

Forprosjekt. Tiltak for å hindre begroing i inntaksledningen til Xstrata Nikkelverk



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 Forprosjekt. Tiltak for å hindre begroing i inntaksledningen til Xstrata Nikkelverk. | Løpenr. (for bestilling) 6212-2011 | Dato 17.08.2011 |
| | Prosjektnr. Undernr. O-11236 | Sider Pris 19 |
| Forfatter(e) Tone Kroglund | Fagområde Marin eutrofi | Distribusjon Fri |
| | Geografisk område Vest-Agder | Trykket NIVA |

| | |
|---|------------------------------|
| Oppdragsgiver(e) Xstrata Nikkelverk AS | Oppdragsreferanse 0614/11 |
|---|------------------------------|

Sammendrag

Xstrata Nikkelverk benytter kjølevann fra Kristiansandsfjorden og har i lengre tid hatt problemer med at blåskjellkolonier etablerer seg i rørsystemet. Formålet med prosjektet har vært å finne en mer effektiv måte å forhindre begroingen av blåskjell. Den beste løsningen ut fra en begroingsmessig vurdering er å bruke kjølevann fra dypere enn 60 meters dyp. Det vil hindre at blåskjell-larver og andre planktoniske sporer/larver fra begroingsorganismer kommer inn i kjølesystemet og etablerer seg der. For å komme dypt nok må inntaksledningen forlenges til renna mellom Odderøya og Dybingen. Det er gode erfaringer fra andre anlegg med å øke inntaksdypet. Dersom det ikke lar seg gjøre å forlenge inntaksledningen, er klorering trolig det beste alternativet. Dette vil kreve kontinuerlig dosering og periodevis høye doser for å hindre/fjerne begroing, og kan gi lokale effekter rundt utslippet.

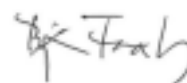
| | |
|-------------------------|-----------------------|
| Fire norske emneord | Fire engelske emneord |
| 1. Kjølevann | 1. Cooling water |
| 2. Begroing | 2. Marine fouling |
| 3. Inntaksdyp | 3. Intake depth |
| 4. Kristiansandsfjorden | 4. Kristiansandsfjord |



Tone Kroglund
Prosjektleder



Mats Walday
Forskningsleder



Bjørn Faafeng
Seniorrådgiver

Forprosjekt

**Tiltak for å hindre begroing i inntaksledningen til
Xstrata Nikkelverk**

Forord

Denne rapporten er utført av Norsk institutt for vannforskning på oppdrag fra Xstrata Nikkelverk. Kontaktperson fra oppdragsgiver har vært Arne B. Frigstad.

Xstrata Nikkelverk benytter kjølevann fra Kristiansandsfjorden og har i lengre tid hatt problemer med at blåskjellkolonier etablerer seg langt innover i kjølevannssystemet. De ønsker å komme fram til en bedre løsning enn i dag for å forhindre blåskjellbegrøing og henvendte seg til NIVA for å vurdere aktuelle løsninger.

Tone Kroglund har vært prosjektleder. Til rapporten har Helge Liltvedt bidratt med informasjon og referanser om behandlingsmetoder.

Vi takker for oppdraget og hyggelig samarbeid.

Grimstad, 17.08.2011

Tone Kroglund

Innhold

| | |
|--|-----------|
| Sammendrag | 5 |
| Summary | 6 |
| 1. Innledning | 7 |
| 1.1 Bakgrunn og formål | 7 |
| 1.2 Formål | 7 |
| 1.3 Vesterhavn | 7 |
| 2. Begroing | 8 |
| 2.1 Generelt om marin begroing og begroingsorganismer | 8 |
| 2.1.1 Fire stadier av begroing | 9 |
| 2.1.2 Begroingsorganismene | 9 |
| 2.2 Faktorer som påvirker type og mengde begroing i kjølevannssystemer | 12 |
| 2.3 Metoder for å hindre begroing | 12 |
| 2.4 Erfaringer med sjøvannsinntak i Norge | 15 |
| 3. Vurdering av kjølevannsinntak i Vesterhavn | 15 |
| 4. Videre arbeid | 16 |
| 5. Litteratur | 17 |

Sammendrag

Xstrata Nikkelverk benytter kjølevann fra Kristiansandsfjorden og har problemer med at blåskjellkolonier etablerer seg langt innover i kjølevannssystemet. De ønsker å komme fram til en bedre løsning enn i dag for å forhindre blåskjellbegrøing og henvendte seg til NIVA for å vurdere aktuelle løsninger.

Forprosjektet har hatt som mål å finne den beste metoden for å hindre blåskjellbegrøing. Rapporten inneholder også

- generell bakgrunnskunnskap om begroing i kjølevannssystemer,
- oversikt over hvilke metoder som kan benyttes
- litt om erfaringer fra andre anlegg

Marin begroing (biofouling) omfatter både mikroskopiske arter og større organismer. Mest problematisk i kjølevannssystemer er de større organismene som reduserer eller blokkerer vannstrøm og tetter filtre, men også mikrobegrøing kan gi problemer i form av redusert varmeveksling og økt korrosjon.

Metoder som benyttes for å begrense begroing er blant annet:

- Økt inntaksdyp
- Tilsetning av klor eller andre biocider i inntaksvann
- Mekanisk behandling
- Varmebehandling
- Økt vannhastighet
- Materialvalg ('non-stick' overflatebelegg, kobber-legeringer etc)
- Osmotisk sjokk (periodevis bruk av ferskvann)

Den beste løsningen ut fra en begroingsmessig vurdering er å bruke kjølevann fra dypere enn 60 meters dyp. Det vil hindre at blåskjell-larver og andre planktoniske sporer/larver fra begroingsorganismer kommer inn i kjølesystemet og etablerer seg der. For å komme dypt nok må inntaksledningen forlenges til renna mellom Odderøya og Dybingen. Det er gode erfaringer fra andre anlegg med å øke inntaksdypet. Dersom det ikke lar seg gjøre teknisk å forlenge inntaksledningen, er klorering trolig det beste alternativet. Dette vil kreve kontinuerlig dosering og med periodevis høye doser for å hindre/fjerne begroing. Tilsetning av klor er ikke uproblematisk ettersom klor og oksyderingsproduktene er giftig for marine organismer og kan gi lokale effekter rundt utslippet.

Summary

Title: Measures to prevent marine growth in intake pipe at Xstrata Nickel Plant, Kristiansand, S Norway.

Year: 2011

Author: Tone Kroglund

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5947-6

Xstrata Nickel plant uses seawater from the Kristiansand fjord in their cooling water system and experience continuous problems with mussel colonies establishing in the pipes. Today they remove the mussels by backflushing, but they wanted to assess other and better methods.

The aim of this project is to find the best method to prevent biofouling at the Xstrata Nickel plant. The report also gives a general introduction to biofouling and fouling organisms in cooling water systems, and a brief overview of various methods often used to prevent biofouling.

Marine fouling (biofouling) includes both microscopic and macroscopic species. The most problematic organisms are macroscopic species such as mussels and barnacles. They are hard to remove and reduce water flow and clog filters. Biofouling by microscopic organisms may cause problems by reducing heat exchange and increasing corrosion.

Methods to prevent fouling include:

- Increased depth of intake water
- Chlorine or other biocides
- Mechanical treatment
- Heat treatment
- Increased water velocity
- Non-stick coating, copper alloys, etc.
- Osmotic shock

The best solution to prevent fouling would be to use cooling water from a depth greater than 60 meters. That will prevent mussel larvae and other planktonic forms of fouling organisms from entering the cooling system. Other facilities in Norway have good experiences in using this method. To achieve this, the intake pipe need to be extended several hundred meters compared to current solution. If this is not possible, chlorination is probably the best option. This will require continuous treatment with intermittent high doses to prevent/remove fouling.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn og formål

Xstrata Nikkelverk i Kristiansand benytter kjølevann fra Kristiansandsfjorden til deler av sin prosess. Kjølvannsinntaket ligger på 20-30 meters dyp i Vesterhavn.

Bedriften har problemer med at blåskjellkolonier etablerer seg langt innover i kjølevannssystemet og tetter varmevekslerne. Begroingsproblemene har til nå blitt løst ved at blåskjellene spyles ut med backflushing. Det har også blitt testet ut bruk av kjemikalier uten særlig effekt. Bedriften ønsker å komme fram til en bedre løsning enn i dag for å forhindre blåskjellbegrøing og annen type begroing som reduserer effekten av varmevekslerne.

1.2 Formål

Forprosjektet har hatt som mål å finne den beste metoden for å hindre blåskjellbegrøing i kjølevannssystemet til Xstrata Nikkel i Kristiansand. Rapporten inneholder også

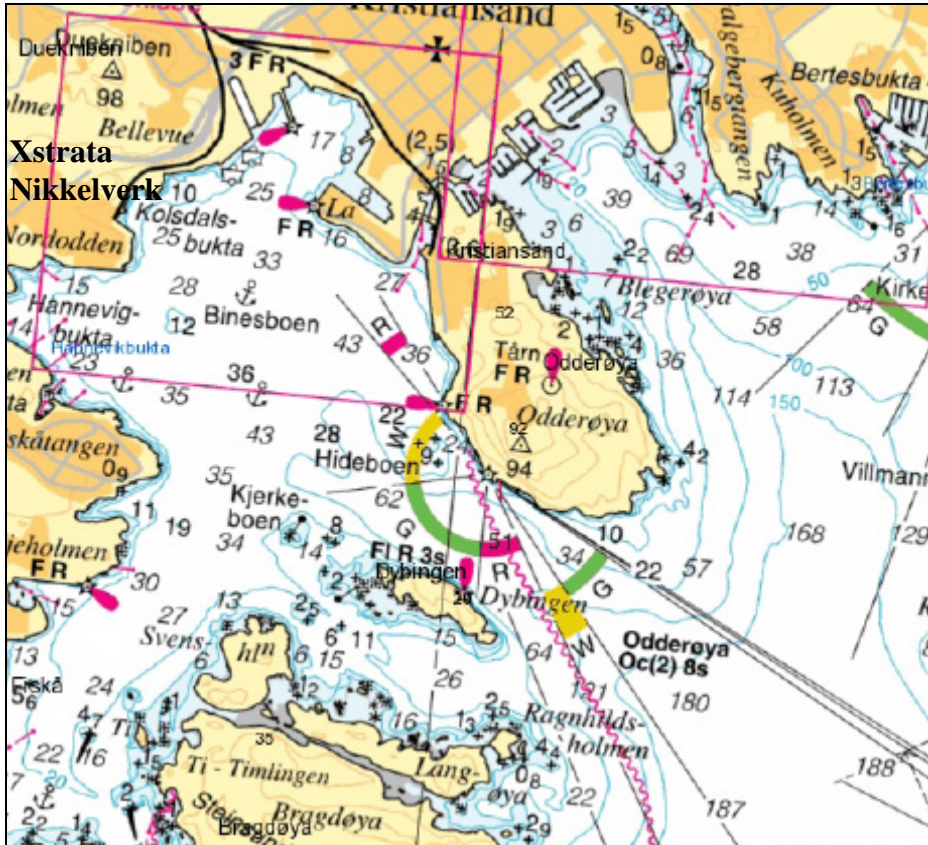
- generell bakgrunnskunnskap om begroing i kjølevannssystemer,
- oversikt over hvilke metoder som kan benyttes
- litt om erfaringer fra andre anlegg

1.3 Vesterhavn

Dypeste punkt i Vesterhavn er 43 meter. Mellom Dybingen og Odderøya er det ingen terskel mot Kristiansandsfjorden og bunnen skråner jevnt nedover til 180 meters dyp utenfor Dybingen.

Kristiansandsfjorden har et rikt organismsamfunn både på grunt og dypt vann. Algevegetasjonen i sentrale deler av fjorden går der ned til 26-30m dyp mens i Vesterhavn er det vegetasjon ned til 15-17 meters dyp (Oug mfl. 1994, Kroglund og Oug 2011).

Inntak av kjølevann fra dybder grunnere enn ca. 40 m vil kunne føre med seg mange sporer og larver som kan feste seg i inntaksledningen eller andre deler av kjølevannssystemet og skape problemer hvis de forekommer i større mengder eller løsrives. Dette er situasjonen i dag med vekst av blåskjell langt inn i rørsystemene i kjøleanlegget.



Figur 1. Kart over Vesterhavet. Xstrata Nikkelverk ligger på Nordodden mellom Hannevigbukta og Kolsdalsbukta.

2. Begroing

2.1 Generelt om marin begroing og begroingsorganismer

Marin begroing (biofouling) utgjør et stort problem for konstruksjoner og installasjoner i alle havområder. Problemene er knyttet til både skipsskrog, offshore plattformer, undervannsutstyr, rørsystemer i sjøvann, inntaksledninger for industri, kjølesystemer etc.

Konsekvensene av begroing er blant annet økt friksjon (på skip, i rørsystemer etc), redusert diameter i rør, redusert effekt av varmeveksling og økt korrosjon av metaller og legeringer.

Større organismer som svamper, rur, skjell, tang og er de mest synlige påvekster og kan redusere vanngjennomstrømming eller på annen måte forstyrre med deres nærvær. Etableringen av større organismer er imidlertid avhengig av dannelsen av et tynt organisk lag på overflaten som produseres av bakterier.

2.1.1 Fire stadier av begroing

Begroing omfatter både mikroorganismer og større flercellede organismer og hele begroingsprosessen kan deles inn i 4 stadier som vist i **Tabell 1** (Yebra mfl. 2004).

Marin begroing starter umiddelbart når et ikke-levende materiale senkes ned i vann. På overflaten vil det feste seg ulike organiske molekyler som polysakkarider, proteiner og proteinfragmenter (*conditioning film*). Denne første fasen av begroingen (**Tabell 1**) drives av fysiske og kjemiske krefter og danner grunnlag for vekst av encellede organismer. I løpet av et døgn vil det etableres vekst av hurtigvoksende encellede organismer som bakterier, diatoméer og protozoer som danner en biofilm av mikroorganismer (*microbiofouling*) (stadie 2). Den mikrobielle veksten gir igjen grunnlag for at flere partikler fester seg og at algesporer, larver, sopp og protozoer kan etablere seg og vokse. Den mikrobielle biofilmen blir således gradvis omdannet til et komplekst samfunn av flercellede primærprodusenter og fauna (stadie 3). Det fjerde og siste stadiet er begroing av større organismer som mosdyr, hydroider, svamper, sjøanemoner, sekkedyr, rur og rørdannende mark, blåskjell og makroalger (*macrobiofouling*). Begroing av større organismer vil kunne starte etter 2-3 uker.

Tabell 1. De fire stadiene i begroingsprosessen

| Stadium | Prosess | Tidsskala |
|---------|--|------------|
| 1. | Klebring av organiske partikler til overflaten (f.eks. proteiner og polysakkarider), danner en conditioning film | 1 minutt |
| 2. | Bakterier og encellede diatomeer etablerer seg. Sammen med protozoer og hjuldyr danner de en mikrobiell biofilm . (<i>Microbiofouling</i>). | 1-24 timer |
| 3. | Små algesporer, rur-larver, marin sopp og protozoer fester seg til biofilmen og danner et komplekst samfunn av flercellede primærprodusenter (alger) og dyr. | 1 uke |
| 4. | Etblering og vekst av store marine evertebrater og makroalger. (<i>Macrobiofouling</i>). | 2-3 uker |

2.1.2 Begroingsorganismene

Organismer som bidrar til marin begroing er stort sett naturlig forekommende lokalt og på grunt vann. Organismene i siste begroingsfase kan være fastsittende former av både alger og dyr.

Algevegetasjonen langs norskekysten vokser ned til ca. 30-40 meters dyp. Under dette er det for lite lys til at algene kan drive fotosyntese tilstrekkelig for å opprettholde livskvalitet. Fauna er ikke avhengig av lys, og mange arter vokser derfor adskillig dypere. Men det som har størst betydning for hva som etablerer seg, er de planktoniske formene og de hydrografiske forholdene på stedet. Mange bunnlevende organismer produserer larver, egg og sporer som er til stede i vannmassene som plankton og kan således lett komme seg inn i kjølevannssystemer og bunnslå seg der (Brankevich 1990, Khalanski 1998, Qian mfl. 1999, Chou mfl. 1999).

Rur, skorpeformede mosdyr og alger, rørbyggende mark og muslinger danner et hardt kalklag som kan være vanskelig å fjerne. I våre farvann representerer blåskjell (*Mytilus edulis*) og tildels rur (*Balanus*) den mest problematiske begroingen. Blåskjell har også vært den mest dominerende

begroingsorganismen rapportert fra anlegg rundt Nordsjøen. Blåskjell og andre muslinger blir store, og har evnen til å lukke seg og dermed unngå virkninger av f.eks. periodevis klorering. Dersom blåskjellene løsner, vil de bli trukket inn i kjølevannssystemet og kan i verste fall blokkere vanngjennomstrømningen.

Opprette alger, sekkedyr og sjøanemoner danner ikke harde kalkskall og er stort sett lettere å fjerne men kan også redusere vannstrøm eller tette igjen rør.

Det er ikke bare større organismer som skaper problemer. Mikroorganismer kan påvirke korrosjon ved å endre de elektrokjemiske forholdene på overflaten (Videla og Herrera 2005). Microbiologically Influenced Corrosion (MIC) har vært identifisert i de fleste rørsystem.

Organismenes biologi bestemmer hvor og hvordan de slår seg ned, og hva slags begroingshindrende tiltak som hjelper. Biologien til noen begroingsorganismer i våre farvann er beskrevet i **Tabell 2**.

Tabell 2. Biologien til utvalgte begroingsorganismer

| | |
|---|---|
|  <p>Photo © NIVA</p> | <p>Blåskjell (<i>Mytilus edulis</i>) Vanlig forekommende i fjæra og vokser ned til ca. 10 meters dyp. Larvene kan forekomme på dyp ned til 30-40 meter. Vid geografisk utbredelse, tåler store variasjoner i temperatur og saltholdighet. Gyter om våren. De planktoniske larvene bunnslår seg etter noen uker, men bunnslåingen kan utsettes flere uker hvis larven ikke finner egnet substans (larvestadiet varer mellom 3 uker og 3 måneder). Bunnslående larver er ca. 210-300 µm lange. Blåskjell vokser 3-4 cm i løpet av første året, og blir kjønnsmoden etter 1-2 år. Fester seg til underlaget med sterke byssustråder. Tåler godt uttørring over kortere perioder.</p> |
|  <p>Photo © Biopix: JC Schou</p> | <p>Trekantmark (<i>Pomatoceros triqueter</i>) (Polychaeta) Finnes fra nederst i fjæra og dypere. Vid geografisk utbredelse. Trives best i beskyttede områder med lite strøm. Larvene er planktoniske fra 3 uker til 2 måneder. Gyting foregår hovedsakelig i sommermånedene. Trekantmark bygger 5-12 cm lange rørformede kalkhus. Ved nedslåing har kalkrøret en lengde på 800-1200µm.</p> <p>Også andre arter av Polychaeter med kalkhus kan forekomme som begroingsorganismer.</p> |
|  <p>Photo © NIVA</p> | <p>Sekkedyr (Ascidiaceae) Mange arter av sekkedyr (sjøpung) finnes i våre farvann. Sekkedyr har en gelatinøs eller læraktig kappe som omslutter dyret, og vokser som solitære eller i koloni. Larvene er planktoniske. Enkelte arter kan bli 10-20 cm lange og normal levetid er 1-2 år. Mange sekkedyr dør etter gyting om sommeren. Vokser på både grunt og dypt vann.</p> |
|  <p>Photo © NIVA</p> | <p>Rur (<i>Balanus</i> spp.) (Cirripedia) Rur er vanlig på hardt underlag i den øvre del av fjæra, men finnes også ned til flere hundre meters dyp (<i>B. balanus</i>). Tåler godt uttørring. Lengden/diameteren er ca. 10-15 mm på den vanligste fjærearten, og normal levetid er 2 år. Rur danner kalkskall som er godt festet til underlaget. Larvene er planktoniske.</p> |
|  <p>Obelia geniculata. Http://www.habitas.org.uk/marinellife/index.html Photo © Bernard Picton</p> | <p>Hydroider (Hydroida) Hydroider er en gruppe organismer som er karakterisert ved å ha et kolonidannende, fastsittende polypstadium, som hos mange arter veksler med et frittsvømmende medusestadium. Hydroider finnes fra tidevannssonen til ca. 100 meters dyp. Det finnes en lang rekke arter, både små og store.</p> |

2.2 Faktorer som påvirker type og mengde begroing i kjølevannssystemer

Hva slags begroing som etablerer seg, hvor mye begroing det blir og hvor fort begroingen utvikler seg bestemmes av flere faktorer som geografisk beliggenhet, næringstilgang, temperatur, vanddyp, substrattyp, vannhastighet etc.

Gjennomstrømningshastighet i kjølevannssystemet er en viktig enkeltfaktor for begroing i kjølevannssystemer. Vanligvis vil økende vannhastighet øke dannelse av biofilm, men dersom hastigheten blir for stor vil det bl.a hindre larver i å feste seg eller kan få biofilmen til å løsne. Tester har vist at biofilm av en type bakterie var maksimalt utviklet ved 1 m/s, at Zebamuslinger ikke klarer å feste seg ved hastigheter over 2 m/s og at rur løsner fra glatte antibegroings-overflater ved 5-8 m/s (Stanczak 2004). Vanligvis har områder der begroing av større organismer opptrer en vannhastighet på mindre enn 1,5 m/sek (Brankevich 1990).

Et kjølevannssystem vil ha partier med både lav og høy vanngjennomstrømningshastighet. I områder med høy vannhastighet (eks. i kondensatorer) vil hovedproblemet være dannelsen av slim eller biofilm som reduserer varmevekslingen. I områder med lav vanngjennomstrømning (eks. i inntaksområdet, bøyde deler av rør, og inspeksjonstunneler) vil begroingen kunne nå et høyere utviklingstrinn og omfatte også større organismer. Rørsystemene i et kjølevannsanlegg kan være ideelle begroingssteder for filtrerende organismer idet vannstrømmen sørger for kontinuerlig mattilgang og fjerning av avfallsstoffer.

Effekter av mikrobegroing (biofilm) er økt friksjon i rørdeler, økt korrosjon og redusert effekt av varmeveksling. Effekter av makrobegroing er redusert vanngjennomstrømning, større friksjon pga. ujevn overflate, økt mikrobegroing, erosjon/korrosjon, blokkeringer og mekanisk skade.

Begroing er mer intens i grunne farvann enn på dypere vann ettersom det er høyere tetthet av potensielle begroingsorganismer på grunt vann.

2.3 Metoder for å hindre begroing

Det er en rekke teknikker for å fjerne eller hindre begroing i sjøvannsledninger. Tilsetning av klor til kjølevannet og mekanisk fjerning har vært de mest brukte metodene mot begroing. For å unngå begroing i utgangspunktet og begrense eller eliminere behovet for behandling, benyttes dypvannsinntak.

Det gis en kort omtale av følgende begroingshindrende metoder:

- Økt inntaksdyp
- Tilsetning av klor eller andre biocider i inntaksvann
- Mekanisk behandling
- Varmebehandling
- Økt vannhastighet
- Materialvalg ('non-stick' overflatebelegg, kobber-legeringer etc)
- Osmotisk sjokk (periodevis bruk av ferskvann)
- Andre metoder

Økt inntaksdyp

Et dypt kjølevannsinntak vil effektivt hindre begroing ettersom de planktoniske formene av begroingsorganismene (larver, sporer etc) som regel er begrenset til øvre vannlag hvor

planteplanktonet befinner seg. De største planktonkonsentrasjonene hos oss finnes i de øvre 10 – 20 meterne. Et dypvannsinntak reduserer tilgjengeligheten for planktoniske larver av bunnlevende dyr som f.eks blåskjell, som er den største problem-organismen i denne sammenhengen. Se kap. 2.4 for erfaringer med dypvannsinntak av kjølevann.

Tilsetting av klor eller andre biocider i inntaksvann

Ved bruk av sjøvann som kjølevann i kraftverk benyttes inndosering av klor-løsninger ved inntakspunktet. Fra litteraturen vises det til gode erfaringer med å dosere en mengde som gir en restkonsentrasjon på minimum 0,20 ppm som Cl₂. Dette regnes som tilstrekkelig for å ta knekken på og å hindre organismer i å feste seg til overflaten. Dette krever godt doseringsutstyr med overvåking av restkonsentrasjon, pluss godkjenning for utslipp av vann som inneholder restklor, alternativt deklorering med f.eks. tiosulfat før utslipp.

Men det er også rapportert om problemer med makrobegroing ved denne konsentrasjonen (0,20 ppm) og det kan da være nødvendig med periodevis høye konsentrasjoner av klor (natriumhypokloritt) (Azis mfl. 2003). Blåskjell har vist 100 % dødelighet etter 21 dager ved klorinering med 1 ppm og etter 30 timer ved klorinering med 10 ppm (Azis mfl. 2003).

Tilsetting av klor er ikke uproblematisk ettersom klor og oksyderingsproduktene er giftig for marine organismer og kan gi lokale effekter rundt utslippet. Dersom klor reagerer med organisk stoff dannes klororganiske forbindelser, dvs miljøgifter med lang nedbrytningstid.

Andre oksiderende biocider som tilføres kjølevann omfatter brom, bromklorid og ozon. Ozon har vist seg å være et bra alternativ til klor, med høy giftighet under behandling og lite giftig ved utslipp i ferskvann (Videla og Herrera 2005). Ved ozonering av sjøvann vil imidlertid ozon meget raskt oksidere bromid (rent sjøvann inneholder 65 mg/l bromid) og danne hypobromsyre (HOBr), som står i pH-avhengig likevekt med hypobromittion (OBr⁻). Disse sekundære oksidantene utgjør de viktigste aktive forbindelsene sammen med eventuelt restozon, og refereres til som total mengde restoksidanter (TRO).

Konsentrasjonen av biocide oksidanter i sjøvann måles enklest med den såkalte DPD-metoden. Metoden kan benyttes kolorimetrisk og titrimetrisk, eller med titrering (jodometrisk eller amperometrisk). Kolorimetrisk DPD er mest benyttet. Halogener, ozon og andre oksidanter oksiderer N,N-dietyl-*p*-fenylendiamin (DPD) til et rosa Wurster-kation, som kvantifiseres spektrofotometrisk ved 530 nm eller ved manuelt å sammenlikne fargeutslaget med standardfarger som korresponderer med kjente konsentrasjoner. Ved bruk av fotometer framstår DPD-metoden som en sensitiv og godt egnet metode for måling av TRO i sjøvann.

Redokspotensialet kan også brukes for indirekte måling av TRO-konsentrasjonen. Erfaringene med redoks-målinger er delte da det ofte tar lang tid før redoks-reaksjoner innstiller seg, slik at det er vanskelig å få en stabil måling. Det er også registrert store måleforskjeller mellom ulike elektroder/instrumenter i like vannkvaliteter. For måling på anlegg kan metoden være nyttig, spesielt dersom redoks-målingene kan sammenliknes med direkte TRO-målinger.

Eksempler på ikke-oksiderende biocider er formaldehyd, glutaraldehyd, isothiazolones og ammoniakk-forbindelser. Ikke-oksiderende forbindelser er effektive i å kontrollere alger, sopp og bakterier, men mange av forbindelsene er så ekstremt giftige og har så lang levetid slik at de ikke egner seg for bruk i åpne systemer med utslipp til sjø.

Elektrolytisk klorering

Et alternativ til dosering av klor kan være elektrolytisk generering av aktive oksidanter. Elektrolytisk oksydantproduksjon skjer ved at sjøvannet passerer en celle som påtrykkes likespenning. Kloridioner (Cl⁻) og bromidioner (Br⁻) i sjøvannet oksideres elektrolytisk til aktivt klor (HOCl og OCl⁻) og aktivt brom (HOBr og Br⁻). Det produseres også hydroksylradikaler som genererer små mengder andre oksidanter, inkludert hydrogenperoksid (Bergman et al. 2008, Troster et al. 2002). Oksidantene som dannes i sjøvannet måles som totale restokidanter (TRO). Enheter for elektrolyse av sjøvann er kommersielt tilgjengelige.

Mekanisk behandling

Den eldste metoden for å hindre begroing er å benytte mekanisk energi for å holde overflater rene for begroing. Roterende børster blir brukt for å rengjøre varmevekslere. Og for å fjerne godt utviklet begroing fra innvendige rør, er bruk av børster og plugger fremdeles den eneste tilgjengelige metoden (Azis mfl. 2003). Store svamp/gummiballer som daglig presses gjennom varmevekslingssystemet med vannstrømmen kan være tilstrekkelig for å holde begroingen i sjakk. Det testes stadig på nye løsninger.

Varmebehandling

Varmebehandling ansees som et godt alternativ til kjemiske metoder. Marine organismer har ofte en snever temperaturløselighet og varmt vann på 50-70°C over 1-2 timer kan drepe alle organismer i kjølesystemet. Metoden er ressurskrevende og benyttes som regel på små områder.

Økt vannhastighet

Høy gjennomstrømningshastighet kan hindre egg og larver å slå seg ned. Det er rapportert om at hastigheter over 1,2 m/sekund hindrer larver i å slå seg ned på glatte overflater og 1,2 – 1,8 m/s på mer ujevn overflate (Azis mfl. 2003, Mitchell og Benson 1980).

Materialer med antibegroings egenskaper

Det gjøres stadig forsøk på å utvikle materialer som er motstandsdyktige mot begroing. Kopper og kopper-nikkel legeringer er kjent for sine antibegroings og anti-korrosjonsegenskaper. Spesielt har 90:10 kopper-nikkel legering vist god beskyttelse mot begroing og er derfor ofte brukt i overflater på skip (Stanczak 2004).

Legeringer med titanium har vist liten eller ingen giftighet på marine dyr. Overflater med titanium kan bli ytterligere beskyttet ved at vannstrømmen holdes på mer enn 2 m/sek slik at organismer ikke kan feste seg. Titanium er også immun mot mikrobiell korrosjon (MIC) (Stanczak 2004).

Det er også utviklet monomerer og polymerer med kjemisk bundet biocider som gir materialet iboende beskyttelse mot begroing (Azis 2003).

Non-stick overflatebelegg av polymerer er ikke giftige men benytter overflatestrukturer som hindrer organismer i å feste seg.

Osmotisk sjokk

Periodevis bruk av ferskvann gjennom kjølevannssystemet kan redusere begroing av rene marine arter. Det vil imidlertid ikke være effektivt mot f.eks etablerte blåskjell som kan lukke seg i perioder med ugunstige forhold.

Begroingshindrende maling og overflatebehandling

Dette er trolig den mest kostnadseffektive og mest brukte metoden for å hindre begroing (bortsett fra i kjølevannssystemer). Begroingshindrende maling inneholder ulike metall-baserte komponenter og virker med å lekke ut giftige stoffer (biocider). Det mest effektive har vært tinn-baserte produkter som tributyl-tinn (TBT). TBT har imidlertid vist seg å ha store negative effekter i små konsentrasjoner også

for andre organismer enn begroingsorganismer og er nå forbudt å bruke i alle land. I dag er det stort sett kopperbaserte malinger som brukes.

Begroingshindrende malinger har begrenset virketid og må påføres på nytt med jevne mellomrom. På grunn av dette er de lite praktiske å bruke i rørsystemer eller andre lite tilgjengelige overflater. De kan heller ikke påføres under vann.

Andre metoder

Puls-power (pulserende strøm) har i eksperimentelle studier vist å kunne hindre begroing (Azis mfl. 2003). Andre metoder for å begrense eller hindre begroing omfatter UV-stråling og biologisk kontroll.

2.4 Erfaringer med sjøvannsinntak i Norge

Det foreligger lite tilgjengelig informasjon om dette i litteraturbaser eller via søkemotorer på internett, men det er sammestilt det vi har funnet så langt.

Ved Hydro Statoils metanolanlegg på Tjeldbergodden har de mange års erfaring med kjølevann fra 60 meters dyp. De rapporterer at det ikke er behov for begroingshindrende kjemikalier for å redusere begroing i kjølevannssystemet (Statoil 2004).

Gassanlegget på Kårstø har et kjølevannsinntak på 78 m. Det har ikke vært problemer med begroing av blåskjell, men det har vært noe begroing av hydroider og sekkedyr som har vært lett å fjerne. Begroing i varmeveksleren blir fjernet med høytrykksspyling. Tidligere hadde Kårstø-anlegget et inntaksdyp på 35 meter, og de måtte benytte klor eller natriumhypokloritt for å hindre begroing. Dette var ikke tilstrekkelig for å hindre begroingen, og anlegget hadde problemer med begroing av både blåskjell og tildels rur og trekantmark (Kroglund og Molvær 2001, Kroglund 2008).

Utslippstillatelsen til ammoniakfabrikken til Yara i Porsgrunn tyder på at de bruker natriumhypokloritt for å hindre begroing. Det er ikke funnet opplysninger om inntaksdypet (www.norskeutslipp.no).

NIVAs forskningsstasjon på Solbergstrand i Oslofjorden har et sjøvannsinntak på 60 meters dyp. Det har ikke vært problemer med makro-begroing i inntaksledningen, med unntak av noen sekkedyr de første meterne av ledningen. Det har vært noe mikrobegroing spesielt ved lav vanngjennomstrømming, men det har ikke vært problemer ned blåskjell eller rur (O. Pettersen, pers. komm).

3. Vurdering av kjølevannsinntak i Vesterhavn

Den beste løsningen ut fra en begroingsmessig vurdering er å bruke kjølevann fra dypere enn 60 meters dyp. Oksygenforholdene i sentrale deler av Kristiansandsfjorden (Molvær 1986) tilsier at det ikke forekommer H₂S i vannmassene med fare for økt korrosjon i anlegget. Erfaringene fra andre norske anlegg tilsier at dykking av inntaksledningen er en egnet metode for å unngå/begrense begroing. Man unngår helt eller delvis å benytte giftige kjemikalier som kan ha innvirkning på naturlige organismsamfunn i utslippsområdet.

Man vil ikke kunne unngå begroing 100 % uansett inntaksdyp, men man kan begrense begroingen av de mest problematiske artene, spesielt de makroskopiske artene. For å unngå blåskjellbegroing og i størst mulig grad redusere annen type begroing, bør utslippet plasseres slik at inntaksvannet tas fra ca. 60 meters dyp. Et stort sjøvannsinntak vil trekke med seg vannmasser fra høyere opp i vannsøylen, og ved plassering av inntaket må man også ta hensyn til dette. Videre bør inntaket legges til et sted med fast fjell slik at inntaket av mudder og annen type sedimenter minimeres.

Inntaksvann fra Vesterhavn kan maksimalt tas fra 35-40 meters dyp uten å risikere å få med sedimenter etc. Dette er ikke dypt nok for å unngå begroing. For å hente vann fra dypere vannlag kan inntaksledningen forlenges ut til renna mellom Odderøya og Dybingen. Her skråner bunnen ned mot 100 meter mellom sørpynten av Odderøya og Dybingen.

Utslippspunktet til kommunens hovedrenseanlegg er i samme område, men utslippet er til ca. 50 meters dyp og er beregnet å innlagres i 25-45 meters dyp. Avløpsvann inneholder mye ferskvann slik at innlagringen alltid skjer over selve utslippsdypet. Et kjølevannsinntak i samme område må legges godt under utslippsdypet til det kommunale anlegget for ikke å dra med seg avløpsvann inn i inntaksledningen.

Dersom det ikke lar seg gjøre teknisk sett og inntaksledningen må legges til dypbassenget i Vesterhavn, må man vurdere andre begroingshindrene tiltak.

4. Videre arbeid

For å vurdere om det lar seg gjøre å dykke inntaksledningen tilstrekkelig, bør videre arbeid omfatte:

- Vurdere aktuelle lednings-traseer og inntaksdyp. Dette må sees i sammenheng med eksisterende utslipp av kommunalt avløpsvann fra Odderøya og eventuelle framtidige endringer. Dette for ikke å dra med avløpsvann inn i inntaksledningen.
- Vurdere om det er teknisk mulig å legge inntaksdypet dypere (mhp lengde på ledningen, trykkfall etc).
- Vurdere om havnebestemmelser, forurensingsloven, reguleringsplaner eller annet hindrer forlengelse av inntaksledningen. Det må også vurderes om de forurense massene og tildekkingen som er gjort vil skape problemer for forlengelse av ledningen.

Det første punktet kan NIVA bidra med gjennom våre oceanografer som modellerer og beregner ulike inntaks- og avløpsledninger. Xstrata Nikkelverk bør også ta kontakt med et ingeniørfirma som kan prosjektere det praktiske arbeidet med utlegging av ledning og vurdere de tekniske og kostnadmessige løsningene. Teknisk avdeling ved kommunen vil ha oversikt over hvem som tidligere har gjort tilsvarende arbeid for kommunen. Aktuelle firmaer kan blant annet være Asplan-Viak eller Multiconsult. Det må også søkes om tillatelse fra kommune og Fylkesmannen.

Dersom det ikke lar seg gjøre med et tilstrekkelig dyputslipp, eller parallellt med dette, bør klorering vurderes.

5. Litteratur

- Azis, K.P.A, I. Al-Tisan, M. Al-Daili, T.N. Green, K. Ba-Mardouf 2003. Marine macro fouling: a review of control technology in the context of an on-line experiment in the turbine condenser water box of Al-Jubail phase-1 power/MSF plants. *Desalination* 154 (2003), 227-290.
- Bergman, H., A.T.Koparal, A.S. Koparal, F. Ehring 2008. The influence of products and by-products obtained by drinking water electrolysis on microorganisms. *Microchemical Journal* Vol 89 (2), p. 98-107.
- Brankevich, G.J. 1990. Biofouling and corrosion in coastal power plant cooling water systems. *Marine Technology Society Journal*, vol. 24 (3), s. 18-28.
- Chou, C.L., B. Zwicker, J.F. Porter and G.R. Pelletier 1999. Potential biofouling strategies against blue mussel (*Mytilus edulis*) infestation in a cooling water system. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* no 2283, 96 pp.
- Khalanski, M. 1998. Biofouling and Antifouling Methods Used on Cooling Circuits of Coastal Power Stations in France. *Abstract from the Eighth International Zebra Mussel and Other Nuisance Species Conference, Sacramento California March 16-19, 1998.*
- Kroglund, T. 2008. Marine growth in test pit at Nyhavna, Aukra. NIVA-notat O-28009_8.
- Kroglund, T. and J. Molvær 2001. Vurdering av begroings- og miljømessige konsekvenser ved bruk av sjøvann fra Frierfjorden som kjølevann. NIVA-rapport 4421, 35 sider.
- Kroglund, T. og E. Oug 2011. Resipientovervåking i Kristiansandsfjorden. Marine undersøkelser ved Odderøya og Bredalsholmen 2008-2009. NIVA-rapport 6200. 69s..
- Mitchell, R. and P.H. Benson 1980. Micro- and macrofouling in the OTEC program: an overview. Technical report ANL/OTEC-BMC-011. 51pp.
- Molvær, J., Solheim, H.I. og Källqvist, T. 1986. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport V. Vannutskiftning og vannkvalitet. NIVA-rapport L-nr.1993, 78 sider.
- Molvær, J., Rygg, B., Oug, E. 2003. Overvåking av Topdalsfjorden og Ålefjærfjorden, Kristiansand kommune, 2002-2003. Tilførsler, vannkvalitet, bløtbunnsfauna og sedimenter. NIVA-rapport 4745, 48 sider.
- Oug, E., Jacobsen, T., Moy, F., 1994. Overvåking av Kristiansandsfjorden 1992-93. Hardbunnorganismer og bløtbunnfauna ved Odderøya, i Vesterhavn i Korsvikfjorden.. NIVA-rapport 3075. 56 s.
- Qian, P-Y., D. Rittschof, B. Sreedhar and F.S. Chia 1999. Macrofouling in unidirectional flow: miniature pipes as experimental models for studying the effects of hydrodynamics on invertebrate larval settlement. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 191, pp. 141-151.
- Stanczak, M. 2004. Biofouling: It's Not Just Barnacles Anymore. Review article. <http://www.csa.com/discoveryguides/biofoul/overview.php>
-

Statoil 2004. Utvidelse av metanolanlegg og bygging av gasskraftverk på Tjeldbergodden. Konsekvensutredning, Juni 2004.

Troster, I., M. Fryda, D. Hermann, L. Schäfer, W. Hänni, A. Perret, M. Blaschke, M. Stadelmann. Electrochemical advanced oxidation process for water treatment using DiaChem®electrodes. *Diamond and Related Material*, Vol 11 (3-6), p. 640-645.

Videla, H. og L.K. Herrera 2005. Microbiologically influenced corrosion: looking to the future. *Int. Microbiology* (2005) 8: 169-180.

Yebra, D.M., S. Kiil, K. Dam-Johansen 2004. Antifouling technology – past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. Review. *Progress in Organic Coatings* 50, 75-104.

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