



Miljöundersökning efter oljespill från Marco Polo

Analyser av oljerelaterade miljögiftshalter i blåmusslor,
sediment, vatten och oljeprover



Länsstyrelsen
Blekinge



Rapportnummer: C856

ISBNnummer: 978-91-7883-618-5

Författare: Maria Granberg och Greta Gustavsson

Publicerad: augusti 2024

På uppdrag av: Länsstyrelsen Blekinge, kontaktperson: Fredrik Andreasson

Fotograf: Maria Granberg

Summary

The oil spill resulting from the grounding of the ship Marco Polo in October 2023 has affected a long stretch of coastline in the Pukavik Bay in Blekinge. The oil that leaked consisted mainly of traditional bunker oil (HFO) which is used as fuel for the ship. Oil quickly reached the shores in the area with recurring spills that continued for several months. The clean-up work has been extensive and without this effort the disaster would have been a fact.

This investigation has included sampling of near-shore seawater and sediment, blue mussels (*Mytilus edulis*) and stranded oil at several oil-affected locations as well as in reference areas northeast of the Pukavik Bay. An extended spectrum of oil-related polycyclic aromatic compounds and monoaromatics, such as BTEX, has been analyzed. Despite extensive clean-up efforts, we find that the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in mussels greatly exceed the ecotoxicological limit values and the levels of PAHs are elevated in sea- and stream water at all sampled locations. We measure traces of oil pollution in coastal sediments at Djupekås and Töppet, and at Spraglehall the levels are extremely high.

Causal links have been established between the chemical contents of the oil and the oil contamination in the blue mussels from Djupekås, Nabben and Norjegryt. The investigation shows that the oil spill has led oil-related environmental pollution in the entire area, that the levels of oil contaminants in blue mussels are likely to cause physiological effects in the mussels, and that PAHs and alkylated PAHs risk being transferred to organisms such as birds and fish that rely on mussels as food. The pollution is likely more widespread geographically, and the high levels of contaminants detected in the blue mussels should be interpreted as an indication of that organisms other than those examined also contain oil-contaminants.

Based on the exceeded limit values, appropriate measures should be taken to remediate the sediment at Spraglehall and blue mussels in the affected area. We recommend extended chemical analysis of oil pollutants and biological investigations within the existing monitoring programs in the area, as well as in-depth investigations of fish and bird health. Large banks of oil-contaminated washed-up seaweed were observed on the beaches along the entire coastline. The sand below the seaweed was stained by a white precipitate. We recommend analyzing beached seaweed for oil pollutants and metals to estimate possible secondary contamination. Chemical analysis of the seaweed can also provide guidance as to what the precipitate consists of.

Sammanfattning

Oljespillet efter fartyget Marco Polos grundstötning i oktober 2023 har drabbat en lång kuststräcka i framför allt Pukaviksbukten i Blekinge. Oljan som läckte ut bestod främst av traditionell bunkerolja (HFO) som används som drivmedel för fartyget. Olja nådde snabbt stränderna i området med återkommande påslag som pågått i flera månader. Saneringsarbetet har varit omfattande, och utan denna insats hade katastrofen varit ett faktum.

Undersökningen har omfattat provtagning av strandnära havsvatten och sediment, blåmusslor (*Mytilus edulis*) och strandad olja på en rad oljedrabbade platser samt i referensområden nordost om Pukaviksbukten. Ett utökat spektrum av oljerelaterade polycykliska aromatiska ämnen och monoaromatiska ämnen, som BTEX, har analyserats. Trots intensiv sanering finner vi att PAH-halterna i musslor kraftigt överskrider de ekotoxikologiska gränsvärdena och halterna av PAHer är förhöjda i havs- och bäckvatten på alla provtagna platser. Vi ser spår av oljeföroreningen i strandnära sediment vid Djupekås och Töppet, och vid Spraglehall är halterna extremt höga. Orsakssamband har säkrats mellan oljans kemiska innehåll och oljeföroreningen i blåmusslorna från Djupekås, Nabben och Norjegryt.

Undersökningen visar att oljespillet har lett till förorening av oljerelaterade miljögifter i hela området, att miljögiftshalterna i blåmusslor sannolikt orsakar fysiologiska effekter hos musslorna och att PAHer och alkylerade PAHer riskerar att överföras till organismer som fågel och fisk som förlitar sig på musslor som föda. Föroreningen omfattar sannolikt hela kustområdet som uppvisar liknande oljeexponering som de provtagna områdena och de höga gifthalterna i blåmusslorna bör tolkas som en indikation på att även andra organismer än de som undersökts innehåller oljegifter.

Baserat på överskridna gränsvärden bör lämpliga åtgärder vidtas för att åtgärda sedimentet vid Spraglehall och blåmusslorna på alla provtagna lokaler. Vi rekommenderar utökad kemisk analys och biologisk undersökning inom de befintliga övervakningsprogrammen inom området samt fördjupad undersökning av fiskars och fåglars hälsa. På stränderna längs hela kuststräckan låg mycket stora vallar av oljekontaminerad uppspolad tång. Sanden nedanför tången var färgad av någon typ av vit fällning. Vår rekommendation är att tång analyseras för oljegifter och metaller för att uppskatta eventuell sekundärkontaminering. Kemiska analyser av tången kan även ge vägledning till vad denna fällning består av.

Förkortningar

Begrepp	Förklaring
Alifater	Kolväten av raka molekyllkedjor
Alkylerad PAH	En polycyklisk aromatisk kolvätemolekyl som har en eller flera metyl-, etyl- eller propylgrupper på sig. C1-naftalen har till exempel en metylgrupp (-CH ₃) på sig.
Aromater	Kolväten där kedjorna är sammankopade till ringar bestående av fem eller sex kolatomer. Ringarna kan sedan kopplas ihop till större molekyler, polyaromater.
BTEX	Samlingsbeteckning för ämnena bensen, toluen, etylbensen och xilen
EQS	Environmental Quality Standards översätts till miljökvalitetsnormer på svenska och utgör gränsvärden för enskilda kemikalier i olika matriser som sediment, inlandsvatten, havsvatten och biota.
HAV	Havs- och vattenmyndigheten
HFO	Heavy Fuel Oil, bunkerolja- bunkerolja är det traditionella fartygsbränslet som till stor del består av residualolja.
HMW	High Molecular Weight PAH, PAHer med hög molekyllvikt, omfattar ämnena fluoranten, pyren, benso(a)antracen, krysen, benso(b)fluoranten, benso(k)fluoranten, benso(a)pyrene, indeno[1,2,3-cd]pyren, benso(g,h,i)perylene, dibenso(a,h)antracen
HVMFS	Havs- och vattenmyndighetens författningssamling
ICES	International Council of the Exploration of the Sea- den internationella organisationen koordinerar övervakning och forskning om hav och kust samt ger råd till kommissioner och myndigheter i förvaltningsfrågor.
ITOPF	International Tanker Owners Pollution Federation Ltd.
LMW	Low Molecular Weight PAH, PAHer med låg molekyllvikt, omfattar ämnena naftalen, acenaften, acenaften, fluoren, fenantren, antracen
OSPAR	OSlo-PARis kommissionen är en sammanslutning av 15 regeringar och EU som samarbetar för att skydda havsmiljön i Nordost Atlanten

PAC	Polycyclic Aromatic Compound, polycykliska aromatiska ämnen omfattar PAHer och en rad alkylerade, N, S-, O-substituerade PAH homologer (Achten and Andersson 2015)
PAH	Polycyclic aromatic hydrocarbon, polycykliska aromatiska kolväten
PAH 16	De 16 PAHer som enligt amerikanska naturvårdsverkets standard traditionellt även i Sverige mäts i miljön för att undersöka oljerelaterad miljögiftspåverkan. De 16 ämnena är bens(a)anthracene, benso(a)pyren, benso(b)fluoranten, benso(k)fluoranten, krysen, dibens(a,h)anthracen, indeno(1,2,3-cd)pyren, acenaften, acenaftylen, antracen, benzo(ghi)perylene, fluoranten, fluoren, naftalen, fenantren och pyrene
RMG 380	En bunkeroljetyp för fartyg, Residual Marine typ G bunkerolja med en viskositet (trögflutenhet) på 380 cst. Residualoljor är inte destillerade utan består av de fraktioner som är kvar efter oljedestilleringen i ett oljeraffinaderi och innehåller därför väldigt många olika ämnen.
RORO	Roll On Roll Off, är lastfartyg som är konstruerade för att fartygets last lätt ska kunna köras ombord och i land
SGU	Sveriges Geologisk Undersökning
SVOC	Semi Volatile Organic Compounds. Delvis lättflyktiga organiska ämnen, omfattar t ex PAHer och alkylerade PAHer
TOC	Total Organic Carbon, Total organisk kolhalt anges ofta i %
TPH	Total Petroleum Hydrocarbons, Total halt av petroleumrelaterade kolväten
TS	Torrsubstans eller torrsvikt
VOC	Volatile Organic Compounds, Lättflyktiga organiska ämnen, omfattar t ex BTEX
VV	Våtvikt

Innehållsförteckning

Summary	3
Sammanfattning	4
Förkortningar	5
1 Inledning	9
1.1 Syfte och problemställning	9
2 Metod	10
2.1 Provtagning av blåmusslor (<i>Mytilus edulis</i>)	11
2.2 Provtagning av sediment	12
2.3 Vattenprover	13
2.4 Oljeprover	14
2.5 Kemiska analyser och jämförelser	14
3 Resultat	16
3.1 Fältobservationer	16
Norjegryt	16
Djupekås	17
Nabben	18
Töppet	19
Spraglehall	20
Torhamn	21
Övriga observationer	22
3.2 Analysresultat olja	23
VOC	23
SVOC	23
3.3 Analysresultat blåmusslor	24
BTEX	25
Totalhalter	25
Kemiska fingeravtryck	26
Gränsvärden	28
3.4 Analysresultat sediment	29
3.5 Analysresultat vattenprover	31
4 Analys och slutsats	34

	Generella föroreningsmönster	34
	Blåmusslor	36
	Sediment	37
	Vatten	38
5	Konsekvenser av oljespill och rekommendationer	38
	Blåmusslor i hela området	39
	Sedimentet vid Spraglehall	39
	Bäcken vid Töppet	39
	Tångvallar i Pukaviksbukten	39
	Övriga möjliga åtgärder	40
6	Referensförteckning	41
	Bilagor	43

1 Inledning

Under söndagen den 22 oktober 2023 gick RORO fartyget Marco Polo (TT Lines) på grund i Pukaviksbukten strax innanför Hanö. Olyckan, som omfattade ytterligare en grundstötning och att det senare förankrade fartyget lossade och släppte ut mer olja, ledde till att cirka 150 ton bunkerolja (HFO, RMG380, Bilaga 1) läckte ut och slog på land på flera platser i Pukaviksbukten. Mycket av oljan har landat på stränderna mellan Hörvik och Pukavik men fläckvisa påslag och ilandfluten olja har återfunnits längs hela kustremsan från Pukavik till Karlshamn. Saneringsarbetet har pågått sedan olyckan skedde och är i skrivande stund ännu inte avslutat, med uppehåll under vintern på grund av snö och is.

1.1 Syfte och problemställning

Med anledning av oljepåslaget i Pukaviksbukten i slutet av oktober 2023, fick IVL Svenska Miljöinstitutet (IVL) i uppdrag av länsstyrelsen Blekinge att efter initialt saneringsarbete genomföra en miljöundersökning för att bedöma graden av oljeförorening och baserat på föroreningsgraden avgöra om biologisk påverkan skett. Provtagningen hade följande övergripande syften:

- att undersöka vilka konsekvenser utsläppet har haft på föroreningsgraden.
- att sammanställa data och sätta resultaten i relation till befintliga bakgrundskoncentrationer, gränsvärden och litteraturjämförelser.

Denna studie omfattar kemisk analys med avseende på oljerelaterade miljögifter såsom 16 polycykliska aromatiska kolväten enligt svensk prioriteringslista (PAH 16), alkylerade PAH'er och BTEX (bensen, toluen, etylbensen, xylen) i prover av blåmusslor (*Mytilus edulis*), sediment, havsvatten (vatten) och strandad olja. Sediment analyserades även för totalt organiskt kol (TOC) för att möjliggöra jämförelse med gränsvärden. Undersökningen avgränsades till grunda havsområden och strandmiljöer i Pukaviksbukten och Torshamnssområdet vid Karlskrona.

2 Metod

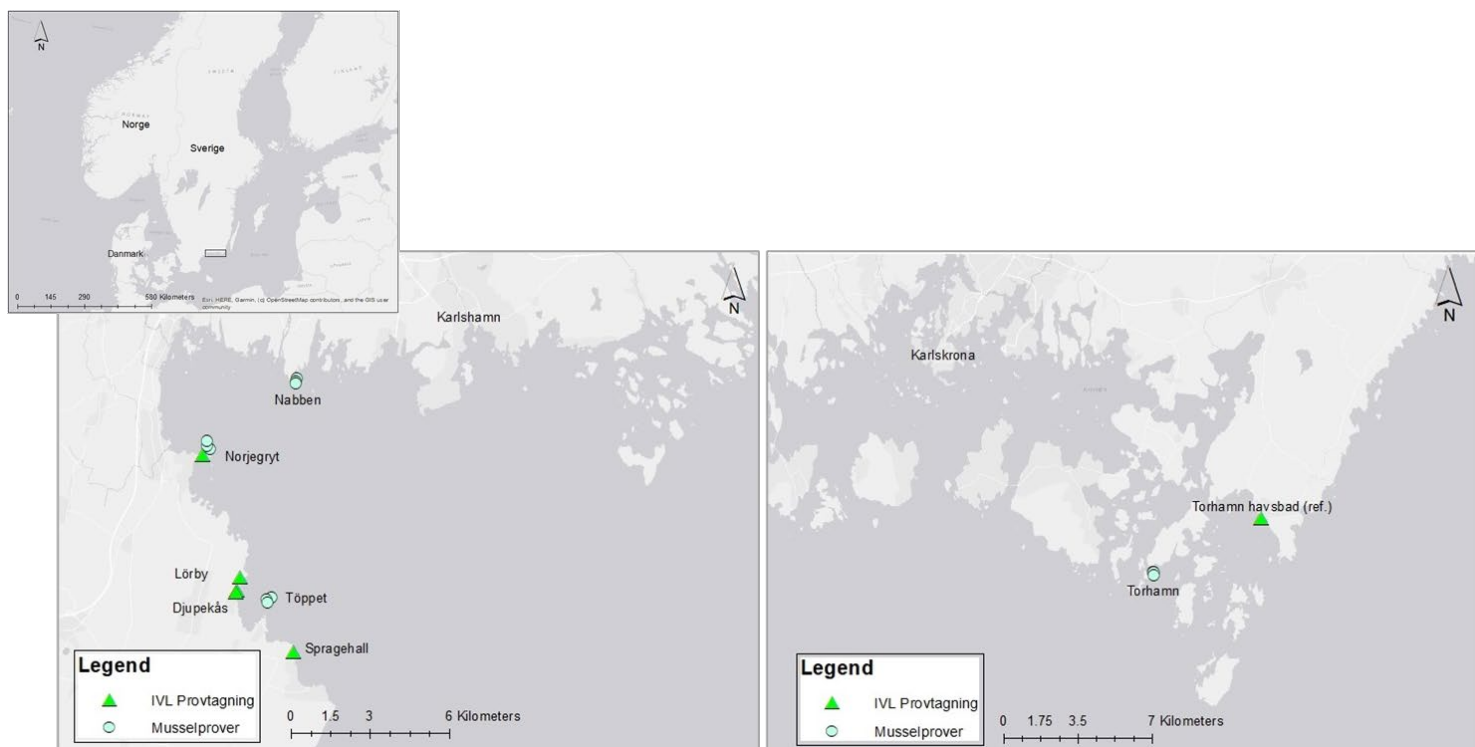
Provtagningsmatriser och provtagningslokaler är beskrivna i Tabell 1 och markerade i Figur 1. Provtagning av blåmusslor (*Mytilus edulis*) genomfördes av Kustvattengruppen vid Linnéuniversitetet, Kalmar under 14 och 18 december 2023 på lokalerna Torhamn (referensområde), Nabben, Norjegryt och Djupekås (Bilaga 1). Provtagning av sediment och vatten genomfördes under tre dagar, 5 – 7 mars 2024 av forskare och fältassistenter från IVL (Linda Dahlqvist, Lisa Winberg von Friesen, Greta Gustavsson och Maria Granberg) på lokalerna Torhamn (referensområde), Norjegryt, Töppet, Djupekås och Spragehall. Olja provtogs av Länsstyrelsen i Blekinge på tre lokaler: Lörby, Djupekås och Spragehall. Platserna valdes ut och justerades löpande i dialog med länsstyrelsen i Blekinge och saneringsledare och biolog Andreas Jezek. Områdena för provtagning prioriterades utifrån oljeexponeringsgrad och i relation till biologiska, rekreationella och ekonomiska värden. Fler prover från andra matriser insamlades på plats men kemiska analyser av dessa rymdes inte inom den ekonomiska ramen för denna undersökning. Dessa prover omfattar oljekontaminerad strandsand och släke (uppspolat sjögräs och tång) som samlas i stora vallar på stränderna. En fullständig provlista återfinns i Bilaga 6.

Tabell 1. Provtagningsområden och typ av prover som analyserats för oljerelaterade miljögifter. *Där tre vattenprover tagits har de poolats till ett samlingsprov som sedan har analyserats.

Område	Position	Exponeringsgrad	Sediment	Vatten*	Blåmusslor (<i>Mytilus edulis</i>)	Olja
Torhamn	56.091886, 15.825634	Referens	3	3	3	-
Djupekås	56.073661, 14.720638	Oljeexponerad	3	3	3	X
Norjegryt	56.1202741, 14.7007145	Oljepåslag	3	3	3	-
Spragehall	56.053435, 14.755888	Mycket oljeexponerad	3	3	-	X
Töppet	56.078676, 14.723174	Oljeexponerad	3	3	-	-
Töppet (bäck)	56.078676, 14.723174	Oljeexponerad	1	1	-	-
Nabben	56.1465303, 14.7574809	Oljeexponerad	-	-	3	-
Lörby	56.074323, 14.721074	Oljeexponerad	-	-	-	X

Innan provtagningen genomfördes besöktes platsen (November 2023) och en rad möten hölls med saneringsledare, kustbevakning, länsstyrelsen i Blekinge och drabbade kommuner för att skapa en övergripande bild över skadeläget och saneringsstrategin. Möten hölls också med representanter från organisationen ITOPF (International Tanker Owners Pollution Federation Limited, www.itopf.org) för att stämma av lägesbilden och vår föreslagna miljöprovtagningsstrategi, samt

delvis för att verifiera resultatens användbarhet i en möjlig framtida ersättningsprocess.



Figur 1. Kartor över samtliga provtagningslokaler inklusive lokalerna för musselprovtagning. Den svarta rektangeln i nationalskartan visar var i Sverige provtagningarna skett. Den vänstra stora kartan visar Pukaviksbukten som drabbats värst av oljespillet. Den högra kartan visar referenslokalerna vid Torhamn öster om Pukaviksbukten.

2.1 Provtagning av blåmusslor (*Mytilus edulis*)

Blåmusslor (*Mytilus edulis*) insamlades med hjälp av dykning som genomfördes av Kustvattengruppen vid Linnéuniversitetet under 14 och 18 december 2023. På varje lokal togs tre replikat om 200–300 musslor med ett avstånd på 50–200 meter. Under insamlingen förvarades de sköljda och avrunna musslorna kylt i rilsanpåsar (Tubex A/S, Danmark) för att därefter frysas vid ankomst till laboratoriet (Bilaga 2).

Musselproverna transporterades frysta från Linnéuniversitetet i Kalmar till Kristinebergs Marina Forskningsstation i Fiskebäckskil, bereddes genom att ta ut och föra över mjukvävnad med hjälp av acetondiskade och brända (550 °C) instrument till mörka ultrarena glasburkar täckta med bränt aluminiumfolie och teflonlock som sedan förvarades frysta (-20 °C) i väntan på analys. Proverna skickades sedan frysta till ALS Scandinavia AB, Sverige för analys av BTEX, PAH 16 och alkylerade PAHer (Bilaga 3).

Musslorna hanterades i enlighet med Naturvårdsverkets handledning (Naturvårdsverket 2021): *”Representativa individer, utan påväxt och/eller borrhärd och eroderade skal, bör väljas ut. Efter insamling bör musslorna sköljas av i omgivande vatten, låtas rinna av för att sedan så snabbt som möjligt frysas”*. Blekinge kustvatten och luftvårdsförbund som ansvarar för recipientövervakningen i området tillämpar metodik i enlighet med Naturvårdsverkets äldre handledning (Naturvårdsverket 2014) och bereder musselprover enligt följande: *”Musslorna fick efter insamlandet gå i rent, luftat havsvatten från respektive lokal i 24 timmar för att tömma ut eventuellt tarminnehåll. Därefter frystes musslorna i -20°C ”*. Skillnaden i beredning kan påverka det slutgiltiga analysresultatet. Den uppdaterade metoden kan ge högre PAH-koncentrationer då eventuellt tarminnehåll analyseras samtidigt med musslorna. Samtidigt ger metoden en mer rättvisande bild av de gifthalter som musselätande djur exponeras för. Den uppdaterade metoden stödjer därför en ekologisk miljöriskbedömning på ett bättre sätt än den gamla gör. Den äldre metoden kan resultera i för låga uppmätta PAH halter då nedbrytning av ackumulerade PAH-er kan ske i musslorna under den tid de hålls levande efter provtagning. Beslutet om att följa Naturvårdsverkets senaste protokoll togs i samråd med Länsstyrelsen i Blekinge. Olika metodik för provtagning försvårar jämförelser med tidigare övervakningsdata för musslor.

2.2 Provtagning av sediment

Sedimentprover togs med hjälp av Van Veen-huggare i grundare områden för hand genom att bära ut och pressa ner huggaren med foten (Fig. 2). Detta gjordes för att få sedimentprover så nära stranden som möjligt för att kunna koppla sedimentexponeringen till strandad olja. På varje lokal togs tre replikat med minst 20 m avstånd från varandra. För varje replikat togs minst 3 hugg, vilka poolades till ett samlat prov. Huggaren tömdes försiktigt i en plastbalja som sköljts med havsvatten från platsen. Ytsedimentet (0-1 cm) skrapades upp med en acetonsköljd och bränd (550°C) metallsked, för att sedan läggas i en syra- och acetondiskad mörk glasburk med skruvlock. Burkarna täcktes först med bränt (550°C) folie. Skeden hanterades med handske. För varje replikat användes en ny sked. Mellan proverna sköljdes huggaren i havsvatten från lokalen. Proverna togs så att sediment som varit i kontakt med huggaren eller plastbaljan undveks. Vid Spragehall var botten för stenig och kompakt för att komma åt med Van Veen-huggaren. I stället samlades sediment upp med hjälp av en spade. De poolade sedimentproven förvarades mörkt och svalt i kylväskor med frysklampor under transporten till Kristinebergs Marina Forskningsstation där proverna sedan

förvarades frysta ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) under väntan på analys. Proverna skickades till ALS Scandinavia AB, Sverige för kemisk analys av BTEX, PAH 16, alkylerade PAHer och TOC (Bilaga 4).



Figur 2. Provtagning av sediment med hjälp av Van Veen huggare i grunda havsområden. På bilderna från höger Greta Gustafsson och Lisa Winberg von Friesen, IVL. Foto: Maria Granberg

2.3 Vattenprover

Till vattenproverna användes syra- och acetondiskade 1 liters flaskor med teflonlock. På varje lokal togs tre replikat med minst 20 m avstånd från varandra. Vattenprov är svåra att ta på ett representativt sätt, särskilt i vågexponerade områden. Flaskorna sköljdes först med havsvatten från området. Proven togs vid vattenytan genom att trycka ner flaskan under vattnet med en liten vinkel mot havsytan och låta vattnet strömma in (Fig. 3). Flaskan överfylldes med menisk och vattnet läts rinna över flaskans utsida när korken skruvades på. Detta för att undvika luftbubblor i provet. Vattenproven förvarades svalt ($+5\text{ }^{\circ}\text{C}$) och mörkt under provtagning och transport. Vid Kristinebergs Marina Forskningsstation omfördelades och surgjordes vattenproverna med HCl (15 %, $5\text{ }\mu\text{l ml}^{-1}$) och förvarades sedan mörkt och svalt ($+5\text{ }^{\circ}\text{C}$) i väntan på analys. Proverna analyserades för lättflyktiga organiska ämnen VOC (volatile organic compounds) som inkluderar BTEX, och för delvis lättflyktiga organiska ämnen SVOC (semivolatile organic compounds) som inkluderar PAHer, alkylerade PAHer och fenoler samt TPH (totala petroleum kolväten) av SINTEF A/S, Norge (Bilaga 5).



Figur 3. Provtagning av havsvatten. På bilderna Lisa Winberg von Friesen, IVL. Foto: Maria Granberg.

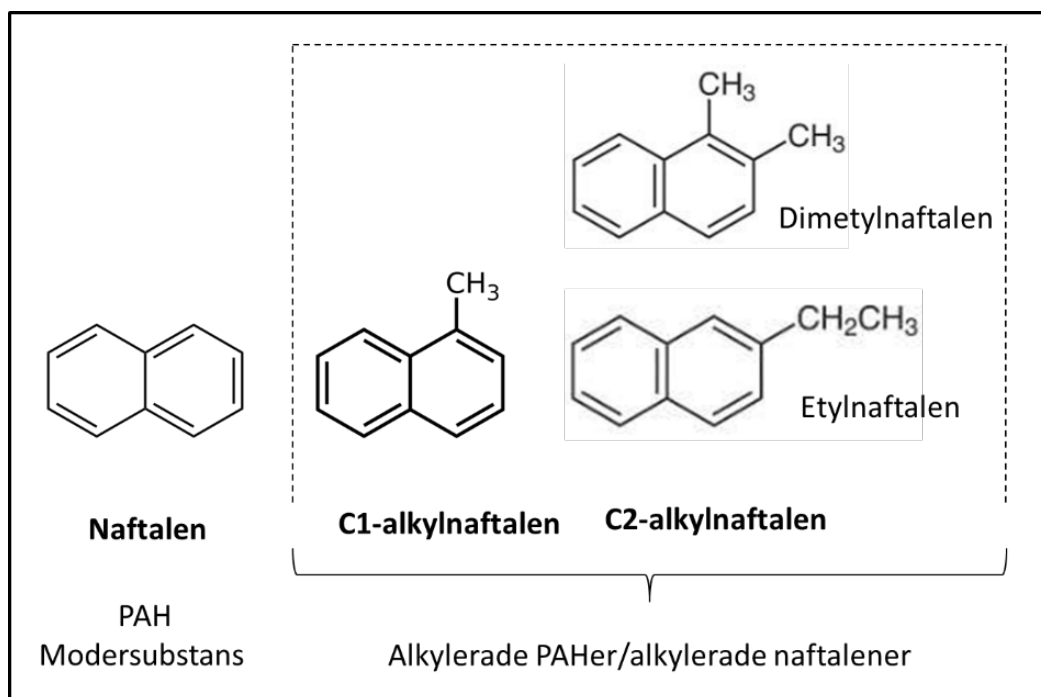
2.4 Oljeprov

Oljeprov samlades in av Länsstyrelsen i Blekinge i ultrarena mörka glasburkar på stränder vid Djupekås, Spraglehall och Lörby. Proverna skickades till Kristinebergs Marina forskningsstation där de förvarades svalt (+5 °C) och mörkt i väntan på analys. Ett samlingsprov bestående av en specifik mängd olja från de olika oljeproven skickades sedan till SINTEF A/S i Norge för kemisk analys av aromater, alifater, VOC, SVOC och TPH (Bilaga 5).

2.5 Kemiska analyser och jämförelser

För att täcka det spektrum av potentiella miljöfarliga ämnen som kan finnas i traditionell bunkerolja (HFO) sammanställdes ett kombinerat analyspaket omfattande alifatiska- och aromatiska föreningar, BTEX (bensen, toluen, etylbensen och xylen), polycykliska aromatiska kolväten (PAH) samt ett antal alkylerade PAHer. Antalet ämnen som analyseras inom varje grupp skiljer sig mellan olika laboratorier. Alkylerade PAHer utgör en del av de polycykliska aromatiska

ämnena (PAH) som ingår naturligt i petroleumolja (Fig. 4). Oftast mäts i Sverige endast 16 PAHer i enlighet med amerikanska naturvårdsverkets standard (<https://www.naturvardsverket.se/om-miljoarbetet/miljoovervakning/programomraden/kust-och-hav/>) (Keith 2015) men både OSPAR (Oslo-Paris Kommissionen) och ICES (International Council for the Exploration of the Sea) rekommenderar alltid att alkylerade PAHer mäts vid oljespill eller när man misstänker oljeförorening. Detta görs tyvärr sällan. Det finns inga europeiska gränsvärden för alkylerade PAHer men de misstänks vara mer långlivade, bioackumulerande och giftiga än modersubstanserna (Irwin et al. 1997, Marvanová et al. 2008). Vi har valt att inkludera dem i analyserna i denna studie.



Figur 4. Exempel på en PAH, modersubstans och dess alkylerade PAH homologer. Bilden visar den lättaste PAHn naftalen och tre alkylerade former av naftalen med en (metyl) eller två (etyl) kolatomer i alkylgruppen. C1 betyder att det sitter en grupp med en kolatom i på naftalenmolekylen, C2 betyder att det antingen sitter två grupper med en kolatom i varje, eller en grupp med två kolatomer i på naftalenmolekylen. Alkylerade PAHer ingår som en naturlig del av petroleumolja men oftast mäts bara 16 modersubstanser med olika många ringar (PAH 16).

ALS Scandinavia AB mäter nio alkylerade PAHer (C1-, C2-, C3-alkylnaftalen; C1-, C2-, C3-fenantren/antracen; C1-, C2-, C3-dibensotiofen) (Bilaga 3 och 4) medan SINTEF A/S mäter 22 alkylerade PAHer (C1-, C2-, C3, C4-alkylnaftalen; C1-, C2-, C3-alkylfluoren; C1-, C2-, C3-, C4-fenantren/antracen; C1-, C2-, C3-, C4-dibensotiofen; C1-, C2-, C3-alkylfluoranten/pyren; C1-, C2-, C3-, C4-alkylkrysen) och 9 andra alkylerade aromatiska föreningar (C1-, C2-, C3, C4-alkyldekalin och

C1-, C2-, C3-, C4-, C5-alkylfenol)(Bilaga 5). De 16 PAHerna, dekalin, fenol och deras alkylerade varianter grupperas av SINTEF A/S som SVOCer (Semivolatile Organic Compounds=delvis lättflyktiga organiska föreningar). ALS Scandinavia AB mäter de fyra BTEX-substanserna bensen, toluen, etylbensen och xylen (Bilaga 3 och 4) medan SINTEF A/S mäter BTEX som en del av 35 olika små lättflyktiga aromatiska föreningar, VOCer (Volatile Organic Compounds)(Bilaga 5). De analyser som görs på SINTEFA/S ger därför en mer komplett och komplex bild av den kemiska föroreningen som orsakas av oljespill. Jämförelser mellan prover omfattar de ämnen som mätts i alla prover oavsett analyslaboratorium.

Uppmätta halter har vidare jämförts med ekotoxikologiska gränsvärden angivna i Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten, HVMFS 2019:25 (Havs- och vattenmyndigheten 2019) och Havs- och vattenmyndighetens rapport *"Metaller och miljögifter - Effektbaserade bedömningsgrunder och indikativa värden för sediment, HAV 2018:31* (Havs- och Vattenmyndigheten 2018). Sedimentproverna har även klassats enligt SGU:s rapport *"Klassning av halter av organiska föroreningar i sediment, SGU 2017:12"* (Josefsson 2017). I samband med att Norge har implementerat EUs vattendirektiv har de genomfört en nationell uppdatering av gränsvärdena för bland annat PAHer i blåmusslor (Ruus et al. 2021). De uppmätta halterna i blåmusslor har även jämförts med dessa gränsvärden. I den norska rapporten anges även nivåer för bakgrundshalter. Dessa kommer inte att beaktas i denna rapport då kopplingen till ekotoxikologiska effekter och blandningseffekter av olika gifter som kan förekomma i musslor efter oljespill inte har beaktats.

3 Resultat

3.1 Fältobservationer

Norjegryt

Vid musselprovtagningen noterades ett långt stråk av vitt skum vid Norjegryt, men det var svårt att avgöra vad det utgjordes av eller var det kom ifrån (Bilaga 2). I övrigt visade platsen inga tydliga spår av olja eller oljelukt. Under sediment- och vattenprovtagningen vid Norjegryt noterades oljestänk på stenar men platsen uppfattades i övrigt som relativt okontaminerad (Fig. 5).



Figur 5. Strand vid Norjegryt. Några enstaka oljestänk syns på stenar vid strandkanten. Foto: Maria Granberg.

Djupekås

Vid Djupekås observerades ansamlingar av vitt skum vid musselprovtagningen. Längs stranden som är mycket vågexponerad observerades stora och små oljeklumpar och en bit upp på stranden perkolerade olja upp ur djupare sandlager och när man trampade ner i sanden (Fig 6). Området har kontinuerligt drabbats av påslag av flytande oljeklumpar. Stora mängder uppspolad tång och sjögräs låg på stranden och trots sanering luktade tången olja och handskarna färgades svarta av olja när man tog i tången (Fig 7). Tångvallarna utgör sannolikt en sekundär kontamineringskälla till strandområdet och det strandnära vattnet. Prover har tagits av strandsand och tång från tångvallarna men av ekonomiska skäl har de inte analyserats i denna undersökning.



*Figur 6. Strandparti vid Djupekås med synlig olja på sanden och som pressas upp från underliggande lager.
Foto: Maria Granberg.*



Figur 7. Del av stranden vid Djupekås där stora vallar av oljeluktande och delvis sanerad släke ligger längs hela stranden. Bilden är tagen under initial inspektionsrunda med saneringsledare Andreas Jezek. Foto: Maria Granberg.

Nabben

Här provtogs endast blåmusslor. Ingen anmärkning i detta område.

Töppet

Vid Töppet upplevdes oljelukt. Även här fanns släke. Oljeklumpar låg i sanden och stenarna hade oljestänk och "oljekjolar" och "oljetoppar" som fastnat och stelnat på stenarna under högvatten (Fig 8). Olja hade också trängt in i torrvallarna längs stranden (Fig. 9 vänster). I den ena änden av stranden mynnade en bäck i havet. Bäckens hade ingen levande växtlighet men vita växtlika fransiga klumpar kantade bäckens fåra (Fig. 9 höger). På grund av stark oljelukt togs prover av både bäcksediment och vatten.



Figur 8. Strandavsnitt vid Töppet med synlig oljekontaminering av stenar och uppspolad tång. Foto: Maria Granberg.



Figur 9. Strandområden vid Töppet, bilden till vänster: oljekontaminering av torolager vid stranden, bilden till höger: vita flikiga klumpar och oljelukt i Töppets bäck. Foto: Maria Granberg.

Spraglehall

Spraglehall var den plats som uppfattades som mest kontaminerad där olja täckte hela strandområdet både i vattnet och på land (Fig. 10). Vattnet längs med stranden var täckt av skum. Vita fällningar observerades längs vattenpölar på stranden. Döda snäckor och musslor låg i vattenbrynet och ingen levande växtlighet observerades.



Figur 10. Provtagning vid Spraglehall. Strand och stenar är täckta av svart olja som tränger ner i marken. Inget synligt liv kunde observeras. Foto: Maria Granberg.

Torhamn

Blåmusslor insamlades längre ut vid Torhamn (Bilaga 2) medan sediment och vatten insamlades vid Torhamns havsbads badplats (Fig. 11). Inga tecken på oljekontaminering syntes i detta område.



Figur 11. Badplatsen vid Torhamn. Området utgjorde undersökningens referenslokal. Foto: Maria Granberg.

Övriga observationer

Vita fällningar observerades på flera platser längs med den oljedrabbade kuststräckan (Fig. 12). Fällningen såg ut att läcka från den oljekontaminerade tången. Fällningen provtogs inte men prover togs av släken på flera platser för eventuell framtida analys.



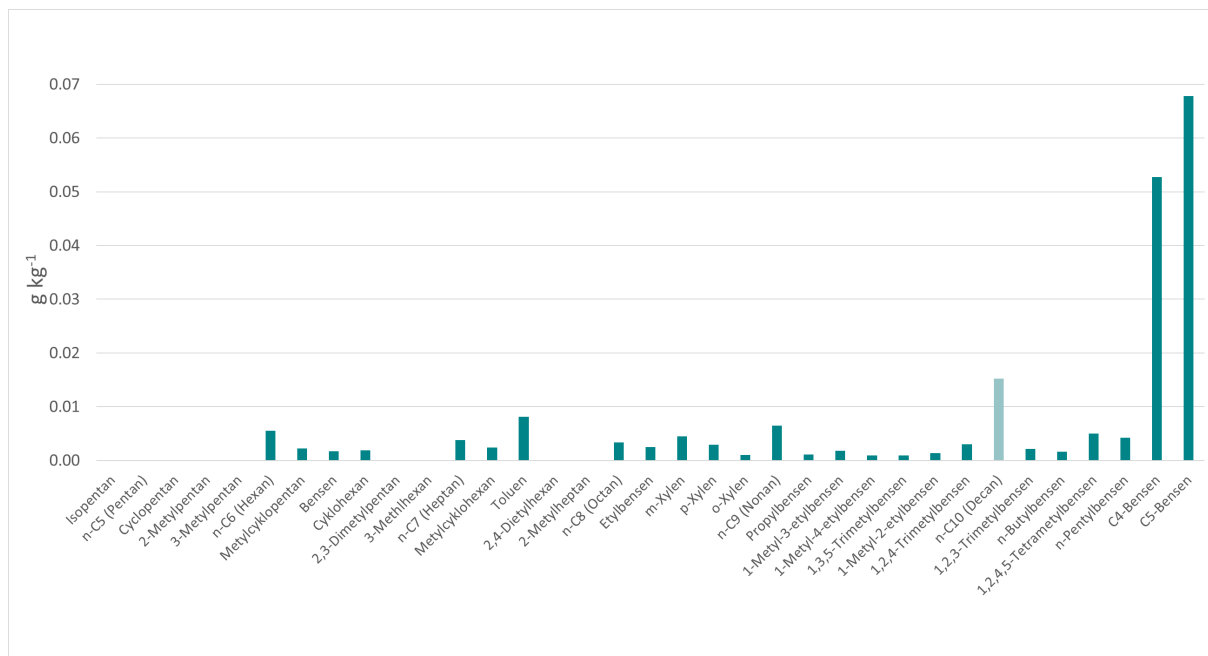
Figur 12. Bilder av vitaktiga fällningar som såg ut att läcka ur den strandade tången. Samma vita fällning observerades på flera stränder längs med den oljedrabbade kuststräckan. Foto: Maria Granberg.

3.2 Analysresultat olja

Ett samlingsprov av strandad olja från lokalerna Djupekås, Spraglehall och Lörby analyserades för VOC, SVOC och TPH hos SINTEF A/S, Norge. Denna olja kommer att skilja sig från ett oljeprov insamlat direkt från ett fartygs tankar eftersom den utsatts för vädring av flyktiga ämnen och ämnen i oljan kan ha brutits ner den utsatts för väder och vind. TPH halten i oljeprovet var 151 g kg⁻¹ olja.

VOC

Oljeprovet innehöll en rad olika VOC ämnen (Fig. 13), bland annat alkylerade bensener. Den högsta halten av VOCer utgjordes av dekan (ljusgrön stapel i Fig. 13) som för tydlighetens skull har delats med 10 och alltså är tio gånger högre än figuren visar.

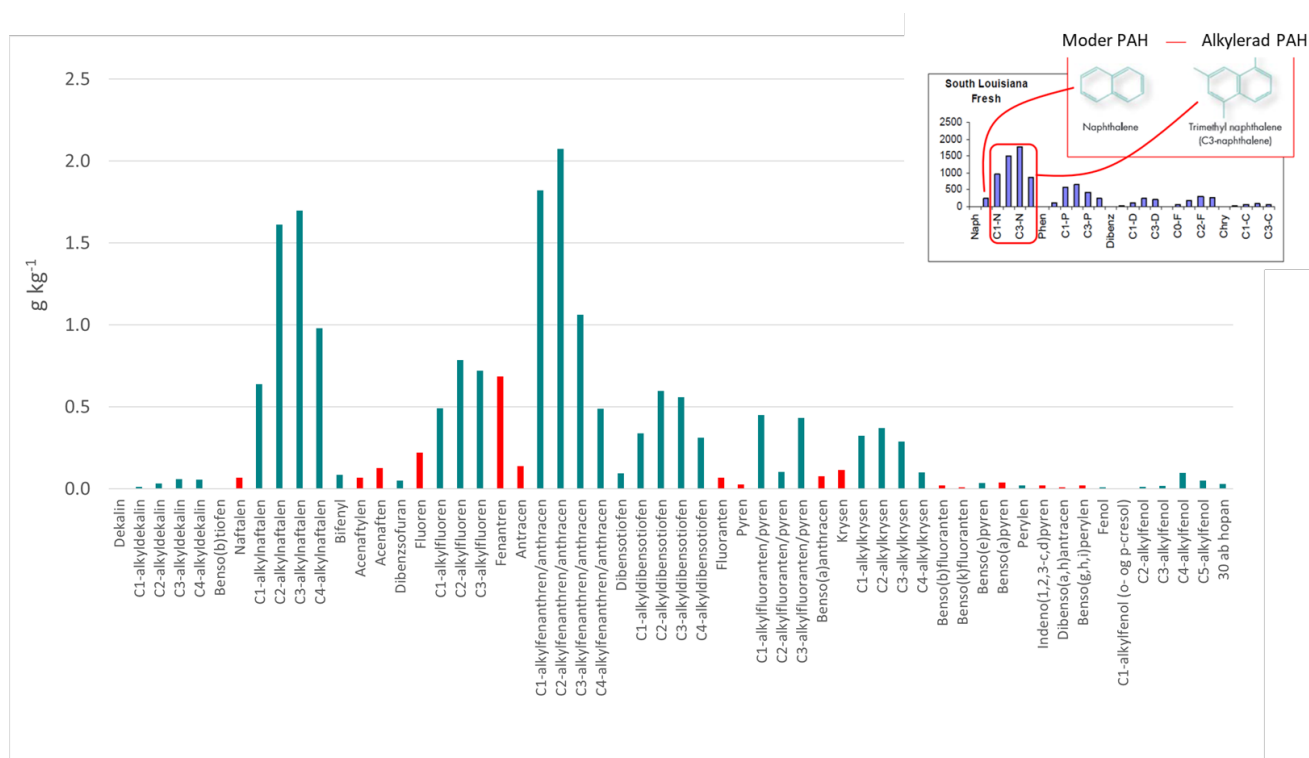


Figur 13. VOC ämnen (g kg⁻¹ olja) i ett samlat prov av strandad olja. Den ljusgröna stapeln av n-C10 (dekan) är tio gånger högre än figuren visar och har justerats genom att dela halten med 10 för tydlighetens skull.

SVOC

SVOC ämnen i olja omfattar främst PAHer och alkylerade PAHer som utgör den giftigaste delen av oljan och därför regleras i Vattendirektivet genom Havs- och vattenmyndighetens författningssamling, HVMFS 2019:25 (Havs-och

vattenmyndigheten 2019). Olika petroleumoljor har olika kemiska mönster eller "fingeravtryck" som sedan återspeglar sig på olika vis i biota, vatten, sediment, luft mm beroende på de kemiska ämnenas egenskaper och matrisernas och biologins beskaffenhet (Wang and Fingas 2003). Figur 14 visar SVOC fingeravtrycket av oljeprovet. Oljan har ett typiskt HVO fingeravtryck där de alkylerade PAHerna dominerar innehållet både mängd- och koncentrationsmässigt. Varje PAH grupp, t ex naftalengruppen med naftalen som modersubstans och C1-, C2-, C3-, C4-alkylnaftalenerna som naftalenhomologer med kolvätegrupper bundna till ett naftalenskelett bildar en klock-formad form i figuren där C1 – C3 homologerna dominerar (liten figur i Fig. 14). De röda staplarna (Fig. 14) visar de ämnen som ingår i PAH 16 vilka utgör en bråkdel av de SVOCer som ingår i olja.



Figur 14. Halter av SVOC ämnen (g kg⁻¹ olja) i ett samlat prov av strandad olja. De röda staplarna visar de PAHerna som ingår i PAH 16. Den lilla figuren i högra hörnet visar en schematisk bild av hur ett fingeravtryck av råolja kan se ut med modersubstanser och alkylerade PAHerna.

3.3 Analysresultat blåmusslor

Analyser av miljögifter i blåmusslor (*Mytilus edulis*) genomfördes på tre samlingsprover från varje lokal. Varje samlingsprov bestod av mjukdelar från 200-300 blåmusslor 3-4 cm långa (Bilaga 2). Samtliga prover analyserats med avseende

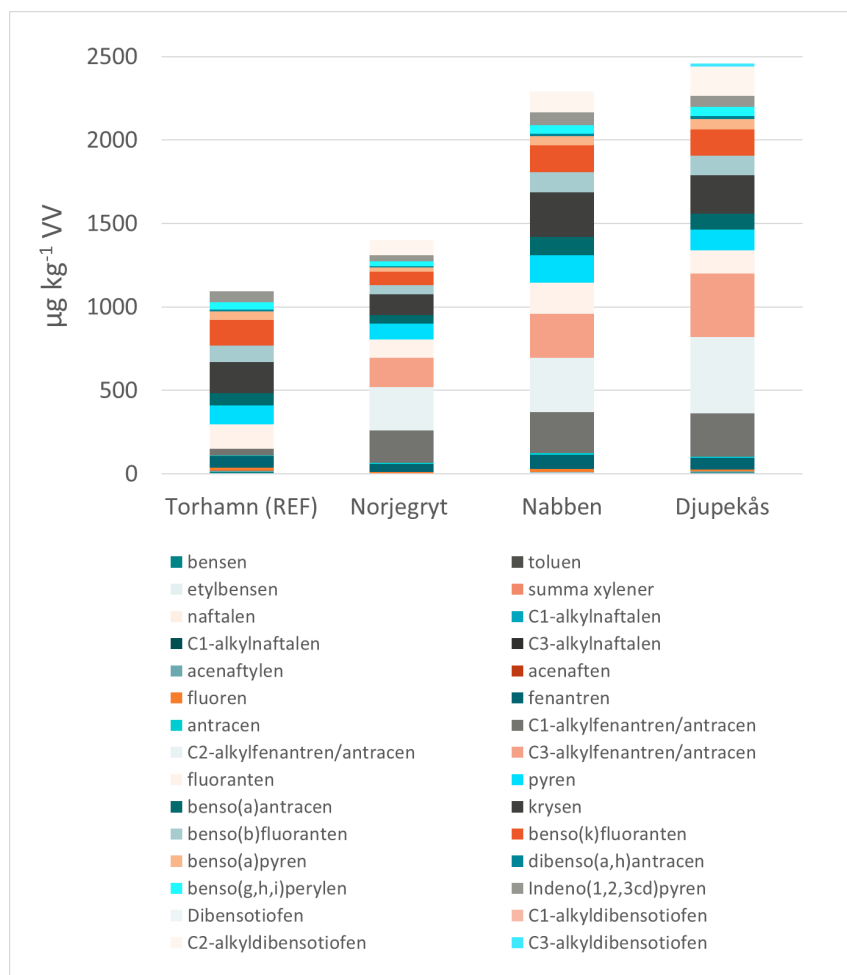
på BTEX, PAH 16 och ett antal alkylerade PAHer. Analyserna genomfördes av ALS Scandinavia AB. För fullständigt analysprotokoll från laboratorium, se Bilaga 3.

BTEX

Av de olika BTEX ämnena uppmättes endast bensen i blåmusslor från Djupekås ($6 \pm 10.4 \mu\text{g kg}^{-1}$ VV, maxvärde: $18 \mu\text{g kg}^{-1}$ VV), Nabben ($4 \pm 6.9 \mu\text{g kg}^{-1}$ VV, maxvärde: $12 \mu\text{g kg}^{-1}$ VV) och Torhamn ($13 \pm 2.7 \mu\text{g kg}^{-1}$ VV, maxvärde: $15 \mu\text{g kg}^{-1}$ VV). Vid Norjegryt uppmättes inga bensenhalter i musslor. Det finns inga ekotoxikologiska gränsvärden för BTEX ämnen i biota utan några av dessa ämnen, till exempel bensen, regleras i miljökvalitetsnormerna för ytvatten. Bensen uppmättes inte i vattenprover på någon plats men ingår liksom de andra BTEX ämnena i HFO och uppmättes också i det strandade oljeprov som analyserades i denna undersökning (bensen: 2 mg kg^{-1} olja)(Fig. 13). BTEX ämnen är akuttoxiska, vattenlösliga och flyktiga (Meyerhoff 1975, Benville and Korn 1977, Faksness et al. 2015) men bioackumuleras inte i någon större utsträckning och anses därför inte ha långtidseffekter på marina organismer eller anrikas i näringsvävar (Gossett et al. 1983).

Totalhalter

Blåmusslor från alla undersökta lokaler innehöll höga totalhalter av BTEX, PAH 16 och alkylerade PAHer, från drygt 1 mg kg^{-1} VV vid referenslokalen Torhamn till nästan 2.5 mg kg^{-1} VV vid Djupekås (Fig. 15). Halterna var högst i blåmusslor från Nabben och Djupekås där oljelukt även observerats av dykarna och oljepåslagen varit omfattande.

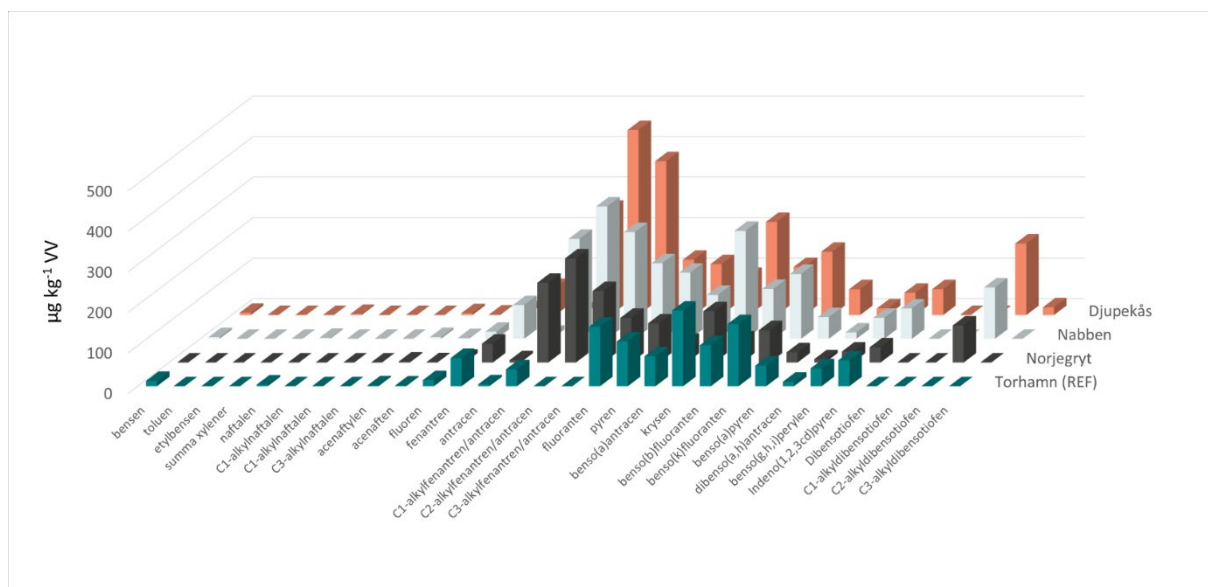


Figur 15. Totalhalter ($\mu\text{g kg}^{-1} \text{VV}$) av BTEX, PAH16 samt ett antal alkylerade PAHer analyserade i mjukvövnad från blåmusselprover (*Mytilus edulis*) insamlade vid tre oljedrabbade områden utanför Norjegryt, Nabben och Djupekås i Pukaviksbukten samt vid referenslokalen Torhamn, väster om Pukaviksbukten. Medelvärden av samlingsprover om 200–300 individer ($n=3$).

Kemiska fingeravtryck

Oljeförorening uppmättes i musslor från alla områden, även vid referenslokalen Torhamn. Det är önskvärt att halterna är avsevärt lägre vid en referenslokal för att kunna bestämma relevanta bakgrundshalter. Detta var inte möjligt i denna undersökning. I stället analyserades skillnaden i oljeförernas sammansättning i detalj i musslor från de olika lokalerna (Fig. 16). Det kemiska mönstret eller fingeravtrycket i de olika musselproverna skiljde sig mellan referenslokalen och de övriga lokalerna, vilket tyder på att källorna till oljeföroreningen är olika. Alkylerade fenantrener/antracener (C1-, C2- och C3- alkylfenantren/antracen) stod för en stor del av giftbelastningen i musslor från de oljedrabbade områdena, Norjegryt, Nabben och Djupekås. På dessa platser var även halterna av C2-

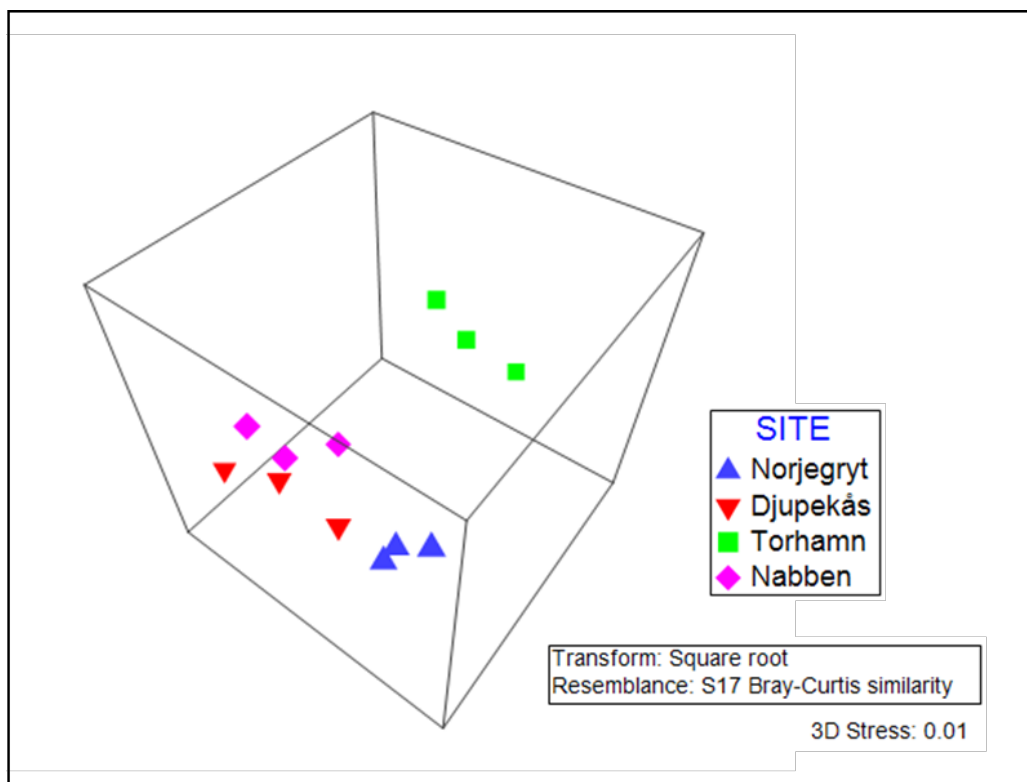
alkyldibensotiofen höga medan de var under detektionsgränsen i musslor från Torham. Anrikning av dessa föreningar observeras i andra studier där man följt upp förorening i musslor efter oljespill (Francioni et al. 2005, Francioni et al. 2007). Alkylerade PAHer förekommer naturligt i råolja och finns kvar i oraffinerade oljeprodukter och restprodukter av oljeraffinering såsom HFO liksom i det analyserade samlingsprover av olja i denna undersökning (Fig. 14) (Wang and Fingas 2003).



Figur 16. Halter av enskilda oljerelaterade miljögifter ($\mu\text{g kg}^{-1}\text{ VV}$), BTEX, PAH16 samt ett antal alkylerade PAHer, analyserade i mjukoävnad från blåmusselprover (*Mytilus edulis*) insamlade vid tre oljedrabbade områden utanför Norjegryt, Nabben och Djupekås i Pukaviksbukten samt vid refereenslokalen Torhamn, väster om Pukaviksbukten. Medelvärden av samlingsprover om 200–300 individer ($n=3$).

De enskilda ämnena i varje musselprov har sammanställts till ett diversitetsindex (Bray-Curtis) för varje prov. Dessa indexvärden har jämförts med multivariat statistisk analys (Primer 6+) där varje prov relateras till alla andra prov i en tredimensionell matris, som om de kastats in i ett tomt rum och fastnar i luften på det mest optimala sättet i förhållande till varandras likhet. Ju mer lika proverna är desto närmare varandra hamnar de i rummet och tvärt om (Fig. 17) (Bilaga 6). I Figur 17 framgår det tydligt att giftmönstret i musslorna från Torhamn skiljer sig signifikant från giftmönstret i musslorna från alla de andra lokalerna som exponerats för olja från Marco Polo. Musslorna i Torhamn har sannolikt exponerats för en annan oljekontamineringskälla som inte innehåller alkylerade PAHer i samma omfattning. Oljeföroreningen i musslorna från Norjegryt, Nabben och Djupekås har med mycket stor sannolikhet samma källa. Oljespillet från Marco Polo har drabbat just dessa områden i stor omfattning och är därför den mest

sannolika källan. Detta speciellt eftersom det är de alkylerade PAHerna från oljan som återfinns i musslorna.



Figur 17. nMDS (Non metric multidimensional scaling) graf baserad på Bray-Curtis diversitetsindex över förekomst och halter av alla SVOC ämnen uppmätta i varje enskilt musselprov. 1, 2, och 3 representerar varje enskilt samlingsprov från respektive lokal med tre samlingsprov/replikat per lokal (n=3).

Gränsvärden

Havs- och vattenmyndigheten har fastställt ekotoxikologiska gränsvärden för PAH-er i biota (kräftdjur och blötdjur) för två ämnen, fluoranten ($30 \mu\text{g kg}^{-1}$ VV) och benso(a)pyren ($5 \mu\text{g kg}^{-1}$ VV) (Havs- och vattenmyndigheten 2019). Gränsvärdena för fluoranten och benso(a)pyren överskreds kraftigt i blåmusslor vid alla lokaler (Tabell 2). Musslor från Norjegryt hade lägst halter (fluoranten: $110 \pm 0 \mu\text{g kg}^{-1}$ VV, benso(a)pyren $25.0 \pm 2.0 \mu\text{g kg}^{-1}$ VV) medan musslor från Nabben hade högst halter av fluoranten ($186.7 \pm 40.41 \mu\text{g kg}^{-1}$ VV) och musslor från Djupekås hade högst halter av benso(a)pyren ($63.7 \pm 16.56 \mu\text{g kg}^{-1}$ VV). Norska Miljödirektoratet har utökat sin lista över gränsvärden (EQS) till att omfatta hela PAH 16 gruppen. Koncentrationerna av alla PAH-er med hög molekylvikt (pyren, benso(a)antracen, krysen, benso(b)fluoranten, benso(k)fluoranten, indeno(1,2,3-cd)pyren,

benso(g,h,i)perylen, dibenso(a,h)antracen) överskred de norska gränsvärdena för blåmusslor vid alla lokaler (Tabell 2).

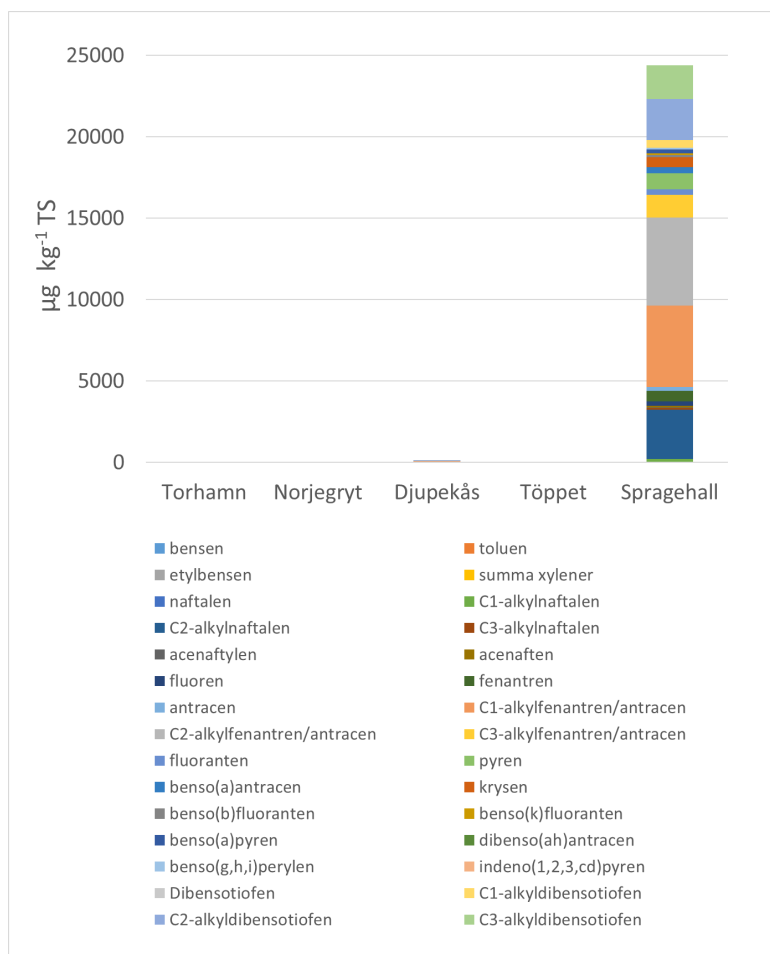
Tabell 2. Koncentrationer ($\mu\text{g kg}^{-1}$ VV) av polycykliska aromatiska kolväten (PAHer) från gruppen PAH 16 i blåmusslor (*Mytilus edulis*) från områdena Norjegryt, Djupekås, Nabben och Torhamn (medelvärde $\pm$ standardavvikelse, $n=3$).

PAH	Antal ringar	Kategori	Norjegryt	Djupekås	Nabben	Torhamn	EQS Sverige ^a	EQS Norge ^b
Naftalen	2	LMW					-	54
Acenaftylen	2.5	LMW					-	495
Acenaften	2.5	LMW					-	2888
Fluoren	2.5	LMW					-	1527
Fenantren	3	LMW					-	2435
Antracen	3	LMW					-	254
Fluoranten	3.5	HMW					30	30
Pyren	4	HMW					-	30
Benso(a)antracen	4	HMW					-	5
Krysen	4	HMW					-	5
Benso(b)fluoranten	4.5	HMW					-	5
Benso(k)fluoranten	4.5	HMW					-	5
Benso(a)pyrene	5	HMW					5	5
Indeno[1,2,3-cd]pyren	5.5	HMW					-	5
Benso(g,h,i)perylen	6	HMW					-	5
Dibenso(a,h)antracen	6	HMW					-	5

Antal ringar: anger antal bensenringar som ämnet utgörs av (.5 anger att en ring består av 5 kolatomer i stället för 6). Kategori: LMW (Low Molecular Weight) PAHer med låg molekylvikt, HMW (High Molecular Weight) PAHer med hög molekylvikt. Svenska och norska gränsvärden (EQS-Environmental Quality Standards/Miljö kvalitetsnormer) för enskilda PAHer enligt EU:s vattendirektiv. Ljusgrönt indikerar att norska gränsvärdena ej överskrider, ljusorange att norska gränsvärden överskrider, mörkorange att svenska och norska gränsvärden överskrider. ^aHavs-och-Vattenmyndigheten (2019), ^bRuus et al. (2021)

3.4 Analysresultat sediment

Sediment insamlades på fem lokaler, Torhamn, Norjegryt, Djupekås, Töppet och Spraglehall. Vid alla platser utom vid Spraglehall togs tre samlingsprov om ca 0.5–1 kg VV av de översta 0-1 cm sediment. Vid Spraglehall togs ett samlat sedimentprov då området var mycket stenigt. Sedimentproverna analyserades för BTEX, PAH 16 och alkylerade PAHer. Resultaten visar på kraftig oljekontaminering vid Spraglehall och en mindre oljekontaminering vid Djupekås och Töppet medan halterna i sedimentet vid Torhamn och Norjegryt inte visar på någon kontaminering alls. Föroreningen utgjordes främst av alkylerade PAHer; vid Djupekås C2-alkylnaftalen och C1- och C2-alkylfenantren/antracen, vid Töppet C1- och C2-alkylfenantren/antracen och i det mycket kontaminerade sedimentet vid Spraglehall förekom alla alkylerade PAHer i höga koncentrationer (Fig. 18 och 19).

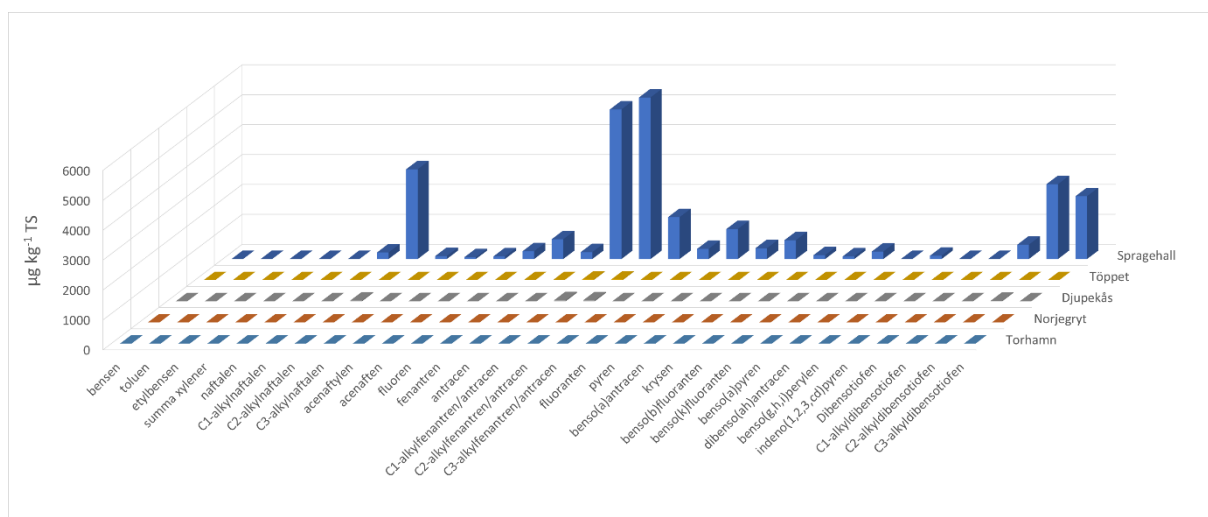


Figur 18. Totalhalter ($\mu\text{g kg}^{-1}$ TS) av BTEX, PAH16 samt ett antal alkylerade PAHer analyserade i sedimentprover från fem oljepåverkade lokaler, Norjegryt, Djupekås, Töppet, Spragehall i Pukaviksbukten samt vid referenslokalen Torhamn, öster om Pukaviksbukten. Medelvärden av samlingsprover av ytsediment (0-1 cm) ($n=3$).

Havs- och vattenmyndigheten har fastställt ekotoxikologiska gränsvärden för PAHer i marina sediment för två ämnen, antracen ($24 \mu\text{g/kg TS}$) och fluoranten ($2000 \mu\text{g/kg TS}$) (Havs- och vattenmyndigheten 2019). Vid Spragehall överskreds det TOC normaliserade (5% TOC) gränsvärdet för antracen 65 gånger och för fluoranten 1.15 gånger. Effektbaserade gränsvärden för sediment som enligt Havs- och vattenmyndigheten HAV 2018:31 (Havs- och vattenmyndigheten 2018) föranleder uppföljande undersökningar överskreds för benso(b)fluoranten 12 gånger, för benso(k)fluoranten 8.6 gånger och beno(a)pyren 18 gånger.

Enligt SGUs klassificering av kontaminerade sediment (Josefson 2017) hamnade Spraglehalls sediment i klass 5 (mycket hög halt) med avseende på ämnena acenaften, fluoren, fenantren, antracen, pyren, benso(a)antracen, krysen och benso(a)pyren, i klass 4 (hög halt) med avseende på fluoranten och benso(k)fluoranten, i klass 3 (medelhög halt) med avseende på benso(b)fluoranten och benso(g,h,i)perylen och klass1 (mycket låg halt) med avseende på naftalen, dibenso(ah)antracen och indeno(1,2,3,cd)pyren.

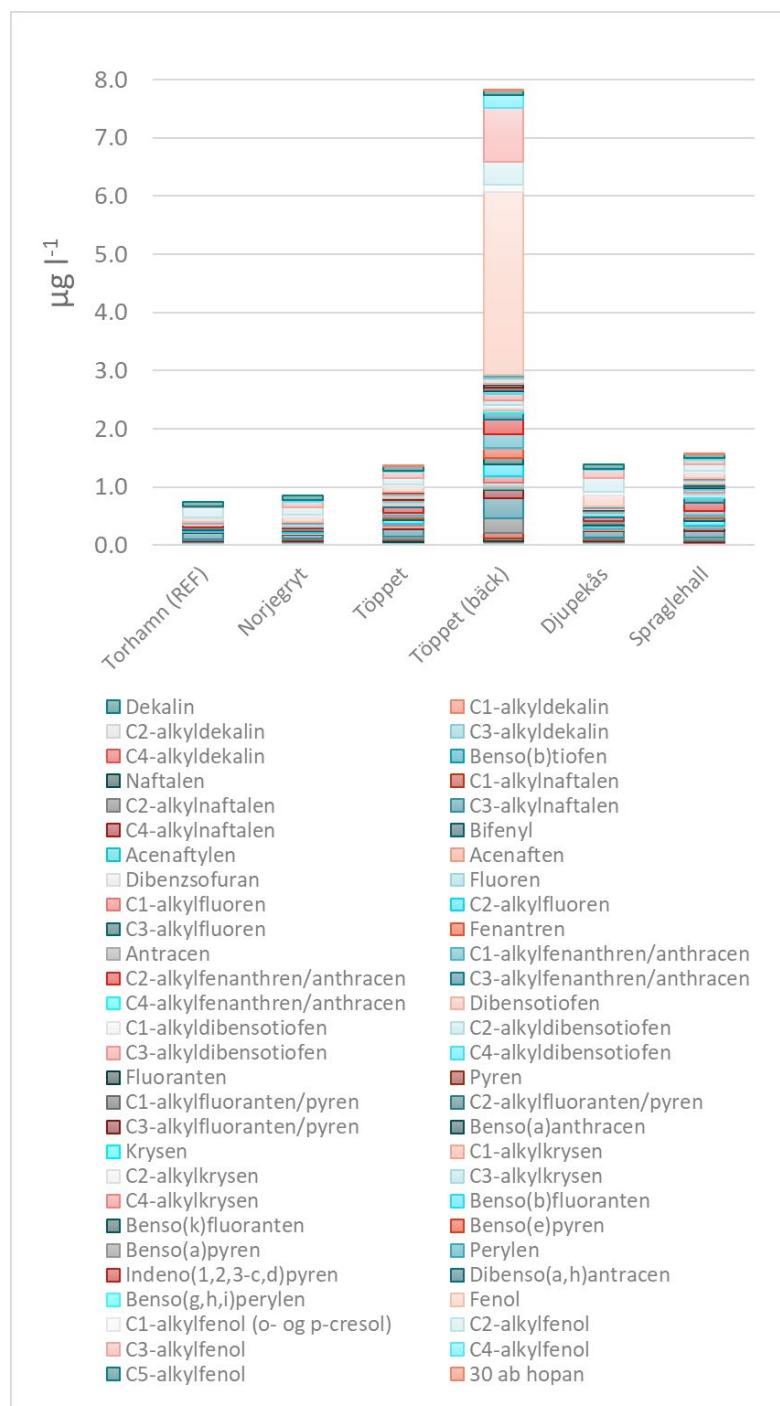
Sammanfattningsvis krävs sanerande åtgärder och uppföljning av de kontaminerade sedimenten vid Spraglehall.



Figur 19. Kemiskt fingeravtryck av ytsedimentprover från fyra oljeexponerade lokaler längs Pukaviksbukten samt från referenslokalen Torhamn öster om Pukaviksbukten. Halter av enskilda ämnen ur grupperna BTEX, PAH 16 och alkylerade PAHer ($\mu\text{g kg}^{-1}\text{ TS}$). Medelvärden av samlingsprover av ytsediment (0-1 cm) ($n=3$).

3.5 Analysresultat vattenprover

Vattenprover insamlades på nära stranden vid Torhamn (referenslokal), Norjegryt, Djupekås, Spraglehall, Töppet och i bäcken vid Töppet. Vattenproverna analyserades för TPH, VOC och SVOC.



Figur 20. Halter av SVOCer i vattenprover (µg l⁻¹) insamlade från olika lokaler i Pukaviksbukten och vid referenslokalen Torhamn.

Figur 21. Halter av dekaliner, PAHer och alkylerade PAHer ($\mu\text{g l}^{-1}$) i vattenprover från de olika provtagna lokalerna.

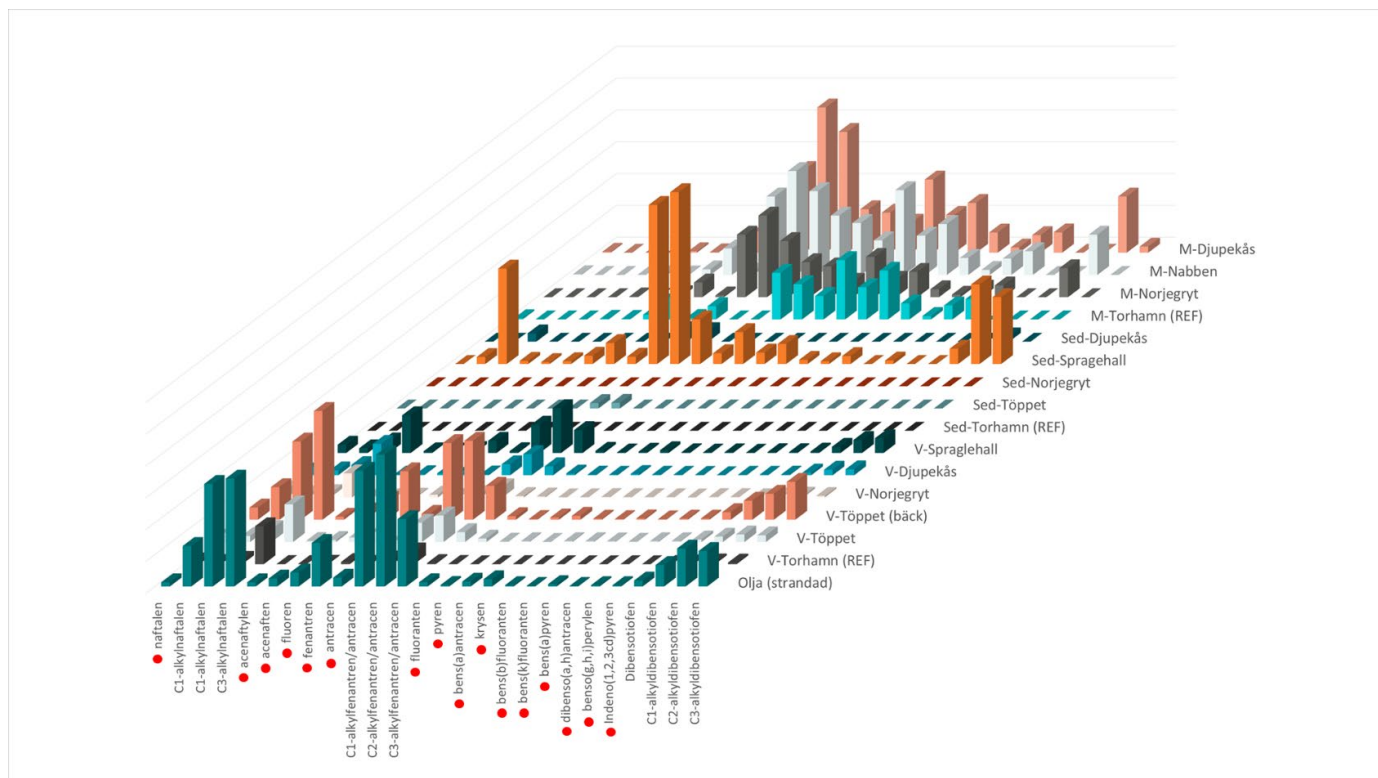
4 Analys och slutsats

Generella föroreningsmönster

Undersökningarna visade att oljeprovorna från den strandade tjockoljan (HFOn) innehöll höga halter av alkylerade PAHer vilka sedan kunde återfinnas i sedimentprov insamlade vid det oljedrabbade området Spraglehall och som anrikning i blåmusslor från de oljedrabbade områdena Nabben, Norjegryt och Djupekås. Alkylerade PAHer utgör en central del av oljans kemiska karaktär och används vid spårningen av föroreningskällan (Wang and Fingas 2003). Lättare alkylerade PAHer (2-3 ringar) detekterades i vattenprover. Mätningarna visade en dominans av 2-3 ringade PAHer och alkylerade PAHer i vattenprover och 3-6 ringade PAHer i musselvävnad. Sedimentprover från Spraglehall visade stor likhet med oljeprovet.

Att de kemiska fingeravtrycken är olika i de olika matriserna beror på oljeämnenas vattenlöslighet, miljömатrisernas beskaffenhet och levande organismers förmåga att ta upp och bryta ner gifter från omgivningen. Mindre eller lättare oljeämnen är ofta mer vattenlösliga och bryts lättare ner medan de större ämnena skyr vatten, binder till partiklar och bryts ner långsamt. Figur 22 visar kemiska fingeravtryck av PAH 16 och några alkylerade PAHer i de olika provtagna matriserna. Totthalterna i proverna har korrigerats i förhållande till varandra för att mönstren ska kunna jämföras mellan provtyper eftersom halterna av alla ämnen är högre i musselprover och olja än t ex i vatten. Koncentrationerna är alltså inte absoluta.

De röda ringarna i Figur 22 indikerar de ämnen som ingår i PAH 16 varav endast några få har empiriska ekotoxikologiska gränsvärden. De alkylerade PAHerna är en naturlig komponent av olja och utgör den största delen av de giftiga polycykliska aromatiska ämnena (PAC=Polycyclic Aromatic Compounds omfattar modersubstanser (PAHer) och deras alkylerade och substituerade varianter)



Figur 22. Fingeraavtryck av PAH 16 och några alkylerade PAHer i prover av olja, vatten, sediment och musslor från oljedrabbade områden i Pukaviksbukten och referensområdet Torhamn. Röda cirklar markera de 16 PAHer som normalt är de enda PAHer som mäts.

Det finns inga gränsvärden för alkylerade PAHer men de förekommer i höga halter efter oljespill (Wang and Fingas 2003) och återfinns då i alla organismtyper (Francioni et al. 2007, Miles et al. 2007, Danion et al. 2011, Harris et al. 2011).

Alkylerade PAHer misstänks vara mer svårnedbrytbara, bioackumulerande och toxiska än sina modersubstanser (Irwin et al. 1997, Harris et al. 2011, Wardlaw et al. 2011). Efter ett oljespill är det därför viktigt att följa upp ett bredare spektrum av PACer vilket också görs i flera andra länder och rekommenderas av OSPAR (Oslo-Paris Kommissionen) och ICES (International Council for the Exploration of the Sea).

Vid ett oljespill insamlas oljeprover från fartyget av Kustbevakningen och ingår sedan som bevismaterial i en rättsprocess för att utreda skuld- och skadestandsfrågor. Det är därför oftast inte möjligt att få tag i ursprungliga oljeprover när man gör en miljöuppföljning utan prover tas i stället av strandad olja så nära in på olyckstillfället som möjligt, men viss vädring och nedbrytning hinner ske vilket ger en sämre bild av föroreningen. Analyserna som görs på uppdrag av Kustbevakningen är inte tillräckliga varken för att bedöma arbetsmiljörisker vid sanering eller miljörisker associerade med spillet. Här hade

det varit en stor fördel om provtagning och analys kunde samordnas mellan aktörer och behovet av analytiskt djup koordineras. Det hade minskat den ekonomiska belastningen framför allt på kommuner men också på samhället i stort.

Blåmusslor

Blåmusslor (*Mytilus edulis*) innehöll höga halter av oljeföreningar vid alla undersökta områden i Pukaviksbukten men även på referensplatsen vid Torhamn sydost om Karlskrona. De två svenska gränsvärdena för PAH i biota för fluoranten och benso(a)pyren överskreds kraftigt. Norska miljödirektoratet har nyligen låtit beräkna gränsvärden för alla PAH 16 ämnen (Ruus et al. 2021) och vid jämförelse med dessa överskreds gränsvärdena för alla högmolekylära PAHer kraftigt i musslor från alla platser.

För att påvisa ökad miljögiftsbelastning i samband med oljespill är det fördelaktigt att kunna jämföra halter med miljöövervakningsdata. PAH 16 i blåmusslor undersöks vart tredje år inom programmet för samordnad recipientkontroll via Blekinge kustvatten och luftvårdsförbund. Den senaste mätningen genomfördes under hösten 2023 och organiska miljögifter har mätts vid sju tillfällen sedan 2005. Två provtagningslokaler är aktuella som jämförelse, Ma1 vid Torhamn (referens) och Ma9 vid Norjegryt/Norrören (Pukaviksbukten). På dessa platser överskreds inga gränsvärden för PAHer 2023 men halterna har varierat under åren på Ma9 (Olsson et al. 2024). Blåmusslorna har hanterats på olika vis vilket försvårar jämförelser med tidigare övervakningsdata för musslor. I denna undersökning har Naturvårdsverkets handledning (2021) följts medan en äldre version (2014) har använts inom recipientkontrollprogrammet. Den uppdaterade metoden kan ge högre PAH koncentrationer då eventuellt tarminnehåll analyseras samtidigt med musslorna. Det äldre protokollet kan istället resultera i för låga uppmätta PAH halter då nedbrytning av ackumulerade PAHer kan ske i musslorna under den tid de hålls levande (24+ timmar) efter provtagning. Beslutet om att följa Naturvårdsverkets senaste protokoll togs i samråd med Länsstyrelsen i Blekinge. Oavsett vilket protokoll som använts hade halterna av PAHer i musslor sannolikt varit över gränsvärdena efter oljespill eftersom dessa överskreds så kraftigt. Musslorna provtogs i december 2023 då partikelhalterna i vattnet är låga och blåmusslorna är i färd med att bygga upp fetthaltiga gonader. Detta är en fördelaktig period att provta då förekomsten av partiklar och algbloomningar i vattenmassan är som lägst och tarminnehållet är lägre och musslorna inte hunnit släppa sina ägg där oljegifter gärna anrikas. Att analysera hela musslor med

tarminnehåll enligt det nya protokollet är mer relevant för en ekologisk riskbedömning eftersom hela djur äts av djur högre upp i näringskedjan i naturen.

Eftersom de totala PAH halterna var förhöjda i alla områden gjordes en fördjupad analys av skillnaderna i förekomst och halter av alla olika uppmätta oljeföreningar i musslorna från de olika områdena. Analysen visade att musslorna från Torhamn innehöll en annan sammansättning av PACer än musslorna från Pukaviksbukten. Musslorna från Torhamn har sannolikt exponerats för en annan oljekontamineringskälla som inte innehåller alkylerade PAHer i samma omfattning som HFO. Eftersom det ligger en marinbas i närheten är det möjligt att utsläpp från militära fartyg utgör en källa till PAH förening i musslor från Torhamnsområdet. Oljeföreningen i musslorna från Norjegryt, Nabben och Djupekås har med mycket stor sannolikhet samma källa. Oljespillet från Marco Polo har drabbat just dessa områden i stor omfattning och är därför den mest sannolika källan. Detta speciellt eftersom det är de alkylerade PAHerna från oljan som återfinns i musslorna.

Sediment

En omfattande provtagning gjordes av sediment vid Djupekås, Norjegryt, Töppet, Spraglehall och Torhamn. Spraglehallssedimentet innehöll mycket höga halter av flera PAHer och hamnade i klass 5 (den högsta kontamineringsgraden) enligt SGUs gradering av förorenade sediment. Gränsvärden överskreds för antracen 65 gånger, fluoranten 1.15 gånger, benso(b)fluoranten 12 gånger, benso(k)fluoranten 8.6 gånger och beno(a)pyren 18 gånger. En viss oljeförening detekterades även vid Djupekås och Töppet medan inga PAHer uppmättes i sediment vid Torhamn och Norjegryt. Alkylerade PAHer dominerade föroreningsbilden i sedimenten där oljeförening kunde uppmätas.

De låga halterna i sedimentet kan sannolikt förklaras med att de provtagna områdena var väldigt vågexponerade och att oljekontaminerat sediment sköljts ut med vågor och sedan följt med strömmar till lugnare områden där de sedan sjunker till botten. En annan sannolik förklaring är att ett intensivt saneringsarbete har pågått sedan olyckan skedde och olja kontinuerligt har avlägsnats från vattenbryn och stränder. Detta är mycket positivt för strand- och havsmiljön. Provtagningsområdet vid Spraglehall, som ligger utanför naturreservatet, har inte prioriterats i saneringsarbetet och kan därför fungera som ett exempel på hur föroreningssituationen längs kusten hade sett ut utan det intensiva saneringsarbetet.

Vatten

En omfattande replikerad vattenprovtagning genomfördes men av ekonomiska skäl analyserades endast ett vattenprov per område vilket begränsade de statistiska analysmöjligheterna. Med denna strategi fanns det i stället möjlighet att analysera vattenprover från extralokalen Töppet och bäcken vid Töppet.

Alla vattenprover innehöll oljeförorening men totalhalten var högst i bäckvattnet från Töppet. Totalhalten av SVOCer var nästan åtta gånger högre i vattenprovet från bäcken jämfört med alla de andra lokalerna inklusive havsvattenprovet från Töppet. Bäckvattenprovet innehöll mycket höga halter av fenol och alkylfenoler. Här saknas gränsvärden.

De kemiska fingeravtrycken i bäckvattnet och havsvattnet från Töppet, Djupekås och Spraglehall karaktäriserades av alkylerade PAHer med högst halter av 2-3 ringade föreningar (naftalen, antracen, fenantren och deras alkylhomologer) (Fig. 21). Den kemiska sammansättningen tyder på förorening av residualolja som HFO. Vattenproverna från Torhamn och Norjegryt innehöll en lägre andel alkylerade PAHer och skiljde sig därmed från vattenproverna från de andra områdena. På samma sätt som musselproverna indikerar detta andra källor till PAH förorening vid Torhamn men också i vattnet vid Norjegryt.

5 Konsekvenser av oljespillet och rekommendationer

Oljespillet efter Marco Polos grundstötning har drabbat en lång kuststräcka i framför allt Pukaviksbukten. Saneringsarbetet har varit omfattande och utan denna insats hade katastrofen varit ett faktum. Trots intensiv sanering finner vi att PAH halterna i musslor överskrider de ekotoxikologiska gränsvärdena och halterna av PAHer är förhöjda i havs- och bäckvatten på alla provtagna platser. Vi ser spår av oljeföroreningen i strandnära sediment vid Djupekås och Töppet och vid Spraglehall är halterna extremt höga. Orsakssamband har etablerats mellan oljans kemiska innehåll och oljeföroreningen i blåmusslorna från Djupekås, Nabben och Norjegryt. Undersökningen visar att oljespillet har lett till förorening av oljerelaterade miljögifter (PAH, alkylerade PAHer och BTEX) i hela området och att miljögiftshalterna i blåmusslor sannolikt orsakar fysiologiska effekter hos musslorna och att PAHer och alkylerade PAHer riskerar att överföras till organismer som fågel och fisk som förlitar sig på musslor som föda. Sannolikt är

föroreningen mer utbredd geografiskt och i andra organismer än de som kunnat undersökas inom ramen för i denna studie.

Blåmusslor i hela området

De höga halterna av PAC i blåmusslor från alla områden innebär att en uppföljning av PAHer och alkylerade PAHer halter bör genomföras. Nästa provtagning inom ramen för recipientprogrammet är först 2026 och provtagningen är inte tillräckligt omfattande varken ur ekotoxikologisk eller geografisk synvinkel. Blåmusslor ska inte användas för humankonsumtion eller som agn. Fåglar som livnär sig på musslor som t ex ejder riskerar att få förhöjda halter av PACer.

Sedimentet vid Spraglehall

Sedimenten vid Spraglehall innehåller så höga halter av PAHer (SGU Klass 5) att sanering med miljöuppföljning ska genomföras enligt Havs- och vattenmyndighetens rekommendationer (Havs-och-Vattenmyndigheten 2018). Detta område skulle också kunna avsättas för studier och uppföljning av biologisk och kemisk återhämtning efter oljepåslag. Det kräver att området stängs av för allmänheten och sanering upphör.

Bäcken vid Töppet

Alla vattenprover låg under gränsvärdena för oljeförorening och någon åtgärd krävs därför inte trots att oljeförorening kunde uppmätas i alla vattenprover. Vattenprovet från bäcken vid Töppet innehöll de högsta oljeföroreningshalterna (bland annat fenol) vilket indikerar att det finns en betydande och färsk källa till oljeförorening uppströms. Bäcken visade tydliga tecken på biologisk påverkan (varken växt eller djurliv kunde observeras) och därför bör bäckens kemiska och biologiska tillstånd följas upp. Källan till förorening kan sannolikt vara de oljeförorenade våtmarksområdena som låg intill Töppet.

Tångvallar i Pukaviksbukten

Förutom de prover som analyserats gjordes en rad observationer under inventering av området i samverkan med saneringsledarna (Andreas Jezec m fl). Vissa observationer dokumenterades utan åtgärd (angivna i rapporten) medan andra föranledde en begränsad provtagningsinsats. En viktig observation är omfattningen av de oljekontaminerade tångvallarna som dominerade den övre

strandregionen på alla besökta stränder. Många av dessa hade redan genomgått grovsanering, en del tång hade forslats bort, annan tång hade sorterats i olika högar, men helhetsintrycket var att dessa tångvallar utgör en källa till sekundärkontaminering och bör hanteras på ett enhetligt vis.

Under provtagningen uppskattade vi tångvallarnas volym på de besökta stränderna och prover togs av tången på olika platser. Dessa prover har av ekonomiska skäl inte analyserats och ingick heller inte i överenskommelsen med Länsstyrelsen i Blekinge. Vår rekommendation är att tångproverna analyseras för BTEX, PAH, alkylerade PAH'er och metaller för att uppskatta eventuell fortsatt sekundärkontaminering av stränderna och som vägledning för åtgärdsbeslut. Figur 12 visar en vit fällning kring strandad tång. Denna är inte identifierad men härrör sannolikt från oljan i tången. Kemiska analyser av tången kan även ge vägledning till vad denna fällning består av.

Övriga möjliga åtgärder

Vidare har följande aspekter diskuterats i samråd med bland annat Länsstyrelsen i Blekinge, saneringsledare, representanter från ITOPF och forskare vid Stockholms universitet.

- Fåglars utsatthet för oljerelaterad PAH kontaminering från föda bör utredas. Prover bör tas på smådjur som lever på grunda sedimentbotten där vadarfåglar lever och äter.
- Vi rekommenderar att man gör en undersökning på fåglars hälsa där även blodprov från fåglar kan ingå som analysparameter.
- Fisk har inte ingått i studien men bör följas upp, speciellt de som lever och äter av ryggradslösa djur nära havsbotten. Uppspolad död fisk bör analyseras för ett utökat spektrum av oljegifter och eventuellt effektparametrar som DNA-brottsanalys.
- Strandängar bör undersökas för att se hur djupt olja har trängt ner i marken för att undersöka potentiell sekundärkontaminering och säkerställa djurskyddet för betande djur.
- Det finns ytterligare möjlighet att etablera koppling mellan exponering och effekter av oljespill på musslor genom DNA-brottsanalys. Detta bör utredas som en möjlig metod i Sveriges miljöuppföljning av oljespill.

6 Referensförteckning

- Achten, C., and J. T. Andersson. 2015. Overview of Polycyclic Aromatic Compounds (PAC). *Polycyclic Aromatic Compounds* **35**:177-186.
- Benville, P. E., and S. Korn. 1977. Acute toxicity of 6 monocyclic aromatic crude-oil components to striped bass (*Morone saxatilis*) and bay shrimp (*Crago franciscorum*) California Fish and Game **63**:204-209.
- Danion, M., S. Le Floch, F. Lamour, J. Guyomarch, and C. Quentel. 2011. Bioconcentration and immunotoxicity of an experimental oil spill in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety* **74**:2167-2174.
- Faksness, L. G., D. Altin, T. Nordtug, P. S. Daling, and B. H. Hansen. 2015. Chemical comparison and acute toxicity of water accommodated fraction (WAF) of source and field collected Macondo oils from the Deepwater Horizon spill. *Marine pollution bulletin* **91**:222-229.
- Francioni, E., A. Wagener, A. L. Scofield, and B. Cavalier. 2005. Biomonitoring of polycyclic aromatic hydrocarbon in *Perna perna* from Guanabara Bay, Brazil. *Environmental Forensics* **6**:361-370.
- Francioni, E., A. D. Wagener, A. D. Scofield, M. H. Depledge, B. Cavalier, C. B. Sette, L. Carvalhosa, C. Lozinsky, and R. Mariath. 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbon in inter-tidal mussel *Perna perna*: Space-time observations, source investigation and genotoxicity. *Science of the Total Environment* **372**:515-531.
- Gossett, R. W., D. A. Brown, and D. R. Young. 1983. Predicting the bioaccumulation of organic compounds in marine organisms using octanol/water partition coefficients. *Marine pollution bulletin* **14**:387-392.
- Harris, K. A., L. M. Nichol, and P. S. Ross. 2011. Hydrocarbon concentrations and patterns in free-ranging sea otters (*Enhydra lutris*) from British Columbia, Canada *Environmental toxicology and chemistry* **30**:2184-2193.
- Havs-och-Vattenmyndigheten. 2018. Metaller och miljögifter - Effektbaserade bedömningsgrunder och indikativa värden för sediment. HAV2018:31.
- Havs-och-Vattenmyndigheten. 2019. Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten. in H. o. Vattenmyndigheten, editor. HVMFS 2019:25.
- Irwin, R. J., M. VanMouwerik, L. Stevens, M. D. Seese, and W. Basham. 1997. Environmental contaminants encyclopedia: Entry on alkyl PAHs (alkyl homologs of PAHs). Pages 1-18, National Park Service, Water Resources Division, Fort Collins, Colorado.
- Josefson, S. 2017. Klassning av halter av organiska föroreningar i sediment. SGU-rapport 2017:12.
- Keith, L. H. 2015. The Source of U.S. EPA's Sixteen PAH Priority Pollutants. *Polycyclic Aromatic Compounds* **35**:147-160.
- Marvanová, S., J. Vondráček, K. Pěnčíková, L. Trilecová, P. Krčmář, J. Topinka, Z. Nováková, A. Milcová, and M. Machala. 2008. Toxic Effects of Methylated Benz[a]anthracenes in Liver Cells. *Chemical Research in Toxicology* **21**:503-512.

- Meyerhoff, R. D. 1975. Acute toxicity of benzene, a component of crude-oil, to juvenile stiped bass (*Morone saxatilis*). Journal of the Fisheries Research Board of Canada **32**:1864-1866.
- Miles, A. K., P. L. Flint, K. A. Trust, M. A. Ricca, S. E. Spring, D. E. Arrieta, T. Hollmen, and B. W. Wilson. 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbon exposure in Steller's eiders (*Polysticta stelleri*) and harlequin ducks (*Histrionicus histrionicus*) in the eastern Aleutian Islands, Alaska, USA. Environmental toxicology and chemistry **26**:2694-2703.
- Naturvårdsverket. 2014. Handledning för miljöövervakning kust och hav. Undersökningstyp-metaller och organiska miljögifter i blåmussla.
- Naturvårdsverket. 2021. Handledning för miljöövervakning kust och hav. Undersökningstyp-metaller och organiska miljögifter i blåmussla. 1:2, 2021-03-16.
- Olsson, P., S. Tobiasson, S. Fredriksson, J. Nilsson, A. Sjölin, and L. Förlin. 2024. Undersökningar i Hanöbukten - Årsrapport 2023.
- Ruus, A., J. Beyer, and N. W. Green. 2021. Proposed Environmental Quality standards (EQS) for blue mussel (*Mytilus edulis*). 7578-2021, NIVA.
- Vos, J. H., and C. W. M. Bodar. 2008. Environmental risk limits for toluene. 601782005/2008, RIVM.
- Wang, Z., and M. F. Fingas. 2003. Development of oil hydrocarbon fingerprinting and identification techniques. Marine pollution bulletin **47**:423-452.
- Wardlaw, G. D., R. K. Nelson, C. M. Reddy, and D. L. Valentine. 2011. Biodegradation preference for isomers of alkylated naphthalenes and benzothiophenes in marine sediment contaminated with crude oil. Organic Geochemistry **42**:630-639.

Bilagor

- Bunkringskvitto
- Fältrapport insamling av blåmusslor (*Mytilus edulis*) december 2023, Linnéuniversitet
- Analysprotokoll blåmussla, ALS
- Analysprotokoll sediment, ALS
- Analysprotokoll vatten och olja, SINTEF A/S
- Fullständig provlista
- Rapport- multivariat statistisk analys av musselprover

STOCKHOLM

Box 21060, 100 31 Stockholm

GÖTEBORG

Box 53021, 400 14 Göteborg

MALMÖ

Nordenskiöldsgatan 24
211 19 Malmö

KRISTINEBERG

(Center för marin forskning och
innovation)

Kristineberg 566

451 78 Fiskebäckskil

SKELLEFTEÅ

Kanalgatan 59

931 32 Skellefteå

BEIJING, CHINA

Room 612A

InterChina Commercial Building
No.33

Dengshikou Dajie
Dongcheng District
Beijing 100006
China