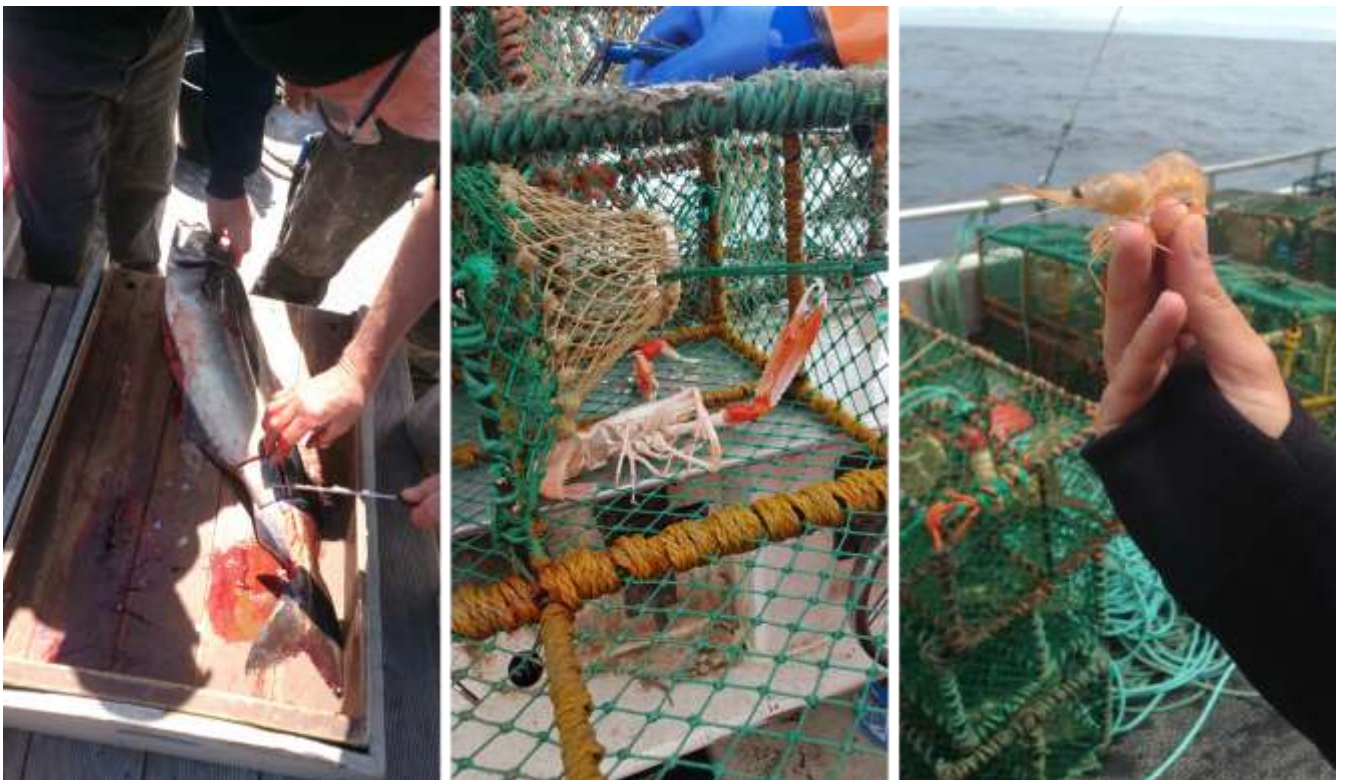


Undersökning av biota i anslutning till dumpade fartyg med kemisk ammunition



Detta är en rapport som har tagits fram på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten och innebär inte något ställningstagande från Havs- och vattenmyndighetens sida.

Havs- och vattenmyndigheten

Datum: 2018-06-12

Omslagsfoto: Johanna Bergkvist

ISBN 978-91-88727-12-1

Havs- och vattenmyndigheten

Box 11 930, 404 39 Göteborg

www.havochvatten.se

Undersökning av biota i anslutning till dumpade fartyg med kemisk ammunition

Jimmy Ahlsén
Johanna Bergkvist
Marina Magnusson
Åke Granmo

Havs- och vattenmyndighetens rapport 2018:21

Förord

Väster om Måseskär i Skagerrak finns ett område där 28 fartyg sänktes efter andra världskrigets slut. Låga halter av kemiska stridsmedel har uppmätts i sediment och fisk under årens lopp, vilket tyder på att det finns kemiska stridsmedel i fartygens laster.

I ett pressmeddelande från 2017 så rapporterade Havs- och vattenmyndigheten att nedbrytningsprodukter av stridsmedlet Clark I och II hade uppmätts i låga koncentrationer i havskräfta och plattfisk från området. Vidare studier är viktiga att genomföra för att utreda hur stor spridningen utav dessa ämnen är i området och deras potentiella effekter på miljön. Därför har nya provfisken utförts i området. Resultat från dessa, tillsammans med resultaten från 2016 års provfiske, presenteras i denna rapport.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING.....	7
SUMMARY	8
INTRODUKTION	9
Uppdraget.....	9
Bakgrund	9
Kemiska stridsmedel	9
Kemiska stridsmedel i den marina miljön.....	10
Effekt på biota.....	11
Undersökningsområde	12
METODIK	14
Målarter.....	14
Fisk	14
Havskräfta	15
Valthornssnäcka	15
Nordhavsräka	15
Blåmussla.....	15
Provtagning	15
Garnfiske.....	16
Burfiske.....	18
Musselramar.....	20
Analys	22
RESULTAT.....	24
DISKUSSION	30
TACK	34
REFERENSER	35
APPENDIX	37

Sammanfattning

På uppdrag av Havs- och Vattenmyndigheten har en undersökning utförts i ett dumpningsområde utanför Måseskär där fartyg lastade med kemiska stridsmedel (CWA) sänktes efter andra världskriget. Studien som utfördes av Marine Monitoring AB omfattade fiske efter fisk och skaldjur under 2016 och 2017 i anslutning till tidigare identifierade vrak. Kemiska analyser av de fångade organismerna utfördes av ALS Scandinavia AB och the Finnish Institute for Verification of the Chemical Weapons Convention, University of Helsinki (VERIFIN).

Valet av målarter gjordes med avseende på deras kommersiella betydelse, födoval samt deras avgiftningsförmåga. Bland fiskar valdes torsk, rödtunga, gråsej, vitlinglyra och pirål och av skaldjur havskräfta och nordhavsräka. På grund av utebliven fångst av nordhavsräka under 2016 års undersökning analyserades det året även den bottenlevande valthornssnäckan. Två typer av försöksdesign användes. Den första frågeställningen var huruvida de fångade arterna var lämpliga som livsmedel. Fiske med garn gjordes därför i nära anslutning till och på vraken och räkburar placerades även i deras omedelbara närhet. Den andra frågan var om den intensiva bottentrålningen i området kunde medföra spridning av sedimentbundna kemiska stridsmedel till ett större område. Kräftburar placerades därför ut i ett område längs den dominerande strömriktningen.

Resultaten från de kemiska analyserna från 2016 och 2017 års undersökningar visade på spår av nedbrytningsprodukter från de arsenikhaltiga stridsmedlen Clark I och/eller Clark II i 6 av 49 prover. Vävnadsprover från en havskräfta, två fiskar av arten rödtunga, samt tre samlingsprover av nordhavsräka gav utslag vid analysen. Inga kemiska stridsmedel kunde påvisas i övriga prover. De funna halterna är mycket låga men visar att dessa stridsmedel är sänkta i området, vilket är ny kunskap. Tidigare undersökningar (Sjöfartsverket, 1992 och Spiridonov, M.A., Zhamoida, V.A. 1999) har visat rester av nedbrytningsprodukter av senapsgas (thiodiglykol) och av arsener i sediment i dumpningsområdet. De låga halterna av Clark I och/eller Clark II i vävnaden hos individerna medför ingen ökad hälsorisk vid konsumtion (personlig kommunikation, Salomon Sand, Livsmedelsverket) men rester av kemiska stridsmedel bör inte finnas alls i organismerna. Detektion av rester av kemiska stridsmedel har varit koncentrerad kring de centrala delarna av det vrakområde som undersökts av Sjöfartsverket (2015). Det har under undersökningens gång varit fortsatt intensiv trålaktivitet inom området, men huruvida det har skett någon tydlig spridning av sedimentbundna kemiska stridsmedel utanför vrakområdet har inte kunnat fastställas.

Summary

At a request of the Swedish Agency for Marine and Water Management it was investigated if remnants of chemical warfare agents (CWA) can be detected in fish and shellfish. These animals came from a dumping area outside of Måseskär on the Swedish west coast where ships loaded with CWA were sunken after the Second World War. Fishing was performed by Marine Monitoring AB during 2016 and 2017 and the chemical analyses were done by ALS Scandinavia AB and the Finnish Institute for Verification of the Chemical Weapons Convention, University of Helsinki (VERIFIN).

Commercial value and environmental behaviour such as feeding habits and capacity of detoxification were taken into account when selecting suitable target species. Among fish cod (*Gadus morrhua*), torbay sole (*Glyptocephalus cynoglossus*), saithe (*Pollachius virens*), whiting (*Trisopterus esmarkii*) and hagfish (*Myxine glutinosa*) were chosen. Norwegian lobster (*Nephrops norvegicus*), whelks (*Buccinum undatum*) and shrimps (*Pandalus borealis*) were also fished.

Two separate designs were applied in the investigation. The first question was whether fish and shellfish from the wreck area are suitable for human consumption. Therefore, fishing with nets close to the shipwrecks was performed. In addition, shrimp cages were placed in the vicinity of the wrecks. The second question was if the intense commercial trawling around the wrecks release contaminated sediment bound particles and disperse CWA in a wider area. Therefore, lobster cages were placed along the predominant water current away from the wrecks.

The results from the analyses showed traces of CWA, Clark I and/or Clark II, in 6 out of 49 analysed samples. Traces were detected in tissue samples of one Norwegian lobster, two fish of the species torbay sole and in three of the pooled samples of shrimps. Levels were low and close to the detection limit but prove that chemical warfare agents were dumped in the examined area, which is new knowledge. Previous investigations by the Swedish Maritime Administration (1992) and Spiridonov and Zhamoida (1999) found degradation products of mustard gas and arsines in sediment samples taken close to the wrecks. The low concentrations of Clark I and/or Clark II in the tissue of the individuals do not result in greater risks for human consumption (personal communication, Salomon Sand, National Food Agency, Sweden) but traces of chemical warfare agents should not occur at all in the organisms. The detection of traces of chemical warfare agents was concentrated in the centre of the wreck area investigated by the Swedish Maritime Administration (2015). During the investigation the trawling activity has been continuously high within the area, but whether this has led to a spread of sediment bound particles outside of the wreck area remains unknown.

Introduktion

Uppdraget

Marine Monitoring AB har fått i uppdrag att undersökningen av biota i anslutning till fartyg dumpade utanför Sveriges västkust med last av kemiska stridsmedel. Projektet har beställts och finansierats av Havs- och Vattenmyndigheten (HaV) genom anslag 1:11 Åtgärder för havs- och vattenmiljö. Undersökningen genomfördes 2016 som en pilotundersökning samt 2017 som en fortsättning på föregående års undersökning. Denna rapport är en fortsättning och sammanfattar och kompletterar den tidigare rapporten ”Pilotundersökning av biota i anslutning till dumpade fartyg med kemisk ammunition” (Ahlsén m.fl. 2017).

Bakgrund

Vid slutet av andra världskriget stod de allierade makterna inför ett stort problem i form av överbliven kemisk ammunition (CWA). Stora mängder fanns lagrade som behövde tas om hand och oskadliggöras efter Tysklands och de allierades krigsföring (Laurin, 1991). En snabb och enkel lösning på problemet togs fram av de allierade som innebar att ammunitionen lastades på otjänliga skepp som sedan sänktes på djupt vatten i Östersjön, Skagerrak och i Atlanten. De sovjetiska dumpningarna i Östersjön skedde genom att ammunitionen direkt lämpades överbord på avsedda positioner.

Exakt var själva dumpningarna skedde i Skagerrak är inte helt känt då positionsangivelserna är relativt grova. Två kända platser är dock djupområdena utanför norska Arendal samt på svenskt territorialvatten väster om Måseskär. Av olika anledningar blev även skepp avsiktligt eller oavsiktligt sänkta innan de nått slutmålet. Ett antal mer exakta positioner har senare med modern sökteknik kunnat identifieras i områden där många vrak har påträffats.

I början av 90-talet fick Sjöfartsverket i uppdrag att utreda den dumpning av kemiska stridsmedel som skett på svenskt vatten (Sjöfartsverket, 1992). Utredningen visade på två dumpningsområden, ett sydost om Gotland och ett på djupt vatten väster om Måseskär utanför Orust och Lysekil. Bärgning av lasten ansågs dock vara för riskfull och kostsam för att genomföras. Även ovissheten kring exakt vad lasten bestod av och var och hur många vrak som fanns kunde innebära att inte allt skulle kunna bärgas. Även kunskaper om spridning i botten sedimentet eller om eventuella biologiska effekter eller bioackumulering av de kemiska stridsmedlen ansågs vara bristfälliga.

Kemiska stridsmedel

Kemiska stridsmedel är föreningar som genom kemiska och biokemiska reaktioner påverkar de fysiologiska funktionerna hos människor till så pass stor grad att de hämmar soldaternas förmåga till strid, och kan även ge en dödlig utgång. De kemiska stridsmedlen som tillverkades under andra världskriget var inneslutna i bomber och granater. Lyckligtvis kom nästan inga kemiska vapen till användning trots att både den allierade och tyska sidan hade byggt upp en stor arsenal. Enligt Potsdam-konferensen 1945 skulle all ammunition förstöras och vid denna tidpunkt ansågs dumpning till havs som det bästa och enda rimliga alternativet för att bli av med de kemiska stridsmedlen. Detta arbete utfördes sedan av personal från alla fyra ockupationsmakter.

Efter kriget saknas, förutom exakta positioner på var dumpningar av de kemiska stridsmedlen skedde, även uppgifter på vilka mängder som dumpades i de olika områdena. Däremot så finns det goda kunskaper om den totala mängden kemiska stridsmedel som tillverkades i Tyskland före och efter det andra världskriget. HELCOM sammanställde 1996 mängden kemiska stridsmedel som upptäcktes i de tyska territorierna mellan slutet av andra världskriget och 1948 (HELCOM 1996). Totalt inom de amerikanska, brittiska, franska och sovjetiska ockupationszonerna återfanns 296 103 ton kemiska stridsmedel, inklusive metallvikten på de fyllda bomberna, artillerigranaterna och minorna.

Effekten hos de kemiska stridsmedlen varierar beroende på typ, exempelvis finns tårgaser (t ex. Kloracetofenon) som orsakar bland annat ögon-, andning- och hudirritation, kräkningar, blindhet mm. Andra kemiska stridsmedel kan orsaka näs- och halsirritation (t ex. Clark I, Clark II och Adamsit) och lungirritation. De svåraste effekterna kommer från blåsbildande gaser (senapsgas, kvävesenapsgas och Lewisit) och nervgaser (Tabun) där dödlig utgång inte kunde uteslutas. Bland de kemiska stridsmedlen som producerades så var senapsgasen den mest vanliga och här ingick ofta en blandning med arsinoilja och exempelvis Clark I och Clark II.

Inom området utanför Måseskär i Skagerrak har uppskattningsvis 20 000 ton ammunition innehållande kemiska stridsmedel dumpats. Den enda typen av kemiska stridsmedel som verifierats i området är senapsgas. Andra typer av kemiska stridsmedel har inte återfunnits (HELCOM 1996).

Kemiska stridsmedel i den marina miljön

Ammunitionen med de kemiska stridsmedlen dumpades vanligen inneslutna i utströmda fartyg. Först när substanserna frisläppts från ammunitionen kan de tänkas påverka den marina miljön. Läckage till den marina miljön kan ske när ammunitionens skyddande hölje rostar sönder eller skadas mekaniskt. När de kemiska stridsmedlen exponeras för havsvattnet påbörjas olika nedbrytningsprocesser. Det finns emellertid få studier på hur detta sker i den marina miljön, och av de kända typerna av stridsmedel som producerats har endast enstaka undersökts. De flesta anses dock brytas ner till mindre toxiska, vattenlösliga substanser (HELCOM 1996).

Senapsgas förekommer vid lägre temperaturer ($<14^{\circ}\text{C}$) i form av vätska eller i fast form med en densitet på ca. 1.27 g/cm^3 , dvs. betydligt tyngre än vatten. Upplöst senapsgas bryts ner till mindre toxiska substanser på några timmar genom hydrolys med havsvatten. Dock sker nedbrytningen endast på upplöst senapsgas, en process som för den relativt olösliga senapsgasen kan ta lång tid. Nedbrytningen av ouplöst senapsgas kan därför ta allt från veckor till år beroende på omgivande temperatur. Trögflytande senapsgas är en variant med tillsatt förtjockningsmedel som på grund av detta inte reagerar med havsvattnet. Den neutraliserande hydrolysen är därför bara möjlig efter att senapsgasen frigjorts vilket är en långsam process. Förtjockningsmedlet leder också till att en skorpa kan bildas runt senapsgasen, i vilket sand och lera fastnar som ytterligare hämmar nedbrytningen av de farliga substanserna. Inkapslad i detta tåliga hölje kan senapsgasen ligga bevarad i en aktiv form under åtskilliga år.

Clark I (difenyylkloroarsin) och Clark II (difenylycanoarsin) är kemiska stridsmedel som orsakar näs- och halsirritation vid exponering. Föreningarna reagerar långsamt med vatten och bryts ner genom oxidation. Vissa nedbrytningsprodukter av stridsmedlen är kända att neutraliseras i havsvattnet, men det finns fortfarande frågetecken kring nedbrytningen av andra. Även efter den

långsamma nedbrytningen och neutraliseringen av stridsmedlen så kvarstår oorganiska arsenikföreningar som är fortsatt toxiska och inte kan brytas ner ytterligare. Clark I och II och deras nedbrytningsprodukter anses därför finnas kvar under lång tid på havsbotten och riskerar även att kunna ackumuleras i organismer (HELCOM 1996).

Nervgasen Tabun (*N, N*-dimetylfosforamidcyanidat) var ett av de mest fruktade kemiska stridsmedlen som producerades under andra världskriget och kan med undantag för mycket låga doser ha dödlig utgång. Tabun är dock löslig i vatten och hydrolyseras till icke toxiska föreningar eller mindre toxiska substanser vilka inom några timmar bryts ner till harmlösa produkter.

Effekt på biota

Hur dumpade kemiska stridsmedel påverkar den marina biotan är relativt okänt. Förutom direkt skada kan indirekta effekter uppstå när ämnena lagras i vävnader och påverkar organismen själv eller djur högre upp i näringskedjan. Sanderson m.fl. (2007) har genom modellering av kemiska stridsmedel och dess nedbrytningsprodukter visat att ämnena i fråga har låg benägenhet att ackumuleras. Clark I och Adamsit har högst benägenhet av de undersökta substanserna men är fortfarande inte signifikant bioackumulerande (Sanderson m.fl. 2007).

Under CHEMSEA-projektet (Chemical Munitions, Search and Assessment) (Beldowski m.fl. 2015) undersöktes hälsostatusen hos torsk vid dumpningsområden av kemiska vapen. Torsken fångades med pelagisk trål (i dumpningsområdena) och med bottenstrål (i referensområdena) vid kända och misstänkta dumpningsområden i Östersjön. Resultaten från undersökningen visade inga signifikanta skillnader på hälsan hos torsk fångad vid dumpningsområdena jämfört med torsk fångad vid referensområdena. Däremot ansåg författarna att skillnader kunde ses vid jämförelse av enskilda parametrar och att dessa möjligen kunde vara en effekt från exponering av kemiska stridsmedel.

CHEMSEA-projektet undersökte även effekten hos blåmusslor (*Mytilus edulis*) genom att undersöka olika biomarkörer bland annat lysosomal stabilitet (LMS). Blötdjur såsom blåmusslan används regelbundet som indikatorart vid studier av ackumulering och biologiska effekter av olika typer av miljögifter. Musselburar placerades ut på två olika djup, 35 respektive 65 meter, vid två "hot-spot" områden inom dumpningsområdet vid Bornholmsdjupet samt vid en referenslokal. Musslorna som var utplacerade på 65 meters djup (medeldjup 95 m) i dumpningsområdet visade ett sämre LMS jämfört med musslorna på referenslokalen.

Vattenmassan i Östersjöns djuphavsbassänger har ofta låg syrgashalt och de dumpningsområden som undersökts i CHEMSEA projektet har varit områden som djur ändå tenderar att undvika. Detta innebär att effekten på djurlivet i områden utan syrgasbegränsade botten, så som i Skagerrak, kan skilja sig från den i Östersjön.

Även i Medelhavet har det skett dumpningar av kemiska stridsmedel, i huvudsak senapsgas och lewisit. Lewisit är ett arsenikinnehållande hud- och vävnadsskadande stridsmedel. Italienska forskare (Amato m.fl., 2006, Della Torre m.fl. 2010) har undersökt vävnad hos bottenlevande fisk i dumpningsområden för kemiska stridsmedel. Resultaten visade på 3–4 gånger så höga halter av kvicksilver och arsenik i fisk från dumpningsområden jämfört med fisk från referenslokaler. Inga spår av senapsgas registrerades. Hälsotillståndet hos fisken i dumpningsområdet var dessutom

kraftigt försämrat jämfört med fisken i referensområdet. Hudskador i form av sår och bölder förekom även. Området uppvisade dessutom onormalt höga arsenikkoncentrationer i sedimentet.

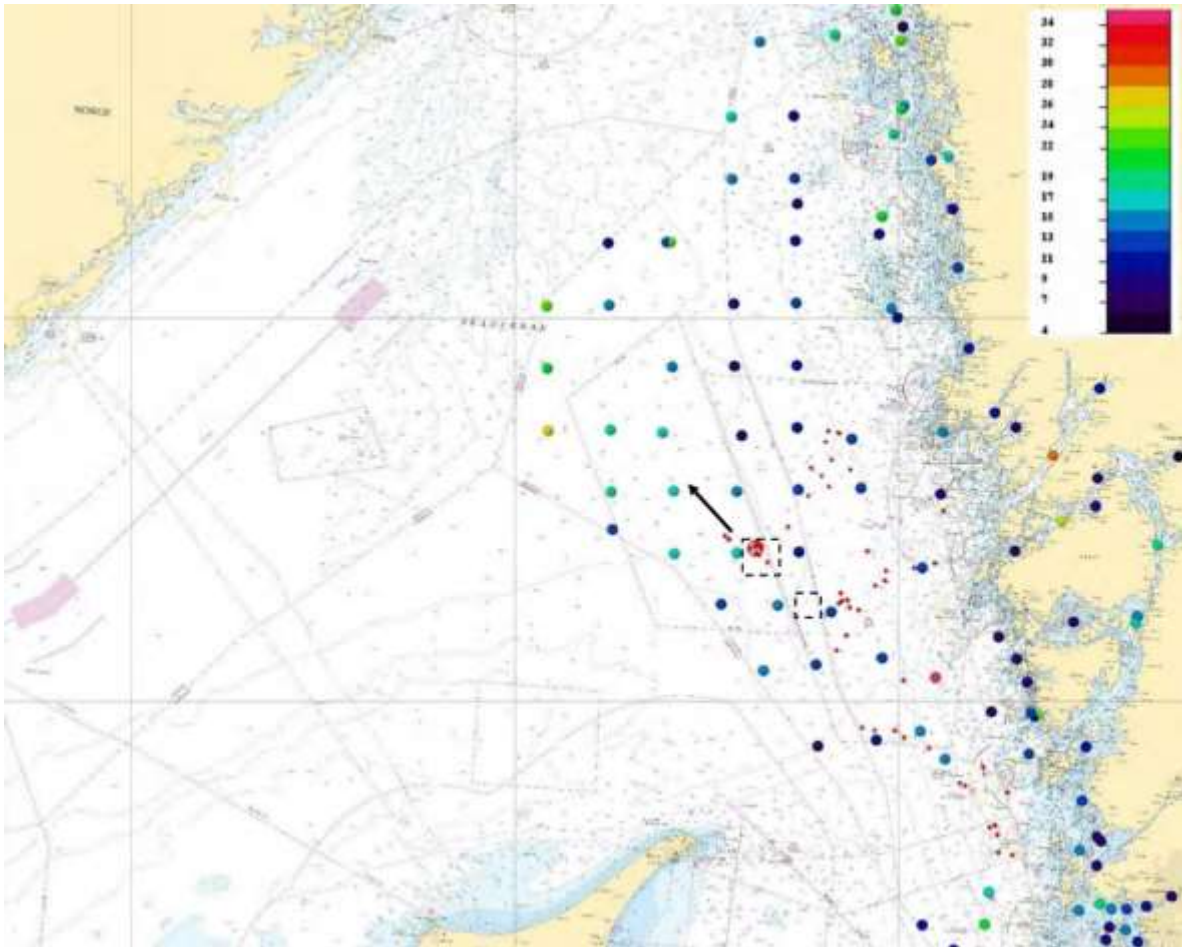
Undersökningsområde

Området som undersöktes i detta pilotprojekt ligger ca 36 sjömil väster om fyren Måseskär (Figur 1) utanför svenskt territorialvatten men inom den svenska ekonomiska zonen. Området började användas under våren 1946 för att sänka tyska örlogsfartyg som ett led i den tyska demilitariseringen. Dessa tros till att börja med inte ha varit lastade med kemiska stridsmedel, men obekräftade uppgifter gör gällande att två stora fartyg, *Monte Pascoal* och *Schwabenland* kan ha sänkts i området. Dessa tros ha varit lastade med uppskattningsvis 20,000 ton kemisk ammunition. Området uppmärksammades som ett dumpningsområde först efter arkivstudier av Laurin (1991) och har sedan dess genomgått flertalet undersökningar. Sjöfartsverket (2015) uppger att det finns motstridiga uppgifter kring dumpningen av kemiska stridsmedel i det aktuella området, men undersökningar av sedimenten i området har visat på förhöjda arsenikhalter nordväst om vraken (Figur 1) (Sjöfartsverket, 1992, 2015; Spiridonov and Zhamoida, 1999). De exakta positionerna för de sänkta fartygen har tidigare varit relativt ofullständiga men efter den utförda undersökningen 2015 (Sjöfartsverket 2015) finns nu ett stort antal exakta positionsangivelser att tillgå. Ett stort antal vrak har påträffats inom undersökningsområdet mellan 190 och 250 meters djup.

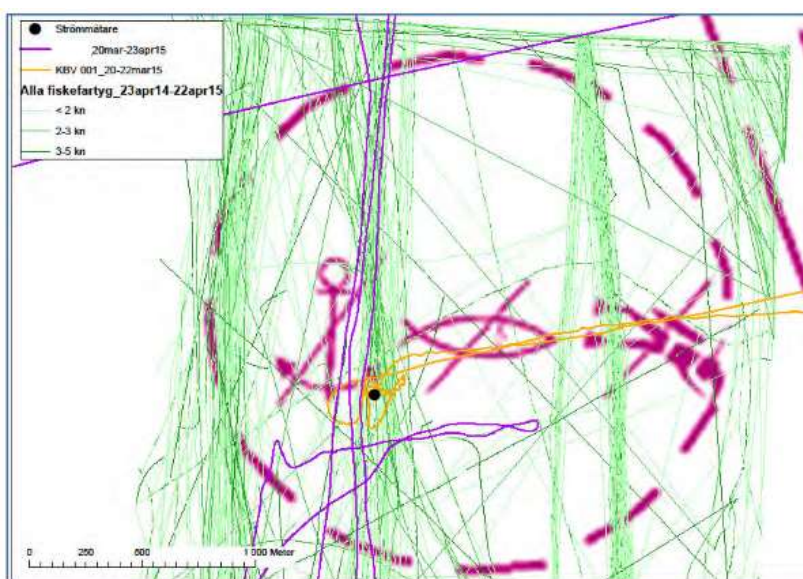
Vid undersökningarna i området utförda av Sjöfartsverket 2015 gjordes mätningar av de hydrologiska förhållandena kring vraken där ström, turbiditet, salthalt och syre mättes. Mätinstrumenten vid området trålades dock upp efter en månad av mätningar. I sjökortet varnas det för bottenaktiviteter såsom ankring, fiske och dykning i området. Inget fiskeförbud finns men ett omfattande trålfiske förekommer i området (Figur 2).

Vid Sjöfartsverkets undersökning 1992 detekterades senapsgas i små mängder i sedimenten (Sjöfartsverket 1992). Senare års undersökningar i SGUs nationella sedimentsprovtagningsprogram har även visat på kraftigt förhöjda arsenikhalter i sedimentet nedströms (nordväst) vrakområdet (Figur 1). Även ryska undersökningar har gjorts i området (Spiridonov and Zhamoida, 1999) i vilka förhöjda halter av arsenik konstaterades på vissa punkter i sedimentet. Detta ansågs bero på läckage av kemiska stridsmedel innehållande arsenik (Waleij 2001, Sjöfartsverket 2015). De ryska undersökningarna noterade även ett lägre pH i bottenvattnet, något som kan vara en effekt av pågående hydrolys av kemiska stridsmedel.

De toxiska ämnena som nu undersöks misstänks härstamma från vraken som legat mer eller mindre orörda i flera decennier. Den faktiska spridningen kan vara stor och eventuellt även fortgå i dagsläget som en konsekvens av genomrostning av granathöljerna. De höga arsenikhalterna i sedimenten nedströms området antyder också att en viss spridning förekommer. Även om merparten av läckande kemikalier förväntas ha begravts i sedimenten under de gångna åren så medför ett aktivt fiske med bottentrål att sedimenterat material virvlas upp i vattenmassan vilket ökar biotillgängligheten samt ökar spridningen genom transport med bottenströmmar.



Figur 1. Översiktskarta över SGUs nationella sedimentsprovtagningsprogram med arsenikhalten i ppm för varje station. Röda prickar är vrak som noterades under Sjöfartsverkets undersökning 2015. Den större streckade rutan visar dumpningsområdet utanför Måseskär medan den mindre streckade rutan visar referensområdet för garnfisket. Den svarta pilen visar den huvudsakliga strömriktningen vid botten som uppmättes av Sjöfartsverket (2015). Figuren är modifierad, med tillstånd, från Sjöfartsverket 2015.



Figur 2. Analyser av AIS-data (Automatic Identification System) från fiskerfartyg visar att frekvent trålning sker i dumpningsområdet. Figur från Sjöfartsverket 2015.

Metodik

Målarter

Vid val av målarter har fokus legat på arter av kommersiellt intresse såsom livsmedel, men även artens levnadssätt och födoval i kombination med hur utvecklat dess avgiftningssystem är, har varit av intresse. För både fisk och kräftdjur antas upptaget av aktuella ämnen ske huvudsakligen via födan och inte via vattnet. Under pilotundersökningen 2016 valdes torsk (*Gadus morhua*), rödtunga (*Glyptocephalus cynoglossus*), nordhavsräka (*Pandalus borealis*) samt havskräfta (*Nephrops norvegicus*) som målarter, men på grund av förändrad fångst blev justeringar nödvändiga. Svårigheterna att fånga havskräfta och nordhavsräka i området innebar att fokus delvis fick läggas på alternativa arter. Som komplement till havskräfta 2016 analyserades därför även valthornssnäckan (*Buccinum undatum*) och inom fiskarna analyserades även vitlinglyra (*Trisopterus esmarkii*) och gråsej (*Pollachius virens*). För den kompletterande undersökningen 2017 valdes därför fokus att läggas på de ursprungliga arter som inte analyserades 2016, så som juvenil torsk, plattfisk, nordhavsräka och havskräfta, samt pirål (*Myxine glutinosa*) som har visats påverkas av ämnen i sedimenten. Under 2017 sattes också ramar ut med blåmusslor (*Mytilus edulis*) i närheten av två utvalda vrak.

Fisk

De fiskarter som fångades och analyserades 2016 var torsk, vitlinglyra, gråsej och rödtunga. Under 2017 analyserades dessutom individer av pirål. Bland dessa är torsk den kommersiellt viktigaste men även de andra arterna har höga landningar och då framför allt i Skagerrak kring det aktuella området. Torsk är även en välstuderad art gällande dess ekologi, hälsa och utbredning. Hos fisk kan födoval variera beroende på ålder. Hos torsk förekommer ett skifte i födoval under olika levnadstadier där juvenil torsk (upp till ca 2,5 år) är predator på bottenfauna, medan adult torsk övergår till en mer fiskbaserad föda. Därmed ansågs det vara av vikt att skilja på adult och juvenil torsk vid analyser av de toxiska ämnena. Torsken är en art som är utpräglad områdestrogen och kan därför antas vara relativt stationär på de olika vraken (Robinchaud och Rose, 2004). På grund av torskens levnadssätt som demersal och bentopelagisk art anses riskerna att torsken kommer i kontakt med vraken och dess last vara stor.

Vitlinglyra och gråsej hör liksom torsken till familjen torskfiskar. Även vitlinglyran är en bentopelagisk art och söker föda både på botten och i pelagialen. Födan hos vuxna individer av vitlinglyra (10-20 cm) består i huvudsak av mindre kräftdjur, märkräftor och mindre fiskar. Gråsej har en mer varierad spridning i vattenmassan och kan uppehålla sig inomskärs såväl som utomskärs; vid botten, eller uppe i vattenmassan. Födan hos vuxna individer består i huvudsak av pelagisk och bentisk fisk, men också av mindre kräftdjur och andra evertebrater.

Plattfiskar som rödtungan är en utpräglad demersal fisk både gällande födoval och levnadssätt och får därför anses vara mycket utsatt för de ämnen som återfinns i sedimenten, varför den anses vara en viktig del av studien. Den ligger ofta nedgrävd i slammet på botten och äter främst ormstjärnor, kräftdjur, borstmaskar och musslor.

Pirål är en demersal fisk som lever nergrävd i mjukbotten och riskerar därmed att komma i kontakt med ämnen i sedimentet. Den äter as och andra lättfångade djur som den lokaliserar med lukt. Studier på maginnehåll har visat att huvudfödan består av räkor. Undersökningar gjorda inom

liknande projekt har detekterat oxiderade produkter av kemiska stridsmedel i vävnad hos pirål (DAIMON 2018).

Havskräfta

Havskräftan är en kommersiellt viktig art som lever stationärt på lerbottnar. Den lever i gångsystem ca 20-30 cm nere i sedimentet som den lämnar vid födosök och parning. Födan består i huvudsak av havsborstmaskar, ormstjärnor och fisk. Den har ett relativt svagt utvecklat avgiftningssystem vilket medför att man kan förvänta sig en högre risk av förhöjda halter i vävnaden hos havskräfta jämfört med fisk (Rand 1995).

Valthornssnäcka

Valthornssnäckan hör till de större marina snäckorna och är vanlig på mjukbottnar. Den lever på musslor, havsborstmaskar och kräftdjur men äter även as och detritus. Valthornssnäckan luktar sig till sin föda och är en vanlig besökare och till besvär i fångstutrustningar. Snäckorna fiskas dock aktivt på vissa platser i världen där de anses vara en delikatess. De är dock känsliga för föroreningar och kan lagra miljögifter i vävnaden.

Nordhavsräka

Nordhavsräkan är en av de viktigaste kommersiella arterna och fiskas aktivt inom det aktuella området. Nordhavsräkan finns på djup mellan 30–900 meter och uppehåller sig på mjuka ler- och gyttjebottnar. Vuxna individer lever framför allt nära botten men har också en dygnsstyrd vertikal migration i vattenmassan. Nordhavsräkan är ett vanligt bytesdjur för andra arter så som torsk, vitling, kolja, sej, pirål m.m. Födan för själva nordhavsräkan består av maskar och kräftdjur.

Blåmussla

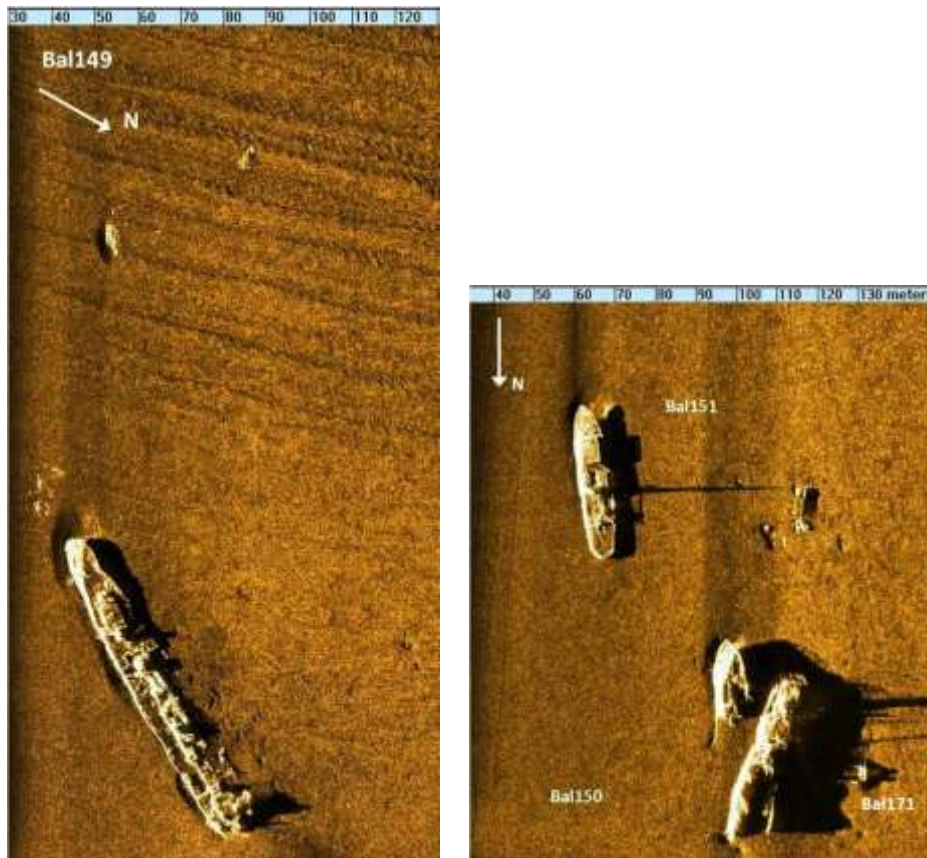
Blåmusslor är ett blötdjur som filtrerar vattenmassan på partiklar. De har stor kapacitet och kan filtrera flera liter i timmen. Blåmusslan är kommersiellt viktig och både fiskas och odlas för mänsklig konsumtion. De förekommer naturligt på hård- och mjukbottnar på 0–50 meters djup, men kan överleva på långt djupare miljöer. På grund av deras effektiva filtrering och snabba tillväxt används musslor framgångsrikt som indikatorarter för kemiska föroreningar i vattenmassan.

Provtagning

Undersökningen utfördes med två typer av undersökningsdesign där den ena är punktbaserad och avser att svara på frågeställningen huruvida fiskar och räkor vid utvalda vrak kan förväntas vara tjänliga för konsumtion. Här placerades även ramar med blåmusslor. Bland vraken i området valdes två ut som de objekt kring vilket fisket skulle ske. Dessa omnämns som Bal149 och Bal150 (Sjöfartsverket 2015) och är bland de största vraken i området (Figur 3). Fokus lades även på Bal153 under 2017 års musselutsättning.

Trålaktiviteten riskerar att sprida giftiga substanser och kontaminerat sediment utöver närområdet kring vraken, och då framför allt i strömriktningen. Därför användes också en andra mer områdesbaserad design med havskräfta och valthornssnäcka som målararter. Syftet med dessa båda

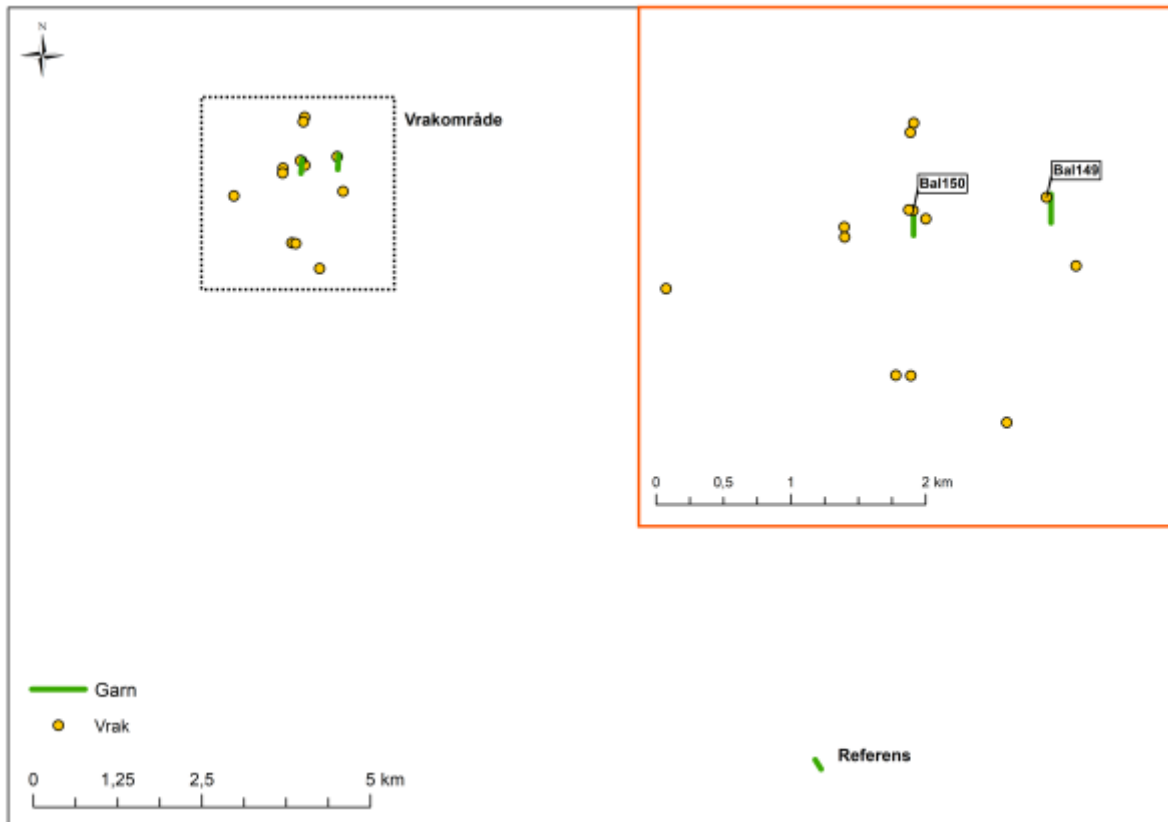
arter var att få en uppfattning om spridningen av stridsmedel i de undersökta områdena då båda arterna är relativt stationära.



Figur 3. Sjöfartsverket undersökte under 2015 området utanför Måseskär med högupplöst sidotittande sonar (Side Scan Sonar). På bilderna syns två av de vraken som det fokuserades på i denna undersökning, Bal149 och Bal151 (inklusive Bal150 och Bal171). Bal171 ligger i "skuggan" av den sönderbrutna Bal150. Figuren är hämtad från Sjöfartsverket (2015) och har, med tillstånd, modifierats.

Garnfiske

Det punktbaseade fisket skedde på torsk, rödtunga, vitlinglyra, gråsej och pirål genom garnfiske vid vraken Bal149 och Bal150 samt en referenslokal. Fångst med garn innebär hög säkerhet att bottenlevande individer fångas. Dessa anses ha större benägenhet att påverkas av eventuella föroreningar i sedimentet än pelagiska individer. Garnen hade en längd på ca 300 m och placerades så nära som möjligt parallellt med vraken (Figur 4). För fisket vid Bal150 hamnade garnen även nära de intilliggande vraken Bal151 och Bal171 och fångsten här går inte att härleda till enskilda vrak och dessa har därför behandlats tillsammans. Referensfisket skedde vid en punkt ca 12 sjömil sydöst om Bal149 och Bal150 där halterna av arsenik i sedimentet påvisats normala (Sjöfartsverket 2015).



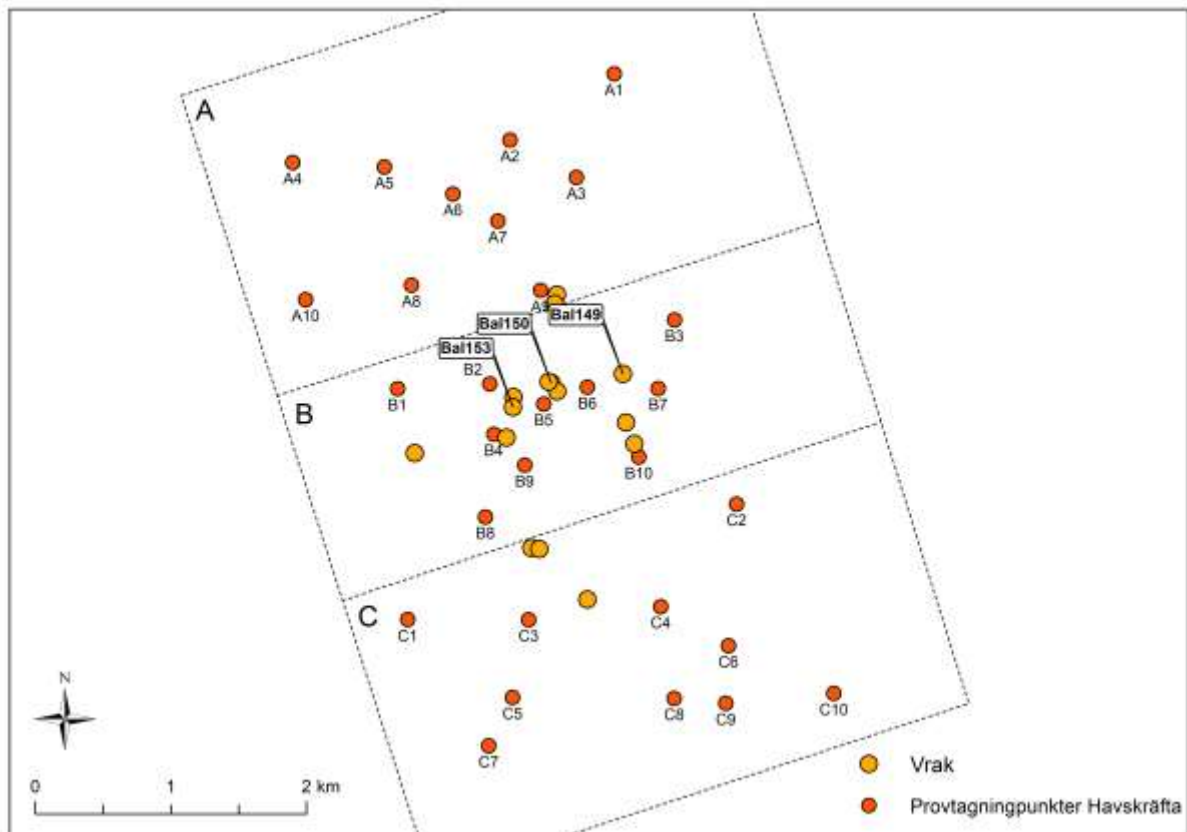
Figur 4. Karta över positionerna vid garnfisket efter torsk, rödtunga, vitlinglyra, gråsej och pirål. Varje garn (grön linje) stäcker sig ungefär 300 meter. De gula prickarna representerar positioner för noterade vrak; Bal150 och Bal149 är speciellt utmärkta. Figur av Marine Monitoring 2018.

Burfiske

Det områdesbaserade fisket skedde genom burfiske i form av kräftburar. Vrakområdet delades in i tre delområden; A, B och C (Figur 5). Delområde A ligger nedan den dominerande strömriktningen, B ligger bland huvuddelen av vraken och C ligger uppströms. Totalt 10 positioner planerades för varje delområde. Under undersökningen 2016 visade det sig att det intensiva kommersiella trålfisket vid vrakområdet försvårade kräftfisket och en del utrustning förlorades. Inför 2017 års fiske studerades fiskebeteendet hos den svenska och den danska fiskeflottan som uppehöll sig i området. Det visade sig att de svenska båtarna bedrev fiske mellan måndag-torsdag varje vecka med uppehåll under fredagarna och helgerna. Enstaka danska båtar kunde infinna sig i området i slutet av veckorna, men detta var relativt ovanligt. På grund av detta bedrevs kräftfisket mellan torsdag eftermiddag/kväll till och med söndag. Denna temporala begränsning av fisket, samt vädermässiga begränsningar innebar att det fanns relativt få lämpliga tillfällen för kräftfisket.

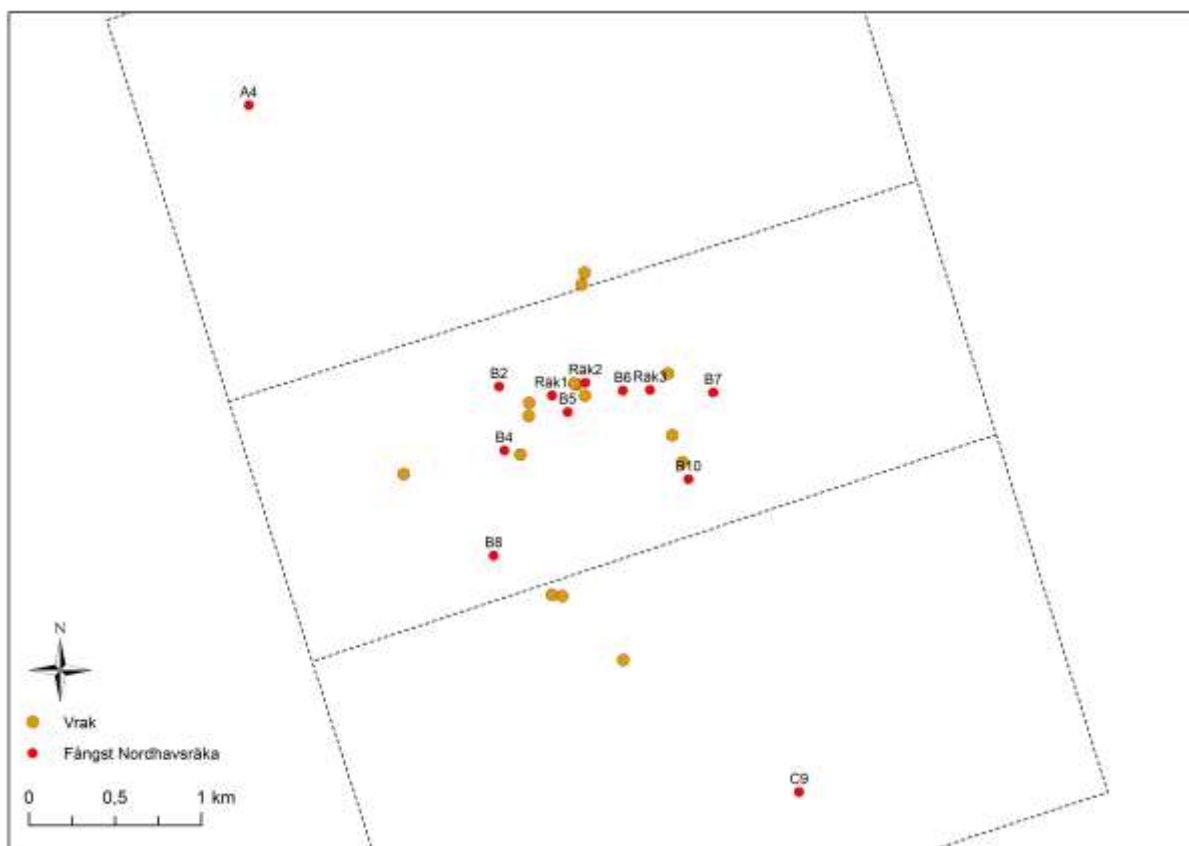
Under 2016 skedde fiske med kräftburar den 23-24 augusti (tisdag till onsdag). Varje ansträngning bestod av 1 länk med 6 burar, med totalt 15 länkar. Burarna sattes vid midnatt och togs upp ca tio timmar senare. Under tiden för fisket pågick ett intensivt kommersiellt trålfiske vid vrakområdet. Två länkar försvann under de 10 timmarna som de låg i, troligen på grund av trålfisket som bedrivits i området under natten. AIS (Automatic Identification System) kunde visa flertalet båtar som passerat nära och över positionerna för länkarna. De 13 länkar som fanns kvar gav endast en havskräfta i fångst, men flertalet valthornssnäckor per bur.

Under 2017 gjordes en större ansträngning och kräftfisket genomfördes under två fiskeperioder mellan juli och september, med tre dagars fiske under varje försök. Under en fiskeperiod tilläts länkarna att ligga ute under två dygn på grund av dåligt väder dag två. Dock gav den längre perioden inte någon utökad fångst, i enlighet med kräftfiskarens erfarenhet om att majoriteten av kräftorna går in i burarna under första dygnet och resterande under andra dygnet. Efter andra dygnet sker vanligtvis ingen ytterligare fångst (personlig kommunikation med kräftfiskare).



Figur 5. Karta över de tre delområdena A, B och C i vilket det områdesbaserade fisket efter havskräfta och valthornssnäcka utfördes. De röda prickarna representerar positionen för de olika länkarna. De gula prickarna representerar positioner för noterade vrak; Bal150, Bal149 och Bal153 är speciellt utmärkta. Figur av Marine Monitoring 2018.

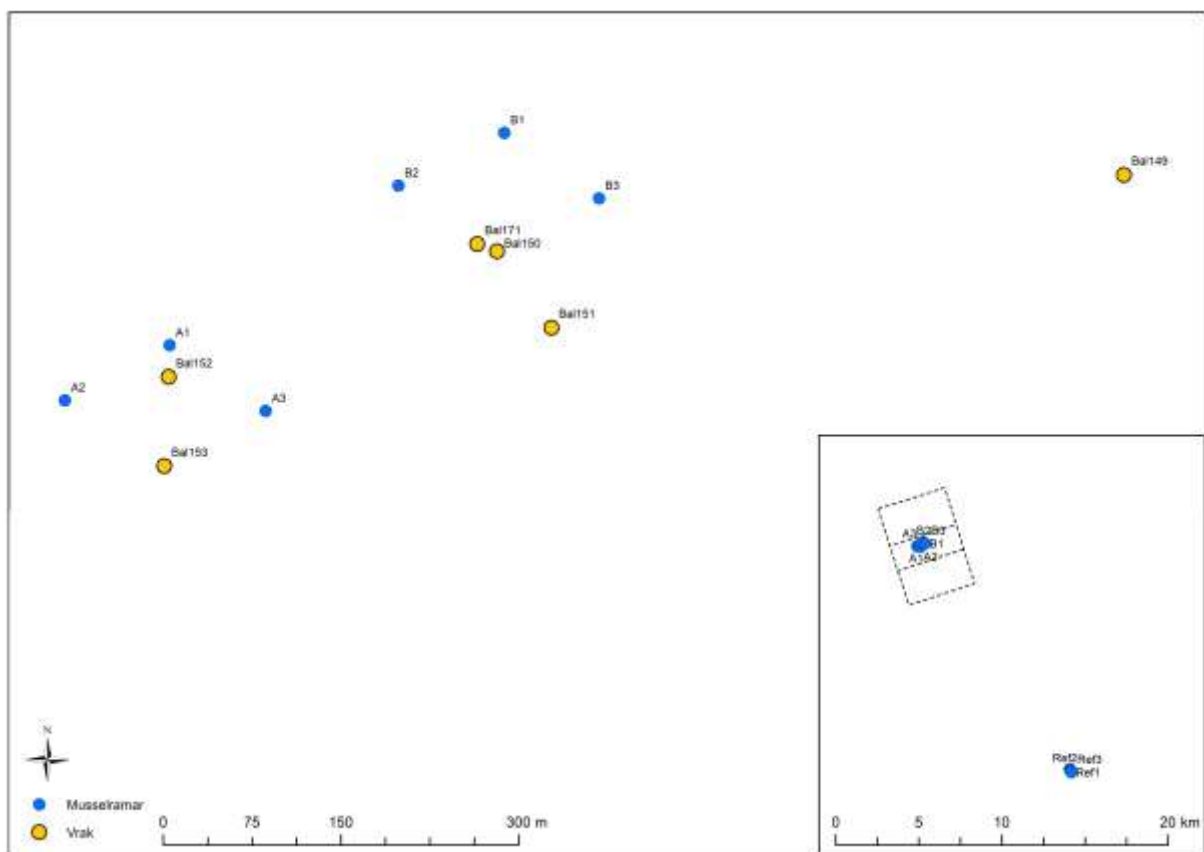
Fiske efter nordhavsräka utfördes 2017 i anslutning till vraken. Tidigare filmningar med ROV både 1992 och 2015 visade att stora mängder räka fanns i området. Sex räkburar placerades inom området kring Bal149, Bal150 och Bal153 (Figur 6) i par av två i tre länkar. Under 2017 fångades även räkor i kräftburarna vilka också analyserades. De länkar som innehöll nordhavsräka var i huvudsak inom område B.



Figur 6. Karta över de tre delområdena A, B och C i vilket det områdesbaserade fisket utfördes. De röda prickarna representerar positionen för de olika kräftlänkarna som innehöll nordhavsräkor samt de tre länkarna av räkburar Räk1-3. De gula prickarna representerar positioner för noterade vrak. Figur av Marine Monitoring 2018.

Musselramar

För att undersöka eventuellt läckage av ämnen till vattenmassan, både i löst form och adsorberade till partiklar i vattnet, placerades nio ramar med ca 60 musslor per ram ut vid två vrak (BAL153 och BAL150) och ett referensområde. Musslorna kom från kommersiella odlingar utanför Orust. Tre ramar sattes ut på varje station (Figur 7). Ramarna placerades 2 meter ovanför botten och musslorna tilläts filtrera den närliggande vattenmassan under 51 dagar (40 dagar för referensramarna som togs upp tidigare på grund av svårigheter vid upptag). Musslorna undersöktes sedan genom vävnadsanalys och analys av lysosomal membranstabilitet (LMS).



Figur 7. Karta över de utsatta musselramarna. Inom vrakområdet placerades tre ramar kring Bal153 (A1-A3) och tre ramar kring Bal150 (B1-B3). Infogat nere till höger är en översiktskarta över vrakområdet samt referensområdet i vilket 3 referensramar sattes (Ref1-Ref3). De gula prickarna representerar positioner för noterade vrak. Figur av Marine Monitoring 2018.

Analys

De kemiska substanserna som prioriterades i denna studie valdes ut efter diskussioner och i samarbete med Försvarets forskningsinstitut (FOI) och Finnish Institute for Verification of the Chemical Weapons Convention vid Helsingfors Universitet (VERIFIN). VERIFIN motiverar analyserna enligt nedan: *”Senapsgas reagerar med biomolekyler ex. proteiner och bildar stabila addukter. I detta projekt valdes hemoglobinaddukter som en målmolekyl beroende på dess detekterbarhet under rel. lång tid. Arsenikinnehållande stridsmedel (Adamsite, Clark I and II, Triphenyl arsine) vilka kan ha dumpats utanför Måseskär hydrolyseras och/eller oxideras i havsvattnet och bildar oxiderade produkter”.*

De kemiska analysmetoderna och resultaten har redovisats i en rapport av VERIFIN (Appendix I och II).

De ämnen som analyserades i vävnad från biota från området är:

- Oxidationsprodukt av Adamsite, DMox,
- Oxidationsprodukt av Clark I and II, DAox,
- Oxidationsprodukt av trifenyarsine, TPAox,
- Hemoglobinaddukt av senapsgas, N-HETE-Val

Dessutom analyserades även antracen i ett antal fiskleverprover under 2016. Antracen ingick i vissa granater med förtjockad senapsgas som man tillverkade med antracenolja som utvanns från trätjära. Antracen tillhör gruppen polycykliska aromatiska kolväten (PAH:er) och har såvitt känt inte tidigare undersökts i dessa sammanhang. Av denna anledning analyserades leverprover av torsk och rödtunga med avseende på PAH:er, dessa analyser utfördes av det ackrediterade laboratoriet ALS Scandinavia AB. Under 2017 års undersökning analyserades inte antracen på grund av att de föregående årets analyser av antracen inte visade på förekomst.

Hos djur är levern ett viktigt organ där avgiftning och ackumulering av miljögifter huvudsakligen sker. Också muskelvävnad är viktig att undersöka då det är den del av fisken som vanligen konsumeras av människan samt att det i musklerna kan ske en ackumulering av vissa typer av ämnen. Fångsten vid vrakfisket uppdelades 2016 i ett samlingsprov per art och per vrak, exempelvis ett prov med vävnader och ett med blod från samtliga torskar vid Bal149. Överflödiga vävnader och blod frystes in för eventuellt framtida kompletterande analyser. Vid områdesfisket 2016 räknades varje område A, B och C som var sitt prov, där 4 individer av valthornsnäckor per område ingick. Den enstaka havskräftan som fångades utgjorde ett eget prov, liksom ett sedimentprov. Vid områdesfisket 2017 inom område A, B och C räknas varje ansträngning (kräftlänk) som ett eget prov. Vid analys av infångade räkor bereds ett samlingsprov av samtliga individer i varje ansträngning (par av räkburar och enskild kräftlänk). Proverna skickades efter infrysning till VERIFIN, för kemisk analys. För detaljer kring analysen se VERIFINs rapport från 2016 och 2017 i Appendix I och II.

Lysosomal membranstabilitet

Musslorna undersöktes genom analys av lysosomal membranstabilitet. Lysosomer är subcellulära organeller med ett semipermeabelt membran och finns i de flesta eukaryota celler. Lysosomerna kan ha olika funktion i olika organismer och vävnader, men de är alltid involverade i nedbrytning av material som kommit in i cellen (Moore et al. 2006). De kan ackumulera en mängd toxiska ämnen, däribland PCB:er, PAH:er och metaller. Koncentrationen av toxiska ämnen resulterar i att

lysosomernas membran försvagas och innehållet läcker ut i cytosolen. Lysosomal membranstabilitet används som biomarkör och indikator för stress orsakat av föroreningar. Förändringar i cellernas förmåga att ta upp ett tillsatt färgämne (neutralrött) används som en indikator på cellskador. Friska och opåverkade celler kan ta upp och behålla mer färgämne under längre tid än celler påverkade av föroreningar.

Analysen utfördes enligt internationellt accepterad metodik (ICES 2015). Inför analyserna förbereddes en stamlösning som användes till samtliga stationer. Stammlösningen innehåller färgämnet neutralrött utspätt med dimetylsulfoxid (DMSO). Inför varje analys späddes stamlösningen med filtrerat havsvatten från respektive station. Tolv musslor från varje station analyserades, fyra från varje ram. Inför analysen blandades stamlösningen med blod från musslorna och pipetterades på objektglas. Objektglaset analyserades för lysosomala avvikelser och läckage. Analysen bygger på två metoder, där den ena utgår från den specifika musslans retentionstid (RT) och den andra från poängsättning av lysosomernas påverkansgrad (% LMS). För respektive station beräknades ett medelvärde för RT och % LMS, detta värde avgör vilken status stationen får i avseende på stresspåverkan hos musslorna. Musslorna som användes till analyserna var i genomsnitt 7 cm i storlek.

Analys av retentionstid (RT)

Vid avläsning av proverna fastställdes den tid då över 50 procent av lysosomerna uppvisade någon form av avvikelse eller läckage. Då tiden för detta observerats fastställdes den senaste tid då över 50 procent av lysosomerna ej visade någon avvikelse eller läckage och angavs som den specifika musslans RT. För att säkerställa att resultatet inte påverkats av för hög exponering av ljus eller annan felhantering analyserades därefter kontrollen som legat avskild i separat fuktkammare.

Observationer som räknades som avvikelser var:

- Lysosomal förstoring
- Färgläckage
- Avrundning av celler

Analys via poängsättning (% LMS)

Metoden utgår från ovanstående analys av RT, men fokus läggs på att poängsätta olika former av avvikelser. Denna metod ger ofta mer information om stationen då en viss typ av avvikelser kan vara att betrakta som kraftigare än andra. Därigenom kan man även påvisa skillnader i påverkansgrad mellan stationer med samma RT. Varje avläsning av ett prov ger en poäng mellan 0-5 där 0 motsvarar avsaknad av avvikelser eller läckage. Vid avläsningar där över 50 procent avvikelser observeras poängsätts lysosomernas utseende beroende på den dominerande avvikelsen enligt följande;

- 0p - Ingen effekt
- 1p - Förstoring men inget läckage
- 2p - Läckage men ingen förstoring
- 3p - Läckage och förstoring
- 4p - Läckage och förstoring men färglösa lysosomer
- 5p - Avrundning och fragmentering av celler

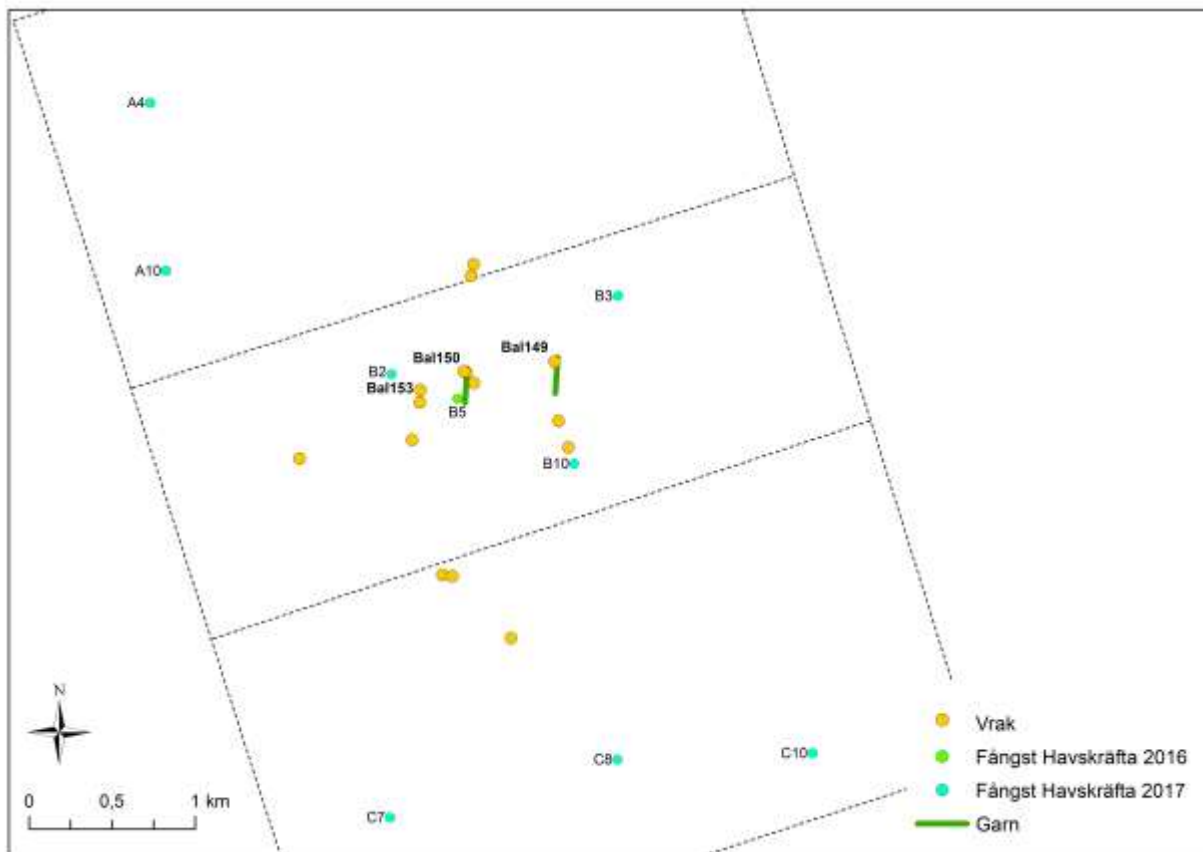
Poängsättningen av respektive mussla under analystiden användes för att beräkna den specifika musslans slutliga kondition (% LMS). De olika poängen som ges under analysen kan indikera förekomster av olika föroreningar. Hög förekomst av lysosomala förändringar enligt poäng 1 och 3 kan till exempel indikera exponering av PCB, medan poäng 5 indikerar påverkan av metaller.

Resultat

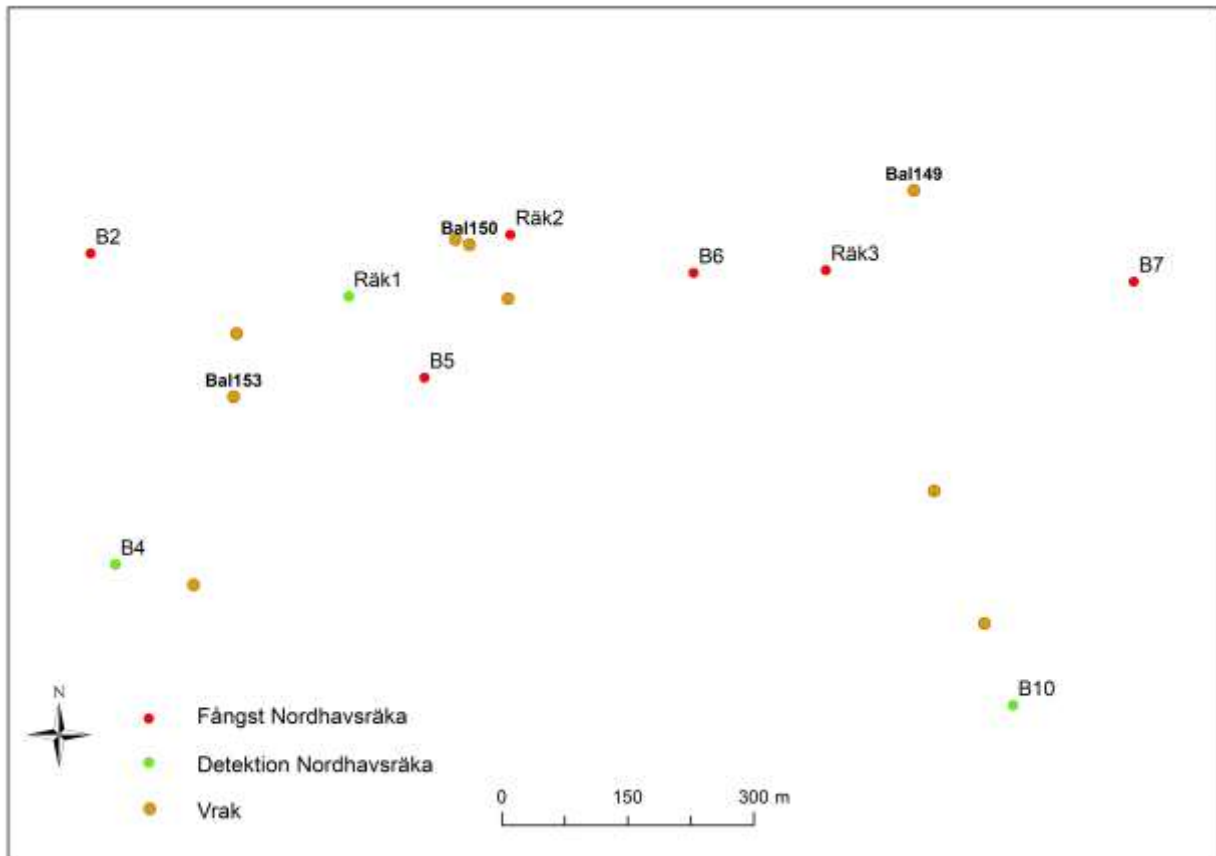
Av totalt 20 insamlade prover 2016 analyserades 14 prover innehållande vävnad från havskräfta, valthornssnäcka, rödtunga, torsk, vitlinglyra och gråsej samt ett sedimentprov, med avseende på nedbrytningsprodukter av Adamsit (DAox), Clark I och II (DAox) och Trifenylarsin (TPAox). Vidare analyserades även fem prover med blod från fisk med avseende på N-HETE-Val vilket är en biomarkör för exponering av senapsgas. Därtill har även antracen analyserats i fem leverprover. VERIFIN fann i sina analyser 2016 oxiderade former av Clark I och II i vissa vävnadsprover från havskräfta och rödtunga (Tabell 1). Havskräftan och rödtungorna fiskades vid vrak BAL149 respektive BAL150 (Figur 8). Inga nedbrytningsprodukter från kemiska stridsmedel detekterades i de övriga vävnads-, blod- eller sedimentproverna.

2017 analyserades 35 prover innehållande muskelvävnad från havskräfta, nordhavsräka, pirål, och blåmussla med avseende på nedbrytningsprodukter av Adamsit (DAox) och Clark I och II (DAox) och Trifenylarsin (TPAox). Tre av de analyserade proverna från nordhavsräka innehöll oxiderade former av Clark I och II (Figur 9). Halterna låg under kvantifieringsgränsen (Tabell 2). Inga nedbrytningsprodukter från kemiska stridsmedel detekterades i de övriga vävnadsproverna.

Avseende analys av PAH:er 2016, däribland antracen, i lever var det endast naftalen och fenantren som kunde detekteras och endast i ett fåtal av proverna (Tabell 3). Naftalen och fenantren härrör inte från tillverkning av kemiska stridsmedel utan sannolikt från oljerester och således kunde inga ämnen detekteras i leverproverna som kan härledas till vapen innehållande senapsgas. Det bör dock påtalas att den höga fetthalten i leverproverna har orsakat relativt höga detektionsgränser.



Figur 8. Karta över de tre delområdena A, B och C i vilket det områdesbaserade fisket utfördes. Den gröna pricknen representerar positionen för fångsten av havskräfta år 2016 medan de turkosa prickarna representerar positionerna för fångsten av havskräfta år 2017. De gula prickarna representerar positioner för noterade vrak, Bal150, Bal149 och Bal153 är speciellt utmärkta. De gröna linjerna representerar garnen som lades vid garnfisket varav den östra tangerar Bal149 och den västra går bredvid Bal150. Figur av Marine Monitoring 2018.



Figur 9. Fångst vid räkfisket, inzoomat från Figur 6. Röda prickar representerar lokaler med fångst av nordhavsräkor, från kräftfisket eller räkburfisket. Gröna prickar representerar lokaler där fångsten innehöll oxiderade former av Clark I och II. De gula prickarna representerar positioner för noterade vrak, Bal150, Bal149 och Bal153 är speciellt utmärkta. Figur av Marine Monitoring 2018.

Tabell 1. Resultat för analys av nedbrytningsprodukter från kemiska stridsmedel i vävnad från fisk, havskräfta och valthornssnäcka och i fiskblod samt sediment 2016. Analyserna utfördes vid Finnish Institute for Verification of the Chemical Weapons Convention, Department of Chemistry A.I, Finland (VERIFIN).

VERIFIN kod	MMAB kod	Art	Behandling	DMox (ng/g)	DAox (ng/g)	TPAox (ng/g)	N-HETE-Val
3143	Nephrops	Havskräfta	Vävnad	NF	29 ± 38 (n=3) *	NF	—
3144	A	Valthornssnäcka	Vävnad	NF	NF	NF	—
3145	B	Valthornssnäcka	Vävnad	NF	NF	NF	—
3146	C	Valthornssnäcka	Vävnad	NF	NF	NF	—
3147	Bal149CT	Torsk	Vävnad	NF	NF	NF	—
3148	Bal150CT	Torsk	Vävnad	NF	NF	NF	—
3149	RefCT	Torst	Vävnad	NF	NF	NF	—
3150	Bal149CB	Torsk	Blod	—	—	—	NF
3151	Bal150CB	Torsk	Blod	—	—	—	NF
3152	Ref CB	Torsk	Blod	—	—	—	NF
3153	Bal149FT	Rödtunga	Vävnad	NF	5.6 (n=1)	NF	—
3154	Bal150FT	Rödtunga	Vävnad	NF	4.7±3.3 (n=2)	NF	—
3155	Bal149FB	Rödtunga	Blod	—	—	—	—
3156	Bal150TT	Vitlinglyra	Vävnad	NF	NF	NF	—
3157	RefTT	Vitlinglyra	Vävnad	NF	NF	NF	—
3158	Bal149ST	Gråsej	Vävnad	NF	NF	NF	—
3159	Bal150ST	Gråsej	Vävnad	NF	NF	NF	—
3160	RefST	Gråsej	Vävnad	NF	NF	NF	—
3161	Bal150SB	Gråsej	Blod	—	—	—	—
3162	Bal149Sed	Sediment	Sediment	NF	NF	NF	—

NF = ingen detektion, under LOQ

— = Ej analyserat

*= ett prov med vävnad från klo i stället för stjärten.

Tabell 2. Resultat för analys av nedbrytningsprodukter från kemiska stridsmedel i vävnad från havskräfta, fisk, nordhavsräka och blåmussla 2017. Analyserna utfördes vid Finnish Institute for Verification of the Chemical Weapons Convention, Department of Chemistry A.I, Finland (VERIFIN).

VERIFIN kod	MMAB kod	Art	Behandling	Dmox (pg/g)	Daox (pg/g)	TPAox (pg/g)
4252	KA4	Havskräfta	Vävnad	NF	NF	NF
4253	KA10	Havskräfta	Vävnad	NF	NF	NF
4254	KB2	Havskräfta	Vävnad	NF	NF	NF
4255	KB3	Havskräfta	Vävnad	NF	NF	NF
4256	KB10	Havskräfta	Vävnad	NF	NF	NF
4257	KC7	Havskräfta	Vävnad	NF	NF	NF
4258	KC8	Havskräfta	Vävnad	NF	NF	NF
4259	KC10	Havskräfta	Vävnad	NF	NF	NF
4260	KREF	Havskräfta	Vävnad	NF	NF	NF
4261	RA4	Nordhavsräka	Vävnad	NF	NF	NF
4262	RB2	Nordhavsräka	Vävnad	NF	NF	NF
4263	RB4	Nordhavsräka	Vävnad	NF	+	NF
4264	RB5	Nordhavsräka	Vävnad	NF	NF	NF
4265	RB6	Nordhavsräka	Vävnad	NF	NF	NF
4266	RB7	Nordhavsräka	Vävnad	NF	NF	NF
4267	RB8	Nordhavsräka	Vävnad	NF	NF	NF
4268	RB10	Nordhavsräka	Vävnad	NF	+	NF
4269	RC9	Nordhavsräka	Vävnad	NF	NF	NF
4270	RBal153	Nordhavsräka	Vävnad	NF	NF	NF
4271	RBal717	Nordhavsräka	Vävnad	NF	NF	NF
4272	Räk1	Nordhavsräka	Vävnad	NF	+	NF
4273	Räk2	Nordhavsräka	Vävnad	NF	NF	NF
4274	Räk3	Nordhavsräka	Vävnad	NF	NF	NF
4275	RREF	Pirål	Vävnad	NF	NF	NF
4276	Pir	Pirål	Vävnad	NF	NF	NF
4277	Rpir	Pirål	Vävnad	NF	NF	NF
4278	Platt	Rödtunga	Vävnad	NF	NF	NF
4279	MA1	Blåmussla	Vävnad	NF	NF	NF
4280	MA2	Blåmussla	Vävnad	NF	NF	NF
4281	MA3	Blåmussla	Vävnad	NF	NF	NF
4282	MB1	Blåmussla	Vävnad	NF	NF	NF
4283	MB2	Blåmussla	Vävnad	NF	NF	NF
4284	MB3	Blåmussla	Vävnad	NF	NF	NF
4285	MREF	Blåmussla	Vävnad	NF	NF	NF
4286	Mnoll	Blåmussla	Vävnad	NF	NF	NF

NF = ingen detektion, under LOQ

Tabell 3. Analysresultat för polycykliska aromatiska kolväten (PAH) i fisklever. Endast naftalen och fenantren gav detektion och då endast i ett fåtal av proverna. Naftalen och fenantren härrör inte från tillverkning av kemiska stridsmedel utan sannolikt från oljerester och således kunde inga ämnen detekteras i leverproverna som kan härledas till vapen innehållande senapsgas. Analyserna utfördes av ALS Scandinavia AB.

MATRIS; LEVER	Enhet	Torsk BAL149	Torsk BAL150	Torsk ref	Rödtunga BAL149	Rödtunga BAL150	Rödtunga ref
TS	vikt-%	38,8	59,4	59,5	33,8	33,1	31,2
Våtvikt	g	14,25	50,11	122,2	14,4	2,58	40,44
naftalen	mg/kg	<0,030	0,033	<0,010	<0,020	<0,020	<0,020
acenaftylen	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,010	<0,0050	<0,0050	<0,0050
acenaften	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,010	<0,0050	<0,0050	<0,0050
fluoren	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,010	<0,0050	<0,0050	<0,0050
fenantren	mg/kg	<0,0050	0,0069	<0,010	<0,0050	<0,0050	0,01
antracen	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,010	<0,0050	<0,0050	<0,0050
fluoranten	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,010	<0,0050	<0,0050	<0,0050
pyren	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,010	<0,0050	<0,0050	<0,0050
bens(a)antracen	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,010	<0,0050	<0,0050	<0,020
krysen	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,010	<0,0050	<0,0050	<0,0050
bens(b)fluoranten	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,010	<0,0050	<0,0050	<0,0050
bens(k)fluoranten	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,010	<0,0050	<0,0050	<0,0050
bens(a)pyren	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,010	<0,0050	<0,0050	<0,0050
dibenso(ah)antracen	mg/kg	<0,0050	<0,010	<0,010	<0,010	<0,020	<0,020
benso(ghi)perylen	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
indeno(123cd)pyren	mg/kg	<0,0050	<0,0050	<0,010	<0,010	<0,010	<0,020
summa 16 EPA-PAH	mg/kg	<0,05	0,0399	<0,08	<0,055	<0,06	0,01
PAH cancerogena	mg/kg	<0,02	<0,02	<0,035	<0,02	<0,03	<0,04
PAH, summa övriga	mg/kg	<0,04	0,0399	<0,045	<0,03	<0,03	0,01

Lysosomal membranstabilitet

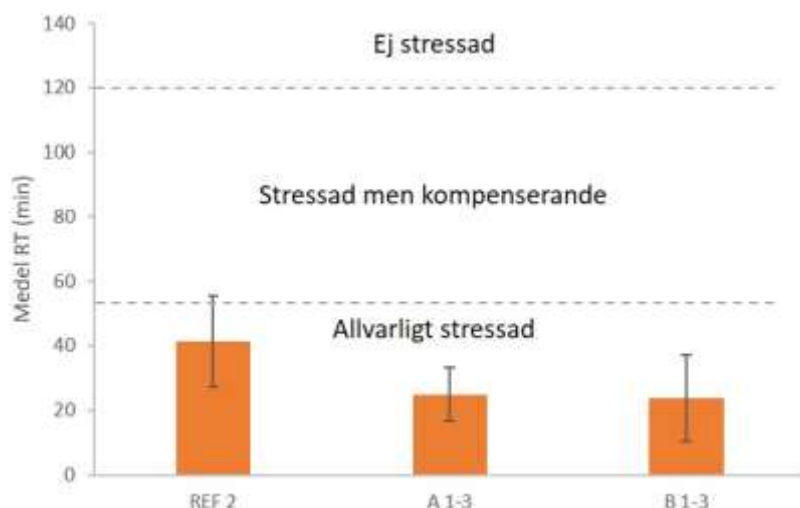
Analys av lysosomal stabilitet ger för respektive station två olika parametrar; retentionstid (RT) och poängsättning enligt % LMS. Analys har utförts på 12 individuella musslor från varje station för vilka ett medelvärde för de olika parametrarna räknats ut.

Retentionstid

På referensstationen var medelretentionstiden 41 minuter, på station A var den 25 minuter och på station B 24 minuter (Figur 10). Detta placerar musslor från alla tre stationer inom klassificeringen ”allvarligt stressade”.

Poängsättning enligt % LMS

Bedömningen av poäng enligt % LMS indikerar påverkan av ämnen såsom PCB:er vid referenslokalen och påverkan av metaller vid de två vrakstationerna. När det gäller användning av poängsättningen inom LMS för att tolka vilket ämne som kan vara orsaken till stressen så bör detta dock göras med försiktighet och bara användas som en indikation.



Figur 10. Retentionstid (RT) för provtagna lokaler 2017 (n=12, ±konfidensintervall). Figur av Marine Monitoring 2018.

Diskussion

Flera nedbrytningsprodukter från kemiska stridsmedel har visat sig vara riskabla för mänsklig konsumtion. Ishizaki m.fl. (2004) beskrev en situation där dricksvattnet i staden Kamusu, Japan innehöll höga arsenikhalter, bland annat difenylarsinsyra som också detekterats i denna pilotstudie. Befolkningen upplevde en rad skadliga symptom i form av skador på nervsystemet, svårighet för artikulerat uttal, sömnlöshet, minnesförlust, svårigheter att gå m.m. Förgiftningen ledde också till ökad dödlighet hos husdjur så som hundar och marsvin. Arsenikhalterna var dock avsevärt högre än de som uppmätts i denna undersökning. Inom det marina området har Sanderson m.fl. (2009) modellerat kring kemiska stridsmedel och vilka hälsorisker som finns vid konsumtion av fisk från dumpningsområden, i det här fallet från Östersjön. Modelleringen utgår från parametrar såsom koncentrationen av ämnet i sedimentet, fettlösligheten, ackumuleringspotentialen samt en antagen giftighetsgrad hos substansen. Resultatet från modelleringen visade att det fanns en liten risk vid konsumtion av fisk från området. Störst hälsorisker visades för trifenylarsin följt av senapsgas och arsenikinnehållande stridsmedel såsom Clark I och Adamsit.

Last med ammunition innehållande senapsgas har tidigare verifierats bland vraken i det aktuella området. Thiodiglykol, vilket är en nedbrytningsprodukt av senapsgas, har påvisats i sedimentet (Sjöfartsverket, 1992; HELCOM 1996). Senare återfanns även höga arsenikhalter i området (SGU, Sjöfartsverket, 2015, Spiridonov and Zhamoida, 1999) vilket antyder att även någon annan typ av kemiskt stridsmedel eller förtjockad senapsgas funnits bland lasten. Det nu redovisade resultatet från VERIFINs analyser visar närvaro av oxidationsprodukten difenylarsinsyra i vävnaden hos fisk respektive havskräfta (2016) samt i samlingsprov av nordhavsräka från tre provtagningspunkter (2017). Halterna är dock mycket låga och detekterade i endast ett fåtal prover. Difenylarsinsyra är en oxidationsprodukt från Clark I eller II dvs. kemiska stridsmedel som tidigare inte påvisats förekomma i området. Då både Clark I och II innehåller arsenikföreningar kan detta vara anledningen till de höga halterna av arsenik i sedimenten kring och nedströms vrakområdet.

De individer i vilka spår av kemiska stridsmedel har bekräftats hör till arterna havskräfta, rödtunga och nordhavsräka (Figur 11 och 12). Dessa arter är typiskt demersala organismer som lever och hämtar sin föda i och på sedimentet. Deras levnadssätt innebär att de är utsatta för ämnen som finns i sedimentet och är i riskzonen att påverkas vid närvaro av kemiska stridsmedel. De är också viktiga kommersiella arter och konsumeras flitigt av människan. Enligt Livsmedelsverket (Salomon Sand, personlig kommunikation) medför de uppmätta koncentrationerna ingen ökad hälsorisk vid konsumtion, men det faktum att rester av kemiska stridsmedel har detekterats alls kvarstår. Huruvida det finns individer med högre koncentrationer går inte att utesluta. Inga nedbrytningsprodukter av stridsmedel kunde däremot upptäckas i valthornssnäcka, vitlinglyra, gråsej, torsk, pirål eller blåmusslor. Vitlinglyra och torsk är båda relativt demersala fiskarter men uppehåller sig inte i sedimentet på samma sätt som havskräftan och rödtungan. Gråsej förväntas på grund av sin pelagiska natur inte utsättas i samma utsträckning för eventuella rester av kemiska stridsmedel som övriga provtagna arter. Valthornssnäckan och pirålen däremot är organismer som lever på och i sedimentet men trots detta kunde inga rester detekteras i dessa arter. En orsak till detta för valthornssnäckan kan vara en utspädningseffekt i samlingsprovet eller arts specifika skillnader men troligen beror detta på fläckvis förekomst av CWA i sedimenten. Pirål har i andra studier visats innehålla nedbrytningsprodukter av kemiska stridsmedel, men detta har inte påvisats i de vävnadsprover som har analyserats inom denna studie. Dock så bestod fångsten bara av en individ så för att verkligen kunna utesluta möjligheten borde fler individer analyserats. Dock inleddes pirålsfisket sent på undersökningen och genomfördes endast vid en ansträngning.

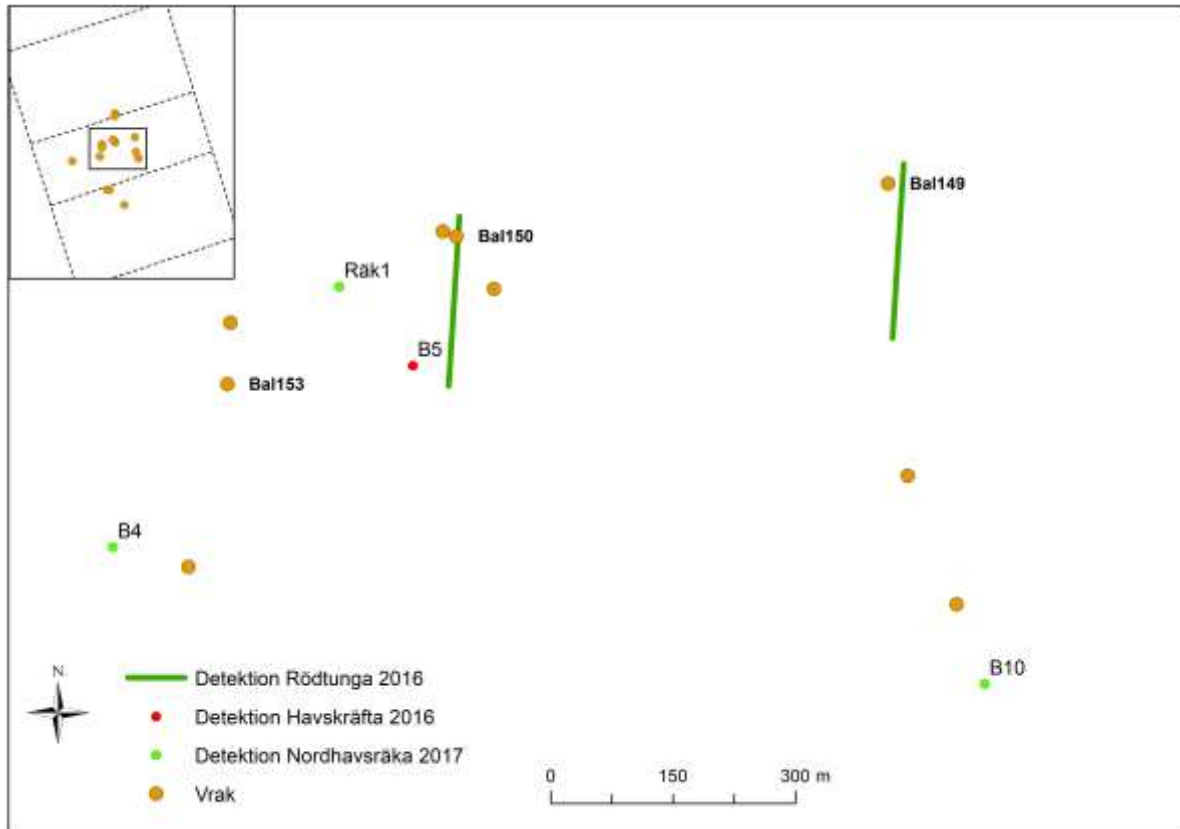
Skaldjur och plattfisk kan naturligt innehålla relativt höga halter av organiska arsenikföreningar (Perschagen och Vahter, 1979). Det är dock ingen risk att de ämnen som detekterats skulle komma från de naturligt förekommande ämnena. Den kemiska strukturen av Clark I och II och dess nedbrytningsprodukter är så specifik att det inte är möjligt för de naturligt förekommande ämnena att omvandlas till dessa.

Inga onormala halter av polyaromatiska kolväten (PAH:er) kunde detekteras i något prov som analyserades 2016 och de låga värden som erhöles härrör sannolikt från oljerester som allmänt förekommer i Skagerraks botten sediment (Förlin *et al.*, 1996).

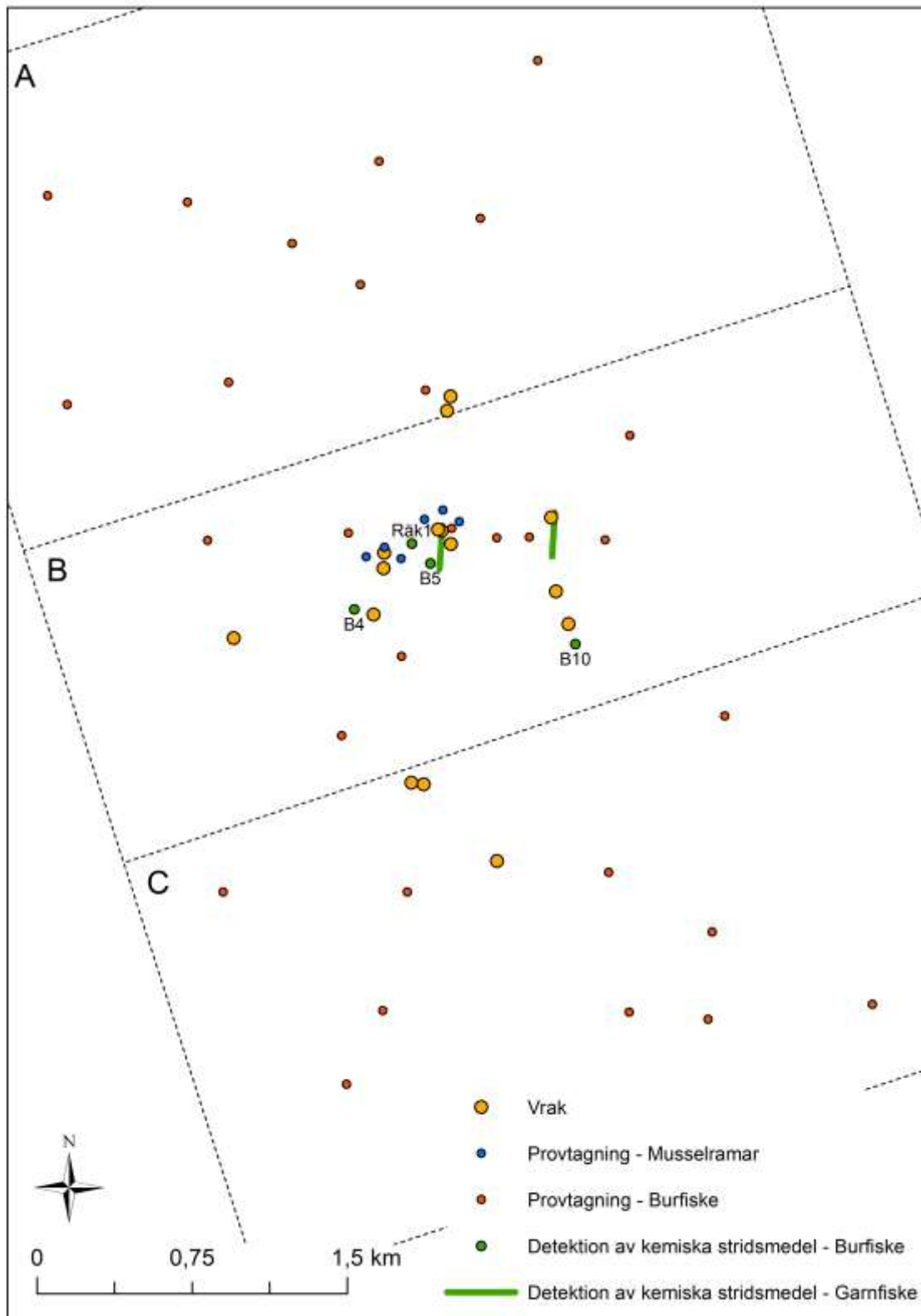
Resultaten av LMS-analysen visade att musslorna från både referensstationen och de två vrakstationerna klassades som "allvarligt stressade". Inga spår av kemiska stridsmedel kunde detekteras i blåmusslorna vilket tyder på att det var någon annan faktor som orsakade stressen. Möjligen var konditionen hos musslorna vid utsättning inte optimal då även "reservdjur" som förvarades i akvarier visade viss dödlighet och nedsatt aktivitet. Ramarna med musslorna satt två meter ovanför botten vilket borde innebära att bottenströmmar med löst eller kontaminerade uppgrumlade sedimentpartiklar kunnat tas upp.

Det aktuella området trafikeras och nyttjas flitigt av fiskenäringen, i huvudsak vid fiske med botten trål. Undersökningarna med sidescanner av Sjöfartsverket 2015 visade på en botten helt täckt av trålspar även mellan vraken. Bilder från en fjärrstyrd obemannad undervattensfarkost (ROV) visade att vraken oftast är täckta av nät från trålar som fastnat. De individer i vilkas vävnad rester av kemiska stridsmedel har detekterats fångades i de centrala delarna av vrakområdet. Ingen förekomst har alltså kunnat påvisas nedströms eller uppströms området trots intensiv trållaktivitet. Vid inspektion av vraken ansågs konditionen på skeppen vara som väntat efter så många år under vatten, men ändå relativt oskadade. Fokus vid inspektionen var att undersöka områdena kring vraken och om möjligt inspektera öppna lastrum. Inga kemiska stridsmedel kunde säkert identifieras men flera gula klumpföremål påträffades, vilket kan tyda på senapsgas. Cylindriska föremål hittades vid ett av vraken (BAL 153) vilka kan tolkas vara någon typ av ammunition.

Intressant att notera är vidare att stora mängder med fisk kunde observeras i och runt vraken. Största delen utgjordes av gråsej men även torsk och pirål förekom. Vid studie av inspelade filmsekvenser kunde man se att en del fiskar uppvisade yttre skador på ryggsidan men om dessa var orsakade av sår från rostiga vassa delar från vraken eller möjligen av kemiska stridsmedel är oklart. En mer detaljerad analys av bildmaterialet från ROV-undersökningen är planerad men har såvitt känt ännu inte genomförts.



Figur 11. Sammanställning av resultaten från 2016 och 2017 års undersökning med samtliga prover med förekomst av oxiderade former av Clark I och II. Förekomst detekterades i tre samlingsprover av nordhavsräka (gröna prickar, B4, B10 och Räk1), i en av havskräftorna (B5) samt i en rödtunga vid Bal150 och en rödtunga vid Bal149 (gröna linjer, garnfisket). De gula prickarna representerar positioner för noterade vrak, Bal150, Bal149 och Bal153 är speciellt utmärkta. Figur av Marine Monitoring 2018.



Figur 12. Sammanställning av samtliga provtagna positioner där positioner med detektion av kemiska stridsmedel är specifikt utmärkta. Förekomst detekterades i tre samlingsprover av nordhavsräka (gröna prickar, B4, B10 och Räk1), i en av havskräftorna (B5) samt i en rödtunga vid Bal150 och en rödtunga vid Bal149 (gröna linjer, garnfisket). De gula prickarna representerar positioner för vrak. Figur av Marine Monitoring 2018.

Tack

Vi vill särskilt tacka de fiskare som vi samarbetat med vid provtagningen då de har varit mycket engagerade samt bidragit med utrustning och ett stort kunnande. Även ett stort tack till besättning och kapten på KBV 001 som bidrog med otrolig hjälp och expertis vid utsättning av musselramarna.

Referenser

- Ahlsen., J. Bergkvist., J. Magnusson., M. Börjesson., D. Granmo., Å. Pilotundersökning av biota i anslutning till dumpade fartyg med kemisk ammunition. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2017:03.
- Amato, E., Alcaro, L., Corsi, I., Torre, C.D., Farchi, C., Focardi, S., Marino, G., Tursi, A. 2006. An integrated ecotoxicological approach to assess the effects of pollutants released by unexploded chemical ordnance dumped in the southern Adriatic (Mediterranean Sea), *Marine Biology*, 149:17–23.
- Bełdowski, J., Klusek, Z., Szubska, M., Turja, R., Bulczak, A.I., Rak, D., Brenner, M., Lang, T., Kotwickia, L., Grzelak, K., Jakacki, J., Fricke, N., Östin, A., Olsson, U., Fabisiak, J., Garnaga, G., Nyholm, J.R., Majewski, P., Broeg, K., Söderström, M., Vanninen, P., Popiel, S., Nawała, J., Lehtonen, K., Berglind, R., Schmidt, B. 2015. Chemical Munitions Search & Assessment – an evaluation of the dumped munitions problem in the Baltic Sea. *Deep Sea Research II*.
- Büchert, A., A.K. Sörensen; F. Möhlenberg and K. Jensen. 1986. Rapport om försög over upptagelse af giftgas i fisk. Miljöstyrelsens Havfororeningslaboratorium, Levnedsmiddelstyrelsen og Civilforsvarets Analytisk-Kemiske Laboratorium 12p.
- CHEMSEA Findings – Results from the chemsea project – chemical munitions search and assessment. 2015.
- DAIMON project. <https://www.daimonproject.com/>
- Della Torre, C., Petochi, T., Corsi, I., Dinardo, M.M., Baroni, D., Alcaro, L., Focardi, S., Tursi, A., Marino, G., Frigeri, A., Amato, E. 2010. DNA damage, severe organ lesions and high muscle levels of As and Hg in two benthic fish species from a chemical warfare agent dumping site in the Mediterranean Sea. *Science of the Total Environment* 408:2136–2145.
- Förlin, L., S.P. Baden, S. Eriksson, Å. Granmo, E. Lindesjö, K. Magnusson, R. Ekelund, A. Esselin and J. Sturve. 1996. Effects of contaminants in roundnose grenadier (*Coryphaenoides rupestris*) and contaminant levels in mussels (*Mytilus edulis*) in Skagerrak and Kattegat compared to effects at the Faroe Islands. *J. Sea Res.* 35 (1-3), 209-222.
- ICES Lysosomal membrane stability in mussels. ICES Techniques in Marine Environmental sciences No. 56. 41pp. Martínez-Gómez, C., Bignell, J. and Lowe, D. 2015
- Ishizaki, M., Yanakoa, T., Nakamura, M., Hakuta, T., Ueno, S., Komuro, M., Shibata, M., Kitamura, T., Honda, A., Doy, M., Ishii, K., Tamaoka, A., Shimojo, N., Ogata, T., Nagasawa, E., Hanaoka, S. 2005. Detection of bis(diphenylarsine)oxide, diphenylarsinic acid and phenylarsonic acid, compounds probably derived from chemical warfare agents, in drinking well water. *Journal of Health Science*, 51(2):130-137
- Moore M. N., Allen J. I., McVeigh A., 2006. Envi-ronmental prognostics: An integrated model sup-orting lysosomal stress responses as predictive biomarkers of animal health status. *Marine Envi-ronmental Research* 61. 278-304.
- Pershagen, G. and M. Vahter., 1979. Arsenic. A toxicological and epidemiological appraisal. Statens Naturvårdsverk PM. 1128. 265p.
- Robinchaud, D., Rose, G.A. 2004. Migratory behaviour and range in Atlantic cod: inference from a century of tagging. *Fish and fisheries*, 5:185-214.
- Sanderson, H., Fauser, P., Thomsen, M., Sørensen, P.B. 2009. Human health risk screening due to consumption of fish contaminated with chemical warfare agents in the Baltic Sea, *Journal of Hazardous Materials*, 162:416-422.
- Sjöfartsverket. 1992. Rapport om kartläggning av förekomst av dumpade kemiska stridsmedel på den svenska delen av kontinentalsockeln. Serie S 210-36.

- Sjöfartsverket. 2015. Miljörisker sjunkna vrak II – Undersökningsmetoder och miljöaspekter. Dnr. 1399-14-01942-15.
- Spiridonov, M.A., Zhamoida, V.A. 1999. Preliminary report of the results of MEP-98 cruise investigations of environmental conditions within the dumping area of the German chemical weapons in the southern Skagerack (Swedish zone). All-Russia Geological Institute and Atlantic branch of Institute of oceanology, Russian Academy of Science, Moscow.
- Laurin, F. 1991. Scandinavia's underwater time bomb. Bulletin of the Atomic Scientists, 47:11-15.
- Rand, Gary, M. 1995. Fundamentals of Aquatic Toxicology. Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment. Taylor & Francis. Washington D.C. second Edition. 1125 p.
- Waleij, A. 2001. Dumpade C-stridsmedel I Skagerrak och Östersjön en uppdatering.

Appendix

APPENDIX I VERIFINs analysrapport 2016

APPENDIX II VERIFINs analysrapport 2017