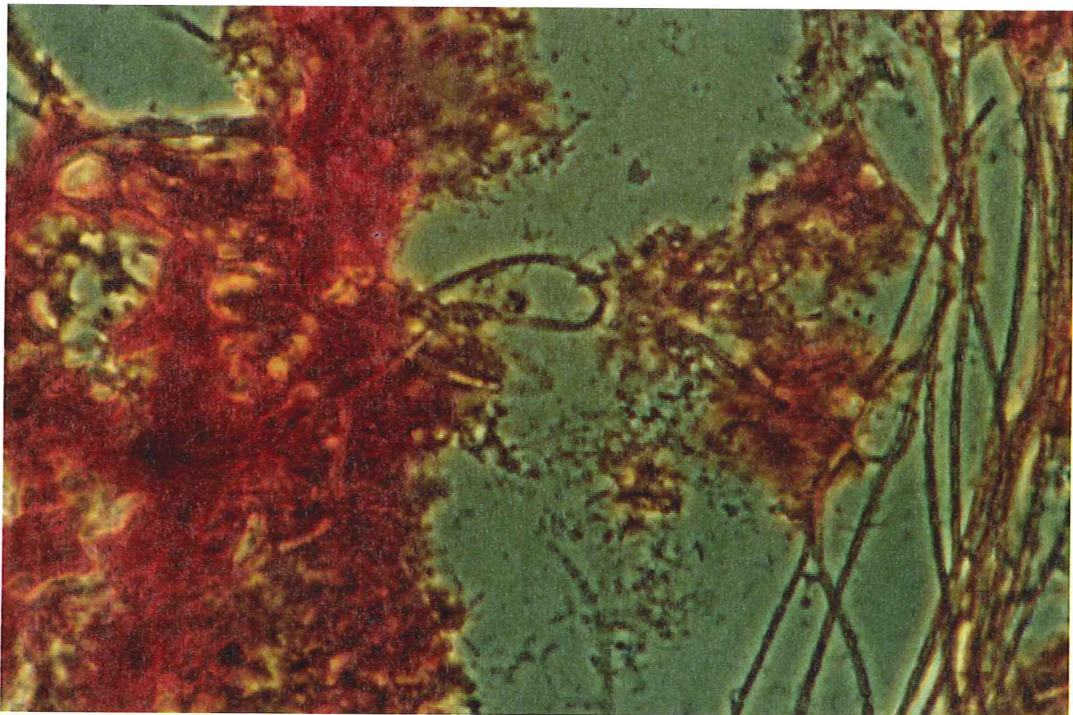


RAPPORT LNR 4327-2001

Slamvekst i
renseanlegget for
oljeholdig vann på
Kårstø



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

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

Tittel Slamvekst i renseanlegget for oljeholdig vann på Kårstø	Løpenr. (for bestilling) 4327	Dato 03.01.01
	Prosjektnr. Undernr. O-2023 1	Sider Pris 8
Forfatter(e) Vogelsang, Christian	Fagområde 30	Distribusjon
	Geografisk område Rogaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statoil Nord-Rogaland	Oppdragsreferanse Kjell Brekkhus
---	-------------------------------------

Sammendrag

En periode med varmt vann inn på renseanlegget førte til en sterk økning i slamproduksjonen ved anlegget. Mikroskopering av slam fra anlegget tatt ved noe redusert slamproduksjon etter at temperaturen var gått tilbake til normalt nivå, viste at filamentære bakterier (200-1000 µm lange) utgjorde anslagsvis 10% av det biologiske materialet og opp mot 5% av det partikulære materialet i flotasjonskammeret. Disse andelene kan ha vært betraktelig høyere i perioden med størst slamproduksjon. *Microthrix parvicella*, *Sphaerotilus natans* og *Beggiatoa minima* ble identifisert som dominerende filamenter, i all hovedsak knyttet til fnokkstrukturer. I utjevningsbassenget utgjorde de filamentære bakteriene tilnærmet 50% av biomassen, men disse var nå meget korte (5-20 µm) og befant seg frittsvevende i vannet. Biomassen utgjorde her praktisk talt hele den partikulære delen.

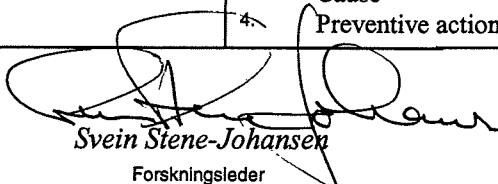
Temperaturøkningen i vannet er antatt å danne bakgrunnen for den økte slamproduksjonen. Vannets høye innhold av olje og fett, i tillegg til lav næringskonsentrasjon, er sannsynligvis hovedgrunnene til den favoriserte framveksten av de filamentære bakteriene. Tilbakespylingsvannet fra sandfilterene og biofilmvekst på reaktorvegger, etc. er viktige bidrag for å gi en slamalder som holder de normalt saktevoksende filamentære bakteriene innenfor anlegget.

Å holde temperaturen på normalnivå i anlegget anses som den beste måten å forhindre stor slamproduksjon. Alternativt kan man klorere tilbakespylingsvannet fra sandfilterene for selektiv dreping av de filamentære bakteriene.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Slamvekst	1. Sludge growth
2. Filamentære bakterier	2. Filamentous bacteria
3. Årsaker	3. Cause
4. Tiltak	4. Preventive actions


Christian Vogelsang

Prosjektleder


Svein Stene-Johansen

Forskningsleder

ISBN 82-577-3961-8


Bente M. Wathne

Forskningssjef

O-20231

Statoil Nord-Rogaland

Slamvekst i renseanlegget for oljeholdig vann på Kårstø

Forside: Filamentære bakterier i og utenfor en
Slamfnokk tatt fra flotasjonsanlegget 5/12-00

Forord

Statoils renseanlegg på Kårstø for behandling av oljeholdig vann hadde i en periode (oktober – november 2000) problemer med stor slamvekst. Slammet var brunt, voluminøst, geleaktig og inneholdt tråder. Driftspersonellet ønsket å vite hva slammet bestod av, hvorfor det oppstod og hva som kunne gjøres for å begrense det. Prøver av vann og slam fra ulike deler av anlegget ble sent til NIVA for analyse. Christian Vogelsang har vært saksbehandler, mens Svein Stene-Johansen har stått som ansvarlig for kvalitetskontrollen.

Vi takker Statoil Nord-Rogaland for samarbeidet.

Oslo, 4. januar 2001

Christian Vogelsang

Innhold

1. Innledning	5
2. Karakterisering av slammet	5
3. Årsakene til slamveksten	6
4. Aktuelle tiltak	7

1. Innledning

Statoils renseanlegg på Kårstø behandler oljeholdig prosessvann fra hele prosessområdet. Alle inngående strømmer til anlegget blandes i et utjevningsbasseng (420 m³) med oljeskimmer. Derfra pumpes vannet til to flotasjonskamre hvor flokkulant (Nalco 8103) og luft tilsettes. Videre går vannet til et sandfilter og så til sjø. Ved store vannmengder benyttes et stormvannsbasseng (500 m³) i tillegg til utjevningsbassenget. Dersom dette bassenget også blir fullt renner det videre til sjø. Hovedstrømmene inn på anlegget er overflatevann fra prosessområdene, vann fra regenerering av tørkefiltre, vann fra sumper rundt tanker og målestasjoner. Den hydrauliske belastningen er normalt 70-80 m³/h, men varierer betydelig med nedbørsmengdene. Vannets oppholdstid i utjevningsbassenget er ca 6 timer, og ca 1 time i flotasjonskammerne.

I den angitte perioden (okt.-nov. 00) gikk anlegget med normal organisk belastning, men inngående vannmengder var store pga mye nedbør og oppstart av nytt hjelpe- og prosessanlegg. Vannet fra det nye anlegget har hatt en betydelig høyere temperatur enn resten av vannet, og har derfor gitt en anslått temperaturøkning på ca 10°C i vannet inn på renseanlegget (fra 10-15°C til 20-30°C). Dette vedvarte en periode på 1-1½ uke, som svarte til en topp i slamproduksjonen. Etter at temperaturen var tilbake til det normale, avtok slamproduksjonen de neste ukene.

2. Karakterisering av slammet

Slamprøver fra flotasjonskammer og utjevningsbasseng ble tatt ut 5/12-00 og sendt til NIVA i nedkjølt tilstand. Dette uttaket skjedde på et tidspunkt der slamveksten hadde avtatt betraktelig, og slammet kan av den grunn ha hatt en noe ulik sammensetning i forhold til perioden med mest vekst. Dette anses derimot ikke å være av avgjørende betydning for vurderingen.

Mikroskopering av slammet fra flotasjonskammeret viste at det inneholdt relativt store mengder filamentære bakterier. Normalt består dette av enkeltbakterier som har gått sammen til tynne (0.4-2µm) og lange (50-1000 µm) trådstrukturer, og disse kan finnes og er ønsket i de aller fleste biologiske renseanlegg fordi de er med på å gi godt sedimenterbare fnokker. I større mengder kan de derimot gi slammet en åpen og lett struktur og dermed forårsake store separasjonsproblemer. Ut fra farging med DAPI (binder seg til DNA) og metylenblå (binder seg til celleveggen og indre organeller) av slamprøver fra utjevningsbassenget og flotasjonskammeret, ble mengden filamentære bakterier estimert til h.h.v ca 50% og ca 10% av det biologiske materialet. Mens så og si alt det partikulære materialet i utjevningsbassenget bestod av biomasse, utgjorde biomassen i flotasjonskammeret 20-50% av det partikulære materialet. Det utfelte materialet gjorde det vanskelig å estimere denne andelen mer nøyaktig. Ut fra stereomikroskop-bilder av slamfnokker tatt fra flotasjonskammeret mens slamveksten fremdeles var meget høy, kan tyde på at andelen filamentære bakterier kan ha vært vesentlig høyere.

Selv om en rekke ulike filamentære bakterier ble observert, var det tre typer som så ut til å dominere klart i flotasjonskammeret. De ble identifisert som *Microthrix parvicella*, *Sphaerotilus natans* og *Beggiatoa minima*. Utseende og identifiseringskriterier for disse er gitt i Tabell 1 nedenfor. Mens de filamentære bakteriene i flotasjonskammeret var lange og i hovedsak tilknyttet slamflokker, så bildet ganske anderledes ut i utjevningsbassenget. De aller fleste var fra 5-20 µm lange og ble funnet frittvevende i vannet. Av den grunn ble de vanskeligere å identifisere, men på bakgrunn av intracellulære granuler (sannsynligvis PHB- og S-) ble de antatt å tilhøre de samme hovedgruppene som ble identifisert i flotasjonskammeret.

Tabell 1. Dominerende filamentære bakterier observert i flotasjonskammeret.

Organisme	Utseende	Identifisering ved farging
<i>Microthrix parvicella</i> Bilde 1	200-500 µm lange, 1-2 µm brede, svakt bøyde eller oppkrøllede, septa (enkelceller) ikke synlige i lysmikroskop, granuler (ukjent type)	Gram +
<i>Sphaerotilus natans</i> Bilde 2	200-1000 µm lange, 0.5-1 µm brede, svakt bøyde, septa og hylster lett synlig	Gram +
<i>Beggiatoa minima</i>	200-1000 µm lange, 0.5-1 µm brede, oppkrøllede, enkelte med tydelige svovelgranuler, septa ikke synlige	Gram +



Bilde 1. *Microthrix parvicella* blir mørkeblå/fiolett ved Gram-farging



Bilde 2. Septa og hylster til *Sphaerotilus natans* er lett synlig i vanlig lysmikroskop

3. Årsakene til slamveksten

Slamveksten så ut til å være direkte forårsaket av en ca 10°C temperaturøkning i vannet inn på renseanlegget. Etter ca én dag med varmere vann var slamproduksjonen betydelig større, mens den gradvis avtok når temperaturen i vannet var tilbake til normalen etter 1-1½ uke. Dette passer bra overens med det en ville forventet; en kort "lag-fase" hvor bakteriene omstiller seg (vanligvis i minutt-til time-skala), etterfulgt av en vekstfase. Hvor fort man vil kunne observere den økte slamproduksjonen, vil være avhengig av bakterienes spesifikke veksthastighet og deres fysiologiske egenskaper. Disse igjen er svært avhengig av hvilke typer bakterier som er tilstede og hva som etter hvert blir begrensende faktor for veksten. En 10°C økning i temperaturen vil normalt gi ca. en dobling

i veksthastigheten. Men hvis andelen av filamentære bakterier er stor, kan den observerte slamproduksjonen tilsynelatende bli langt større på grunn av de voluminøse slamfnokkene.

De mikroorganismene som normalt er tilstede i anlegget vil reflektere hva som finnes i det inngående vannet. Dette inneholder mye olje og fett/glykol med en høy andel S-forbindelser, men er ellers fattig på næringssalter. pH er nær nøytral. Tabell 2 og Tabell 3 på neste side viser innholdet av h.h.v noen av de viktigste næringssaltene og løst organisk materiale. Det høye innholdet av lite vannløselige komponenter favoriserer bakterier som kan gjøre sin egen overflate hydrofob for dermed å lette tilgangen til disse komponentene. Dette inkluderer en del filamentdannende bakterier, der i blant *Microtrix parvicella*, *Sphaerotilus natans* og *Beggiatoa minima*. Disse er alle sammen helt avhengig av oksygen for å eksistere, men vokser best ved lave oksygennivåer. For *Beggiatoa minima* sin del henger dette sammen med tilstedeværelsen av svovel på redusert form. Den kan bruke hydrogensulfid som energikilde, og danner da intracellulære svovelgranuler. Når H₂S-tilgangen er begrenset, f.eks i aerobt miljø, vil disse svovelgranulene fungere som et energilager for *Beggiatoa minima* ved videre oksydasjon til H₂SO₄.

Tabell 2. Næringssaltkonsentrasjonen i filtrerte prøver

Næringssalt	Innløp	Utjevningsbasseng	Stormvannsbasseng	Flotasjonsbasseng
PO ₄ ³⁺	0.02 mg P/l	0.00 mg P/l	0.13 mg P/l	0.00 mg P/l
NH ₄ ⁺	1.7 mg N/l	1.6 mg N/l	0.8 mg N/l	0.9 mg P/l
SO ₄ ²⁺	3.2 mg S/l (ICP)	-		180 mg S/l
SO ₄ ²⁺ , etter lufting				

Tabell 3. Organisk materiale i filtrerte prøver

	Innløp	Utjevningsbasseng	Stormvannsbasseng	Flotasjonsbasseng
Løst KOF	9.3 mg/l	183 mg/l	136 mg/l	28 mg/l

Et mulig scenario for den markerte fremveksten av de filamentære bakteriene kan være som følger: Den økte temperaturen i anlegget førte til en betydelig reduksjon i oksygenivået i utjevningsbassenget av to grunner; økt oksygenforbruk på grunn av økt bakteriell aktivitet samt avtagende løselighet av oksygen i vann. Det vil normalt være store lokale variasjoner i oksygenivået i dette bassenget på grunn av ujevn biomassedistribusjon og avstand til vanninntak/overflate. I perioden med høy vanntemperatur vil sannsynligvis en betydelig del av mikrofloraen ha befunnet seg i tilnærmet oksygenfrie omgivelser. Som nevnt favoriserer høy temperatur (opp til drøyt 30°C), lavt oksygenivå og lavt næringssaltinnhold fremveksten av filamentære bakterier. Det lave næringssaltinnholdet, og delvis også det lave oksygenivået, har trolig også begrenset veksten av normalt langt mer rasktvoksende heterotrofe bakterier – til tross for den økte temperaturen. Men fordi innholdet av organisk materiale i utjevningsbassenget samtidig var høyt, innbydde forholdene til rask formering som enkeltceller eller langt kortere filamenter i vannet. Når derimot vannet – og biomassen – ble overført til flotasjonskamrene, økte først oksygenivået raskt på grunn av luftingen, og H₂S ble strippet av. Videre var flokkulanten (Nalco 8103) med på å samle biomassen, samtidig som den korte oppholdstiden (ca 1 time) førte til utvasking av enkeltceller. Disse forholdene i flotasjonskamrene ville kunne favorisere filamentdannelsen blant de filamentære bakteriene.

4. Aktuelle tiltak

En temperaturøkning tilsvarende den rensanlegget opplevde, vil under nær sagt alle omstendigheter føre til økt slamproduksjon på grunn av den økte biologiske aktiviteten. Det naturligste tiltaket for å forhindre økt slamproduksjon er derfor å holde temperaturen i anlegget på normalnivået.

Hvor vanskelig håndterbar en eventuell økt slamproduksjon er, vil i stor grad avhenge av slammets egenskaper og separasjonsmetoden anlegget bruker. I de fleste tilfeller vil et voluminøst slam med en høy andel av filamentære bakterier være problematisk, og tiltakene vil i første rekke være rettet mot å redusere andelen av disse mikroorganismene i anlegget. Dette er ikke alltid så enkelt, spesielt ikke når næringssaltbelastningen på anlegget er lavt. Tiltak som kan hindre veksten av noen filamentære organismer, kan legge forholdene til rette for andre igjen. Dette gjelder blant annet å justere vannets oksygennivå og pH, som vel må anses å være de enklest manipulerbare parameterene i anlegget. Ved å tilføre litt luft til utjevningssbassenget (og stormvannsbassenget) og senke pH til like under 7, vil veksten til *Microthrix parvicella*, *Sphaerotilus natans* og *Beggiatoa minima* sannsynligvis avta betraktelig. Men dette vil kunne gi bedre betingelser for andre filamentære bakterier, samtidig som det trolig ville føre til en enda større generell slamproduksjon.

Under normale omstendigheter kan man forvente at veksthastigheten til bakteriene i anlegget vil være langt lavere enn den hydrauliske oppholdstiden på ca 7 timer, noe som normalt ville ført til rask utvasking av bakterier som kommer inn på anlegget. Sannsynligvis er det tilbakespylingsvannet fra sandfilterene som i størst grad bidrar til en betydelig forlenget slamalder i anlegget, og dermed også tilstedeværelsen av en bakteriepopulasjon av en viss størrelse og variasjon. Vekst på vegger, etc. i ulike deler av anlegget og vann fra slamfortykker kan også bidra i betydelig grad. Et mulig tiltak hvis det skulle vise seg at en vanlig temperaturkontroll ikke er tilstrekkelig, vil derfor være å gjennomføre en mild desinfisering, fortrinnsvis av tilbakespylingsvannet fra sandfilterene. Det har vist seg at det til en viss grad er mulig å drepe de filamentære bakteriene selektivt ved klorering eller med H₂O₂.