av sink. Analysene av lokal sjømat tyder imidlertid på at risikoen fra PCB i sediment ikke er reell, og dette støttes av analyse av PCB i porevann. Porevannsanalysene viste også at risikoen fra benzo(a)pyren på human helse sannsynligvis er overestimert, men dette kan ikke avklares nærmere uten analyse av benzo(a)pyren i lokal sjømat. For delområde A viser risikovurderinger i denne rapporten at benzo(a)pyren, bly og TBT i sediment utgjør en teoretisk helse- og miljørisiko (Figur 10), men nivåene av TBT i sjømat viser at risikoen fra TBT ikke er reell.

### 2.3.2 Miljørisiko

Bakke m. fl. (2008) viste at sedimentene i Vikkilen totalt sett utgjør en uakseptabel risiko for økologiske effekter både i sediment og vann. Flere av miljøgiftene (bly, kobber, sink, PAH og TBT) bidrar til risikoen for skade på sedimentlevende organismer. Porevannet fra delområde A har vist seg klart toksisk for mikroalgen *Skeletonema*, men ikke for hoppekrepsen *Thisbe*. Tilsvarende tester har ikke funnet at porevann fra delområde B og C er toksisk, og risikoen for faunaeffekter kan derfor være overestimert for disse delområdene. Det er en teoretisk risiko for økologiske effekter i vannmassene i alle delområdene grunnet TBT-utlekking, men mye tyder på at denne risikoen ikke er reell (Bakke m. fl. 2012).

### 2.3.3 Spredningsrisiko

Bakke m. fl. (2012) og Bakke og Næs (2012) viste at utlekkingen (fluks) av bly, kobber og TBT fra sedimentene pr m<sup>2</sup> er størst i delområde A og minst i delområde C. For benzo(a)pyren var fluksen omtrent lik i de tre delområdene. For metallene skyldes utlekkingen i hovedsak oppvirling fra skipspropeller. Propellerrosjon forekommer ikke i delområde C på grunn av vanddypet. Transport av metaller og TBT i næringskjeden betyr relativt sett lite i delområde B og C (Bakke m. fl. 2012). Årlig total transport fra sedimentene er for bly beregnet til: delområde A: 36 kg (Bakke og Næs 2012),

delområde B: 18 kg og delområde C: 2 kg (Bakke m. fl. 2012), for kobber A: 158 kg, B: 29 kg og C: 13 kg, for TBT A: 4 kg, B: 9 kg og C: 3 kg, og for benzo(a)pyren A: 0,1 kg, B: 0,2 kg og C: 0,6 kg.

### **2.3.4 Konklusjoner fra risikovurderingene**

Det samlede risikobildet viser en klart høyere risiko for økologiske effekter i sedimentene i delområde A, enn i delområde B og C. Dette samsvarer også med tilstanden i bunnfauna, selv om den gradvise forverringen man ser innover i Vikkilen også kan skyldes andre faktorer enn miljøgifter i sedimentene, som f.eks. redusert oksygen i sedimentene som følge av nedbrytning av organisk materiale, og for delområde A og B muligens også fysisk forstyrrelse fra propeller (Bakke m. fl. 2012).

Forskjellen i risiko for økologiske effekter mellom delområde B og C synes å være liten og usystematisk. Overskridelse av grenseverdiene for økologisk risiko i sedimentene er større i B enn i C for TBT og til dels kobber, men motsatt for PAH. Overskridelse av grenseverdiene i porevann er klart høyest i B spesielt for TBT, men toksisitetstestene viste ingen toksisitet av porevannet i noen av områdene.

Helserisikoen synes først og fremst å være knyttet til transport av benzo(a)pyren gjennom næringskjeden til sjømat, og det er lite som tyder på at delområdene bidrar forskjellig til denne siden årlig spredning fra sedimentene er relativt lik. Hvorvidt risikoen er reell kan bare fastslås ved analyse av PAH i lokal sjømat. Dette er ikke gjort.

Forskjeller mellom delområdene mht. spredningsrisiko varierer med type miljøgift. Totalspredningen målt som mengde pr m<sup>2</sup> og år minker i rekkefølge A, B, C, for metaller og TBT, mens den er omtrent lik for benzo(a)pyren. Siden delområdene har svært forskjellige arealer varierer den totale årlige spredningen mer usystematisk mellom delområdene (se kapittel 2.3.3).

Totalt sett virker risikoen fra sedimentene å være høyest i delområde A og lavest i delområde C, men forskjellen mellom B og C er for noen av risikoparameterne mer usystematisk.

### 3. Risikoendring som funksjon av tenkt tiltaksomfang i delområde B

Den trinnvise risikovurderingen nedenfor ble også beskrevet i forrige tiltaksplan (Bakke og Næs 2012).

#### 3.1 Mål og metode

Det er gjort flere tidligere tiltaksvurderinger for Vikkilen (Schaanning og Næs 2006, Bakke m. fl. 2008, 2012). Disse har alle basert seg på en inndeling i delområder omtrent som angitt i Figur 2 med ulike tiltaksstrategi basert på sedimentnivåene av TBT. I disse vurderingene er det anbefalt aktive tiltak (mudring og/eller tildekking) i delområde A, og enten tynnsjikttildekking eller naturlig restitusjon fulgt av overvåking for delområde C.

For delområde B har anbefalingene variert mer fra hel tildekking (Schaanning og Næs 2006, Bakke m. fl. 2008) til naturlig restitusjon (Bakke 2012). Nymo har derfor sett behov for å se nærmere på om det kan være grunnlag for differensierte tiltak innenfor området. Som grunnlag for å bedømme behovet for og gevinsten av aktive tiltak i delområde B har vi gjort en analyse av hvordan tenkte stegvise tiltak i A og B vil påvirke det totale risikobildet. Dette er gjort ved å splitte opp delområde B i underområder skjønnsmessig etter forskjeller i TBT-nivå (Figur 3). Underområdet Bsentralt er igjen splittet i tre deler ut fra dyp og skipstrafikk (Bs1, Bs2 og Bs3, Figur 3). Det er så gjennomført en separat risikovurdering Trinn 3 av A og av hvert underområde i B.

For å nyansere eventuelle tiltak innenfor delområde B har vi gjennomført en Trinn 3 risikovurdering av hele området A+B ut fra dagens situasjon, og deretter repetert denne for det samme området ved tenkt gjennomført tiltak i gradvis flere av underområdene. Det tenkte tiltaket har vært at gjennomsnittsnivåene av alle miljøgiftene skal tilsvare øvre grense av Klifs tilstandsklasse II. Analysen viser hvordan den totale risikoen fra sedimentene endrer seg som følge av gradvis mer omfattende tiltak.

Det er først gjennomført en risikoanalyse Trinn 3 for hele området A+B med dagens gjennomsnittsnivå av miljøgifter i sedimentene vektet etter størrelsen på underområdene. Deretter er det tenkt en situasjon der gjennomsnittsnivåene i delområde A ligger på øvre grense av Klasse II (her er det brukt den del av A hvor det ikke allerede er gjort tiltak), nye vektete gjennomsnittsnivåer beregnet for hele område A+B og risikoanalysen er gjentatt. Hele prosessen er så gjentatt med en tenkt situasjon der både underområde A og underområde 1 av Bsentralt (Bs1) er i klasse II, deretter med underområde A, Bs1 og Bs2, osv. Rekkefølgen av underområdene er basert på gradvis lavere gjennomsnittsinhold av TBT i sedimentene (cf Figur 3):

9. Ingen tiltak (dagens situasjon)
10. Tiltak i hele område A
11. Tiltak i område A og Bsentralt underområde 1 (Bs1)
12. Tiltak i område A og Bsentralt underområde 2 (Bs2)
13. Tiltak i område A og Bsentralt underområde 3 (Bs3)
14. Tiltak i område A, Bsentralt og Bnv
15. Tiltak i område A, Bsentralt, Bnv og Bnø,
16. Tiltak i område A, Bsentralt, Bnv, Bnø og Bsø (dvs hele A+B).

Den gradvise økningen i tiltaksareal ble av Bakke og Næs (2012) koblet opp mot et foreløpig estimat av tilsvarende gradvis økning i tiltakskostnad.

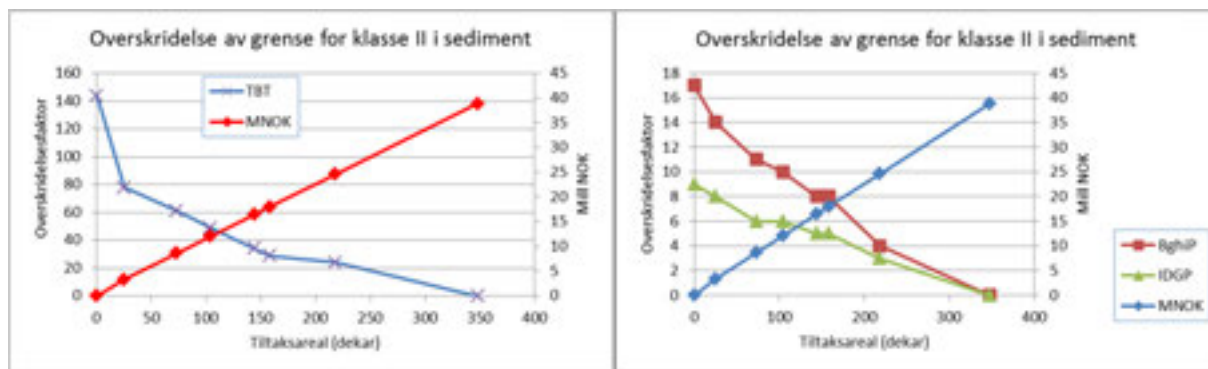


Figur 3. Inndeling av delområde A og B i underområder som grunnlag for en stegvis risiko- og tiltaksvurdering. Bs1, Bs2 og Bs3 utgjør til sammen Bsentralt.

## 3.2 Resultater

### 3.2.1 Overskridelse av Klasse II for miljøgifter i sediment

Analysene viser at dersom tiltak gjøres i hele gjenværende delområde **A**, slik at miljøgiftene i dette delområdet tilfredsstiller Klif's Klasse II, så reduseres overskridelsen av TBT i hele tiltaksområdet (A+B) fra en faktor 144 til 78, dvs en nedgang i risiko på 46 % (Figur 4, Tabell 1). Dersom samme tiltak gjøres både i **A** og **Bs1**, blir tilsvarende reduksjon i risiko 58 %, og om **Bs2** inkluderes 66 %. Gevinsten ved å inkludere delområde **Bs1** er altså en 12 % reduksjon i total risiko for overskridelse av Klasse II, mens inkludering av **Bs2** gir en tilleggsgevinst på 8 %. For de øvrige stoffene som viser overskridelse av betydning i dag, PAH-forbindelsene benzo(ghi)perylene og dibenzo(ah)antracen, er risikoreduksjonen nærmest lineært fallende med økende tiltaksareal. Tiltak i delområde **A**, og **Bs1** gir samlet en reduksjon i overskridelse på 34 % for disse forbindelsene.



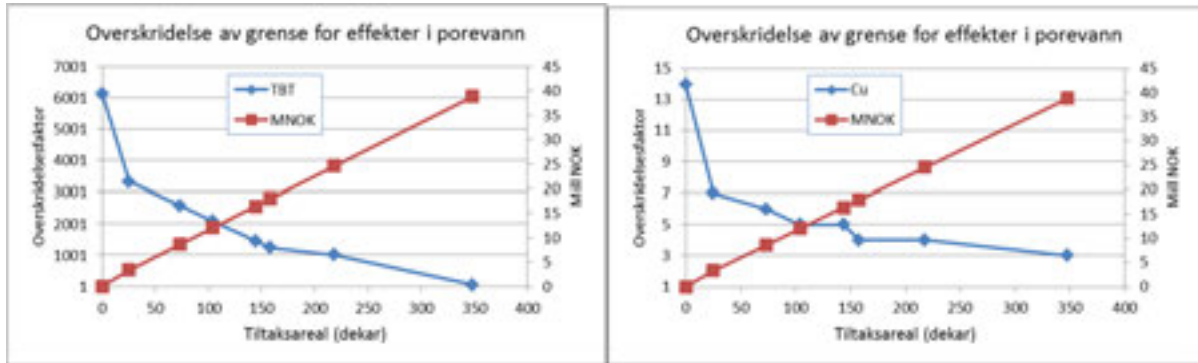
Figur 4. Endring i overskridelse av klasse II for sedimenter, og i tiltakskostnad, som funksjon av øket tiltaksareal. Bare miljøgifter som viser overskridelse av betydning er tatt med. NB: skala på y-aksene er ulike.

Tabell 1. Kumulativ prosentreduksjon i utlekking og overskridelse av ulike grenseverdier for risiko ved tildekking i økende antall delområder.

Aksept-kriterium	Stoff	Delområde						
		A	Bs1	Bs2	Bs3	Bnv	Bnø	Bsø
Grense Klasse II	TBT	46	58	66	76	80	83	100
	BghiP	18	35	41	53	53	76	
	IDGP	11	33	33	44	44	67	100
PNEC porevann	TBT	46	58	66	76	80	84	99
	Cu	50	57	64	64	71	71	79
PNEC sjøvann,	TBT	46	59	66	76	79	84	100
Grense helse	TBT	50	67	67	83	83	83	83
	B(a)p	13	15	15	16	15	21	9
	Pb	25	25	25	25	25	25	0
Utlekking til vann	TBT	88	94	95	96	96	97	100
	Pb	85	94	95	95	95	96	100
	Cu	89	95	95	96	96	97	100
	sumPAH	79	92	93	93	93	94	100
Utlekking til biota	TBT	72	78	82	88	90	92	100
	Pb	29	43	51	63	67	79	100
	Cu	49	60	67	76	78	85	100
	sumPAH	3	19	30	43	49	74	100

### 3.2.2 Overskridelse av grenseverdier for økologiske effekter av miljøgifter i porevann

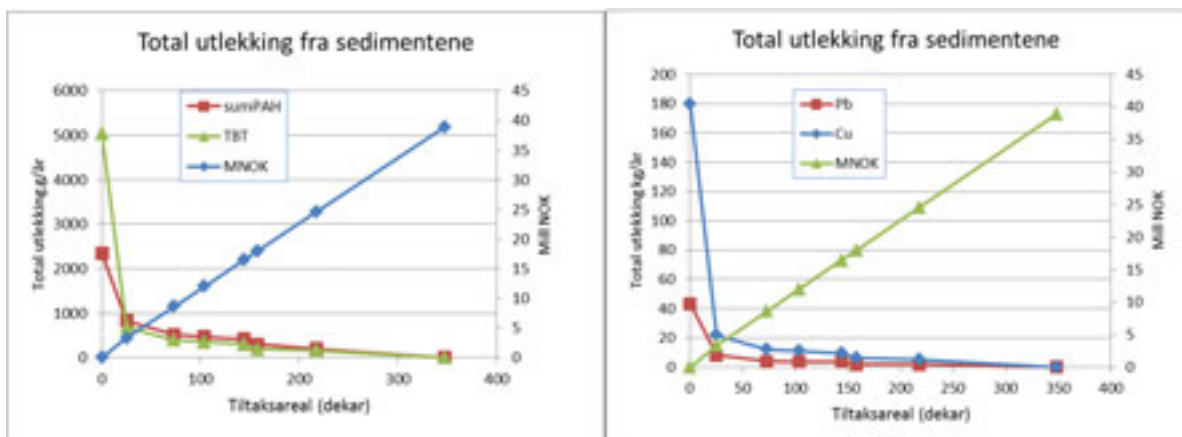
I porevannet er det bare TBT og Cu som i betydelig grad overskrider grenseverdien for økologiske effekter. Etter tiltak i delområde A synker beregnet gjennomsnittlig overskridelse med ca 46 % for TBT og 50 % for Cu (Figur 5, Tabell 1). Tiltak også i delområde Bs1 gir en ytterligere risikogevinst på hhv 12 % og 7 %.



Figur 5. Endring i overskridelse av grenseverdier for økologiske effekter av porevann, og i tiltakskostnad, som funksjon av øket tiltaksareal. Bare miljøgifter som viser overskridelse av betydning er tatt med. NB: skala på y-aksene er ulike.

### 3.2.3 Endring i total årlig utlekking av miljøgifter fra sedimentene

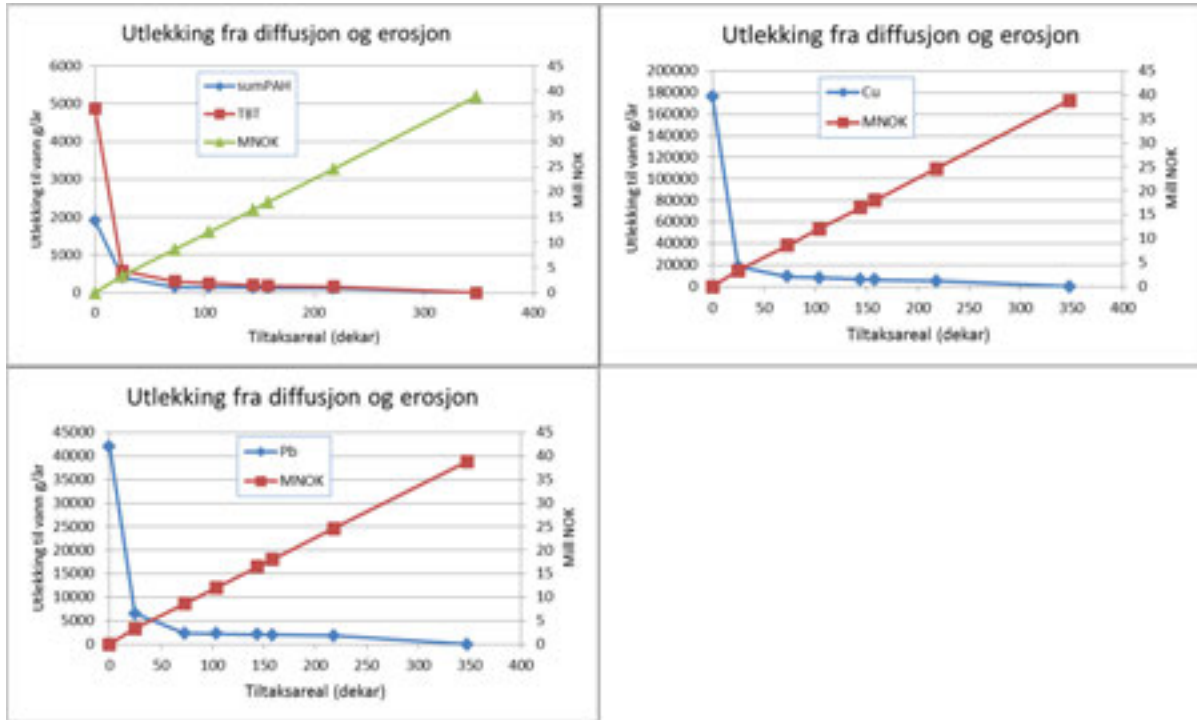
Dette estimatet viser beregnet samlet utlekking av miljøgifter fra sedimentene via de tre transportvegene diffusjon + oppvirvling + transport i næringskjeden (Figur 6). Ved tiltak i delområde A synker total utlekking fra hele område A+B med 88 % for Cu, 81 % for Pb, 86 % for TBT og 65 % for sumPAH<sub>16</sub>. Ved å gjøre tiltak i delområde Bs1 også blir tilsvarende reduksjon 93 % for Cu, 91 % for Pb, 92 % for TBT og 78 % for sumPAH<sub>16</sub>.



Figur 6. Endring i total utlekking (sum fra diffusjon, erosjon og næringskjedetransport), og i tiltakskostnad, som funksjon av øket tiltaksareal. Bare de miljøgifter som viser størst utlekking er tatt med. NB: skala på y-aksene er ulike.

### 3.2.4 Endring i årlig utlekking av miljøgifter til vannmassene

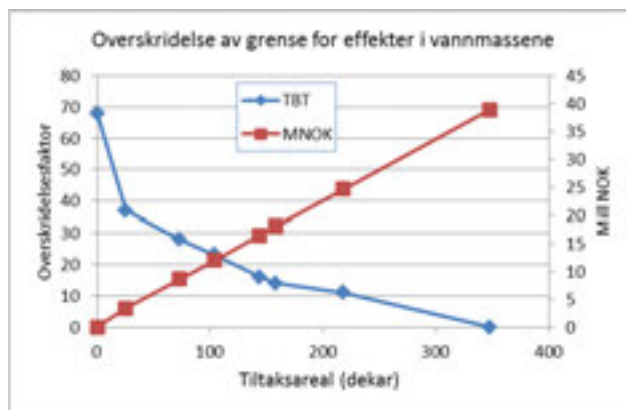
Denne utlekkingen representerer sedimentenes bidrag til konsentrasjon av miljøgifter i vannmassene over sedimentet. Dersom tiltak gjøres i delområde A, vil samlet utlekking fra hele området (A+B) reduseres med 89 % for Cu, 81 % for Pb, 88 % for TBT og 79 % for sumPAH<sub>16</sub> (Figur 7, Tabell 1). Dersom delområde B<sub>1</sub> inkluderes i tiltaket er samlet reduksjon hhv 95 %, 94 %, 94 % og 92 %.



Figur 7. Endring i årlig utlekking til vannmassene (g/år fra diffusjon + erosjon), og i tiltakskostnad, som funksjon av øket tiltaksareal. Bare de miljøgifter som viser størst utlekking er tatt med. NB: skala på y-aksene er ulike.

### 3.2.5 Overskridelse av grenseverdier for effekter av miljøgifter i overliggende vann

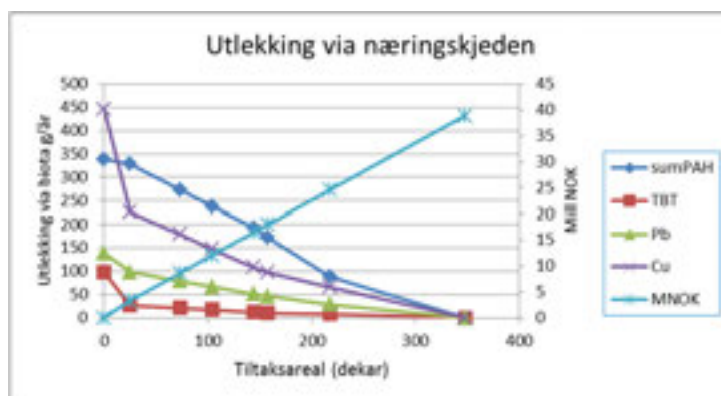
Det er bare TBT som i dag viser overskridelse av grenseverdien i vann. Ved tiltak i delområde **A** synker den beregnede overskridelsen med 46 % (Figur 8, Tabell 1). Tiltak også i delområde **Bs1** gir en samlet reduksjon i overskridelse på 59 %. For **Bsentralt** er det lineær sammenheng mellom tiltaksareal og tiltaksgevinst.



Figur 8. Overskridelse av grenseverdier for økologiske effekter i vannmassene av TBT fra sedimentene (utlekking fra diffusjon og erosjon), og i tiltakskostnad, som funksjon av øket tiltaksareal.

### 3.2.6 Endring i årlig miljøgiftutlekking fra sedimentene til organismer

Dette viser beregnet total transport (g/år) av miljøgifter fra sedimentene til sedimentfaunaen og som kan transporteres videre oppover i næringskjeden. Det er størst utlekking av Cu, etterfulgt av sumPAH<sub>16</sub>, Pb og TBT (Figur 9). Ved tiltak i delområde **A** synker transporten fra hele området (A+B) med 49 % for Cu, 3 % for PAH, 29 % for Pb og 72 % for TBT (Tabell 1). Ved å gjøre tiltak i delområde **Bs1** også er tilsvarende tall 60 % for Cu, 19 % for PAH, 43 % for Pb og 78 % for TBT. Utlekkingen av sumPAH<sub>16</sub>, synker omtrent lineært med størrelsen på arealet det gjøres tiltak på. For de øvrige stoffene synker utlekkingen mest ved tiltak i **A**.

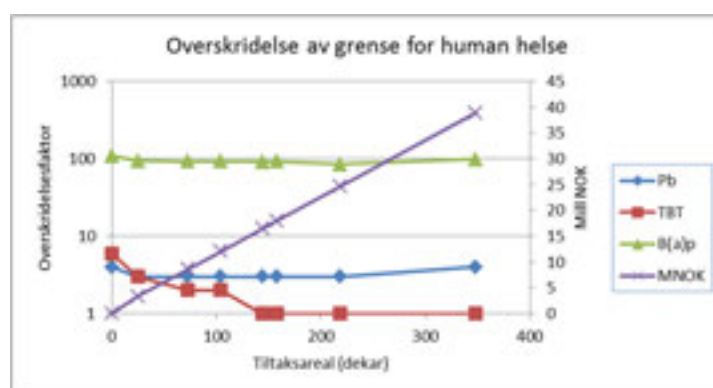


Figur 9. Endring i årlig transport av miljøgifter (g/år) fra sedimentene til organismer, og i tiltakskostnad, som funksjon av øket tiltaksareal. Bare de miljøgifter som viser størst utlekking er tatt med.



### 3.2.7 Overskridelse av grenseverdier for effekter på human helse via næringskjeden.

Resultatene viser hvordan miljøgifter transportert gjennom næringskjeden fra sedimentet til lokal sjømat overskrider grenseverdiene for humant inntak av miljøgifter fra sjømaten, og hvordan overskridelsen endrer seg ved tiltak. Overskridelsen er størst for den kreftfremkallende PAH-forbindelsen benzo(a)pyren (Figur 10). Tiltak i deler eller hele området har liten innvirkning på denne overskridelsen. Dette skyldes at grenseverdien for helserisiko fra benzo(a)pyren er så lav at selv et sediment i klasse II (ingen økologiske effekter) vil overskride den med en faktor ca. 100. Det samme gjelder i stor grad for Pb (øvre grense for klasse II gir overskridelse med faktor 4). For TBT vil tiltak i delområde A alene føre til en 50 % reduksjon i overskridelse. Tiltak også i **Bs1** gir samlet reduksjon i overskridelse på 67 %, mens tiltak i hele **Bsentralt** gir 83 % reduksjon. Videre tiltak har ingen virkning.



Figur 10. Endring i overskridelse av grenseverdi for effekter på human helse for miljøgifter i sedimentene, og i tiltakskostnad, som funksjon av øket tiltaksareal. Bare de miljøgifter som viser størst overskridelse er tatt med. Merk logaritmisk skala på den venstre y-aksen.

## 3.3 Samlet inntrykk av utlekkings- og risikoreduksjon ved trinnvist tiltak i delområde B.

### 3.3.1 Utlekkingsreduksjon

Den klart største utlekkingsreduksjonen for alle aktuelle stoffer oppnås ved tiltak i delområde A. Når det gjelder utlekking til vannmassene vil tiltak i **Bs1** gi større gevinst i forhold til tiltaksareal enn tiltak i de øvrige områdene. Når de gjelder utlekking til biota vil tiltak i **Bsentralt**, **Bnv**, og **Bnø** gi omtrent samme gevinst pr areal, mens gevinsten er noe mindre i **Bsø**.

### 3.3.2 Risikoreduksjon

Reduksjonen i risikofaktorer skjer mer gradvis med tiltaksareal enn reduksjonen i utlekking. Selv med tiltak til Klasse II i hele område A+B vil gjennomsnittlig risikoreduksjon ikke bli høyere enn ca. 70 %. Tiltak i delområde A vil omtrent halvere de ulike risikooverskridelsene for TBT (Tabell 1). Videre tiltak i **Bsentralt** gir omtrent lineær reduksjon i overskridelse med arealstørrelse, mens tiltak ut over **Bsentralt** gir noe lavere gevinst pr arealenhet.

For de øvrige miljøgiftene vil tiltak i delområde A alene gi reduksjon i overskridelse av de ulike grenseverdiene for risiko på 11 – 50 %, lavest for PAH-forbindelsene. Hvis det gjøres tiltak også i underområde **Bs1** er reduksjonen i overskridelser 15 – 57 %. Inkluderes hele **Bsentralt** er samlet reduksjon i overskridelser på 16 – 64 %. M.a.o. vil tiltak i **Bsentralt** bare gi betydelig mindre

tilleggsgevinst ut over tiltak i A. Risikoen fra PAH synker omtrent lineært med areal uansett hvor man gjør tiltak i område A+B. Hovedgrunnen er at PAH i sedimentet ikke viser noe klart geografisk mønster knyttet til Nymo. Risikoen for helseskade fra benzo(a)pyren endrer seg ikke ved noe tiltak.

Beregningene som ligger til grunn for Figur 4 - Figur 10 er basert på et tiltaksmål om Klif klasse II i det bioaktive laget, typisk anslått til å være innenfor de øvre 10 cm av sedimentet. Med de nivåene av TBT som er registret i sedimentene vil det i praksis være behov for å etablere et nytt 10 cm topplag for å få TBT-konsentrasjonene ned i Klasse II uansett hvilken del av område A+B man ser på. Av praktiske grunner tar Nymo sikte på en designtykkelse på et dekklag på ca. 20 cm. Kravet til renhet av tildekkingsmasser kan etter Klifs håndteringsveileder (TA-2855/2011) tolkes dithen at materialet i praksis må være i klasse II eller bedre. Dersom et rent tildekkingsmateriale brukes, vil den beregnede risikogevinsten for hele tiltaksområdet som funksjon av størrelse på tiltaksareal bli større enn det som disse figurene ovenfor viser. Ved å ta utgangspunkt i et dekkmateriale i øvre grense av Klasse II anser vi, imidlertid, at beregningene også tar høyde for en viss rekontaminering fra områder som ikke dekkes til.

## 4. Tiltaksplan

### 4.1 Tiltaksalternativer

Prinsippet om at tiltaksmetoder skal være lokalt tilpasset er viktig. I realiteten er det fire valg det står mellom:

1. Mudring (fjerning av sediment).
2. Tildekking (bruk av tynne eller tykke sjikt av egnede masser).
3. Avvente situasjonen og overvåke for å dokumentere at kjemisk og biologisk tilstand bedrer seg ved naturlig sedimentering.
4. Endring i arealbruk eller operasjonell praksis (f.eks. manøvreringsmønster).

I mange tilfeller kan det være aktuelt å kombinere ulike tiltaksmetoder innenfor ett og samme område ved å dele opp området.

Ved tiltak som omfatter bruk av fartøy vil det være en begrensning i hvor grunt disse kan operere. I tiltaksplanen nedenfor planlegges bruk av tildekking, der dekklaget blir plassert ved bruk av fallbunnslekter. Vi har derfor begrenset tiltaksområdene i den foreliggende planen til dypere enn kote - 5 m.

### 4.2 Forholdet til vannforskriften

Vannforskriftens generelle mål for økologisk tilstand i vannforekomstene sier:

- Paragraf 4: Tilstanden i overflatevann skal beskyttes mot forringelse, forbedres og gjenopprettes med sikte på at vannforekomstene skal ha minst god økologisk og god kjemiske tilstand, i samsvar med klassifiseringen i vedlegg V.
- Paragraf 7: Det skal gjennomføres nødvendige tiltak med sikte på gradvis reduksjon av forurensning fra prioriterte stoffer til vann. Det skal gjennomføres nødvendige tiltak med sikte på stans i utslippene av prioriterte farlige stoffer til vann.

Tiltak for å nå målene i paragraf 7 skal iverksettes umiddelbart. Målsettingen i paragrafens setning 2 skal nås senest innen utgangen av 2020. Fristene kan forlenges med inntil 12 år for å sikre en gradvis måloppnåelse, forutsatt at det ikke forekommer ytterligere forringelse av tilstanden i den berørte vannforekomsten og minst ett av følgende forhold gjør seg gjeldende:

- forbedringene kan av tekniske årsaker ikke gjennomføres innen fristen, eller
- det ville være uforholdsmessig kostnadskrevende å gjennomføre forbedringen innen fristen, eller
- det foreligger slike naturforhold at en forbedring av vannforekomsten innen fristen ikke lar seg gjennomføre.

Forskriftens Vedlegg V fastslår følgende definisjon av god tilstand mht. syntetiske/ikke-syntetiske forurensende stoffer i en vannforekomst som Vikkilen (kategori Kystvann):

- Konsentrasjoner skal ikke overstige EQS verdien for de aktuelle stoffene.

Forskriften gir ikke EQS-verdier for miljøgifter i sediment, bare i vann og biota, men teksten kan tolkes som at dette kan bety et minimumskrav om øvre grense for Klasse II i Klifs klassifiseringsveileder for miljøgifter i sediment (TA-2229/2007). I prinsippet betyr dette at det må gjøres tiltak på sedimentene i hele Vikkilen. For TBT vil man oppnå 60 % av målet om klasse II for delområde A+B etter tildekking i A og Bs1, og vi mener kostnadene ved en påskyndet oppfyllelse av et krav om Klasse

II for sedimentene i den øvrige delen av Vikkilen vil være uforholdsmessig store i forhold til miljøgevinsten.

Forskriften åpner også for at det kan fastsettes mindre strenge miljømål dersom følgende vilkår er oppfylt:

- de miljømessige og samfunnsøkonomiske behov som denne menneskelige virksomheten tjener, ikke uten uforholdsmessige kostnader kan oppfylles på andre måter som er miljømessig vesentlig gunstigere,
- forbedringene kan av tekniske årsaker ikke gjennomføres innen fristen,
- det sikres en høyest mulig tilstand for overflatevann gitt de store påvirkningene som er til stede,
- det ikke forekommer ytterligere forringelse av tilstanden i den berørte vannforekomsten

Vi mener dette åpner for et noe mindre kategorisk krav enn Klasse II ved aktive tiltak, siden det allerede er en gunstig utvikling på gang i Vikkilen, og mye vil være vunnet ved tiltak i de mest forurensede områdene. Vi mener det er grunnlag for å akseptere en rimelig oppnåelse av Klasse II ved naturlig forbedring innen 2032 i de minst forurensede områdene av kilen.

## **4.3 Anbefalte tiltak**

### **4.3.1 Delområde A**

#### ***Begrunnelse***

Den trinnvise risikovurderingen ovenfor viser at tildekking av delområde A gir størst gevinst for hele område A+B i forhold til kostnad. Utlekkingen til vannmassene reduseres med 85-90 % (for PAH ca. 80 %), utlekking via næringskjeden med ca. 30- 70 % (3 % for PAH) og risiko-overskridelsene for TBT med ca. 50 %. Risiko-overskridelsene for PAH og til dels metallene reduseres tilnærmet lineært med øket tildekkingsareal i hele område A+B.

#### ***Anbefaling***

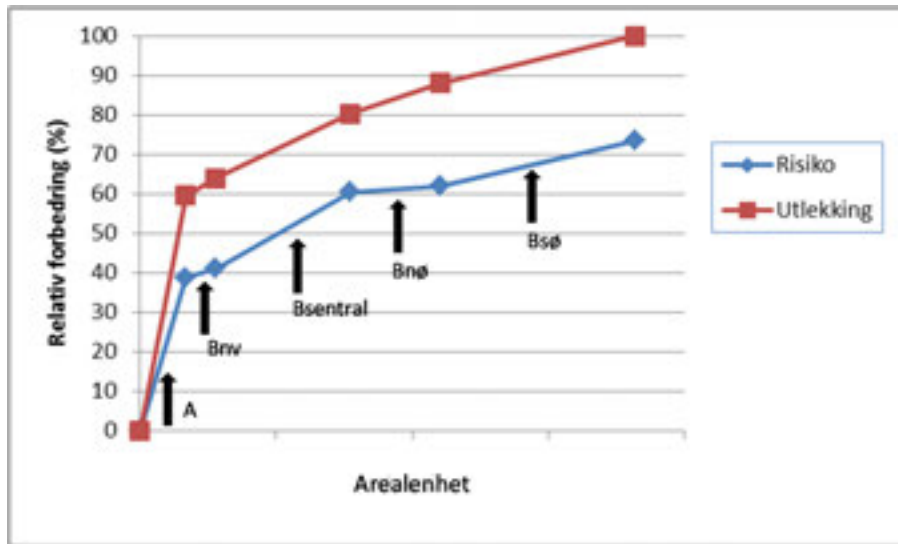
Som i tidligere tiltaksvurderinger anbefales at det gjennomføres aktivt tiltak i delområde A ved overdekking. Et dekklag på 20 cm vil etablere et rent nytt topplag som substrat for en ny bunnfauna og bør også være tykt nok til at en senere bioturbasjon fra denne faunaen ikke i nevneverdig grad vil påvirke de underliggende forurensede sedimentene. Nymo har allerede i forbindelse med kaiutvidelser og stabilisering av strandkanten dekket til deler av det opprinnelige delområde A (sand, delvis over geotekstil) slik at det nå gjenstår ca. 25 000 m<sup>2</sup> som må dekkes til. Det vil også bli vurdert å dekke til på nytt deler av det området som allerede er behandlet og som evt har blitt rekontaminert siden tiltaket ble gjort. Tildekkingsmaterialet vil oppfylle renhetskravene gitt i Klifs veileder TA-2143/2005 (Veiledende testprogram for masser til bruk for tildekking av forurensede sedimenter). Dekkmaterialet må også kunne motstå propellerrosjon utenfor kaiene. Innholdet av finsediment i A er anslagsvis 20 - 70 % (Næs m. fl. 2005, Bakke m. fl. 2008), noe som tyder på at det skjer en middels utvasking ved erosjon. Tildekking med sand ansees for å være egnet.

### **4.3.2 Delområde B**

#### ***Begrunnelse***

I delområde B har tidligere anbefalinger variert. Schaanning og Næs (2006) og Bakke m. fl. (2008) anbefalte tildekking med 20 - 40 cm erosjonsbestandige masser over hele delområdet. Etter gjennomføring av en risikovurdering Trinn 3 foreslo Bakke m. fl. (2012) lik behandling i delområde B som i delområde C, dvs. fortrinnsvis naturlig forbedring. Etter den trinnvise risikovurderingen beskrevet av Bakke og Næs (2012) og gjentatt i denne rapporten, anbefalte Bakke og Næs (2012) tildekking i en del av B og overvåket naturlig forbedring i resten.

Som vist ovenfor (kapittel 4.3.1) gir tildekking i delområde B størst beregnet ekstragevinst utover tiltak i A når det gjelder redusert utlekking til vannmassene, og minst når det gjelder utlekking til biota og overskridelse av akseptgrenser for risiko mht. helse- og miljøeffekter. Dette er også vist i Figur 11. Så lenge det ikke er noen klare kriterier knyttet til utlekking alene er det vanskelig å sette en grense for hva som vil være akseptabelt tildekkingsomfang i delområde B for å redusere utlekking. Den totalt sett største beregnede ekstragevinsten fås ved tiltak i underområde Bs1. Ut over dette er det innenfor område B sentralt en ganske lineær sammenheng mellom redusert utlekking og risiko og økt areal som dekkes til (Figur 11).



Figur 11. Beregnet gjennomsnittlig redusert risiko (overskridelse av akseptgrenser) og gjennomsnittlig redusert utlekking av de aktuelle miljøgiftene fra sedimentene i område A+B som funksjon av økning i tiltaksareal innenfor delområde A og B.

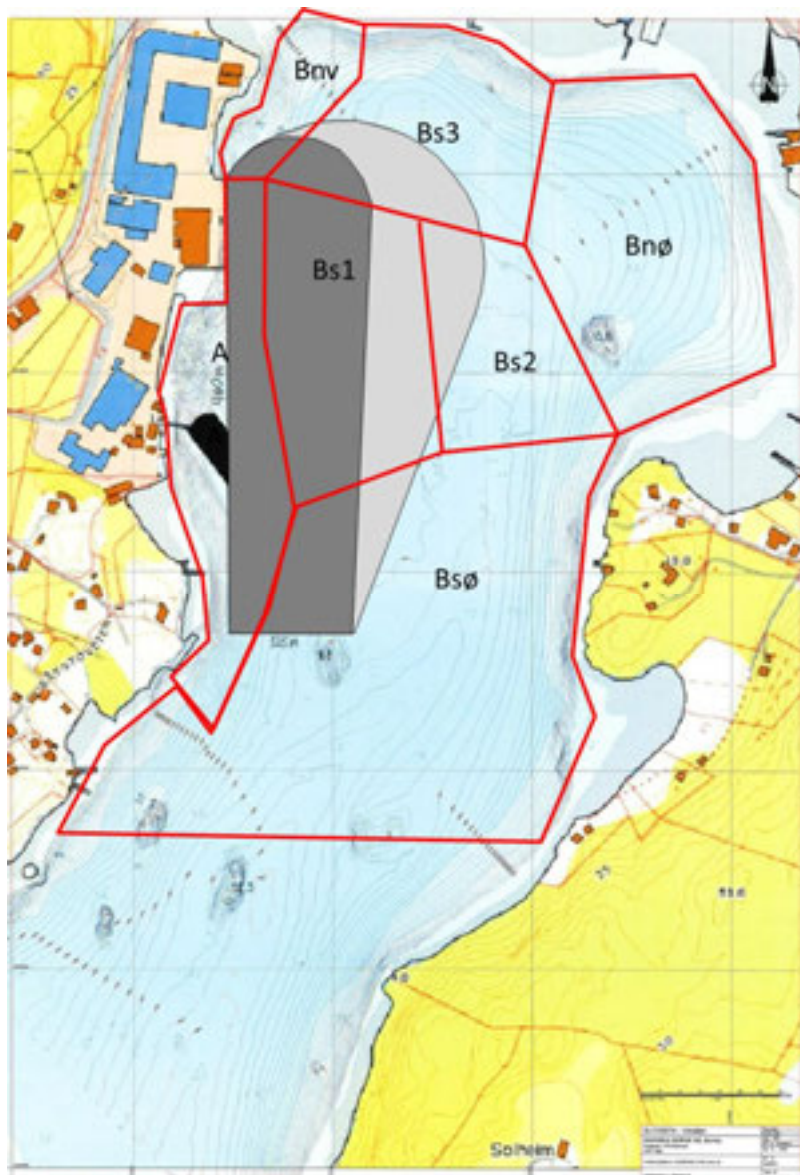
Tiltaksplanen av 29.05.2012 (Bakke og Næs 2012, oversendt Miljødirektoratet 30.05.2012) anbefalte tildekking av underområde Bs1 på samme måte som område A, og overvåking av naturlig forbedring i resten av delområde B. Miljødirektoratet varslet 19.11.2013 at man ville sette krav om tildekking med minimum 20 cm masser både i område A, hele B sentralt og Bnv. Et viktig moment i direktoratets begrunnelse var faren for rekontaminering dersom skipsmanøvrering eroderte ubehandlede områder. I møte mellom Miljødirektoratet og Nymo den 19.02.2014 ble man derfor enige om at det kunne være hensiktsmessig å definere tiltaksarealene ut fra skipsaktiviteten ved Nymo heller enn ut fra de underområdene som ble valgt for den stegvise risikovurderingen.

Nymo har nærmere kartfestet de områdene utenfor verftet som er utsatt for påvirkning fra skipspropeller (Figur 12). Dette omfatter et område på ca. 64 000 m<sup>2</sup> der de vanligste fartøyene som anløper kaiene manøvrerer (normale fartøy for stor Nordsjøfart med størrelse inntil 90 x 15 m) og et område utenfor dette igjen på ca. 44 000 m<sup>2</sup> der de største fartøyene som har vært til kai i Vikkilen også manøvrerer (store bulkskip på inntil 190 x 32 m). Til sammen utgjør dette et totalareal som påvirkes av skipsmanøvrering utenfor verftet på 108 000 m<sup>2</sup>. Dette vil være det området der det er behov for tiltak i form av erosjonsbestandig tildekking for å unngå miljøgiftspredning til omkringliggende områder. Risikoen for rekontaminering av tildekkede områder fra områdene omkring forventes å være lav siden det er rimelig å anta at en partikkeltransport fortrinnsvis vil gå fra områdene som påvirkes av propeller til områdene omkring.

### Anbefaling

Ut fra situasjonen beskrevet ovenfor anbefales det en tildekking som for delområde A med 20 cm egnede masser i den del av delområde B hvor typiske fartøyer for stor Nordsjøfart manøvrerer; dette

for å få et mer robust dekklag enn det som ansees nødvendig og tilstrekkelig for at en sedimentfauna skal kunne etablere seg. I tilleggsområdet for store bulkskip, som sjelden ankommer verftet, ansees det tilstrekkelig med en tildekking på 10 cm. I resten av delområde B anbefales overvåking av naturlig forbedring. De reviderte tiltaksområdene er vist i Figur 12.



Figur 12. Kart over indre del av Vikkilen med delområder brukt i den trinnvise risikovurderingen og områder for skipsmanøvrering utenfor Nymo. Mørk skravering: Nordsjøskip inntil 90 x 15 m, tildekkes med 20 cm masser; lys skravering: store bulkskip inntil 190 x 32 m tildekkes med 10 cm masser.

#### 4.3.3 Delområde C

##### *Anbefaling*

Her er det tidligere (Bakke m. fl. 2012) anbefalt at man inntil videre ikke gjør noen aktive tiltak, men følger med via overvåking hvordan situasjonen endrer seg etter at tiltak i delområde A og B er

gjennomført. Det er ikke kommet fram forhold som har endret på dette og overvåket naturlig forbedring opprettholdes som anbefalt tiltak i delområde C.

## 4.4 Teknisk gjennomføring

### 4.4.1 Plan

Et pålagt område av Vikkilen skal tildekkes med 20 cm resp. 10 cm sand. Deler av området er tidligere tildekket. Før arbeidet starter foretas kontroll av dagens situasjon i tidligere tildekkete områder (dette arbeidet er under planlegging).

Arbeidene planlegges utført slik at man først dekker til området som skal ha 20 cm, derpå området som skal ha 10 cm. Det tykkeste laget er nærmest land. Gjennom utleggingen av dette laget opparbeides erfaring samt en metodisk kunnskap til selve teknikken med lasting, manøvrering og kontroll av arbeidsprosessen.

### 4.4.2 Utførelse

Forut for operasjonen skal operatør og øvrige mannskap utføre nødvendig trening for operasjonen. Alle som skal delta skal dokumentere tidligere erfaring med denne type arbeid.

Det skal etableres to sanddeponier:

- Deponi A straks nord for gamle dypvannskai.
- Deponi B ved Bjelkestranda.

Nøyaktig plassering avtales da de må tilpasses bedriftens øvrige aktivitet.

Sandbehovet anses å være ca. 15-20% over teoretisk behov.

Det skal benyttes en fallbunnslekter hvor lukene kan reguleres. Lekterrommet er oppdelt i tverrstilte lukerom. Lukelemmene er hydraulisk operert fra operatørstasjon. Lekteren trekkes av en egnet taubåt. Fra manøvreringsstasjonen til taubåten (styrhus eller tilsvarende) styres også lekterlukene.

Forut for operasjonen er alle nødvendige data for manøvrering og utlegging innmatet i egen sentral. Denne aktiveres og styres under slepet.

Man legger opp til en rutenetts-utlegging slik at første lag går en vei mens neste går tvers av dette. Dette gjelder der det er både 20 og 10 cm lagtykkelse. Man halverer kravet. Massene fra lekteren vil spre seg nedover i vannet. Dybden er opp mot 20 m og dette gir erfaringsmessig god spredning. Ved ca. 20 m dyp og en lukebredde på 5 m blir spredningen på bunnen ideelt ca. 10 m; største tykkelse i midten og tynnere utover.

Man kan risikere et ukontrollerbart dropp, dvs. massene raser mot bunnen f.eks. ved at lekterlukene åpner seg feil, man mister styring på lekteren osv. Droppet registreres, men tas ikke hensyn til i prosessen, og ses på som tapt. Prosedyren for utlegging av det tapte materialet fullføres.

Det kan være aktuelt å gå «buet» slep ved supplering av tildekkingen. Sleppe går delvis i bue, delvis som rett strekk. Samlet fås en kombinasjon. Dette må vurderes på stedet. Sentrifugalkraften i et «buet» slep hjelper til med spredningen slik at man arbeider seg lenger og lenger utover i buen med kontroll over utleggingen. Da spres sanden.

For å være sikker på at massene havner på riktig sted benyttes posisjoneringsutstyr, f.eks. Olex-3-D kartplottersystem eller tilsvarende koblet opp mot GPS. Hele tildekkingsområdet legges inn i kartet.

Dette deles opp i et rutenett som passer til tildekkingsområdet. Dimensjonen på rutenettet har forhold til lukebredden slik at man på forhånd kan definere hvor mange slipp som skal legges ut i hver rute.

#### **4.4.3 Kontroll**

Før massene legges ut skal det settes ut et antall målestaver. Målestavene skal være ca. 1 m høye, stå på en bunnplate og inndelt i merker pr. 10 cm. De utstyres med bøyer slik at de er stødige og lett kan finnes igjen. Alle bøyer nummereres. I tillegg skal hele det planlagte tildekkingsområdet profileres med Wassp multistråle ekkolodd eller tilsvarende. Tildekkingstakten kontrolleres jevnlig visuelt av dykker som sjekker målestavene, og dokumenteres med video til slutt. Det foretas også en kontrollprofilering til slutt over hele eller deler av området dersom det skulle være behov for det.

### **4.5 Kostnadsberegning for anbefalt tiltak**

De anbefalte tiltaksarealene er vist i Figur 12. Nymo har foretatt en grovkalkyle med basis i dagens prisleie for anbefalt tildekking.

- 20 cm i område A + innenfor manøvreringsområdet for Nordsjøskip.
- 10 cm i resten av arealet påvirket av manøvrering (store bulkskip).

Disse arbeidene er kalkulert til 13.1 mNOK (million norske kroner) samlet sett. I tillegg kommer kostnader til kontrollprogram og etterfølgende miljøovervåking. Disse kostnadene er anslått til 1,2 mNOK inklusive pågående undersøkelser i områdene grunnere enn 5 m<sup>1</sup>.

Dersom prøver i område A viser at man også må tildekke tidligere tildekket og/eller mudret område vil kostnader tilknyttet dette komme i tillegg. Tilleggsstabilisering av spuntveggen med stein pga. påvist setningsforløp vil måtte vurderes samtidig. Dersom dette arbeidet er nødvendig vil det eventuelt komme til fradrag i sandtildekkede områder hvis det viser seg fornuftig i selve arbeidsprosedyren.

Nymo har, av økonomiske grunner, et ønske om å utsette tildekkingen med 10 cm sandtykkelse innenfor ytre manøvreringsområde (Figur 12). Beslutning om denne tildekkingen må tas innen 2016 for utførelse 2016-2017. Riggarealer mv. beholdes da for dette arbeidet inntil 3 år fra 2014. Tilleggskostnadene for et slikt «avbrudd» begrenses da til ca. 0,2 mNOK. For senere aktivering av operasjoner må tilrigging mv. gjøres på nytt.

Nødvendige særlige oppdateringer av kartverket som følge av endring i dybder må vurderes etter at dokumentasjonen for utført arbeid er fremlagt. Feildropp etc. vil kunne ha betydning. Oppdatering avklares med Losoldermannen, og vil normalt kunne beløpe seg til ca. 0,3 mNOK.

### **4.6 Alternativt tiltak**

Følgende settes opp som første alternativ til anbefalt tiltak.

Tildekking som i anbefalt tiltak, samt 10 cm tildekking av sediment i underområde Bs2, Bs3 og Bnv som ikke allerede er tildekket. Hovedbegrunnelsen for alternativet er å oppfylle et krav om Klasse II for miljøgifter i hele delområde B raskere enn det man oppnår ved naturlig forbedring. Overvåket naturlig restitusjon i resten av Vikkilen.

---

<sup>1</sup> Gjennomføres i mai som underlag for å vurdere tiltaksbehov og eventuelle sårbare ressurser.



## **4.7 Disponering av masser**

Verken anbefalt eller alternativt tiltak medfører generering av forurensede masser som må håndteres.

## **4.8 Fremdriftsplan**

Nymo tar sikte på å søke om tillatelse til alle tiltakene så snart tiltaksplanen er godkjent av Miljødirektoratet. Gjennomføring av tiltaket inklusive klargjøring av riggplass, lastedeponi osv. samt opprydding etterpå forventes å ta i overkant av 3 mnd. Dersom man antar at islegging i Vikkilen skjer i midten av desember 2014, bør arbeidet starte primo oktober, tilrigging medio september. Dvs. vi må satse på nokså fri jobbing i sjøen fra 1.okt. til 15. des. En slik tidsplan forutsetter at søknad om tiltak sendes før ferien. Videre forutsetter tidsplanen at tilrigging ikke kompliseres av driftsmessige forhold ved verftet. Det må også tas et forbehold om at en høringsprosess og håndtering av eventuelle klager fra naboene kan kreve justering av tidsplanen. Mest sannsynlig vil klager/anker føre til en forskyvning av arbeidet til 2015 etter at eventuell islegging er over.

Nymo har som tidligere nevnt et ønske om å utsette tildekkingen med 10cm sandtykkelse innenfor ytre manøvreringsområde (Figur 12). I så fall bør beslutningen om gjennomføring tas innen 2016 for utførelse 2016-2017. Riggarealer mv. beholdes da for dette arbeidet inntil 3 år fra 2014. For senere aktivering av operasjoner må tilrigging mv. starte på nytt.

## 5. Kontroll og avbøtende tiltak

### 5.1 Miljøkontroll under tiltak

Det vil bli etablert et miljøkontrollprogram som gjennomføres under tiltaksperioden. Programmet vil ha som mål å kontrollere at gjennomføring av tiltaksarbeidet selv ikke forårsaker uakseptabel oppvirvling og spredning av forurensede partikler. Det tas sikte på et tilsvarende kontrollprogram som ble gjennomført i forbindelse med de tidligere kaiutbyggingene ved verftet, som også omfattet tildekking av sedimenter. Dette omfatter en løpende overvåking av turbiditet i en utvalgt posisjon på grensen av tiltaksområdet og i en fast referanseposisjon, samt stikkprøvekontroll av turbiditetsprofiler ledsaget av utvalgte vannprøver for analyse av miljøgifter i suspenderte partikler.

Turbiditetsovervåkingen i de faste posisjonene kobles i sanntid opp mot en alarmfunksjon som utløser avbøtende tiltak ved overskridelse av en fastsatt alarmgrense for turbiditet. Denne aktiviteten vil være entreprenørens ansvar. Stikkprøvekontroll av turbiditetsmønster i horisontale og vertikale profiler og analyse av miljøgifter i partikler i utvalgte vannprøver vil være byggherrens ansvar.

Ved tildekking forventes langt mindre resuspensjon av forurensede partikler enn ved f.eks. mudring. Dersom stikkprøvekontrollene likevel skulle vise en uakseptabel spredning av forurensede partikler og at dette ikke kan begrenses ved justering av utlekkingsprosedyre, vil man vurdere å anvende siltskjørt rundt anleggsområdet.

### 5.2 Sluttverifisering

Denne vil ha følgende undersøkelselementer:

*Verifisere at sedimentforholdene etter tiltak tilfredsstiller kravene gitt i tiltaksplanen mht. dekklagstykkelse og miljøgiftnivåer.*

- Fysisk karakterisering av ”ny” sjøbunn ved bruk av målestaver, dykker, undervannsvideo (se kapittel 4.4.3) eventuelt også sedimentprofilkamera.
- Kjemisk karakterisering av overflatelaget på et tilstrekkelig antall lokaliteter som grunnlag for å fastslå forurensningsgrad i det bioaktive laget og bedømme om miljømålet er oppnådd. Dette programmet bør omfatte vertikalprofil av utvalgte miljøgifter ned til minimum 20 cm sedimentdyp.

*Analyse av miljøgiftinnhold i lokal sjømat før og etter teknisk gjennomføring for å fastslå om anleggsarbeidet har forårsaket spredning av biotilgjengelige miljøgifter.*

Programmet vil fortrinnsvis omfatte de samme artene som tidligere er undersøkt: torsk, krabbe og blåskjell (ål var også inkludert, men anbefales utelatt ut fra generell restriksjon på ålefangst). Vevsanalysene vil som minimum dekke PAH og TBT.

### 5.3 Oppfølgende miljøovervåking

Overvåkingen vil ha to hovedformål.

*Overvåke eventuell rekontaminering av de tildekkede områdene over tid.*

- Kjemisk analyse av dekklaget på et utvalg stasjoner etter 1 og 3 år, senere innfaset i tid med sedimentundersøkelsene i de områdene som ikke er tildekket (se nedenfor).

*Følge med den forventede naturlige forbedringen av miljøforholdene i Vikkilen på lang sikt.*  
Varigheten av de enkelte overvåkingselementene i dette programmet vil bli styrt av hvilke endringer man registrerer og hvor raskt. Prioriterte elementer er:

- Sedimentundersøkelse etter anslagsvis 6 år for å bekrefte varigheten av tiltaket. Om kilder er eliminert vil ny sedimentering i stor grad være ren og bare forsterke virkningen av tildekkingen.
- Følge tidsutviklingen av miljøgifter i lokal sjømat ved ny undersøkelse etter 3 år. Dette gjøres bare dersom sluttverifiseringen viser forhøyede nivåer av betydning.
- Følge tidsutviklingen i etableringen av ny sedimentfauna på tildekket bunn og endring/bedring i sedimentfaunaen for øvrig, anslagsvis hvert 3 år til forventet normaltilstand er gjenopprettet.
- Følge de registrerte bedringene mht. forstyrret kjønnsutvikling hos utvalgte snegle-arter med undersøkelse hvert 2-3 år til normaltilstand er opprettet.

## 6. Litteratur

- Bakke T, Håvardstun J, Lillicrap A, Macken AL, Allan I, Næs K, (2012). Revidert risikovurdering og tiltaksplan for sjøsedimentene i Vikkilen, delområde B og C. NIVA Rapport 6272-2011. 32 s.
- Bakke T, Næs K, (2012). Risikovurdering og tiltaksplan for sjøsedimentene i Vikkilen. NIVA Rapport 6380-2011. 35 s.
- Bakke T, Håvardstun J, Næs K, Schaanning M, Oug E, Rygg B (2008). Miljøtekniske undersøkelser ved Nymo as i Vikkilen. Supplerende undersøkelser, risiko- og tiltaksvurdering. NIVA Rapport 5669-2008. 80 s.
- Næs K, Tveiten L, Håvardstun J (2005). Sedimentundersøkelser i Vikkilen knyttet til fylkesvis tiltaksplan. NIVA Rapport 5040-2005. 60 s.
- Schaanning M, Næs K (2006). TBT forurenset sediment i Vikkilen – alternative tiltak og kostnadsestimer. NIVA Notat til AS Nymo, 31.03.2006.
- Tveiten L (2005). Intersex undersøkelser fra Vikkilen, Grimstad. NIVA Notat Q-8221 (15.02.2005).

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)