

Rapport

Langtidseffekter av olje på strand

Oppfølging av et eksperimentelt oljeutslipp i Credner-morenen fra 1997

Forfatter(e)

Liv-Guri Faksness
Mona Skagseth Noreng
Svein Ramstad



Rapport

Langtidseffekter av olje på strand

Oppfølging av et eksperimentelt oljeutslipp i Credner-morenen fra 1997

EMNEORD:

Oljeforurensning;
strand; arktis

VERSJON

1.0

DATO

2012-06-29

FORFATTER(E)

Liv-Guri Faksness
Mona Skagseth Noreng
Svein Ramstad

OPPDRAKSGIVER(E)

Svalbard Miljøvernfond

OPPDRAKSGIVERS REF.

2010/00821 prosjekt 10/70

PROSJEKTNR

801741

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

19 + 1 vedlegg

SAMMENDRAG

I 1997 ble det gjennomført et omfattende feltforsøk med olje på strand innerst i Van Mijenfjorden. Et oljefelt i Credner-morenen ble etterlatt som referanseområde for å kunne følge langtidseffektene av oljeutslipp på strand. Oljefeltet har blitt fulgt opp med prøvetakning fra 1999 til 2008, og en mer systematisk kartlegging og prøvetakning ble gjennomført høsten 2011. Området hvor oljen befinner seg ligger høyt oppe i strandsonen hvor det ikke er tegn til vegetasjon. Det er lokalisert hovedsakelig over tidevannssonen, og påvirkes dermed i liten grad av bølgeaktivitet. Oljen som ble prøvetatt i 2011 ligger som et forholdsvis kompakt 2-5 cm sjikt på 50 til 85 cm dybde. Det forventes derfor ingen utvasking eller spredningsfare til omgivelsene. Sjansen for videre forurensning og miljøpåvirkning vil derfor være svært liten for vegetasjon og dyreliv i området. Det er ikke undersøkt om oljen har påvirket de organismene som lever i selve sedimentet, men mikrobiell degradering av oljekomponentene er gjennom denne studien påvist å være aktiv ved at oljekonsentrasjonen er mer enn halvert, samt at innholdet av PAH er redusert med mer enn 85% siden oljen ble sluppet ut i 1997.

Det forventes ingen negative miljøkonsekvenser fra oljeforurensningen der den er lokalisert pr. i dag.

UTARBEIDET AV

Liv-Guri Faksness

SIGNATUR

L.G. Faksness

KONTROLLERT AV

Jane Helen Carlsen *for* Øksenvåg

SIGNATUR

Juar Singaas

GODKJENT AV

for Tore Aunaas

SIGNATUR

Kristin Bonnaunet

RAPPORTNR
SINTEF A23166

ISBN
978-82-14-05271-8

GRADERING
Åpen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

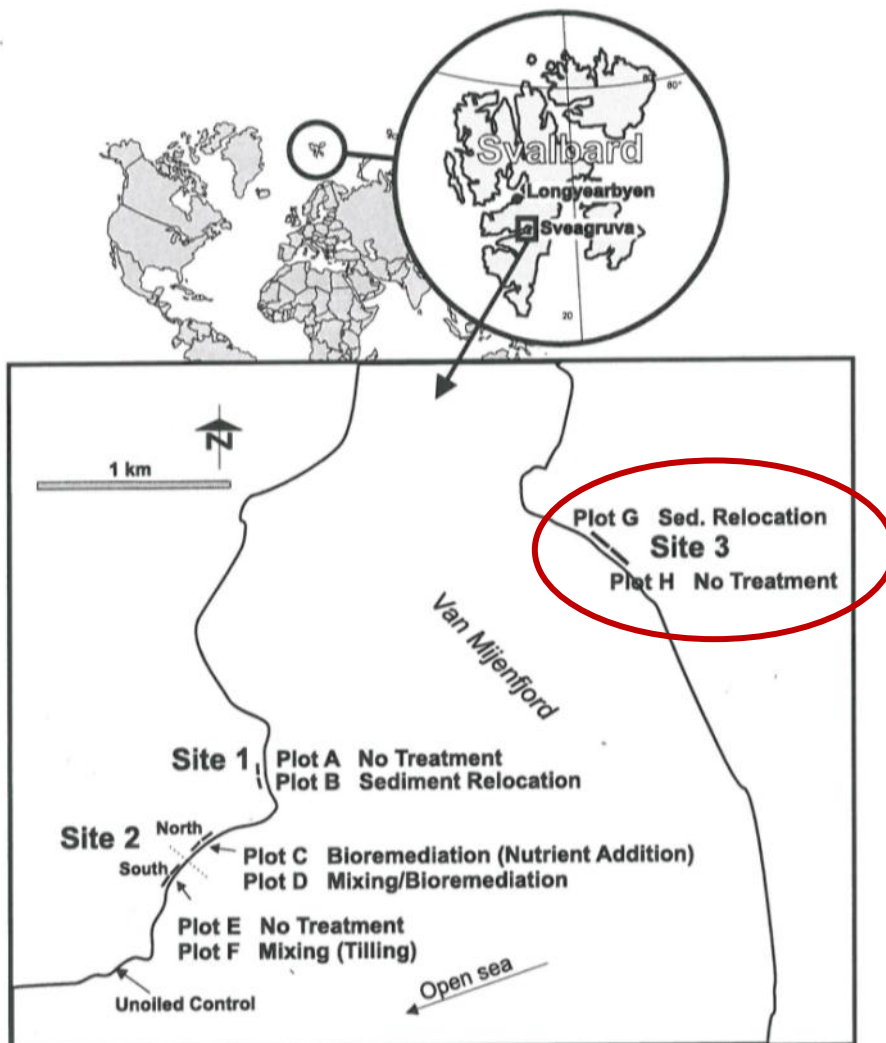
Innholdsfortegnelse

1	Innledning	3
2	Materialer og metoder.....	6
2.1	Oljetype.....	6
2.2	Strandsonens karakteristik.....	6
2.3	Prøvetaking	7
2.4	Opparbeiding og analysemetoder	8
3	Resultater og diskusjon	9
3.1	Karakterisering av oljeprøve analysert med GC/FID.....	9
3.2	Karakterisering av oljeprøver analysert med GC/MS	10
4	Konklusjon	13
5	Behov for opprensing av oljeforurensset område	14
6	Videre arbeid.....	15
7	Referanser	16
Vedlegg 1	Oversikt over komponenter analysert med GC/MS	17

1 Innledning

SINTEF har i mer enn 20 år hatt forskningsaktiviteter på Svalbard (Svea) hvor det er gjennomført kontrollerte studier på oljens oppførsel og skjebne på sjø, i is og på strand for å utvikle strategier og teknikker for å bekjempe oljeforurensninger. Denne virksomheten har hatt stor betydning for å utvikle et operativt oljevern ved arktiske forhold.

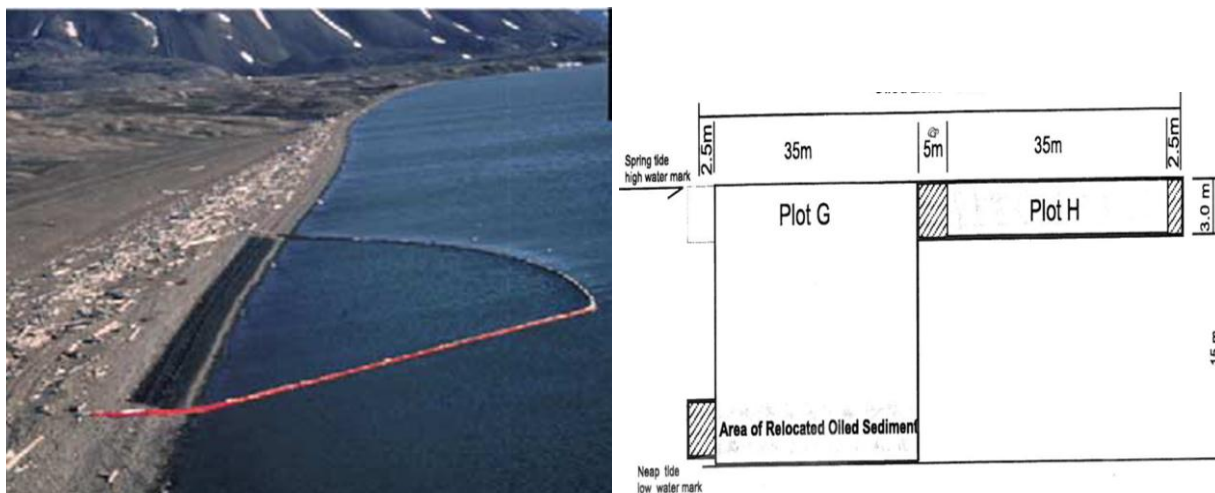
I 1997 deltok SINTEF i det internasjonale forskningsprogrammet ITOSS (*In-situ* treatment of oiled shoreline sediment) sammen med flere Nordamerikanske forskningsinstitutt for å utvikle og operasjonalisere strandrenseteknikker. I den forbindelse ble det sommeren 1997 gjennomført et omfattende feltforsøk med olje på strand på tre forskjellige områder innerst i Van Mijenfjorden (Figur 1.1) hvor effektene av re-lokalisering av sediment, blanding av sediment og bioremediering ble undersøkt. Mer detaljer og resultater fra ITOSS-programmet er publisert i en spesialutgave av *Spill Science & Technology Bulletin* (8:2003).



Figur 1.1 Lokalisering av forsøksområdene fra 1997 (Guenette et al., 2003). Site 3, plot H (markert med rød ring) er fulgt opp med prøvetakning siden 1999.

Et forsøksområde ved Credner-morenen ble etterlatt som referanseområde for å kunne følge langtidseffektene av oljeutslipp på strand (Figur 1.2). Dette feltet (ca 35m x 3m lokalisert i supralittoralsonen) er fulgt opp praktisk talt årlig med prøvetakning av sediment med olje fram til 2008, og da oftest i forbindelse med feltaktivitet i kurset AT-207 ved

Universitetssenteret på Svalbard. Det var derfor ønskelig å følge opp dette arbeidet gjennom en mer omfattende prøvetaking i 2011 med etterfølgende kjemisk analyse og evaluering av samtlige prøver tatt siden 1999.



Figur 1.2 *Credne-rmorenen dagen etter at oljen ble påført, men før oljefeltet var eksponert for høyvann. Figuren til høyre viser oversikten over plot G og H (Guénette et al., 2003).*

Alle petroleumsprodukter, som for eksempel diesel, råolje eller bunkersolje, har en svært kompleks kjemisk sammensetning, og består av mange tusen enkeltkomponenter. Den relative sammensetningen av de ulike oljeproduktene varierer, men består hovedsakelig av hydrogen og karbon, og kalles derfor også hydrokarboner. Oljene vil utsettes for en rekke prosesser når de slippes ut i marint miljø, og disse prosessene betegnes forvitningsprosesser. En av de viktigste forvitningsprosessene for oljesøl på strand er, i tillegg til fordampning, nedbryting av oljen av naturlig tilstedeværende mikroorganismer i sedimentet. Denne nedbrytningsprosessen betegnes biodegradering og man kan forenklet si at mikroorganismene "spiser" enkeltkomponenter i oljen. Fordampning, hvor de letteste oljekomponentene forsvinner, vil skje forholdsvis umiddelbart etter et utslipp, mens biodegraderingen er en mer langsom prosess som vil foregå over mange år. Biodegraderingshastigheten påvirkes av flere faktorer, som for eksempel tilgang til næringsstoffer, temperatur, oksygen og om mikroorganismene allerede har tilpasset seg et miljø som inneholder hydrokarboner. Den er også avhengig av oljens sammensetning, oljemengde og omgivelsene.

Målsetningen med prosjektet har vært å få mer detaljerte data som kan relateres til langtidseffektene av oljeutslipp på strand og eventuelle miljøkonsekvenser ved "å la naturen gå sin gang". Dette kan være en aktuell problemstilling, f. eks. i sårbare og/eller utilgjengelige områder, hvor alternativet kan være at det må settes inn store ressurser for å fjerne oljen. Videre har graden av oljens biodegradering og endringer av oljekonsentrasjoner i perioden fra 1999 til 2011 blitt studert.

I tillegg har oljens geokjemiske biomarkører blitt studert for å se om de er blitt påvirket av biodegradering over denne 14 årsperioden. Ved detaljerte analyser av den kjemiske sammensetningen av oljen, får man «fingeravtrykk» som kan brukes til å bestemme hvor oljen kommer fra. Olje dannes i sedimentære bergarter, såkalte kildebergarter, som inneholder mye organisk materiale. Noen av molekylene fra det opprinnelige organiske materialet overlever i prosessen når olje blir dannet, og analyser av disse «biomarkørene» kan anvendes

til å bestemme hvilken type kildebergart som oljen i ulike oljefelt stammer fra og vil være unik for hver enkelt oljetype. Biomarkørene benyttes for å bestemme om en prøve fra et oljesøl kan være fra mistenkte kilder, eller utelukke at mistenkt kilde er opphavet til utslippet. I dette prosjektet er utvalgte prøver fra Crednermorenen som er tatt over en tidsperiode på 14 år evaluert mhp metodikken beskrevet i CEN (2006). Denne metodikken benyttes av laboratorier over hele Europa for oljesølidentifikasjon (dvs for å avsløre syndere ved oljesøl), og baserer seg i stor grad på såkalte diagnostiske forholdstall mellom komponenter som er antatt å påvirkes lite av forvitring. I denne studien er det sett på en del av forholdstallene anbefalt i CEN (2006), men fokuset her har ikke vært å sammenligne prøvene med hensyn på kilde, da alle prøvene inneholder samme olje, men om en trend over prøvekomponentenes forvitring kan observeres, og hvor robuste de anbefalte forholdstallene er.

Prosjektet har vært masteroppgaven til Mona Skagseth Noreng, student ved institutt for kjemi, NTNU, og hun har deltatt på prøvetakningen i 2011, samt analysert og prosessert samtlige prøver. Resultatene og de fleste figurene er fra Monas masteroppgave (Noreng, 2012).

2 Materialer og metoder

Mer detaljer om prøvetakning, prøveopparbeiding, kjemiske analyser og prøveprosessering er gitt i Noreng (2012).

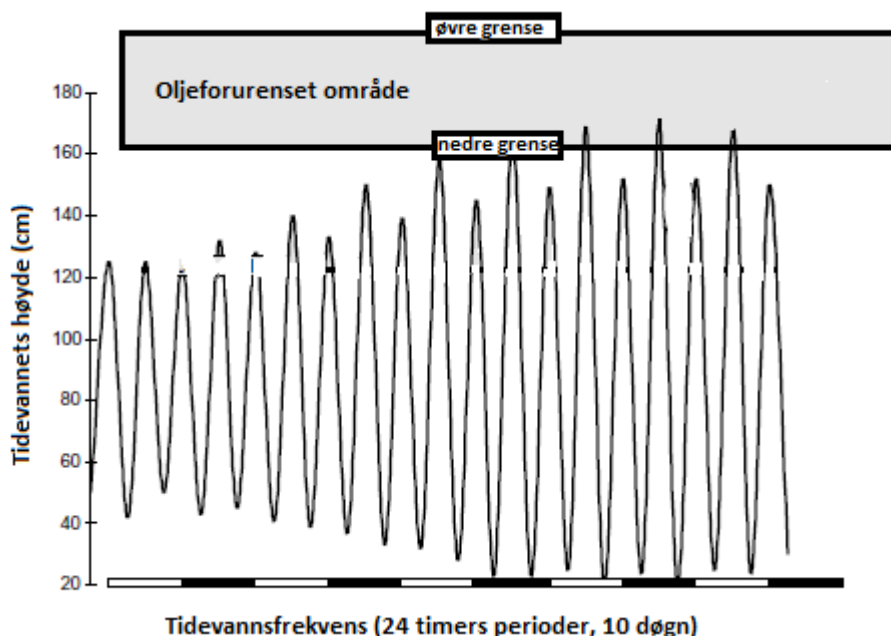
2.1 Oljetype

Oljen som ble brukt i det eksperimentelle oljeutslippet i 1997 var en forholdsvis lett bunkersolje (IF-30) fra ESSO-raffineriet i Honningsvåg. IF-30 er en bunkersolje som ofte transporteres i store volum, og kan derfor være relevant i forhold til et potensielt oljesøl, også i områder på Svalbard der tungoljeforbudet ikke gjelder (for eksempel i Van Mijenfjorden). Oljen har relativt lav viskositet (viskositet defineres som "en væskes motstand mot flyt") selv ved lave temperaturer, og har mulighet til både å penetrere og forbli i sedimentet over lengre tid (Guénette et al., 2003).

2.2 Strandsonens karakteristikk

Credner-morenen ligger ved 77° 56' Nord og 16° 43' Øst og grenser til Van Mijenfjorden. Området er omtrent 40 km fra åpent hav (Guénette et al., 2003).

Sedimentet i strandsonen består av 20 % sand (0,06 – 2 mm diameter), 5 % granuler (2 – 4 mm diameter) og 75 % småstein (4 – 64 mm diameter) som er homogent fordelt over området. Området er eksponert for bølger, og oljen som ble påført i 1997 ble av den grunn plassert langt oppe i strandsonen. Det oljeforurensede området påvirkes normalt lite av tidevannet (Figur 2.1). Øverste del av det oljeforurensede området vil heller ikke berøres ved springflo (Sergy et al, 2003).

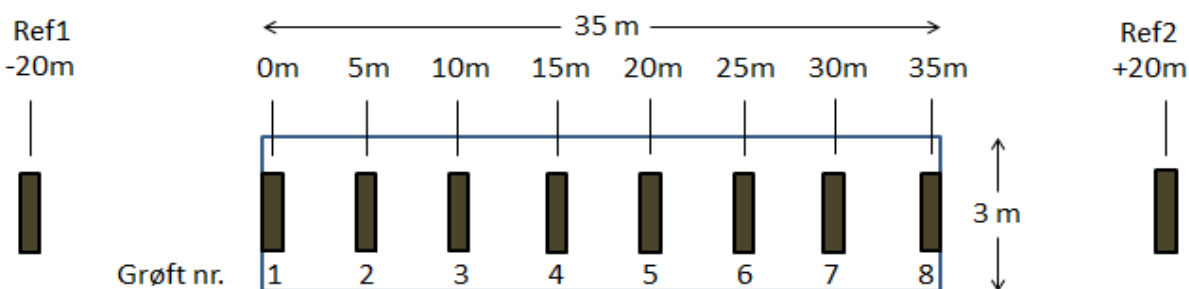


Figur 2.1 Antatt tidevannspåvirkning på det oljeforurensede feltet. Modifisert fra Guénette et. al (2003).

2.3 Prøvetaking

For prøvetakingen fra 1999 til 2008 er det dessverre noe mangelfull beskrivelse på hvordan og hvor i feltet prøvene ble tatt. Det antas at de fleste prøvene er tatt i det synlige oljelaget fra den første halvdel av feltet, dvs fra 0 til omlag 20 m.

En mer systematisk kartlegging og prøvetakning av dette oljefeltet (Plot H) ble gjennomført fra 8. til 11. september 2011. Det ble da gravd åtte grøfter, samt to referansegrøfter, hver femte meter, fra 0 m til 35 m. Grøftene var ned mot 1 m med opptil 3 m lengde (Figur 2.2 og Figur 2.3).



Figur 2.2 Oversikt over prøvefeltet og referansegrøfter

I selve oljefeltet ble samlet inn 45 prøver, samt 6 prøver i de antatte referanseområdene (ikke oljeforurenset). Det ble tatt flere prøver fra hver grøft, fra øverst i feltet og ned mot vannkanten så langt feltet med olje var synlig for kartlegging av området og karakterisering av de gjenværende oljekomponentene. Samtlige prøver ble tatt i det synlige oljelaget, omtrent 50 – 85 cm ned i sedimentet (ca 150 -200 g oljeforurenset sediment i hver prøve). Selve oljelaget var forholdsvis kompakt og lå som et ca 2 til 5 cm sjikt.

Tabell 2.1 gir en oversikt over antall innsamlede prøver pr. år fra 1999 til 2011. Samtlige 104 prøver har vært analysert og evaluert i dette prosjektet.

Tabell 2.1 Oversikt over antall innsamlede prøver i plot H

Prøvetakningsår	Antall prøver
1999	5
2000	7
2001	6
2002	6
2003	7
2004	8
2005	8
2006	0
2007	3
2008	3
2011	45 + 6 referanseprøver



Figur 2.3 Innsamling av prøver fra Crednermorenen i 2011. Det synlige oljelaget er markert med rød pil i bildet øverst til høyre.

2.4 Opparbeiding og analysemetoder

Sedimentprøvene ble først opparbeidet ved væske-væske ekstraksjon ved bruk av diklormetan for å få ut oljen fra sedimentet, etterfulgt av løsningsmiddelskifte (til heksan) og fast-fase ekstraksjon for å rense oljeprøven før analyse. Prøvene ble tilsatt interne standarder for kvantifisering av total ekstraherbare hydrokarboner (THC) og PAH (polyaromatiske hydrokarboner).

Ekstraktene ble analysert på gasskromatograf med flammeionisasjonsdetektor (GC/FID) og gasskromatograf med massespekter (GC/MS).

GC/FID analysen gir en indikasjon på fordelingen av de mettede hydrokarbonene, forvitningsgraden av prøven og biodegraderingen ved å kvantifisere forholdstallene mellom C17 og pristan, samt mellom C18 og fytan. Et estimat på oljemengden i sedimentprøvene ble også bestemt fra GC/FID analysene ved kvantifisering mot en ekstern kalibreringskurve og de tilsatte interne standardene.

GC/MS analysene gir en mer detaljert analyse av bl.a. PAH (58 komponenter) og biomarkører (24 komponenter). En oversikt over de analyserte komponentene er gitt i Vedlegg 1. En modifisert versjon av CEN (2006) ble fulgt for identifikasjon og kvantifisering av disse komponentene.

3 Resultater og diskusjon

I tillegg til prøvene fra Credner-morenen ble det analysert prøver av referanseoljen som er samme olje. Denne har ikke vært sluppet ut i strandsonen, og dermed ikke blitt utsatt for forvitring. Feltprøvene har blitt sammenlignet med denne referanseoljen for å få en indikasjon på endringer i den kjemiske sammensetningen av oljen fra påføring av oljen i 1997 til etter 14 år i Credner-morenen.

Mer detaljerte resultater er gitt i Noreng (2012).

3.1 Karakterisering av oljeprøve analysert med GC/FID

Oljen ble som tidligere nevnt påført strandsonen i 1997 og i følge Owen et al. (2003) forsvant ca 30% av oljen i løpet av de første 5 dagene etter påføring, trolig pga fordamping og utvasking. I kromatogrammet av referanseoljen (Figur 3.1) er n-alkanene C_{10} og C_{11} tydelig tilstede, mens i kromatogrammet fra 1999 har de forsvunnet. Dette er mest sannsynlig en følge av fordamping i den første tiden etter utslippet i 1997.

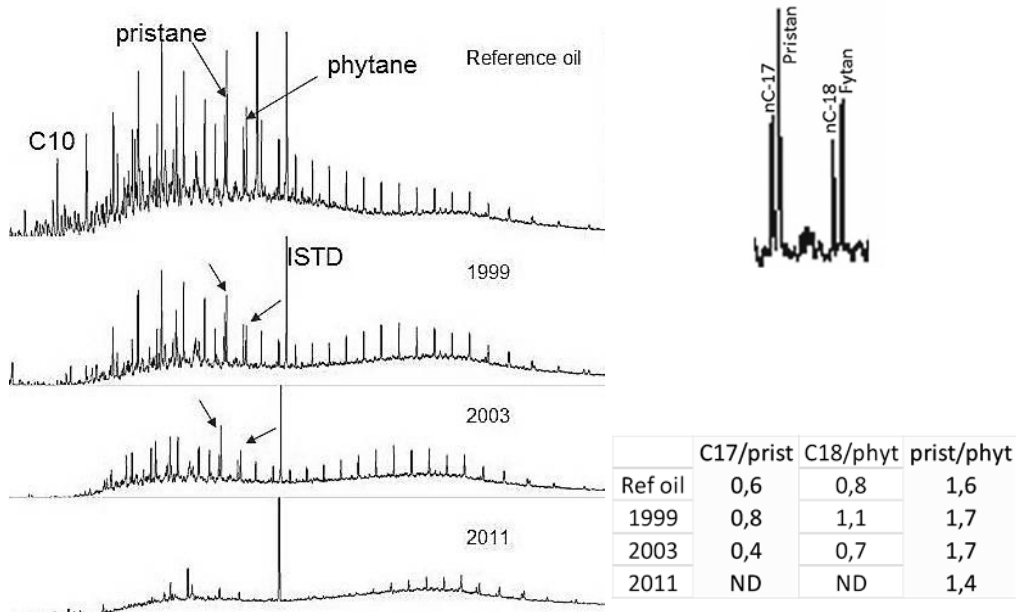
Etter at oljen har vært på strandsonen en stund og de letteste komponentene har forvitret som følge av fordamping vil biodegradering være den dominerende forvitningsprosessen. Reduksjonen av n-alkaner i prøvene fra 1999 er et produkt av forvitningsprosesser, mens det i prøvene samlet inn etter 1999 kan antas at reduksjon av oljekomponentene hovedsakelig er på grunn av biodegradering.

Det antas at oljekomponentene som er til stede på Crednermorenen vil påvirkes av biodegradering fra mikroorganismer som naturlig finnes i området, og at disse organismene vil degradere de letteste n-alkanene før de tyngre og forgrenede alkanene. Forholdstallene mellom topphøyden for hhv C_{17} /pristan og C_{18} /fytan har lenge blitt brukt som en indikasjon på biodegradering pga at bakteriene vil først "spise" de rettkjedede C_{17} og C_{18} før de går løs på de forgreinede pristan og fytan (f.eks. Atlas, 1981).

Resultatene fra GC/FID analysene viste at C_{17} og C_{18} var fullstendig biodegradert i alle prøver tatt etter 2003. Også pristan og fytan hadde forsvunnet i de fleste prøvene tatt etter 2004. Det var derfor bare mulig å beregne forholdstallene for nC_{17} /pristan og nC_{18} /fytan i 22 av 104 prøver. Som eksempler er forholdstallene for de viste kromatogrammene gitt i Figur 3.1, og de viser at etter en økning i 1999, avtar forholdstallene i 2003, mens det i 2011 kun er spor igjen av pristan og fytan-toppene. Ingen oljekomponenter ble påvist i de 6 prøvene som ble tatt utenfor oljefeltet.

GC analysene ble også benyttet til å estimere innholdet av totalt hydrokarboner. Prøvene har muligens blitt tatt på ulik måte i løpet av de 14 årene, slik at resultatene kun kan brukes som estimator. Den opprinnelige konsentrasjonen i feltet var ved påføring beregnet til å være 10 L olje/m² strandsonen. I 1997, samt en oppfølgende prøvetakning året etter, veide hver sedimentprøve omlag 2-3 kg (Guenette et al., 2003). I perioden 1999 til 2003 varierte prøvemengden fra 100 – 700 g, mens den fra 2004 til 2011 var mellom 120-300 g. Som tidligere nevnt, forsvant ca 30% av oljen i løpet av de første 5 dagene etter påføring, trolig pga fordamping og utvasking, men det ble ikke observert noe tap utover dette ett år senere, altså høsten 1998. Oljen hadde da penetrert ned i sedimentet og det synlige oljelaget var spredt over en dybde fra 10 til 30 cm (Owen et al., 2003). Neste dokumenterte oljedybde var i 2004,

og allerede da måtte det graves 50-70 cm ned i sedimentet for å finne oljelaget. Oljelaget lå da som et forholdsvis kompakt sjikt med ca 5 cm høyde. I 2011 ble det gjort en kartlegging over hele feltet, og oljedybden varierte da fra 50 cm ned mot 85 cm, men et kompakt oljelag som varierte fra ca 2 til 5 cm.



Figur 3.1 GC kromatogrammer av referanseoljen (øverst) og eksempler på prøver fra hhv 1999, 2003 og 2011. ISTD er den tilsatte internstandard, og pilene markerer toppene for pristan og fytan. Figuren til høyre viser toppene C17/pristan og C18/fytan i referanseoljen, og beregnede forholdstall i de viste kromatogrammene.

Gjennomsnittlig oljekonsentrasjonen like etter oljepåføring i 1997 ble i Owens et al. (2003) rapportert å være 15-18 g olje/kg sediment, og i 1998 var den 14 g olje/kg sediment (standardavvik er ikke oppgitt). Gjennomsnittlig oljekonsentrasjon i 2011 for samtlige 45 prøver tatt i oljefeltet var 7.5 g olje/kg sediment (± 6.2 g/kg). Altså er den gjennomsnittlige oljekonsentrasjonen halvert siden 1998, til tross for at prøvemengden i 2011 var mindre enn 10% av prøvene tatt i 1998, og at prøvene ble tatt i oljelaget.

Resultatene fra 2011 indikerer også at det er høyere oljekonsentrasjon i øvre del av oljefeltet (11 ± 7 g olje/kg sediment) enn i den nedre delen (4 ± 5 g olje/kg sediment) som har vært mer eksponert for tidevann og bølgeaktivitet. Estimert oljekonsentrasjon i midtre del av feltet var 9 ± 6 g olje/kg sediment).

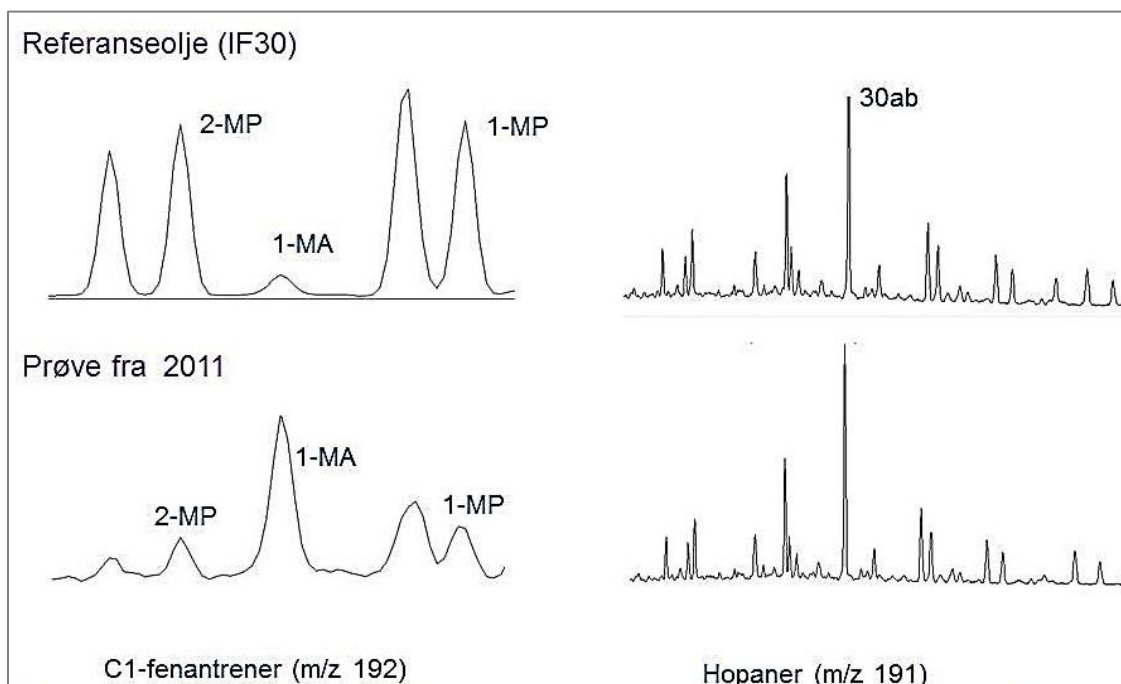
3.2 Karakterisering av oljeprøver analysert med GC/MS

For å se nærmere på den kjemiske sammensetningen av prøvene ble samtlige oljeprøver analysert på GC/MS. GC/MS analysene gir mer detaljert informasjon om enkeltkomponenter som PAH og biomarkører (gitt i Vedlegg 1), og brukes bl.a i CEN (2006) som har vært fulgt her. Fokuset her har ikke vært å sammenligne prøvene med hensyn på kilde, da alle prøvene inneholder samme olje, men heller om en trend over prøvekomponentenes forvitring kan

observeres, og for å se hvor robuste de anbefalte forholdstallene er. Forholdstallene er evaluert i Faksness et al. (2012).

I og med at de fleste prøvene er svært forvitret, har man her valgt å normalisere enkeltkomponentenes konsentrasjoner mot en av biomarkørene, 17 α (H),21 β (H)-hopan (også kalt 30ab eller hopan, vist i Figur 3.2). Hopan har vært brukt på denne måten i mange år, da det er vist at denne biomarkøren ikke endrer seg over tid, og dermed ikke påvirkes av fordampning, biodegradering eller andre forvitningsprosesser (f.eks. Prince et al., 1994).

Prøvene sammenlignes med referanseoljen, dvs den oljen som ikke har vært på stranda, for å få en indikasjon på endring som følge av forvitring over tid. Eksempler på visuelle endringer i de kjemiske analysene for referanseoljen sammenlignet med en prøve tatt etter 14 år i Credner-morenen er vist i Figur 3.2. For C1-fenantrenene, som er alkylerte PAH'er (kromatogram til venstre), kan det sees at de to første toppene og de to siste toppene er blitt mye mindre i prøven fra 2011, og at disse komponentene dermed helt klart er påvirket av forvitring, og da hovedsakelig biodegradering. Toppmønsteret for hopanene, som er biomarkører (kromatogram til høyre), ser ikke ut til å ha endret seg over denne perioden.



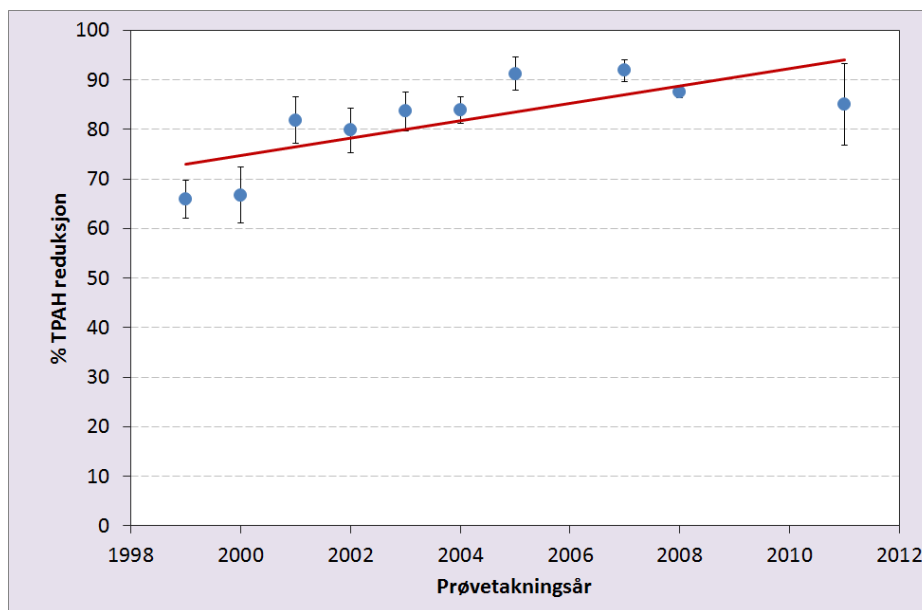
Figur 3.2 Sammenligning av ionekromatogram av C1-fenantrener (til venstre) og hopaner (til høyre) for referanse oljen (øverst) og en prøve fra 2011 (nederst).

I Nøreng (2012) er feltprøvenes enkeltkomponenter normalisert mot hopan, og sammenlignet med referanseoljen. Resultatene viste at de ikke-alkylerte PAH'ene ble biodegradert før de alkylsubstituerte, og at jo større og mer komplekse PAH'er, desto langsommere degraderingshastighet. De letteste 2-3 rings PAH'ene ble degradert før de større 4-5 rings PAH'ene, mens biomarkørene var mindre påvirket av biodegradering enn PAH-forbindelsene.

Nøreng (2012) antyder at prøvene som er samlet inn nederst i feltet er mer påvirket av forvitring enn de fra øvre del. Dette er sannsynligvis pga at tidevann og bølgeenergi kan nå opp til den nedre del av feltet, mens den øverste delen ligger så høyt oppe på strandsonen at

tidevann og bølger sjeldent når opp. Biodegraderingen forekommer hovedsakelig i grenseflaten mellom vann og olje (Atlas, 1981). Nederst i feltet vil det oftere være vann tilgjengelig, og dermed tilgang til oksygen og næringsstoffer, slik at biodegradering vil kunne forekomme raskere enn i de øvre delene av feltet.

Reduksjon i det totale innholdet av PAH'er (TPAH) har også blitt estimert for samtlige prøver. Her har en metode beskrevet av for eksempel Prince et al. (2002) og Brown et al. (2011) blitt benyttet, men denne måten å estimere forvitningsgrad på har blitt brukt siden Exxon Valdez (Douglas et al, 1996). Resultatene er oppsummert i Figur 3.3. Reduksjonen i TPAH har blitt estimert ved at hver enkelt prøve er sammenlignet med referanseoljen som ikke har vært på stranden. Resultatene viser at TPAH konsentrasjonen var redusert mer enn 60% allerede i 1999, og at gjennomsnittlig reduksjon i TPAH for prøvene tatt i 2011 var 85%. Resultatene indikerer at totalkonsentrasjon for PAH ikke har endret seg så veldig mye siden 2001, noe som trolig har sammenheng med at det nå er de mer komplekse PAH'ene som er igjen i sedimentet og at disse utgjør en mindre andel av den totale PAH-konsentrasjonen i prøvene. Det antas at de letteste komponentene som kan påvirkes av fordampning og/eller utvasking forsvant like etter oljen ble sluppet ut i 1997. Degradering av oljen har foregått kontinuerlig, men prosessen går langsommere pga at det nå er de mer komplekse PAH'ene som er igjen i oljen, sammen med de enda mer komplekse asfaltenene og resinene.



Figur 3.3 Reduksjon i prosent TPAH for hvert prøvetakningsår med standardavvik. Samtlige prøver er sammenlignet med referanseoljen.

4 Konklusjon

En av målsetningene med prosjektet var å dokumentere utbredelse og naturlig nedbrytning av oljekomponenter i løpet av de 14 årene etter det eksperimentelle oljeutslippet. Det ble antatt at det forekommer biodegradering av oljekomponentene ved hjelp av mikroorganismer som naturlig befinner seg i sedimentet på strandsonen ved Credner-morenen. Etter at oljen har vært på stranden en stund og de letteste komponentene har forvitret som følge av fordamping og utvasking, vil biodegradering være den dominerende forvitningsprosessen.

Den opprinnelige oljekonsentrasjonen i feltet i Credner-morenen var ved påføring beregnet til å være 10 L olje/m² strand. Omtrent 30% av oljen forsvant i løpet av de første 5 dagene etter påføring, trolig pga fordamping og utvasking, men det ble ikke observert noe tap utover dette ett år senere, altså høsten 1998. Oljelaget var om lag 20 cm tykt og var fordelt mellom 10 og 30 cm ned i sedimentet. Neste dokumenterte oljedybde var i 2004, og allerede da måtte det graves 50-70 cm ned i sedimentet for å finne oljelaget, som da var blitt forholdvis kompakt og var ca 5 cm tykt. I 2011 ble det gjort en kartlegging av hele feltet, og det kompakte oljesjiktet på 2-5 cm ble observert fra 50 cm til 85 cm ned i sedimentet.

Gjennomsnittlig oljekonsentrasjonen like etter oljepåføring i 1997 ble rapportert å være 15-18 g olje/kg sediment, og i 1998 var den 14 g olje/kg sediment. Gjennomsnittlig oljekonsentrasjon i 2011 for samtlige 45 prøver tatt i det synlige oljelaget i feltet var 7.5 g olje/kg sediment. Det kan derfor se ut som at den gjennomsnittlige oljekonsentrasjonen i oljelaget er halvert siden 1998. Resultatene fra 2011 indikerer også at det er høyere oljekonsentrasjon i den delen av feltet som er høyest i strandsonen (11 g olje/kg sediment) enn i delen nærmest sjøen (4 g olje/kg sediment) som i større grad har vært eksponert for tidevann og bølgeaktivitet.

Reduksjon i det totale innholdet av PAH'er (TPAH) har også blitt estimert for samtlige prøver. TPAH utgjør i denne oljen ca 7% av den totale oljen. Resultatene viser at TPAH konsentrasjonen var redusert mer enn 60% allerede i 1999, og at gjennomsnittlig reduksjon i TPAH for prøvene tatt i 2011 var 85%. Resultatene indikerer at totalkonsentrasjon for PAH ikke har endret seg så veldig mye siden 2001, noe som trolig har sammenheng med at det nå er de mer komplekse PAH'ene som er igjen i sedimentet og at disse utgjør en mindre andel av den totale PAH-konsentrasjonen i prøvene.

5 Behov for opprensning av oljeforurenset område

Prosjektet hadde som mål å fremskaffe mer detaljerte data relatert til langtidseffektene av oljeutslipp på strand, og eventuelle miljøkonsekvenser ved "å la naturen gå sin gang".

Området hvor oljen befinner seg er i en strandsone hvor det ikke er tegn til vegetasjon. Nærmeste området hvor vegetasjon er synlig var betydelig lengre opp på morenen. Feltet med oljeforurensninger ligger høyt oppe i strandsonen og er hovedsakelig lokalisert over tidevannssonen, og påvirkes dermed i liten grad av bølgeaktivitet. Oljen som ble prøvetatt i 2011 ligger som et kompakt, forholdsvis tynt oljelag på mer enn 50 cm dybde i strandsedimentet, og det forventes derfor ingen utvasking til fjorden. Sjansen for videre forurensing og miljøpåvirkning vil derfor være svært liten for vegetasjon og dyreliv i området. Det er ikke undersøkt om oljen har påvirket de organismene som lever i selve sedimentet, men mikrobiell degradering av oljekomponentene er gjennom denne studien påvist å være aktiv, til tross for at det mest sannsynlig er lite næringsstoffer tilgjengelig for mikroorganismene.

Ut fra observasjoner gjort i felt og evaluering av resultatene, anbefales det at oljen ikke fjernes, da den ligger såpass langt nede i sedimentet og dermed sannsynligvis ikke vil påvirke omgivelsene og dyrelivet i Crednermorenen. Det vil heller ikke være noen ytterligere spredningsfare av oljen.

Dersom man allikevel skulle fjerne oljen, anbefales en grundig NEBA-analyse (netto miljøgevinst analyse) på forhånd, dvs at alle forhold tas med i betraktningen for å vurdere en eventuell miljøgevinst. En opprenskningsaksjon vil kreve bruk av tungt maskinelt utstyr for å flytte sedimentet som ligger over oljesjiktet før selve oljen kan fjernes. Det vil sannsynligvis også bli forholdsvis ressurskrevende å bringe stranden tilbake til opprinnelig tilstand etter en såpass omfattende operasjon.

Ingen oljeforurensninger er like, men ved et mindre oljeutslipp med en lettere bunkers eller tilsvarende i et område med høy bølgeenergi, vil det trolig ikke være nødvendig med en større opprenskningsaksjon. Det vil da være mer kostnadseffektivt og miljøvennlig å la naturen gå sin gang. Dette med antagelsen at det ikke er et rekreasjonsområde eller et område som er spesielt sårbart mhp flora og fauna.

6 Videre arbeid

Dette arbeidet viser at forvittringsprosessene til den gjenværende oljen i sedimentet er en svært langsom prosess, og en oppfølging av referanseområdet vil kunne være aktuell med lengre tidsintervaller. Det kan for eksempel være interessant å se på graden av degradering av komponentene om 5 til 10 år, for å undersøke om den mikrobielle degraderingen fortsatt er aktiv og eventuelt hvilke komponenter som er igjen i sedimentet.

Et eventuelt oppfølgingsprosjekt bør også inkludere studier av den mikrobielle faunaen i strandsedimentet, bl.a. for å sammenligne andel oljedegraderende bakterier i det forurensede området med antatt ikke-forurensede områder i Credner-morenen. For å øke biodegraderingshastigheten, kan en mulighet være å tilsette næringsstoffer til de naturlige bakteriene, såkalt bioremediering, og deretter følge opp området over en viss tid for å undersøke effekten av næringsstoffene.

7 Referanser

Atlas, R.M. 1981. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 45 (1):180

Brown, J.S., D. Beckmann, L. Bruce, L. Cook, og S. Mudge (2011). PAH Depletion Ratios Document the Rapid Weathering and Attenuation of PAHs in Oil Samples Collected after the Deepwater Horizon. Poster på 2011 International Oil Spill Conference, Portland, Oregon.

CEN (2006). Oil spill identification – Waterborne petroleum and petroleum products – Part 2: Analytical methodology and interpretation of results. Technical report. CEN/TR 15522-2:2006, November 2006.

Douglas, G.S., A.E. Bence, R.C. Prince, S.J. McMillen, og E.L. Butler. (1996). Environmental stability of selected petroleum hydrocarbon source and weathering ratios. *Environmental Science & Technology* 30 (7):2332-2339

Faksness, L.G, M.S. Noreng, og S. Ramstad (2012). Long term weathering of an Arctic Oil Spill: Revisiting the Svalbard Shoreline Field trial site (ITOSS). Abstrakt og foredrag på "the 35th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response" fra 5.–7.juni, 2012, i Vancouver, Canada.

Guenette, C., G.A. Sergy, E.H. Owens, R.C. Prince, K. Lee (2003). Experimental design of the Svalbard shoreline field trials. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8(3): 245-256.

Noreng, M.S. (2012). Kjemisk karakterisering av oljeforurensninger i 14 år etter et eksperimentelt oljesøl på en strandsone i Arktis. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Fakultet for Naturvitenskap og teknologi, Institutt for kjemi, Mai 2012 (103 sider + 62 sider vedlegg).

Owens, E.H., G.A. Sergy, C.C. Guénette, R.C. Prince, og K. Lee. 2003. The Reduction of Stranded Oil by In Situ Shoreline Treatment Options. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8 (3):257-272

Prince, R.C., D.L. Elmendorf, J.R. Lute, C.S. Hsu, C.E. Haith, J.D. Senius, G.J. Dechert, G.S. Douglas, og E.L. Butler. (1994). 17.alpha.(H)-21.beta.(H)-hopane as a conserved internal marker for estimating the biodegradation of crude oil. *Environ. Sci. Technol.* 28 (1): 142–145.

Prince, R.C., E.H. Owens, og G.A. Sergy (2002). Weathering of an Arctic oil spill over 20 years: the BIOS experiment revisited. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 1236-1242.

Sergy, G.A., C. Guenette, C., E.H. Owens, R.C. Prince, K. Lee (2003). In-situ treatment of oiled sediment shorelines. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8(3): 237-244.

Vedlegg 1 Oversikt over komponenter analysert med GC/MS

Tabell V2 Forkortelser, navn og m/z-verdier for biomarkører (CEN 2006)

Forkortelse	Navn	m/z
30 ab	17 α (H),21 β (H)-hopan	191
27 Ts	18 α (H)-22,29,30-trisnorhopan	191
27 Tm	17 α (H)-22,29,30-trisnorhopan	191
28ab	17 α (H),21 β (H)-28,30-bisnorhopane	191
25nor30ab	17 α (H),21 β (H)-25-norhopan	191
29ab	17 α (H),21 β (H)-30-norhpan	191
29Ts	18 α (H)-30-norneohopan	191
30d	15 α -metyl-17 α (H)-27-norhopan (diahopan)	191
29ba	17 β (H),21 α (H)-30-norhopan (normoretan)	191
30O	18 α (H)-oleanan	191
30ba	17 β (H),21 α -(H)-hopan (moretan)	191
31abS	17 α (H),21 β (H), 22S-homohopan	191
31abR	17 α (H),21 β (H), 22R-homohopan	191
30G	Gammaceran	191
32abS	17 α (H),21 β (H), 22S-bishomohopan	191
32abR	17 α (H),21 β (H), 22R-bishomohopan	191
C20TA	C20-triaromatisk steran	231
C21TA	C21-triaromatisk steran	231
SC26TA	C26, 20S-triaromatisk steran	231
RC26TA+SC27TA	C26, 20R- +C27, 20S-triaromatiske steraner	231
SC28TA	C28, 20S-triaromatisk steran	231
RC27TA	C27, 20R-triaromatisk steran	231
RC28TA	C28, 20R-triaromatisk steran	231
SES8	C ₁₆ H ₃₀ -8 β (H)-homodriman	123

Tabell V3 Utvalgt kvantifiseringsion (Q-ion) og bekreftelsesion (C-ion) for GC/MS SIM analyse. Forkortelser, navn og antall ringer er også oppgitt for de polyaromatiske hydrokarbonene (CEN 2006).

Forkortelse	Navn	#Ringer	Q-ion	C-ion	Cx intervall
DE	Decalin		138		C10-C11
C1-de	C1-dekalin		152		C11-C12
C2-de	C2-dekalin		166		C11-C13
C3-de	C3-dekalin		180		C13-C14
C4-de	C4-dekalin		194		C13-C15
N	Naftalen	2	128	127	C11-C12
C1-n	C1-naftalen	2	142	141	C13-C14
C2-n	C2-naftalen	2	156	141	C14-C15
C3-n	C3-naftalen	2	170	155	C15-C17
C4-n	C4-naftalen	2	184	169	C15-C18
B	Bifenyl	2	154	152	C14
ANY	Acenaftalen	3	152	153	C14-C15
ANA	Acenaften	3	154	153	C15-C16
DBF	Dibenzofuran	3	168	169	C15-C16
F	Fluoren	3	166	165	C16-C17
C1-f	C1-fluoren	3	180	165	C17-C18
C2-f	C2-fluoren	3	194	179	C18-C19
C3-f	C3-fluoren	3	208	193	C19-C21
P	Fenantren	3	178	176	C18-C19
A	Antracen	3	178	176	C18-C19
C1-phe	C1-fenantren/antracen	3	192	191	C19-C20
C2-phe	C2-fenantren	3	206	191	C20-C23
C3-phe	C3-fenantren	3	220	205	C21-C23
C4-phe	C4-fenantren	3	234	219	C22-C25
Reten	Reten	3	234	219	C22-C25
DBT	Dibenzotiofen	3	184	152	C17-C18
C1-dbt	C1-dibenzotiofen	3	198	184	C18-C20
C2-dbt	C2-dibenzotiofen	3	212	197	C19-C21
C3-dbt	C3-dibenzotiofen	3	226	211	C20-C23
C4-dbt	C4-dibenzotiofen	3	240		C21-C24
FL	Fluoranten	4	202	101	C21
PY	Pyren	4	202	101	C21-C22
C1-fl	C1-fluorantren/pyren	4	216	215	C22-C24
	C1-fluorantren/pyren	4	216	215	C22-C24
C2-fl	C2-fluorantren/pyren	4	230	215	C23-C25
C3-fl	C3-fluorantren/pyren	4	244	229	C25-C27
BA	Benz(a)antracen	4	228	226	C25-C26

Forkortelse	Navn	#Ringer	Q-ion	C-ion	Cx intervall
C	Krysen	4	228	226	C25-C26
C1-chr	C1-krysen	4	242	241	C26-C27
C2-chr	C2-krysen	4	256	241	C27-C29
C3-chr	C3-krysen	4	270	255	C28-C30
C4-chr	C4-krysen	4	284	269	C29-C32
BBF	Benzo(b)fluoranten	5	252	253	C28-C29
BKF	Benzo(k)fluoranten	5	252	253	C28-C29
BEP	Benzo(e)pyren	5	252	253	C29-C30
BAP	Benzo(a)pyren	5	252	253	C29-C30
PER	Perylen	5	252	253	C29-C31
IN	Indeno(1,2,3-c,d)pyren	6	276	277	C32-C33
DBA	Dibenz(a,h)antracen	5	278	279	C32-C33
BPE	Benzo(g,h,i)perylene	6	276	277	C32-C34
2-MP	2-metyl fenantren	3	192	191	C18-C19
1-MP	1-metyl fenantren	3	192	191	C18-C19
4-MD	4-metyl dibenzotiofen	3	198	184	C18-C20
1-MD	1-metyl dibenzotiofen	3	198	184	C18-C20
2-Mpy	2-metylpyren	4	216	215	C22-C24
BaF	Benzo(a)fluoren	4	216	215	C22-C24
BbcF	Benzo(b+c)fluoren	4	216	215	C22-C24
4-Mpy	4-Metylpyren	4	216	215	C22-C24
1-Mpy	1-metylpyren	4	216	215	C22-C24



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no