

FMC BioPolymer Haugesund. Undersøkelser av miljøeffekter fra utslipp til Karmsundet i tidsrommet 1990-2012



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 FMC BioPolymer Haugesund. Undersøkelser av miljøeffekter fra utslipp til Karmsundet i tidsrommet 1990-2012	Løpenr. (for bestilling) 6358-2012	Dato 4.6.2012
	Prosjektnr. Undernr. O-12159	Sider Pris 30
Forfatter(e) Bjørnar Beylich, Jarle Molvær	Fagområde Marin eutrofi	Distribusjon Åpen
	Marine miljøgifter	Trykket NIVA
	Geografisk område Rogaland	

Oppdragsgiver(e) FMC BioPolymer Haugesund	Oppdragsreferanse
---	--------------------------

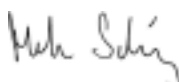
Sammendrag

Hensikten med rapporten er å gi en samlet oversikt over utførte miljøundersøkelser og vurderinger omkring FMCs utslipp av tarerester, organisk stoff og næringsstoffer i Karmsundet i tidsrommet 1990-2012 og særlig utslippene av tungmetallene arsen, kadmium og krom. Avløpsvannet innlagres oftest i vannsøylen under overflata og gjennomgår rask og stor fortykning. Dette er årsaken til at det bare påvises lokal påvirkning fra utslippet. For Karmsundet som helhet utgjorde FMCs utslipp av organisk stoff (tarerester) 10-12 %, mens det helt dominerte i Vormedalsbukta der nedslammingen av bunnen er stor med tilsvarende effekter på benthos-samfunnet. Utenfor bukta dominerte tarerester fra den naturlige algeveksten. Virkningen av utslippet er her langt mindre og tarerestene utnyttes sannsynligvis som ressurs for økt produksjon av bunndyr og av fisk. Taren som bedriften bruker som råmateriale inneholder en del arsen, kadmium og krom, dette slippes ut i Karmsundet. Beregninger viser at fortykningen er så stor at det utenfor en avstand på 30-50 m kan forventes konsentrasjoner i vannkvalitetsklasse II og bedre. For kadmium og krom ligger alle målte konsentrasjoner i Karmsundet innenfor klasse II. Sedimenter i Karmsundet ser ut til å være relativt upåvirket av arsen. Blåskjell ser derimot ut til å ha noe forhøyede konsentrasjoner av arsen med konsentrasjoner opp i klasse III på enkelte stasjoner. Bedriftens avløpsvann inneholder formaldehyd som i høye konsentrasjoner kan skade marine organismer. Fortyningen er imidlertid så stor at utenfor en avstand på 25-50 m er der liten risiko for toksiske effekter. Bedriften har et relativt stort utslipp av næringsstoffer, men vannutskiftningen i Karmsundet fører til at utenom området umiddelbart utenfor utslippet var påvirkningen liten, dvs. vannkvaliteten tilsvarte klasse I-II. Tilsvarende gjaldt for planktonbiomassen målt som klorofyll: jevnt over tilstandsklasse I, men en moderat lokal påvirkning.

Fire norske emneord 1. FMC 2. Karmsundet 3. Utslipp 4. Miljøpåvirkning	Fire engelske emneord 1. FMC 2. Karmsund 3. Discharges 4. Environmental effects
---	--



Bjørnar Beylich
 Bjørnar Beylich
 Prosjektleder



Morten Thorne Schaanning
 Morten Thorne Schaanning
 Forskningsleder



Kristoffer Næs
 Kristoffer Næs
 Forskningsdirektør

ISBN 978-82-577-6093-9

FMC BioPolymer Haugesund

Undersøkelser av miljøeffekter fra utslipp til
Karmsundet i tidsrommet 1990-2012

Forord

Den foreliggende rapporten er utarbeidet for FMC BioPolymer As, Vormedal, etter bestilling av 6.3.2012. Hovedhensikten med rapporten er å gi en samlet oversikt over utførte miljøundersøkelser og vurderinger omkring FMCs utslipp til Karmsundet. Særlig gjelder dette undersøkelser og vurderinger omkring utslipp av arsen, kadmium og krom i tidsrommet 2009-2012. Rapporten er skrevet i samarbeid mellom NIVA og Molvær Resipientanalyse. I hovedsak har Bjørnar Beylich (NIVA) tatt for seg sammendrag angående metaller og Jarle Molvær (Molvær Resipientanalyse) sammendrag og oppdateringer i forhold til næringssalter, formaldehyd og modellering av utslipp.

Vi takker Tore Førland, FMC BioPolymer, Vormedal, og Joe Lala, FMC BioPolymer, Philadelphia, for konstruktive innspill under utarbeidelsen av rapporten.

Oslo, 4.6.2012

Bjørnar Beylich

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Bakgrunn og formål	7
2. Karmsundets topografi og vannutskiftning	8
3. Tarerester, organisk stoff, næringssalter og formaldehyd	8
3.1 Overvåkingsprogrammet i Karmsundet 1990-2005	8
3.2 NIVA-undersøkelse i 2002	10
3.3 NIVA og IRIS undersøkelser i 2005	13
4. Metallundersøkelser 2004-2010	16
4.1 Metaller i blåskjell	16
4.2 Metaller i vann	19
4.3 Metaller i sediment	20
4.4 Analyser av avløpsvann og spesiering av arsenforbindelser	22
5. Samlet vurdering av utslippets virkning på miljøtilstand	24
5.1 Tarerester og organisk stoff	24
5.2 Næringssalter	24
5.3 Formaldehyd	24
5.4 Metaller	24
5.4.1 Metaller i blåskjell	24
5.4.2 Metaller i vann	25
5.4.3 Metaller i sediment	25
5.4.4 Analyser av avløpsvann og spesiering av arsenforbindelser	25
5.4.5 Totalvurdering for metaller.	26
6. Litteratur	27

Sammendrag

Den foreliggende rapporten er utarbeidet for FMC BioPolymer As, Vormedal, etter bestilling av 6.3.2012. Hensikten med rapporten er å gi en samlet oversikt over utførte miljøundersøkelser og vurderinger omkring FMCs utslipp til Karmsundet i tidsrommet 1990-2012. Særlig gjelder dette undersøkelser og vurderinger omkring utslipp av arsen, kadmium og krom i tidsrommet 2009-2012, men også undersøkelser i forhold til utslipp av tarerester, organisk stoff og næringssalter blir omtalt.

Undersøkelsene i Karmsundet i tidsrommet 1990-2005 gav en god oversikt over miljøforhold og påvirkning fra utslipp av tarerester og organisk stoff fra FMC. Hovedtrekkene kan oppsummeres som følger:

- Vannutskiftningen i sundet er svært god og dette er sannsynligvis i stor grad årsaken til at det bare påvises lokal påvirkning fra utslippet.
- Avløpsvannet innlagres oftest under overflata og gjennomgår rask og stor fortynning.
- FMCs utslipp av tarerester/organisk stoff utgjorde 10-12 % av den totale tilførselen til Karmsundet, mens det helt dominerte i Vormedalsbukta der nedslammingen av bunnen er stor med stor virkning for benthos-samfunnet. Utenfor bukta dominerte tarerester fra den naturlige algeveksten. Virkningen av utslippet er langt mindre og tarerestene utnyttes som ressurs og bidrar sannsynligvis til økt produksjon av bunndyr og av fisk.

Taren som bedriften bruker som råmateriale inneholder en del arsen, kadmium og krom som slippes ut i Karmsundet. Beregninger viser at fortynningen er så stor at utenfor en avstand på 30-50 m kan forventes konsentrasjoner av arsen i tilstandsklasse II og bedre. For kadmium og krom ligger alle målte konsentrasjoner i sediment, biota og vann fra Karmsundet innenfor Klifs tilstandsklasse II eller bedre. Sedimenter i Karmsundet ser ut til å være relativt upåvirket av arsen. Blåskjell ser derimot ut til å ha noe høyere konsentrasjoner av arsen enn det som er vanlig. Konsentrasjonene på enkelte blåskjellstasjoner er opp i Klifs tilstandsklasse III. Det var imidlertid ingen entydig konsentrasjonsgradient som knytter de høye konsentrasjonene av As i blåskjell til utslippet fra FMC.

Bedriftens avløpsvann inneholder formaldehyd som i høye konsentrasjoner kan skade marine organismer. Fortynningen av avløpsvannet er imidlertid så stor at utenfor en avstand på 25-50 m er der liten risiko for toksiske effekter.

Bedriften har et relativt stort utslipp av næringssalter, men den store vannutskiftningen i Karmsundet fører til at utenom nærområdet rundt utslippet var påvirkningen liten, dvs. vannkvaliteten tilsvarte klasse I-II. Tilsvarende gjaldt for planktonbiomassen målt som klorofyll: jevnt over tilstandsklasse I, men en moderat lokal påvirkning.

Summary

Title: FMC BioPolymer Haugesund. Investigations of environmental effects of discharges to Karmsundet 1990 - 2012

Year: 2012

Author: Bjørnar Beylich and Jarle Molvær

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-6093-9

This report is made at the request of FMC BioPolymer As, Vormedal.

The objective of the report is to give a comprehensive review of environmental investigations regarding FMCs discharge to the Karmsund for the period 1990-2012. Investigations and evaluations regarding discharge of arsenic, cadmium and chromium are especially important, but also investigations regarding discharge of seaweed residue, organic matter and nutrients have been reviewed.

The investigations of the Karmsund in 1990-2005 gave a good overview of environmental conditions and effects of discharge of seaweed residue and organic matter from FMC. The main conclusions were:

- The water exchange in Karmsundet is very good and probably the main reason why only local effects from the discharges are observed.
- The effluents from sub-surface water outlet are trapped below the surface most of the time, with rapid and high dilution.

The seaweed being used as raw material contains some arsenic, cadmium and chromium, which is released into Karmsundet. New models estimate that the dilution of arsenic is sufficient to reduce the concentrations to Klifs (The Norwegian Climate and Pollution Agency) water quality class II or better. For cadmium and chromium all measured concentrations were in Class II or better. Sediments in Karmsundet appears to be relatively unaffected by arsenic. In blue mussel, however, there seems to be slightly higher concentrations of arsenic than has been seen in other known measuring stations in Norway. The concentrations on some blue mussel stations are in the lower part of Klifs class III.

For Karmsundet as a whole the FMC discharge contributes 10-12 % of particulate organic matter. In the near zone, the Vormedal bay, the organic load from the outfall dominates and strong effects on the benthic community is observed. Outside the bay the relative importance of the FMC load rapidly decreases and the natural sedimentation gradually dominates. The algal fragments are utilized as food for invertebrates and the local bottom fauna and production of fish is expected to increase.

The effluents contain formaldehyde which at high concentrations may harm marine organisms. However, with the high dilution there is no risk for toxic effects from formaldehyde beyond 25-50 m from the outfalls.

FMC has a relatively large discharge of nutrients, but outside the Vormedal bay the water quality were classified as Good-Very Good (class II-I). For phytoplankton (as chlorophyll a) the results were the same: mostly classified as Very Good, but with classification II-III near Vormedal bay.

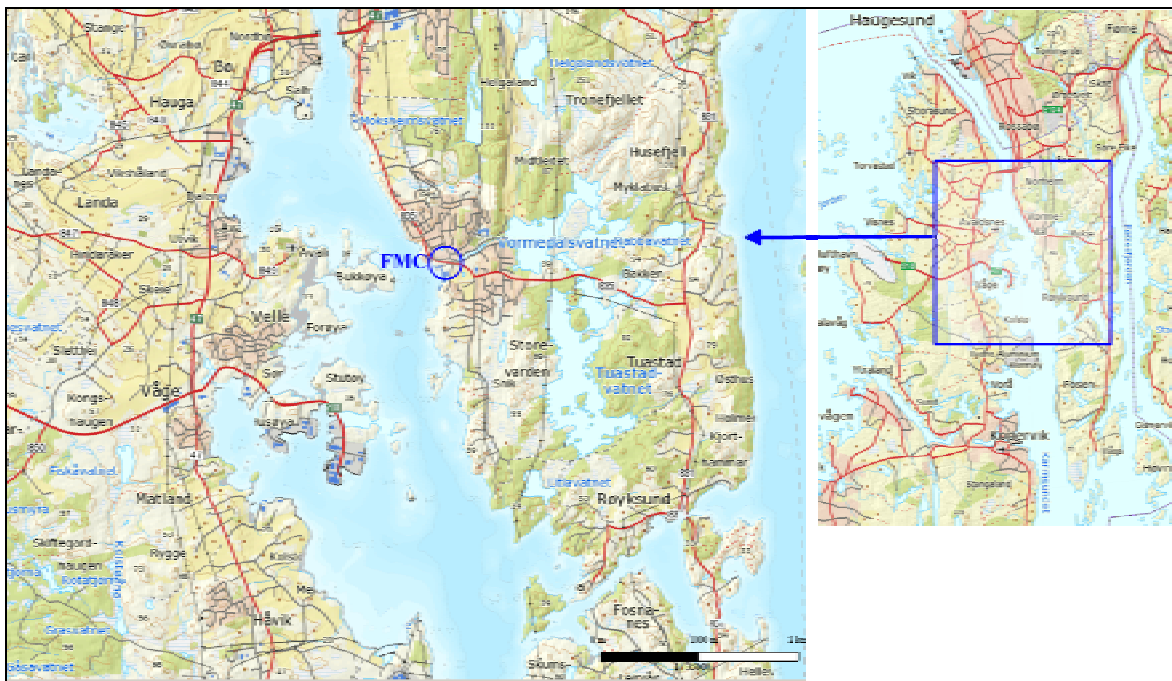
1. Bakgrunn og formål

FMC BioPolymer AS ligger ved Karmsundet (**Figur 1**) og utvinner alginat fra tare som er høstet på kysten av Vestlandet og Trøndelag. Bedriften har sine utslipp på dypt vann i Karmsundet.

Tilstanden i Karmsundet var overvåket av Rogalandsforskning/IRIS i tidsrommet 1990-2002 og en studie ved NIVA i 2002-2003 bidro ytterligere til forståelse av hvordan bedriftens utslipp av organisk stoff påvirker miljøet i Karmsundet. Resultatene viste at påvirkningen fra utslippet av tarerester avtok raskt med økende avstand fra utslippet, at sterk strøm og varierende bunntopografi fører til at store bunnområder er ”renspylt”, og tarerestene for en stor del sedimenterer i mindre bassenger og groper. I 2005 ble det derfor utført undersøkelser av NIVA og IRIS med sikte på å kartlegge influensområdet bedre, sammenligne størrelsen av utslippet fra FMC med den naturlige produksjonen av tare og tang i Karmsundet, samt finne ut i hvilken grad tarerester fra FMC utnyttes i næringskjeden. Resultatene viste at tarerestene i hovedsak blir liggende i Vormedalsbukta og i Karmsundet like utenfor, og bekreftet dermed dataene fra 2002-2003.

Fra 2008-2009 har miljøvernmyndighetene satt fokus på bedriftens utslipp av metallene arsen, kadmium og krom. I 2009 ble det derfor gjort undersøkelser mht. konsentrasjonen av disse stoffene i sedimenter og blåskjell i Karmsundet og det ble tatt nye prøver av blåskjell og vann i 2010 I tillegg har selskapet Environ i tidsrommet 2010-2012 ved fire anledninger utarbeidet anbefalinger og vurderinger mht. prøvetaking og analyser for utslippet av metaller og av forventede virkninger i resipienten.

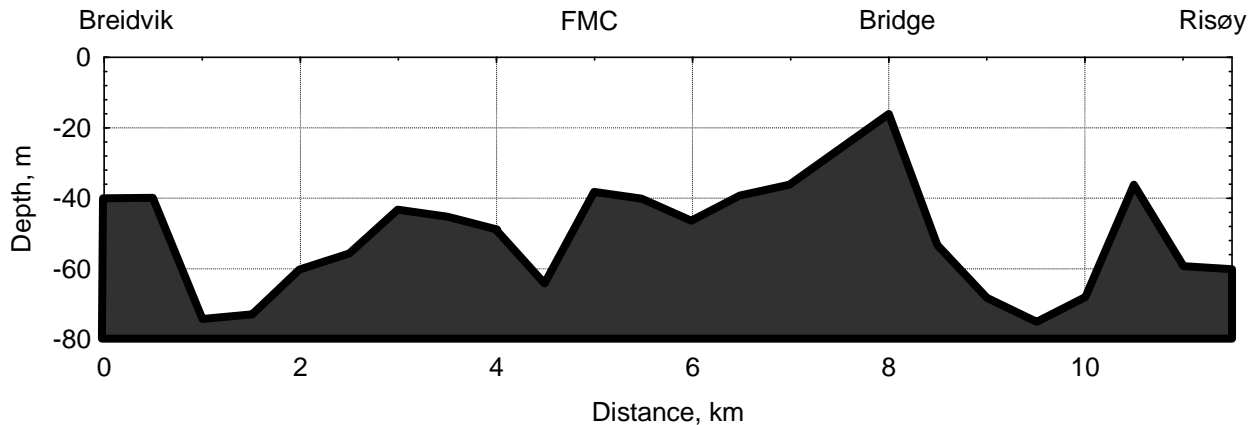
Et stort og komplekst datamateriale er altså vurdert og rapportert i mange dokumenter over et tidsrom på ca. 22 år. Formålet med denne rapporten er å gi en kort oversikt over de viktigste dokumentene, samt sammenfatte hovedkonklusjonene.



Figur 1. Den sentrale delen av Karmsundet med beliggenhet av FMC.

2. Karmsundets topografi og vannutskiftning

Karmsundet er ca. 30 km langt fra Haugesund i nord til Skudeneshavn i sør. De midtre og nordre delene av sundet er forholdsvis smale og med flere øyer og vikar (Figur 1). Bunntopografien er varierende og veksler mellom relativt dype bassenger og grunnere områder (Figur 2). Utenfor FMC går bunn dypt ned til ca. 60 m.



Figur 2. Bunntopografisk profil av den sentrale delen av Karmsundet, fra Breidvik i sør til Risøy i nord (fra Molvær et al., 2003). Se også Figur 1.

3. Tarerester, organisk stoff, næringsalter og formaldehyd

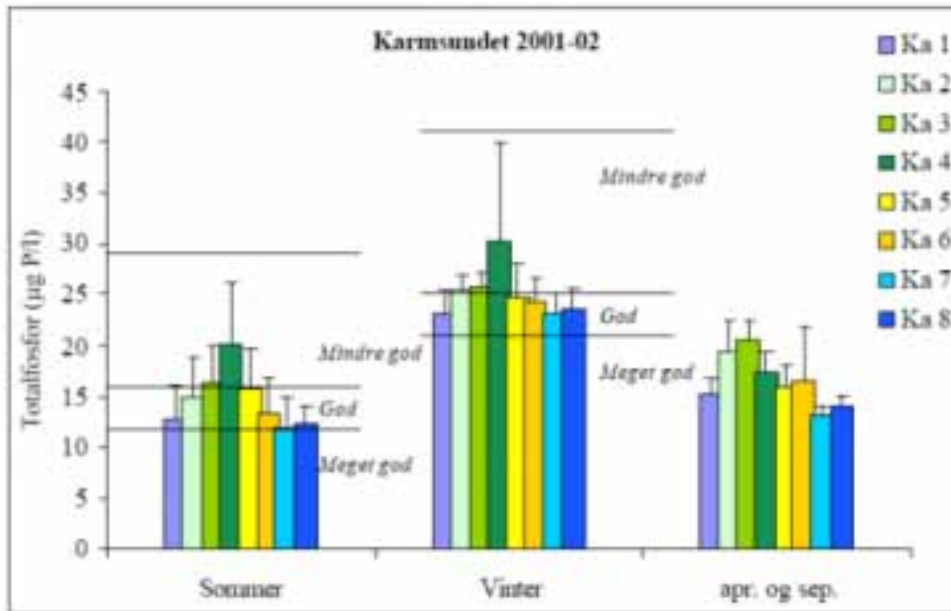
3.1 Overvåkingsprogrammet i Karmsundet 1990-2005

I 1990 begynte IRIS (tidligere Rogalandforskning) overvåking av miljøtilstanden, hovedsakelig på oppdrag for FMC og senere delvis på oppdrag for kommunene i området. Overvåkingen i 2005 hadde fokus på virkninger fra utslipp av organisk stoff, tarerester, nitrogen og fosfor, og omfattet

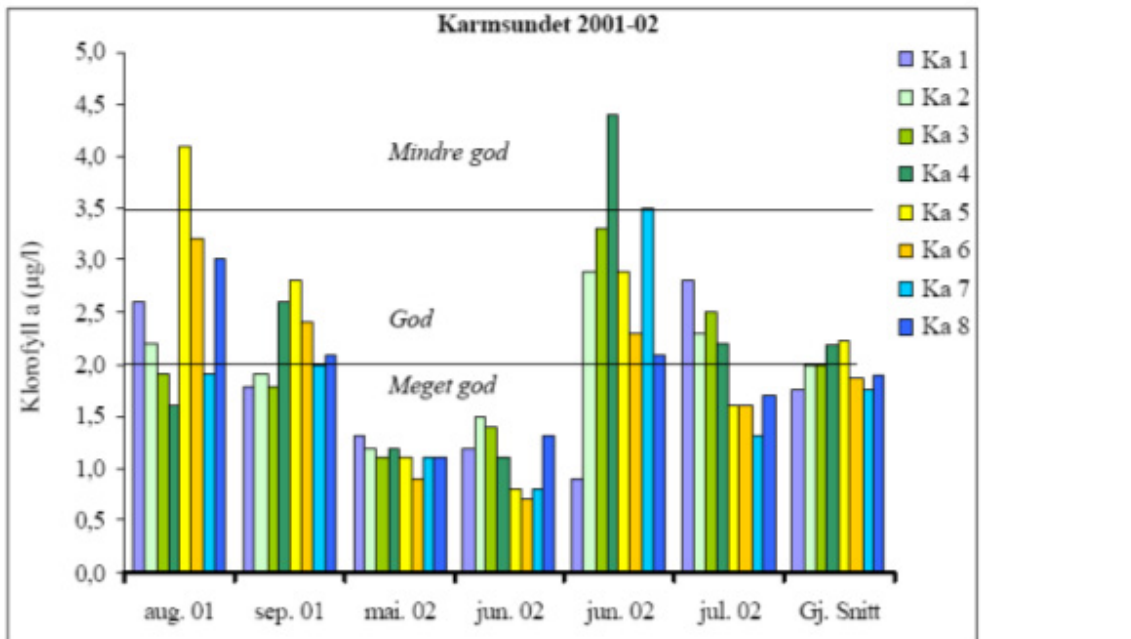
- Hydrografiske målinger
- Vannkjemiske undersøkelser
- Måling av sedimentasjon ved bruk av sedimentfeller
- Bløtbunnsfauna og analyser av sedimenter

Resultatene ble rapportert i Myhrvold, A.U. (1993), Myhrvold, A.U. (1993), Eriksen et al. (1997), Tvedten, Ø.F. og Eriksen, V. (1999), Tvedten Ø.F. og Eriksen, V. (2001), Tvedten, Ø.F. og Bergheim, A. (2001).

I korthet var vannkvaliteten gjennomgående God-Meget god bedømt etter Klifs vannkvalitetskriterier (Molvær et al., 1997), og lite preget av utslipp av organisk stoff og næringssalter fra land (Figur 3-4). Utenom nærområdet for utslippet tilsvarte konsentrasjonen av totalfosfor klassene I- II (Meget God - God). Tilsvarende gjelder for planktonbiomassen målt som klorofyll: jevnt over tilstandsklasse I (Meget God), men en moderat lokal påvirkning nærmest utslippet (klasse II).



Figur 3. Gjennomsnittlig innhold av totalfosfor i overflatevann (0-20 m) i Karmsundet i 2001-2002. Stasjon Ka4 lå nærmest utslippet fra FMC, mens Ka3 og Ka5 lå henholdsvis ca. 4 km lenger nord og sør. Ka1 lå nord for Karmsundet og Ka8 lå på vestsiden av Karmøy (se stasjonskart i Vedlegg 1). Prøvene er inndelt i sommer, vinter og april og september. Vertikale streker viser positive standardavvik. Horisontale streker viser grenseverdier for tilstandsklasser. Fra Tvedten, Eriksen og Molversmyr (2002).



Figur 4. Klorofyllinnhold i overflatevann i Karmsundet i 2001 og 2002. Stasjon Ka4 lå nærmest utslippet fra FMC, mens Ka3 og Ka5 lå ca. 4 km henholdsvis lenger nord og lenger sør. Ka1 lå nord for Karmsundet og Ka8 lå på vestsiden av Karmøy (se stasjonskart i Vedlegg 1). Horisontale streker viser grenseverdier for tilstandsklasser (jfr. Tabell 1). I figuren er tall under deteksjonsgrensen satt lik 0,5. Gjennomsnittsverdiene er vist på figurens høyre side (fra Tvedten, Eriksen og Molversmyr, 2002).

3.2 NIVA-undersøkelse i 2002

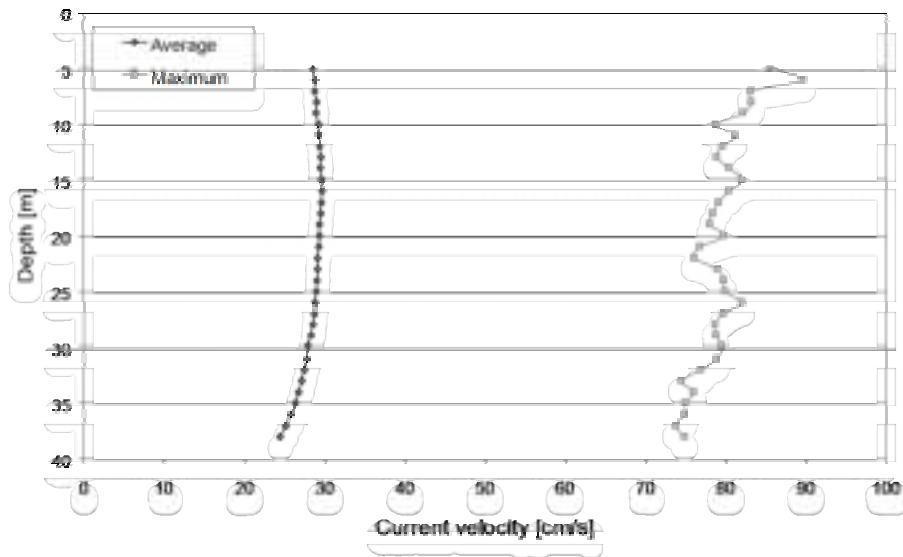
Denne undersøkelsen ble utført med sikte på å:

- Beskrive strømforhold og vannutskiftning i den aktuelle delen av Karmsundet
- Utføre beregninger av innlagringsdyp og fortykning for utslippene
- Undersøke sedimentasjonsegenskapene til tarerestene
- Undersøke nedbrytning av formalin i sedimenter
- Stille opp et stoffbudsjett for suspendert materiale

Resultatene ble rapportert av Molvaer et al. (2003) og mht. nærmere beskrivelse av data og metodikk henvises til denne. I hovedsak drives vannutskiftningen av det halvdaglige tidevannet og strømretningen varierer mellom nord og sør. Utenfor Vormedal ble største hastighet (over 30 døgn) målt til ca. 80 cm/s og gjennomsnittshastigheten ble beregnet til ca. 25 cm/s (**Figur 5**). Dette viser at vannutskiftningen i hovedleia er meget god. I bukta ved Vormedal var strømretningen overveiende nordlig, med noe lavere hastigheter enn lenger ut i sundet.

Innlagringsdyp og fortykning for avløpsvannet ble beregnet ved den numeriske modellen Visual PLUMES utviklet av U.S. EPA (Frick et al., 2001). Nødvendige opplysninger for modellsimuleringene er vannmengde, dyp og diameter for utslippsrøret samt strømhastigheten i resipienten. Ved å inkludere disse i modellsimuleringene kan konsentrasjon av de ulike komponentene i gitte avstander fra utslippspunktet beregnes og influensområdet kan kvantifiseres. En nærmere beskrivelse av datamaterialet er gitt i Vedlegg 2.

Man fant at avløpsvannet vanligvis ble innlagret uten å nå overflaten, under meget stor fortykning. Som eksempel viser **Figur 6** beregning for utslipp H1-4 som av de 6 utslippene fører størst

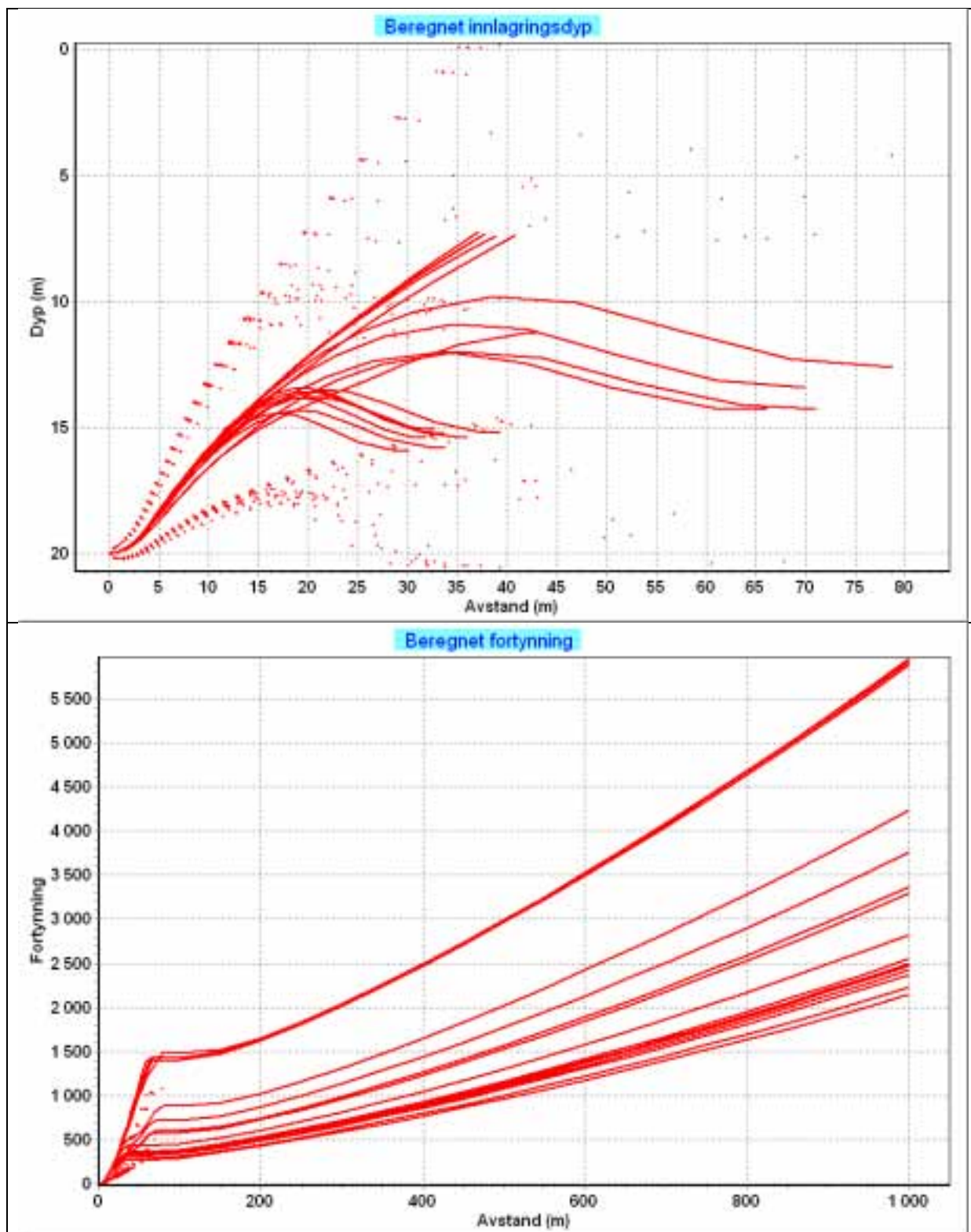


Figur 5. Gjennomsnittlig og maksimum strømhastighet (cm/s) mellom 5 m og 40 m dyp i sundet utenfor FMC målt over 30 døgn (fra Molvær et al., 2003).

mengde av metaller og mye formaldehyd¹. Avløpsvannet vil forholdsvis ofte stige til overflaten (noe oftere enn i 2002 pga. større vannmengde). På den annen side bemerkes at da er også fortynningen maksimal, og konsentrasjonene lavere enn når avløpsvannet innlagres dypere i vannmassen. I 2003-rapporten konkluderte man at utenom 25-30 m fra utslippet var der ikke risiko for skader fra formaldehyd i avløpsvannet.

Hovedkonklusjonen var at Karmsundet er en god resipient for utslippet som utgjør en liten del av marint organisk materiale som naturlig transporteres med strømmen gjennom sundet. Bunnfaunaen var rik, men i nærområdet til utslippet var der klare negative effekter.

¹ NB! Dette er en beregning fra 2012 fordi vannmengden nå er noe større enn i 2002.



Figur 6. Avløp H1-4. Beregning av innlagringsdyp (øvre figur) og fortynning (nederst) under relativt svak strøm (0,2 m/s). Beregningene ble gjort for 18 forskjellige vertikale profiler (ulik sjikning) i Karmsundet, og de forskjellige kurvene viser innlagringsforløp og fortynning ved disse profilene.

3.3 NIVA og IRIS undersøkelser i 2005

Disse undersøkelsene ble utført av NIVA og IRIS med sikte på en forbedret beskrivelse av hvordan bedriftens utslipp av tarerester påvirket miljøet i Karmsundet. Hovedmålene var:

- Kartlegge nærområdet til utslippet
- Undersøkelse av hvordan tarefragmenter utnyttes i næringskjeden
- Beregne mengden av naturlig produserte tarefragmenter i Karmsundet
- Konkret nevnes resultater fra fire delstudier:

1. Undersøkelser av bunnsedimenter (Norderhaug et al., 2006)

Høsten 2005 ble bunnforholdene undersøkt med grabbprøver, ROV (Remote Operated Vehicle) og med SPI-kamera (Sediment Profile Imaging; SPI). Undersøkelsen ble konsentrert om nærområdet til bedriften og ga en mye mer detaljert beskrivelse av bunnforholdene i dette området enn tidligere undersøkelser. Undersøkelsen omfattet også måling av sedimentasjon og oksygeninnhold.

2. Undersøkelse av utnyttelse av tarefragmenter i næringskjeden (Norderhaug et al., 2006)

Bentiske samfunn som utnytter naturlig produsert tare kan også utnytte tarepartikler fra FMC som en næringskilde. Dette ledet til to spørsmål:

- Finnes det fauna lokalt i Karmsundet som nytter tare som næringskilde?
- Kan taren spores gjennom næringskjeden i Karmsundet?

I akkumulasjonsområder dominerer arter som trives med tilførsel av organisk materiale. I nærområdet til bedriften er det i tillegg høye tettheter av krepsdyr i bunnen. Produksjonen av bunndyr og fisk i nærområdet til bedriften forventes å øke som følge av at tarepartiklene fra FMC utnyttes som næring av bunndyrene (sammen med tarepartikler fra den lokale algeproduksjonen), og at bunndyrene er byttedyr for fisk i området.

3. Modellering av naturlig dannelse av tarerester i Karmsundet (Norderhaug et al., 2006)

Naturlige forekomster av tang og tare i Karmsundet vil i stort omfang bli revet løs, etter hvert bli fragmentert, synke til bunns og nedbrytes. I 2005 utførte NIVA beregninger av størrelsen av denne naturlige produksjonen av tarerester (Norderhaug et al., 2006). Dette gav dermed grunnlag for en sammenligning mellom størrelsen av utslippet fra FMC og den naturlige produksjonen, og et langt mer komplett stoffbudsjett enn det man tidligere har kunnet sette opp

4. Budsjett for mengden av organisk stoff i Karmsundet (Tvedten et al. 2006)

Karmsundet tilføres organisk stoff fra flere kilder:

- kommunalt avløpsvann og industri
- avrenning fra jordbruk, tettsteder og utmark
- naturlig produksjon og transport av organisk stoff i form av tarerester og plankton gjennom sundet

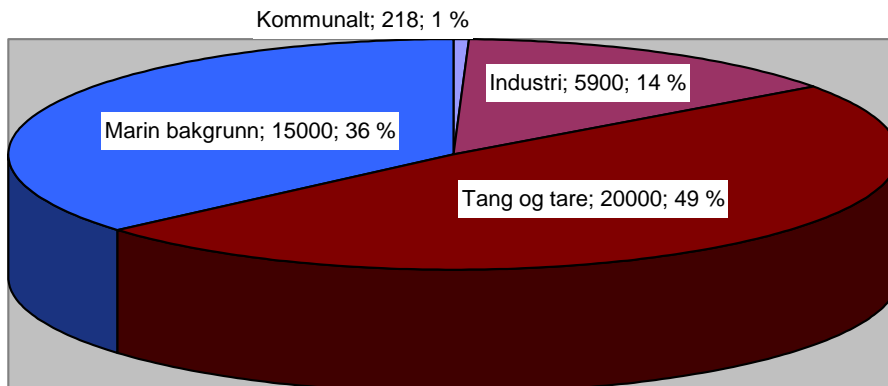
Med grunnlag i ajourførte opplysninger om tilførsel av organisk stoff til Karmsundet fra land, beregninger av den naturlige transporten fra Molvær et al. (2003), naturlig produksjon (Norderhaug et al. 2006), kunne man sette opp et komplett budsjett for mengden av organisk stoff i Karmsundet.

Disse undersøkelsene passet sammen til et nytt helhetsbilde.

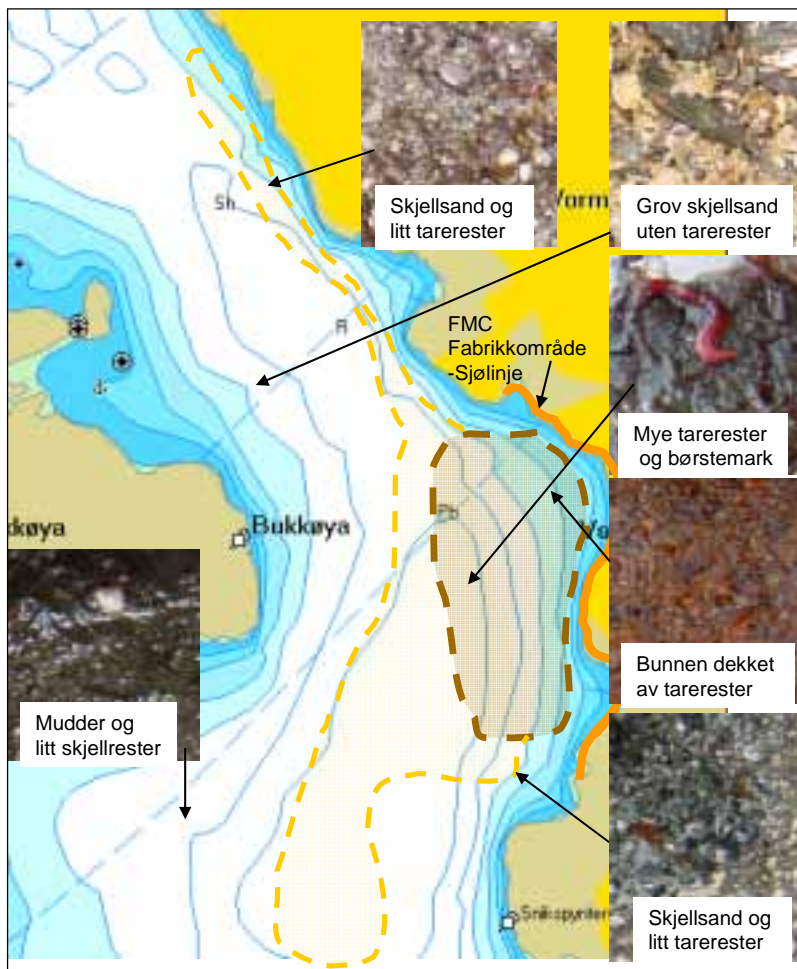
For Karmsundet som helhet utgjør bedriftens utslipp i størrelsesorden 10-12 % av områdets samlede tilførsel av partikulært organisk materiale. Tilførselen domineres av løsrevet naturlig produsert partikulært organisk materiale (tang, tare, planteplankton) som følger vannmassene gjennom sundet eller sedimenterer (jfr. **Figur 7**).

I bukta utenfor Vormedal dominerer utslippet fullstendig. Utenfor bukta finnes en overgangssone (ut til 2-3 km fra utslippet) der utslippet av tarerester fra bedriftens utslipp raskt blir mindre enn den naturlige produksjonen i sundet. I hoveddelen av Karmsundet dominerer den naturlige

sedimentasjonen. Både i Vormedalbukta og i overgangssonen ser vi at områder og groper som er dekket av tarerester veksler med store bunnområder der sterk strøm hindrer sedimentasjon (**Figur 8**).



Figur 7. Budsjett for partikulært materiale i Karmsundet, fordelt på kilder. Tallene er hhv. tonn/år og %. "Marin bakgrunn" er beregnet for en relativ lav vannutskiftning gjennom sundet.



Figur 8. Utenom bukta ved Vormedal (nærområdet ---) fører sterk strøm og en varierende bunntopografi til en "mosaikk" der store og rene bunnarealer veksler med mindre akkumulasjonsområder med tarerester (overgangssonen ----).

Den organiske belastningen fra utslippet av tarepartikler påvirker artssammensetningen og produksjonen i det lokale næringsnett. Isotopanalyser tyder på at det finnes lokale bunndyrssamfunn som utnytter tareproduksjonen i og utenfor Karmsundet, og utslippet kan dermed utnyttes som en ressurs av denne faunaen mens det påvirker andre bunnfauna-arter negativt.

Stor variasjon i bunnforholdene utenfor bedriften gjenspeiles i utbredelsen av bunndyr. Innenfor korte avstander finnes områder med steinete bunn til mudderbunn og områder med mye eller lite tarerester. I akkumulasjonsområder dominerer arter som trives med tilførsel av organisk materiale. I nærområdet til bedriften er det i tillegg høye tettheter av krepsdyr i bunnen. Slike samfunn er typiske for områder der avrevet tare naturlig akkumulerer. Utenfor bukta er virkningen langt mindre og tarerestene utnyttes som ressurs og bidrar sannsynligvis til økt produksjon av bunndyr og av fisk.

4. Metallundersøkelser 2004-2010

NIVA har etter oppdrag fra FMC tidligere foretatt undersøkelser av biota, vann og sediment for å se på innhold av metallene arsen, krom og sink. I tillegg finnes en del andre undersøkelser som omfatter de aktuelle metallene i Karmsundet. Innholdet av metall kan sees i forbindelse med Klifs klassegrenser i **Tabell 1** til **Tabell 3**

Tabell 1. Utdrag av Klifs klassegrenser for metaller i blåskjell. Tabell viser øvre grense for klassen (Molvær et al 1997)

Parameter	Enhet	tilstand	I Ubetydelig-lite forurenset	II Moderat forurenset	III Markert forurenset	IV Sterkt forurenset	V Meget sterkt forurenset
Arsen	mg/kg	tørrvekt	10	30	100	200	>200
Kadmium	mg/kg	tørrvekt	2	5	20	40	>40
Krom	mg/kg	tørrvekt	3	10	30	60	>60

Tabell 2. Utdrag av Klifs klassegrenser for metaller i vann. Tabell viser øvre grense for klassen (Bakke et al 2007).

Parameter	Enhet	I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Arsen	µg/L	2	4,8	8,5	85	>85
Kadmium	µg/L	0,03	0,24	1,5	15	>15
Krom	µg/L	0,2	3,4	36	360	>360

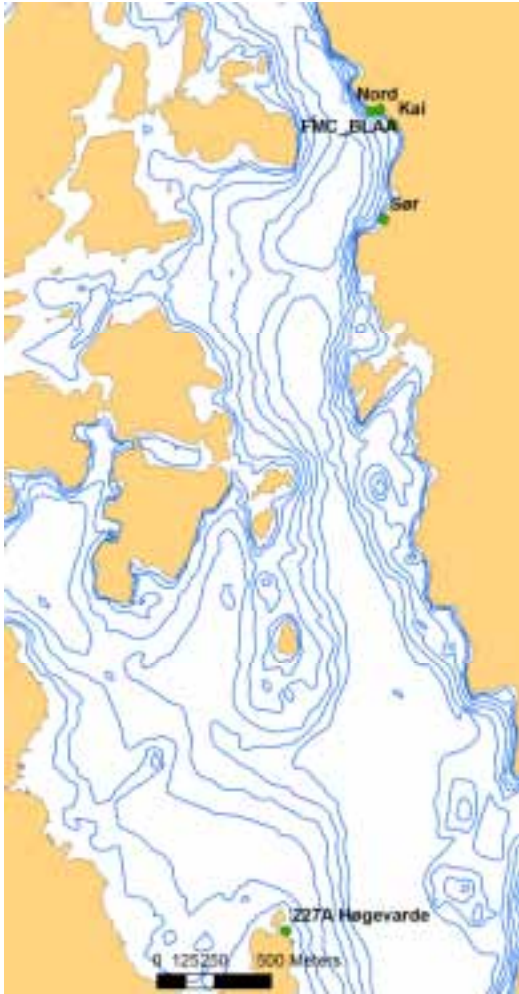
Tabell 3. Utdrag av Klifs klassegrenser for metaller i sediment. Tabell viser øvre grense for klassen (Bakke et al 2007).

Parameter	Enhet	I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Arsen	mg/kg	20	52	76	580	>580
Kadmium	mg/kg	0,25	2,6	15	140	>140
Krom	mg/kg	70	560	5900	59000	>59000

4.1 Metaller i blåskjell

NIVA tok i 2010 blåskjellprøver for FMC, disse ble analysert for innhold av arsen, kadmium og krom. Resultatene er ikke tidligere rapportert. Prøvene er analysert av NIVA med oppslutning i mikrobølgeovn og analyse med ICP/AES. Disse er i tillegg til resultater fra NIVAs undersøkelser for FMC i 2009 (Håvardstun 2010) og Coordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP) 2009 og 2010 (Green et al 2011) presentert i **Tabell 4** og **Figur 9**

For arsen var verdiene fra 19,8 til 39,8 mg/kg tørrstoff. Tre av fire målinger i umiddelbar nærhet til FMC var i tilstandsklasse II, og en var i tilstandsklasse III. Utenfor Høgevarde fyr, omtrent 3,5 km sør for FMC, var blåskjellene i tilstandsklasse III både i 2009 og 2010.



Figur 9. Stasjonskart for blåskjellprøver 2009/2010

Tabell 4.

Konsentrasjoner av As, Cd og Cr i blåskjell fra Karmsundet. Verdiene er farget etter Klifs tilstandsklasser. (se Tabell 1). Verdiene er oppgitt i mg/kg tørrstoff.

Stasjon	Dato	Latitude	Longitudo	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Referanse
227A Høgevarde	Sep 2009	59,326	5,3175	31,6	0,85	1,33	Green et al 2011
227A Høgevarde	04.09.2010	59,326	5,3175	39,8	1,03	2,14	Green et al 2011
Sør	24.11.2009	59,35088	5,31768	37,2	1,25	0,833	Håvardstun 2009
Kai	24.11.2009	59,35461	5,31727	19,8	0,735	0,874	Håvardstun 2009
Nord	24.11.2009	59,35511	5,31611	25,9	0,874	1,16	Håvardstun 2009
FMC_BLAA	04.09.2010	59,35499	5,31546	20,83	0,83	1,61	

I en eldre undersøkelse med data fra 2003 av Tvedten et al (2004) er det tatt blåskjellprøver fra elleve stasjoner som viser konsentrasjoner av arsen på 10,4 til 37,7 mg/kg tørrstoff. Ti av disse er i tilstandsklasse II (under 30 mg/kg), den ene som er over (37,7 mg/kg) er ved Håvøya midt mellom Vormedalsbukta og Høgevarde.

Undersøkelsen inneholder i tillegg analyser av arsen i fiskelever og krabbe. Konsentrasjonene i fiskelever fra seks stasjoner er fra 2,82 til 7,71 mg/kg friskvekt. Dette er samme nivå som ti stasjoner

fra CEMP 2010 (Green et al 2011) som viser 2,36 til 8,22 mg/kg friskvekt, i tillegg til en stasjon med 30,9 mg/kg (Oslofjorden). I krabbe var konsentrasjonen på ca 10-25 mg/kg friskvekt.

4.2 Metaller i vann

NIVA tok i 2010 vannprøver av overflatevann for FMC, disse ble analysert for innhold av arsen, kadmium og krom. Resultatene er ikke tidligere rapportert. Prøvene er analysert av ALS Laboratory Group med høyoppløselig ICP/MS.

Konsentrasjonen av arsen var på 1,4 -1,9 µg/L. For kadmium var konsentrasjonen på under 0,05 µg/L og krom 0,16 -0,251 µg/L. Alle verdiene faller i tilstandsklasse I med unntak av to prøver som hadde konsentrasjoner av krom tilsvarende tilstandsklasse II. Stasjonene er tegnet inn i **Figur 10** og resultatene er presentert i **Tabell 5**.



Figur 10. Stasjonskart for vannprøver 2010

Tabell 5. Konsentrasjoner av As, Cd og Cr i overflatevann fra Karmsundet 4.9.2010. Verdiene er farget etter Klifs tilstandsklasser (se **Tabell 2**)

Stasjon	Latitude	Longitude	As(µg/L)	Cd(µg/L)	Cr(µg/L)	Stasjonsbeskrivelse
FMC1	59,32448	5,317	1,7	<0,05	0,224	Høgevarde
FMC2	59,35103	5,315517	1,7	<0,05	0,169	Vormedalsbukta sør
FMC3	59,35293	5,316	1,9	<0,05	0,16	Vormedalsbukta midt
FMC4	59,35468	5,3141	1,5	<0,05	0,251	Vormedalsbukta nord
FMC5	59,37548	5,296033	1,4	<0,05	0,166	Karmsund bro

4.3 Metaller i sediment

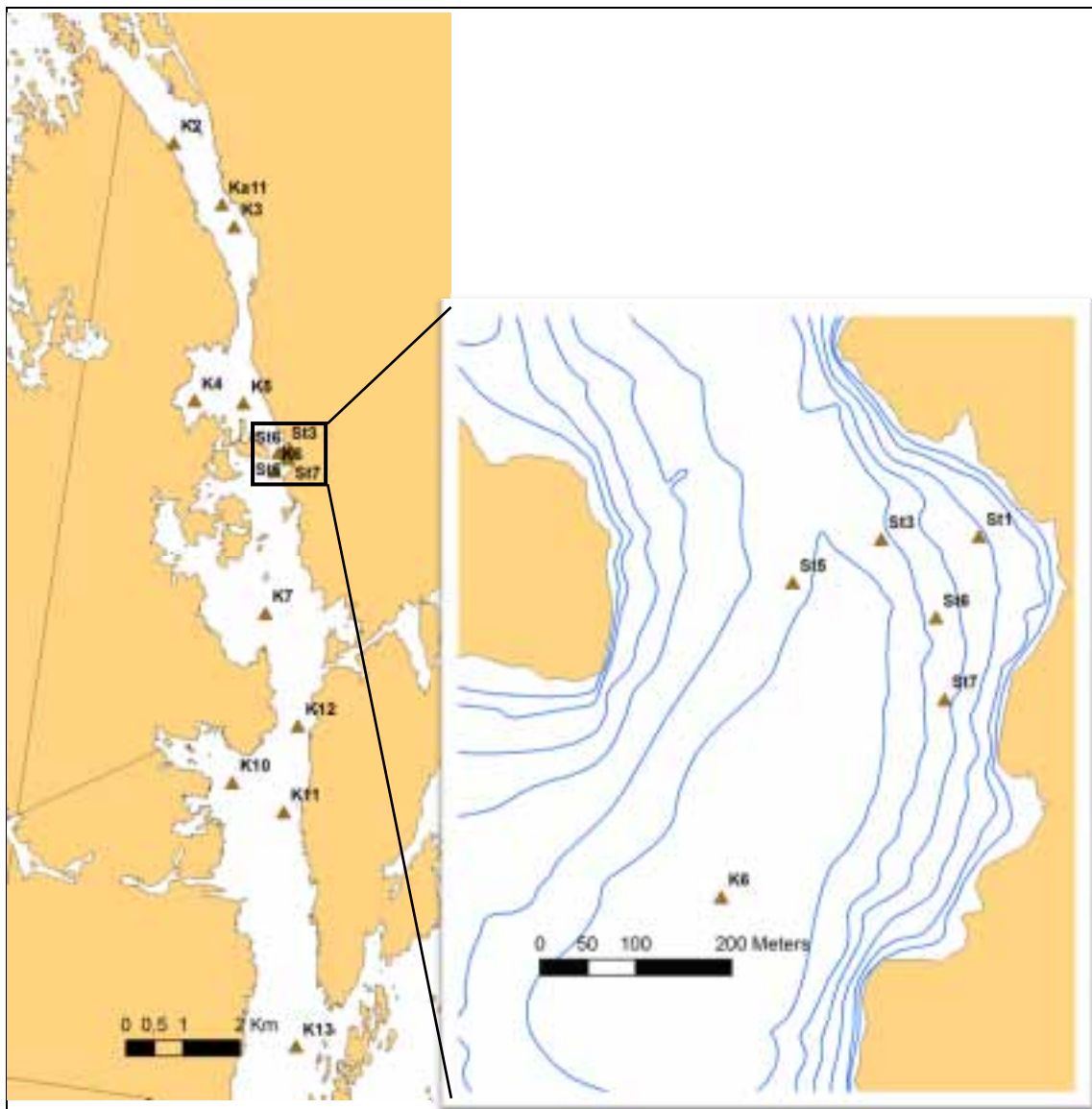
Det er foretatt sedimentundersøkelser i 2004 til 2009 som har sett på blant annet arsen, kadmium og krom i overflatesedimenter i Karmsundet (Tvedten 2005, Næs et al 2009, Håvardstun 2010)

Nivåene av arsen var fra 6,1 – 23,6 mg/kg. Alle stasjoner utenom én var i tilstandsklasse I (bakgrunn) Stasjonene i nærheten av FMC er i den øvre andelen av disse prøvene, men fortsatt i tilstandsklasse I, med unntak av stasjonen "St3" som med 23,6 mg/kg arsen havner i tilstandsklasse II.

Nivåene av kadmium er fra <0,2 – 1,16 mg/kg og er i tilstandsklasse II for hele området, med unntak av to stasjoner som er i tilstandsklasse I.

Nivåene av krom er fra 3,64 – 24,25 mg/kg. Samtlige stasjoner er derfor i tilstandsklasse I.

Stasjonskart og verdier er vist i **Figur 11** og **Tabell 6**.



Figur 11. Stasjonskart for sedimentprøver 2004-2009

Tabell 6. Konsentrasjoner av As, Cd og Cr i overflatesediment fra Karmsundet. Verdiene er farget etter Klifs tilstandsklasser (blått er klasse I og grønt klasse 2, se **Tabell 3**). Verdiene er oppgitt i mg/kg tørrstoff.

Stasjon	Dato	Latitude	Longitudo	Vann- dyp	Sjikt	As (mg/kg TS)	Cd (mg/kg TS)	Cr (mg/kg TS)
St1	24.11.2009	59,35428	5,31671	20	0-5 cm	18,5	0,661	3,64
St3	24.11.2009	59,35412	5,31495	40	0-5 cm	23,6	1,13	5,23
St5	24.11.2009	59,3536	5,31346	53	0-5 cm	11,7	0,779	13,8
St6	24.11.2009	59,35347	5,31615	32	0-5 cm	17,1	1,16	22,7
St7	24.11.2009	59,35273	5,31652	31	0-5 cm	16,4	0,54	9,46
K2	21.05.2008	59,3995	5,267583	40	0-5 cm	11	0,4	17,3
K3	21.05.2008	59,38785	5,289833	61	0-5 cm	10,7	0,3	8,89
K4	21.05.2008	59,35978	5,2855	38	0-5 cm	19,4	0,8	20,7
K5	21.05.2008	59,3605	5,30055	47	0-5 cm	10,7	0,3	7,02
K6	21.05.2008	59,3506	5,313	57	0-5 cm	10,5	0,6	9,47
K7	21.05.2008	59,32833	5,31655	41	0-5 cm	11,7	0,5	19,2
K10	21.05.2008	59,30118	5,314167	39	0-5 cm	6,67	0,8	17,7
K11	21.05.2008	59,29775	5,331	98	0-5 cm	7,27	0,3	17,1
K12	21.05.2008	59,3115	5,3315	74	0-5 cm	10,5	0,2	16,5
K13	21.05.2008	59,26148	5,345167	194	0-5 cm	10,7	<0,2	24,25
Ka11	Juni 2004	59,391	5,285		0-2 cm	6,1	0,7	13,7
Ka11	Juni 2004	59,391	5,285		0-2cm	5,16	0,43	14,7

Undersøkelsene i 2009 (Håvardstun 2010) viser i **Tabell 7** lave konsentrasjoner av As³⁺, As⁵⁺, DMA(dimetylarsenic acid) og MMA(monomethylarsenic acid) sammenlignet med den totale arsenmengden. Over 98 % av arsenet er uspesifisert. Basert på tallene fra Environ i kapittel 3.3.4 er det antagelig slik at mesteparten av det uspesifiserte arsenet er organisk bundet.

Tabell 7. Undersøkelser fra 2009, viser innholdet av noen arsen-forbindelser/former samt totalt arseninnhold (Håvardstun 2010). Over 98 % av arsenet er uspesifisert.

Analyse	St. 1	St. 3	St. 5	St. 6	St. 7	
tot-As	18,5	23,6	11,7	17,1	16,4	Arsen (As) mg/kg TS
As3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,144	As(III) mg/kg
As5	0,04	0,078	0,125	0,229	0,325	As(V) mg/kg
DMA	0,018	0,01	0,01	0,015	0,01	
MMA	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	

I undersøkelsene NIVA utførte for Hydro aluminium Karmøy i 2008 (Næs et al 2009) er det i tillegg til de presenterte resultater utført analyse av en del andre metaller. Som en kommentar til disse analysene kan det nevnes at på stasjonene rett utenfor FMC; altså K5 og K6 er nivåene av kvikksølv, nikkel, kobber, sink og bly i tilstandsklasse I. Generelt for hele Karmsundet er tilstandsklassen for de samme metallene for det meste I og II (én stasjon er i klasse IV for bly).

4.4 Analyser av avløpsvann og spesiering av arsenforbindelser

På oppdrag fra FMC har selskapet Environ foretatt analyser for å kartlegge fordelingen av arsenforbindelser i avløpsvann, råvarer og inntaksvann hos FMC. I perioden 2010 til 2012 har Environ skrevet fire notater for FMC (Bock 2010, Bock and Otholf 2010, Garibay 2011, Bock 2012). Disse notatene tar for seg målinger av utslipp og inntak av arsen hos FMC i Karmsundet. Alle tolkninger i dette kapittelet er gjort av Environ.

To av notatene (Bock 2010 og Bock and Otholf 2010) er korte og omhandler forslag til prøvetakingsplan og beregninger av utslippsmengde.

Notatet fra Garibay (2011) legger fram utslippsdata for arsen. Dataene skal hovedsakelig være fra 2011. I tillegg til total arsen er det gjort undersøkelser for å se på hva slags forbindelser/former arsenet befinner seg i. I følge notatet har FMC et utslipp på 3,87 kg As/dag sammenlignet med et inntak fra produksjonsvann og råmaterialer på 3,53 kg/dag. Den relative forskjellen på ca. 9 % blir tilskrevet måleusikkerhet ettersom generelt akseptert relativ forskjell på duplikate vannprøver er 40 % (Garibay 2011). Resultatene fra analysene av fordelingen av de ulike arsen- formene er vist i **Tabell 8**. Hvis man antar at den ukjente andelen på 11 % for det meste er arsen-sukkerforbindelser er det en økning av As^{3+} og As^{5+} på tilsammen 5,2 prosentpoeng, en nedgang på 4 prosentpoeng for metylert arsen (MMA og DMA) og en nedgang på 2 prosentpoeng for arsen-sukkerforbindelser. Notatet konkluderer med at FMCs prosessering av alger ikke endrer fordelingen av arsen i vesentlig grad. Notatet påpeker også at standarder for USA og Irland (feilaktig oppgitt som europeisk standard i rapporten) ikke ser på total arsen, men mengden As^{5+} og As^{3+} . Den amerikanske og den irske standarden bruker grenseverdier på henholdsvis 36 og 20 $\mu g/L$. Til sammenligning oppgis det at FMCs utslippsvann har en konsentrasjon på 16,3 $\mu g/L$ (sum av As^{5+} og As^{3+}). Altså under begge kravene.

Tabell 8. Prosentandel av ulike arsenformer som går inn (inntak) og ut (utslipp) av FMCs anlegg i Karmsundet. MMA står for monomethylarsenic acid, DMA står dimethylarsenic acid og As-su står for Arsenosugars.

	inntak	utslipp
As^{3+}	1,6 % *	0,5 %
As^{5+}		6,8 %
MMA	0,9 %	0,1 %
DMA	7,7 %	4,5 %
As-su	79 %	88 %
ukjent	11	

* Verdien er utelukkende basert på inntak fra alger, legger man til inntak fra sjøvann er tallet ca. 2,1 %

Rapporten av Håvardstun (2010) omtalt i kapittel 3.3.3 tar også for seg fordeling av arsenforbindelser i sediment på 5 stasjoner i nærheten av FMC i 2009. Et gjennomsnitt av disse stasjonene viser at omtrent 1,2 % av arsenet i overflatesedimentet foreligger som As^{3+} og As^{5+} og 1,2 % som metylert arsen. Det er ikke gjort analyser som sier noe om de siste 98,6 %.

Notatet fra Bock (2012) ser på utslippsvann på månedlige målinger gjort i 2011 for arsen, krom og kadmium. Det vises også her til lave konsentrasjoner av uorganisk arsen i tråd med notatet fra Garibay (2011). Total arsenmengde blir basert på 12 målinger på hver av to produksjonslinjer beregnet til 1369,5 kg/år, videre er andelen av ulike arsenforbindelser beregnet til 3,07 % DMA, 0,03 % MMA, 3,55 % As^{5+} og 0,32 % As^{3+} (til sammen ca 7 %). Basert på notatet til Garibay (2011) er antagelig mesteparten av de gjenstående 93 % organisk bundet arsen. Notatet tar også for seg hvor mange målinger som bør gjøres for å overvåke utslippsvannet, det konkluderes med at kvartalsmessige

målinger av 72-timers blandprøver gir et akseptabelt estimat på årlig utslipp. Notatet viser også at konsentrasjonene av Cr^{6+} er under deteksjonsgrensen.

5. Samlet vurdering av utslippets virkning på miljøtilstand

5.1 Tarerester og organisk stoff

Undersøkelsene i Karmsundet i tidsrommet 1990-2005 gav en god oversikt over miljøforhold og påvirkning fra utslipp av tarerester og organisk stoff fra FMC. Hovedtrekkene kan oppsummeres som følger:

- Vannutskiftningen i sundet er svært god og dette er sannsynligvis i stor grad årsaken til at det bare er påvist lokal påvirkning fra utslippene
- Avløpsvannet innlagres oftest under overflaten og gjennomgår rask fortynning.
- Stoffbudsjett for partikulært organisk stoff (tarerester) viste at for Karmsundet som helhet utgjorde FMCs utslipp 10-12 %, mens det helt dominerte i Vormedalsbukta. Både ved Vormedal og videre til 500-700 m syd for utslippet framstår bunnen som en mosaikk, der bunnområder med tarerester er omgitt av store flater der sterk strøm holder bunnen ren. Lenger unna dominerer tarerester fra den naturlige algeveksten. I Vormedalsbukta er nedslammingen av bunnen stor og med stor virkning på benthos-samfunnet. Utenfor bukta er virkningen langt mindre og tarerestene utnyttes som ressurs og bidrar sannsynligvis til økt produksjon av bunndyr og av fisk.

5.2 Næringssalter

Bedriften har et relativt stort utslipp av næringssalter, men til en resipient der vannutskiftningen er meget god. Denne store vannutskiftningen fører til at utenom området like ved utslippet er næringssaltkonsentrasjonen moderat, dvs. vannkvaliteten tilsvarende klasse I-II (Meget God - God). Tilsvarende gjelder for planktonbiomassen målt som klorofyll: jevnt over tilstandsklasse I (Meget God), med en moderat lokal påvirkning (klasse II).

5.3 Formaldehyd

Bedriftens avløpsvann inneholder formaldehyd som i høye konsentrasjoner kan skade marine organismer. Fortynningen av avløpsvannet er imidlertid så stor at utenfor en avstand på 25-50 m er det liten risiko for toksiske effekter.

5.4 Metaller

5.4.1 Metaller i blåskjell

Mengden av arsen, kadmium og krom i blåskjell gir et bilde av mengden av disse stoffene over en lengere tidsperiode. For arsen gir undersøkelsene i Karmsundet fra 2009 og 2010 verdier i tilstandsklasse II (moderat forurenset) og i nedre intervall av tilstandsklasse III (markert forurenset). Til sammenligning er 37 stasjoner (i tillegg til Høgevarde i Karmsundet) spredt utover hele norskekysten undersøkt i CEMP 2010 (Green et al. 2011) der er 4 stasjoner i tilstandsklasse I (ubetydelig-lite forurenset), 32 stasjoner i tilstandsklasse II og 1 stasjon i tilstandsklasse III (ved Risøy utenfor Risør).

Dette viser at deler av Karmsundet er mer påvirket av arsen enn stasjoner i andre deler av norskekysten. Det foreligger ingen gradient som tilsier at påvirkningen er størst i nærheten av FMC, ettersom stasjonen ved Høgevarde fyr viser omtrent samme konsentrasjon som stasjonen rett sør for FMC, og to andre stasjoner rett i nærheten av FMC inneholder lavere konsentrasjoner enn Høgevarde. Avløpsvannet fra FMC når vanligvis ikke overflaten uten å være meget fortynnet (se kapittel 3.2). Man vil derfor ikke kunne forvente en klar gradient av arseninnhold i blåskjell.

For kadmium og krom er stasjonene i Karmsundet i tilstandsklasse I og det ser ikke ut til å være noen bekymringsverdig påvirkning av disse stoffene i Karmsundet.

5.4.2 Metaller i vann

Det foreligger kun vannprøver fra ett tidspunkt og kun fra overflatevann. Disse viser at overflatevannet akkurat da var i tilstandsklasse I (bakgrunn) for arsen og kadmium, og i tilstandsklasse I og II (god) for krom. Dette er kun et øyeblikksbilde og ikke nok til å trekke noen konklusjoner. I tillegg til nevnte målinger har Jarle Molvær i Molvær Resipientanalyse i forbindelse med denne rapporten gjort nye modelleringer som beskrevet i Vedlegg 2. I følge modelleringen er konsentrasjonen av arsen tilstrekkelig til å nå tilstandsklasse II i en avstand av 10-30 m fra utslippspunktet.

5.4.3 Metaller i sediment

Innhold av arsen, kadmium og krom i sediment fra Karmsundet er undersøkt på mange stasjoner og med god spredning, og flere av stasjonene er i nærheten av FMCs utslipp.

For arsen er alle stasjoner unntatt én i tilstandsklasse I (bakgrunn). Denne stasjonen ligger rett utenfor FMC og er i tilstandsklasse II (god)..

For kadmium er de fleste stasjoner i tilstandsklasse II (god). To stasjoner er i klasse I (bakgrunn). De to stasjonene med de høyeste verdiene befinner seg i nærheten av FMC.

For krom er alle stasjonene i tilstandsklasse I (bakgrunn)

Basert på undersøkelser fra 2008 og 2009 ser det ut til at sedimentene i Karmsundet ikke er bekymringsverdig (befinner seg i tilstandsklasse II eller bedre) påvirket av hverken arsen, kadmium eller krom. Dette gjelder også i områder i nærheten av FMC.

5.4.4 Analyser av avløpsvann og spesiering av arsenforbindelser

Basert på rapportene fra Environ har FMC et gjennomsnittlig utslipp av arsen på 3,87 kg/dag i følge Garibay 2011, notatet fra Bock (2012) viser omtrent det samme (3,75 kg/dag).

Dette stemmer godt overens med mengden arsen som er hentet fra sjøvann og marine alger. Når det gjelder ulike former for arsen er det i følge Garibay 2011 en økning av As^{3+} og As^{5+} på tilsammen 5,2 prosentpoeng (tilsvarer omtrent en dobling) og en nedgang av metylert arsen på 4 prosentpoeng (tilsvarer omtrent en halvering). I følge Bock 2012 er derimot andelen uorganisk arsen (As^{5+} og As^{3+}) i utslippet på 3,87 %, som er omtrent samme andel som anslått for inntak. Dette kan tyde på at det er relativt lite forandring av arsensammensetning fra metylert arsen til de noe mer giftige formene As^{3+} og As^{5+} .

5.4.5 Totalvurdering for metaller.

Hvis man tar hensyn til måleusikkerheten er det god overenstemmelse mellom arseninnholdet i inntak av råmaterialer og utslipp, og således ingenting som tyder på noe netto tilførsel av arsen til det marine miljø totalt sett. Men det er også viktig å vurdere om man får en lokal påvirkning i Karmsundet. Sedimentet ser ut til å være relativt upåvirket. For konsentrasjoner i vannmassene foreligger det lite data, men modelleringer tyder på at det er svært små områder som har arsenkonsentrasjoner over tilstandsklasse II. For blåskjell ser det ut til at stasjoner i Karmsundet har noe høyere konsentrasjoner av arsen enn det som er vanlig på overvåkingsstasjoner i norske kystfarvann. Men det er for lite data for å si noe mer om dette forhøyete arsennivået stammer fra FMCs utslipp eller andre kilder. Utslippsvannet fra FMC inneholder en del arsen, men ca 80-90 % av dette er arsen-sukkerforbindelser som antas å ha lav giftighet sammenlignet med uorganisk arsen. For å få en god vurdering av miljøeffekter av arsenet bør spesiering av arsenforbindelser tas i betraktning.

For kadmium og krom er alle målte verdier både i blåskjell, vann og sediment i tilstandsklasse II eller bedre og ser derfor ikke ut til å være noe problem i forhold ikke å overskride grenseverdien for kroniske effekter som tilsvarer øvre grense for tilstandsklasse II.

6. Litteratur

- Bakke, T et al 2007. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann – Revisjon av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. Klif rapportnr TA-2229/2007. 12 sider.
- Bock, M., 2010. Proposed Sampling Plan for Haugesund. Environ Note. 8pp.
- Bock, M. and Olthof, M., 2010. Discharge Limits. Environ Note. 3 pp.
- Bock, M., 2012. Results of the 2011 Monthly Sampling and Revised Discharge Limits. Environ Note. 12 pp.
- Eriksen, V., A. Myhrvold & R.K. Bechmann 1997. Resipientundersøkelse i Karmsund 1997. RF-97/256. Confidential report. RF-Rogalandsforskning. 33 pp. + Annex.
- Eriksen, V. og Tvedten, Ø., 2002. Resipientundersøkelse i Karmsundet for FMC BioPolymer, 2002. Rapport RF-2002/334. 35 sider + Vedlegg.
- Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J, Baumgartner, D.J. and George, K.P., 2001. Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes). Environmental Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia, USA.
- Garibay, R., 2011. Response to KLIF regarding Discharge of Arsenic. Environ Memorandum. Project 20-146373. 18 pp.
- Green, N et al. 2011. Hazardous substances in fjords and coastal waters – 2010. NIVA-rapport 6239-2011 (Klif-rapport TA-6822/2011).
- Håvardstun, J., 2010. FMC BioPolymer Haugesund. Undersøkelse av metaller i sedimenter og blåskjell i 2009. NIVA-rapport nr. 5906-2010. 19 sider.
- Molvær J, Knutzen J, Magnusson J, Rygg B, Skei J og Sørensen J, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet in fjorder og kystfarvann. SFT-veiledning nr. 97:03. TA-1467/1997. 36 sider.
- Molvaer, J., Helland, A., Källqvist, T., Olsgard, F. og Sundfjord, A., 2003. FMC BioPolymer Haugesund. Risk assessments of wastewater discharge to the Karmsund. NIVA-report no. 4645-2003. Oslo. 88 pp.
- Molvær J., Norderhaug, K.M. og Tvedten, Ø. 2006. FMC BioPolymer Haugesund. Undersøkelser av miljøeffekter fra utslipp av tarerester til Karmsundet - Sammendragsrapport. NIVA- rapport l.nr. 5215-2006 22s.
- Myhrvold, A.U. 1993. Resipientundersøkelse i Karmsund, Rogaland. Oppfølgende undersøkelse. RF-183/93. Confidential report. RF-Rogalandsforskning. 52 pp.
- Myhrvold, A.U. 1996. Resipientundersøkelse i Karmsund 1995. RF-96/043. Open report. RF-Rogalandsforskning. 44 pp.

Norderhaug, K.M., Nilsson, H.C., Rinde, E. and Molvær, J., 2006. FMC BioPolymer Haugesund. Seaweed residues in Karmsundet – natural decomposing and flow in the marine food web. NIVA-rapport nr. 5157-2006. 35 sider.

Næs, K, Fjeld, E, Håvardstun, J, Allan, I. 2009. Forurensningssituasjonen i Karmsundet 2008 med vekt på påvirkning av Hydro aluminium Karmøy. Metaller, PAH og klorerte forbindelser i vannmasser, torsk, krabbe og sedimenter. NIVA-rapport 5881-2009.

Tvedten, Ø.F., 2005, Langtidsovervåking av to marine resipienter i Rogaland, Oppfølgende undersøkelser 2004 -2005. Rapport RF-2005/204

Tvedten, Ø.F. 2004. PAH og metallinnhold i blåskjell, torsk og krabbe fra Karmsundet, 2003. Rogalandforskning. Rapport RF-2003/274. 19s + vedlegg.

Tvedten, Ø.F, Eriksen, V, Molversmyr, Å 2002. Miljøtilstand og tilførsler til Karmsundet, 2001-2002. Rogalandforskning rapport RF-2002/338. 59 sider

Tvedten, Ø.F. and Eriksen, V. 1999. Recipient report from the Karmsund 1999. RF-1999/265. Confidential report. RF-Rogalandforskning. 57 pp. + Annex.

Tvedten Ø.F. and Eriksen, V. 2001. Recipient Report from Karmsund, 1999. Rogaland Research report 613/654846.

Tvedten, Ø.F. and Bergheim, A., 2001. Environmental classification of Karmsund in relation to discharges from FMC BioPolymer. Report RF-2001/134. Rogalandforskning, Stavanger.

Tvedten, Ø., Bergheim, A. og Tandberg, A.H.S., 2006. Miljøundersøkelse ved FMC Biopolymer i Karmsundet 2005, Karmøy kommune. Rapport IRIS – 2006/062. 37 sider + vedlegg.

Vedlegg 1

Rogalandforsknings stasjoner i 2001-2002



Figur V1. Kart over prøveinnsamlingsområdet for Rogalandforsknings undersøkelser i Karmundet i 2001-2002 (kopi fra Tvedten et al., 2002).. Prøvestasjonene (1-8) er markert med nummer. Merk at stasjon 8 ligger vest for Karmoey og at på stasjonene 5B og stasjon 7 rett sør for Fosenøy bare ble tatt sedimentprøver. De største utslippene er tatt med og angitt som pe (Haugesunds tall er omregnet fra antall personer: 1 pe=1,5 personer og er markert med blå skrift).

Vedlegg 2

Beregning av arsenkonsentrasjon nedstrøms utslipp H1-4

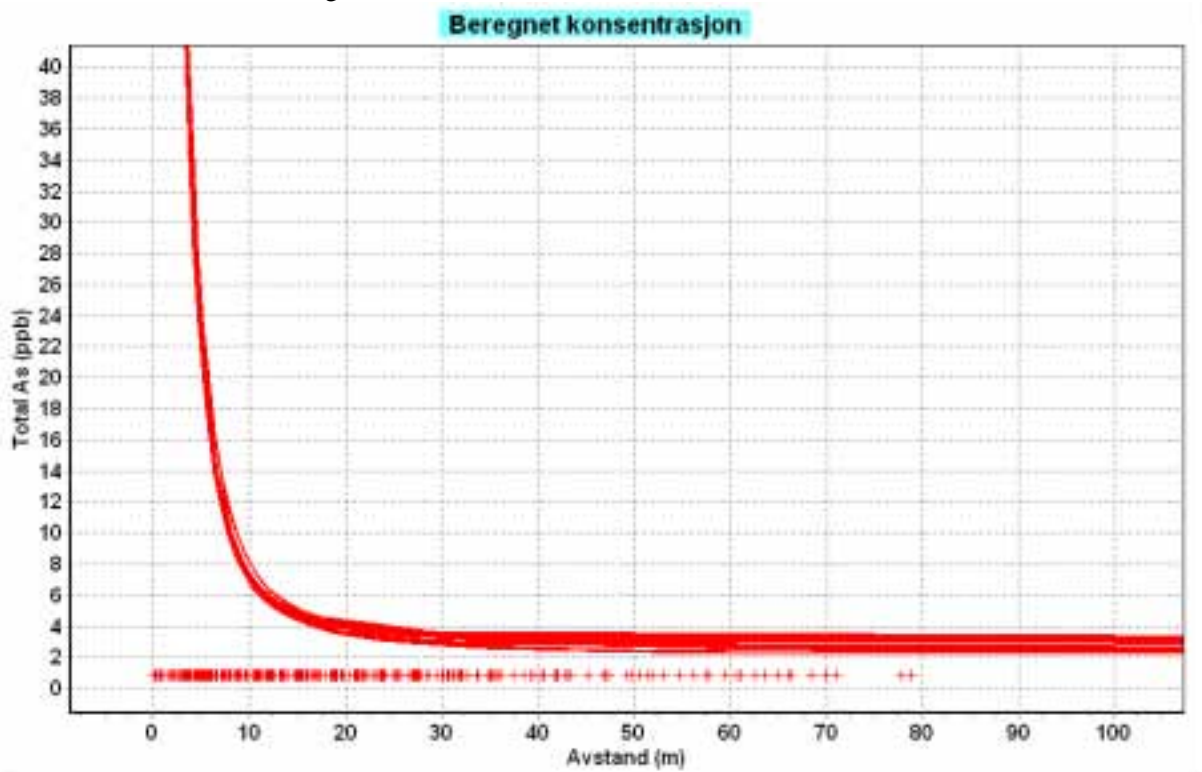
Utslippsmengdene ble første gang vurdert i 2002, med tilhørende beregninger av avløpsvannets innlagring og fortykning (Molvær et al., 2003). Konsentrasjoner av suspendert stoff og formaldehyd ble beregnet. Den gang var ikke metaller et tema.

I 2012 er størrelsen (vannmengde, stoffmengde) av utslippene endret i forhold til 2002. Under utarbeidelse av denne rapporten ble det derfor gjort nye beregninger av innlagring, fortykning og tilhørende konsentrasjoner av As, Cr og Cd for utslipp H1-4, som for As er det største utslippet.

Innlagringsdyp og fortykning er vist i Figur 6 i rapporten. For As er resultatet vist i Figur V2. Bakgrunnskonsentrasjonen i Karmsundet ble satt til 2 µg/l (vannkvalitetsklasse I, jfr. også målte verdier fra 2010) og vannkvalitetsklasse II ble oppnådd innen 10-20 m fra utslippet.

Tilsvarende resultater ble funnet for Cr og Cd: vannkvalitetsklasse II innen 10-20 m fra utslippet

Tas muligheten for noe mer varierende fortykningsforhold i betraktning, synes 30-50 m å være en avstand der man med rimelig sikkerhet kan forvente vannkvalitetsklasse II.



Figur V2. Utslipp H1-4. Beregnet konsentrasjon av Total Arsen ved økende avstand og ved strømhastighet 0,2 m/s i resipienten. Vannkvalitetsklasse II (4,8 µgAs/l, markert med horisontal strek) nås innen ca. 10-20 m fra utslippet.

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 • post@niva.no