

Undersökning av biota och sediment i anslutning till dumpningsområden av kemisk ammunition på väst- och östkusten 2019



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: 2020-05-10

Omslagsfoto: Jimmy Ahlsén

ISBN 978-91-88727-77-0

Havs- och vattenmyndigheten

Box 11 930, 404 39 Göteborg

www.havochvatten.se

Undersökning av biota och sediment i anslutning till dumpningsområden av kemisk ammunition på väst- och östkusten 2019 2019

Jimmy Ahlsén
Johanna Bergkvist
Åke Granmo

Havs- och vattenmyndighetens rapport 2020:15

Förord

Efter andra världskriget genomfördes ett antal dumpningsoperationer av konventionell och kemisk ammunition i svenskt närområde. Två av dessa områden ligger i svensk zon; ett område med vrak väster om ön Måseskär på västkusten och ett område söder om Gotland. I bägge områdena har restprodukter av kemiska stridsmedel uppmätts i sediment under årens lopp. Den geografiska utbredningen av kontaminationen och den potentiella spridningen av kemiska stridsmedel till marina organismer är av stort intresse, för att få en översikt av storleksordningen på miljöproblematiken och i slutändan möjlighet till att sätta in förvaltningsmässiga åtgärder. På grund utav detta har nya provfisken och sedimentprovtagningar utförts i områdena. Resultaten från dessa provfisken redovisas i denna rapport.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING.....	7
SUMMARY	8
INTRODUKTION	9
Uppdraget.....	9
Bakgrund	9
Kemiska stridsmedel	9
Kemiska stridsmedel i den marina miljön.....	10
Undersökningsområde	12
Västkusten	12
Östkusten.....	15
Effekt på biota.....	16
METODIK	18
Målarter	18
Fisk	18
Havskräfta	18
Nordhavsräka	19
Provtagning	19
Västkusten	19
Gotlandsdjupet	20
Analys	21
RESULTAT.....	22
Biota.....	22
Sediment.....	24
DISKUSSION	26
Västkusten	26
Östkusten.....	27
Spridning i näringsväven.....	28
TACK	31
REFERENSER	32
APPENDIX	34

Sammanfattning

Marine Monitoring AB har på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten utfört en undersökning av hur utbredd kontaminationen av dumpade kemiska stridsmedel är i dumpningsområdena Måseskär och Gotlandsdjupet. Tidigare undersökningar i dumpningsområdet utanför Måseskär har visat på spår av nedbrytningsprodukter av de kemiska stridsmedlen Clark I och/eller Clark II i biota. Provfiske skedde i de östra delarna av dumpningsområdet utanför Måseskär som tidigare inte undersökts, samt i Gotlandsdjupet där gasbomber har identifierats genom visuella studier. Kemiska analyser av fångade organismer utfördes av the Finnish Institute for Verification of the Chemical Weapons Convention, University of Helsinki (VERIFIN).

Målarter har valts baserat på deras kommersiella betydelse och ekologiska levnadssätt. På västkusten fångades och analyserades havskräfta, nordhavsräka och pirål. På östkusten fångades och analyserades torsk och skrubbskädda. Provfisket utfördes med passiva redskap så som burar, fällor och garn. I Gotlandsdjupet provtogs och analyserades även sediment.

Resultatet från de kemiska analyserna i biota visade på spår av nedbrytningsprodukter från de kemiska stridsmedlen Clark I och/eller Clark II samt från Arsinolja. Nedbrytningsprodukter detekterades i ett samlingsprov från pirål fångad nedströms vraket BAL141 på västkusten samt bland två av sex samlingsprov av torsk fångad i Gotlandsdjupet. Samtliga sedimentprover från Gotlandsdjupet innehöll nedbrytningsprodukter från Clark I och/eller II i form av difenylarsinioxid (3O) och från Arsinolja i form av trifenylarsinioxid (4O) samt metylerade former av Adamsit (2.1) och Clark (3.1). Mängderna var mätbara men under gränsen för kvantifiering.

Riskerna för spridning av innehållet i de dumpade kemiska stridsmedlen ökar med tiden på grund av korrosion av inkapslande höljen. Naturliga strömförhållanden leder till höga risker nedströms påverkade områden, något som ytterligare kan förvärras av bottenaktiviteter så som trålning i områdena. I Gotlandsdjupet innehöll samtliga sedimentprover produkter av kemiska stridsmedel vilket tyder på att stora delar av området är påverkat. Samma ämnen som detekterades i sedimentet gick också att finna i vävnaden hos biota fångad på samma positioner. Vid dumpningsområdet på västkusten har nu för första gången påverkade individer hittats innanför territorialgränsen vilket innebär större kontrollmöjligheten från myndigheterna att styra hur området ska komma att nyttjas i framtiden.

De låga halterna av nedbrytningsprodukterna från Clark I och/eller Clark II som detekterades under tidigare studier 2016 och 2017 samt i den nu aktuella undersökningen medför ingen ökad hälsorisk vid konsumtion enligt Livsmedelsverket (personlig kommunikation, Salomon Sand, Livsmedelsverket. Närvaron tyder dock på att de kan ansamlas i vävnaden hos biotan i områdena. Rester av kemiska stridsmedel bör inte finnas alls i organismerna, varken i det vilda eller på tallriken.

Summary

Marine Monitoring AB has by the request of the Swedish Agency for Marine and Water Management conducted an investigation about how widespread the contamination of dumped chemical warfare agents (CWAs) are in the dumping areas of Måseskär and the Gotland Basin. Earlier investigation in the area outside of Måseskär has shown traces of degradables from the CWAs Clark I and/or Clark II in biological samples. Sample fishing has been done in the eastern parts of the dumping area outside of Måseskär that has not previously been studied, as well as in the Gotland Basin wherein gas bombs has been visually identified. Chemical analyses were done by the Finnish Institute for Verification of the Chemical Weapons Convention, University of Helsinki (VERIFIN).

Suitable target species were picked based on their commercial value and their ecology. On the west coast Norwegian lobsters, northern prawn and hagfish were captured and analysed. On the east coast cod and European flounder were captured and analysed. The sample fishing was conducted using passive gear such as cages, traps and nets. Sediment samples were also collected in the Gotland Basin.

The results from the chemical analyses of the biological samples showed traces of CWA in the form of Clark I and/or Clark II as well as Arsine oil. Traces of CWA occurred in a bulk sample of hagfish caught downstream of the wreck BAL141 on the west coast and in two of the six bulk samples of cod captured in the Gotland Basin. All of the sediment samples contained traces of Clark I and/or Clark II in the form of diphenylarsinic acid (3O) and of Arsine oil in the form of triphenylarsine oxide (4O) as well as methylated forms of Adamsite (2.1) and Clark (3.1). The samples contained measurable concentrations however below the limits of quantitation.

The risks of spreading of the content of the dumped CWAs rise as time passes because of corrosion of encapsulating shells. Natural currents lead to higher risks downstream of affected areas, something that can additionally worsen by bottom activities such as trawling in the area. All of the sediment samples taken in the Gotland Basin contained traces of CWAs which indicate that large sections of the area are contaminated. The same substances detected in the sediments were also found in the tissue of biological samples caught at the same locations. Affected biological samples have now for the first time been found within the territorial boarder at the dumping area on the west coast. This means a greater regulatory control from governmental agencies as to how the area will be used in the future.

The low concentrations of Clark I and/or Clark II detected during earlier studies 2016 and 2017 as well as in the present study does not mean a greater health risk at consumption according to the Swedish National Food Agency (personal communication, Salomon Sand, Swedish Food Agency, Sweden). Presence of the compounds does however imply that they can accumulate in the tissues of biological samples in the studied areas. Traces of CWAs should not be present at all in the organisms, neither in the wild or on the dinner table.

Introduktion

Uppdraget

Marine Monitoring AB har fått i uppdrag att undersöka biota och sediment i anslutning till kända dumpningsområden av kemiska stridsmedel utanför Sveriges väst- och östkust. Syftet med uppdraget har varit att under 2019 vidare utreda hur utbredd kontaminationen av dumpade kemiska stridsmedel är i dumpningsområdena Måseskär och Gotlandsdjupet. Projektet har beställts och finansierats av Havs- och Vattenmyndigheten (HaV) genom anslag 1:4 för Sanering och återställning av förorenade områden. Resultaten ska användas för att sprida kunskap om att dumpade kemiska stridsmedel anrikas upp i näringskedjan till fisk och skaldjur. Resultaten ska även användas i bakgrundsmaterial för att undersöka om det går att begränsa fiske i dessa områden.

Bakgrund

Vid slutet av andra världskriget stod de allierade makterna inför ett stort problem i form av överbliven kemisk ammunition. Stora mängder fanns lagrade och behövde tas om hand och oskadliggöras efter Tysklands och de allierades krigsföring (Laurin, 1991). En snabb och enkel lösning på problemet togs fram som innebar att delar av ammunitionen skulle dumpas i havet. Ammunition från de amerikanska, brittiska och franska ockupationszonerna lastades på otjänliga skepp som sedan sänktes på djupt vatten i bland annat Skagerrak. Dumpningar av ammunition från de sovjetiska ockupationszonerna skedde i Östersjön genom att ammunitionen direkt lämpades överbord på avsedda positioner. Exakt var själva dumpningarna skedde i Skagerrak är inte helt känt då positionsangivelserna från den tiden var relativt grova. Två kända platser är dock djupområdena utanför norska Arendal samt inom den svenska ekonomiska zonen väster om Måseskär. Av olika anledningar blev även skepp avsiktligt eller oavsiktligt sänkta innan de nått slutmålet och dumpningar skedde även under färden till de avsedda områdena.

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, Gotlandsdjupet, och ett på djupt vatten väster om Måseskär utanför Orust och Lysekil (Figur 1). Bärgning av lasten ansågs dock vara för riskfull och kostsam för att genomföras. Ovissheten kring vad lasten bestod av och var och hur många vrak som fanns kunde ändå innebära att inte allt skulle kunna bärgas. Även kunskaper om spridning i bottensedimentet och 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 soldaters förmåga till strid. Vissa av dem kan även vara dödliga. De kemiska stridsmedlen som tillverkades under andra världskriget var i huvudsak 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 innehållande kemiska stridsmedel förstöras och vid denna tidpunkt ansågs dumpning till havs som det bästa och enda rimliga alternativet för att bli av med de kemiska stridsmedlen. Dumpningsarbetet 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 och typer av kemiska stridsmedel som sänkts 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 1994 en förteckning där de listat mängden kemiska stridsmedel som upptäcktes i de tyska territorierna mellan slutet av andra världskriget och 1948 (HELCOM 1994). Inom de amerikanska, brittiska, franska och sovjetiska ockupationszonerna återfanns totalt 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-, andnings- och hudirritation, kräkningar samt blindhet. 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 kan uteslutas. Bland de kemiska stridsmedlen som producerades så var senapsgasen den mest vanliga och i den ingick ofta en blandning av arsinolja och exempelvis Clark I och Clark II.

Kemiska stridsmedel i den marina miljön

Ammunitionen med de kemiska stridsmedlen dumpades antingen innesluten i utrangerade fartyg eller separat var för sig. 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 havsvatten 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 1994).

Senapsgas (diklor-dietylsulfid) 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.

Adamsit (10-kloro-5,10-dihydrofenarsazin) är i stort sett olösligt i vatten och hydrolyseras väldigt långsamt. Ämnet har en högre densitet än vatten och lägger sig därför på botten där den adsorberar till sedimentet. Det kan därför tänkas att spridningen från en källa är långsam och har mest en lokal påverkan (Tørnes m.fl 2002).

Clark I (difenyلكloroarsin) och **Clark II** (difenyلكyanoarsin) 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 havsvatten, 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 1994).

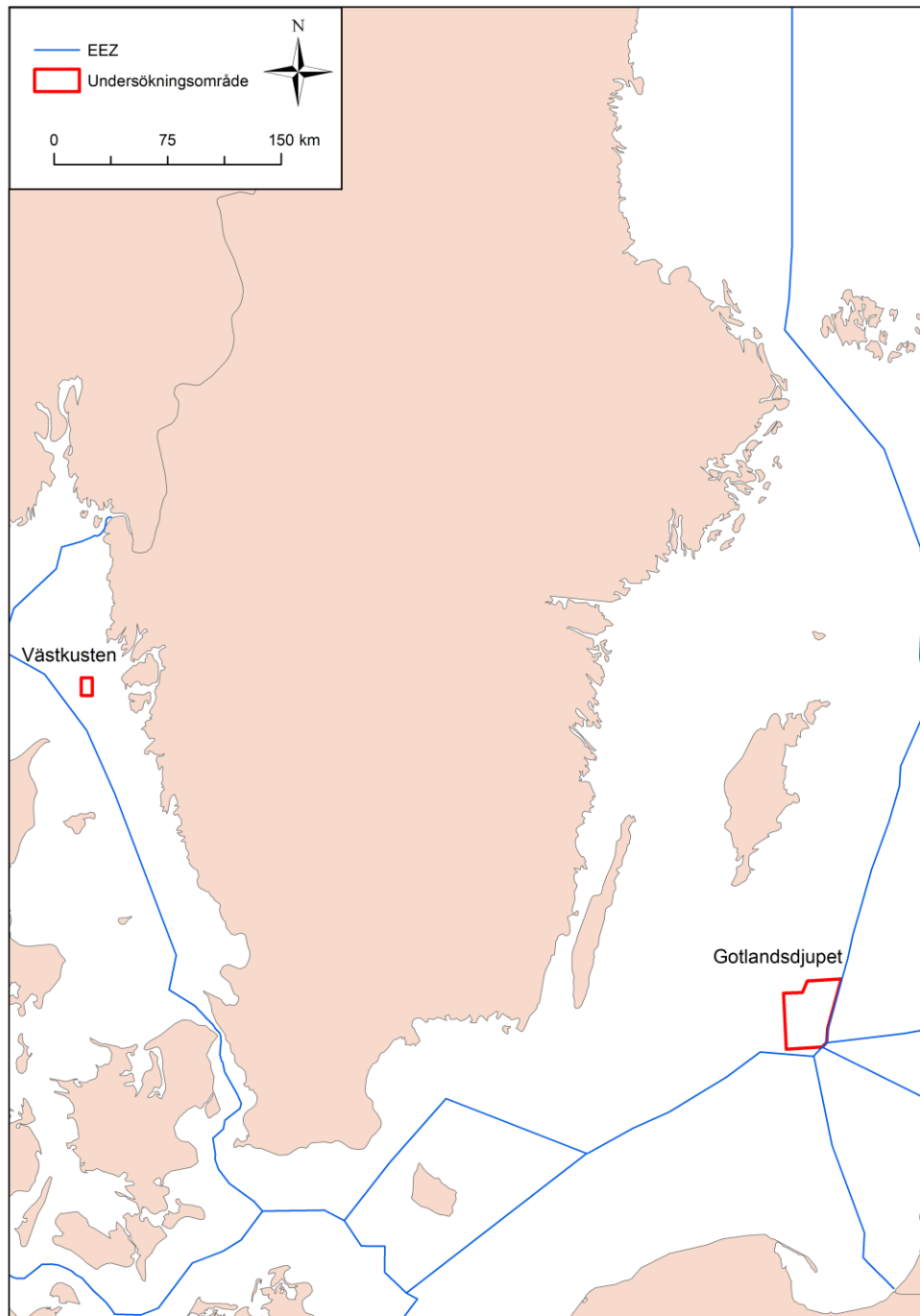
Arsinolja är en blandning av Clark I, fenyldiklorarsin, trifenylarsin och arseniktriklorid. Arsinoljan kan tillsättas till senapsgas för att sänka dess smältpunkt och göra det möjligt att använda den vintertid (Sjöfartsverket 1992).

Arsenik (As) är en komponent i många kemiska stridsmedel, så som Lewisit, Adamsit, Clark I, Clark II och i blandningen Arsinolja. Inorganisk arsenik är både cancerogen och mutagen och mångt mer giftig jämfört med organiska varianter, vilka är vanliga i naturen (Sanderson m.fl. 2010).

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

Undersökningsområde

De två dumpningsområdena som undersökts i samband med studien ligger långt från kusten i Skagerrak och Östersjön (Figur 1).



Figur 1. Översiktsskarta över de två undersökta områdena. Det aktuella vrakområdet på västkusten ligger cirka 10 sjömil väster om fyren Måseskär. Dumpningsområdet i Östersjön, kallat Gotlandsdjupet, ligger ca. 50 sjömil söder om Gotland.

Västkusten

Dumpningsområdet som undersöktes på västkusten ligger cirka 10 sjömil väster om fyren Måseskär (Figur 2) innanför den svenska exklusiva ekonomiska zonen och inom svenskt territorialvatten. 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

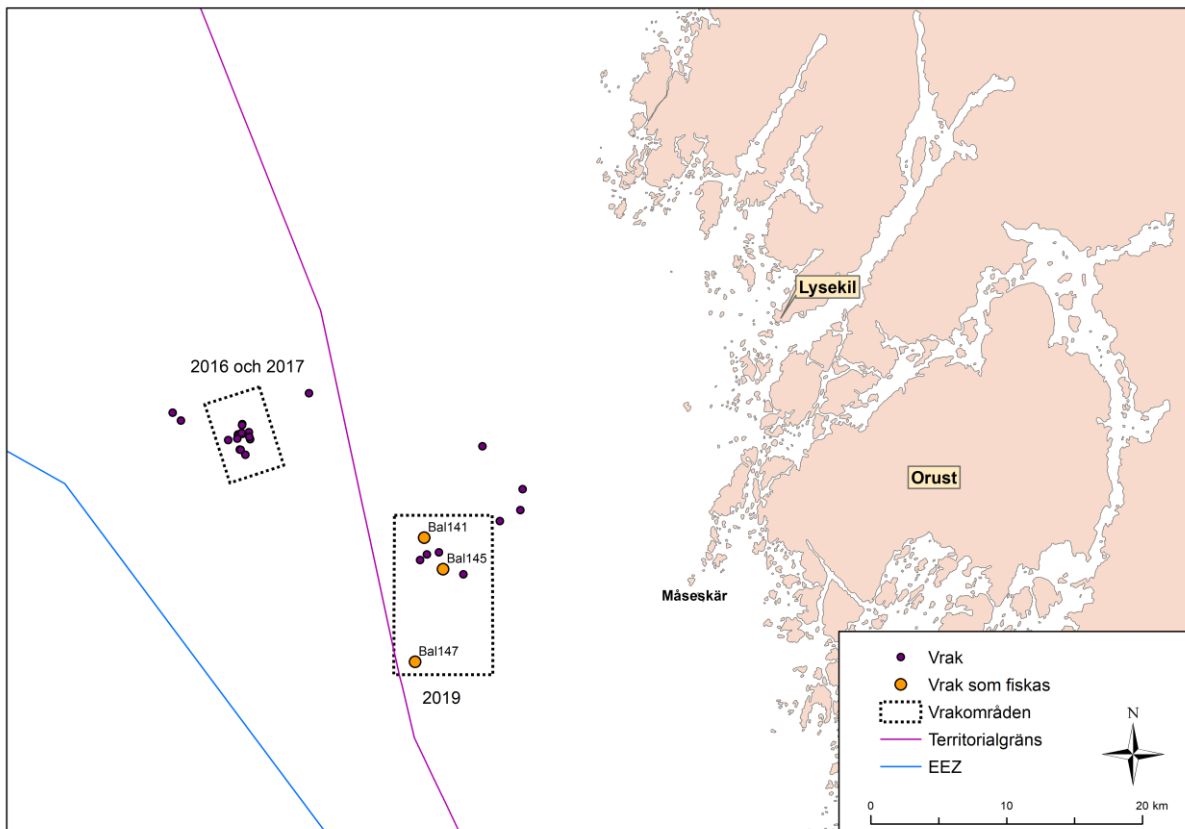
stridsmedel, men obekräftade uppgifter gör gällande att två stora fartyg, *Monte Pascoal* och *Schwabenland* kan ha sänkts i området. Dessa tros ha varit lastade med uppskattningsvis 20,000 ton kemisk ammunition. Området uppmärksammades som ett dumpningsområde först efter arkivstudier av Laurin (1991) 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 och spår av nedbrytningsprodukter från senapsgas nordväst om vraken (Sjöfartsverket, 1992, 2015; Spiridonov och Zhamoida, 1999). De exakta positionerna för de sänkta fartygen har tidigare varit relativt ofullständiga men efter de utförda undersökningarna 1992 och 2015 (Sjöfartsverket 1992, 2015) finns nu ett stort antal exakta positionsangivelser att tillgå. Ett 30-tal antal vrak har påträffats inom undersökningsområdet på 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 av fiskare efter en månad av mätningar. Ett omfattande trålfiske förekommer i området och trots att det i sjökortet varnas för ankring, fiske och dykning i området finns inget fiskeförbud i området.

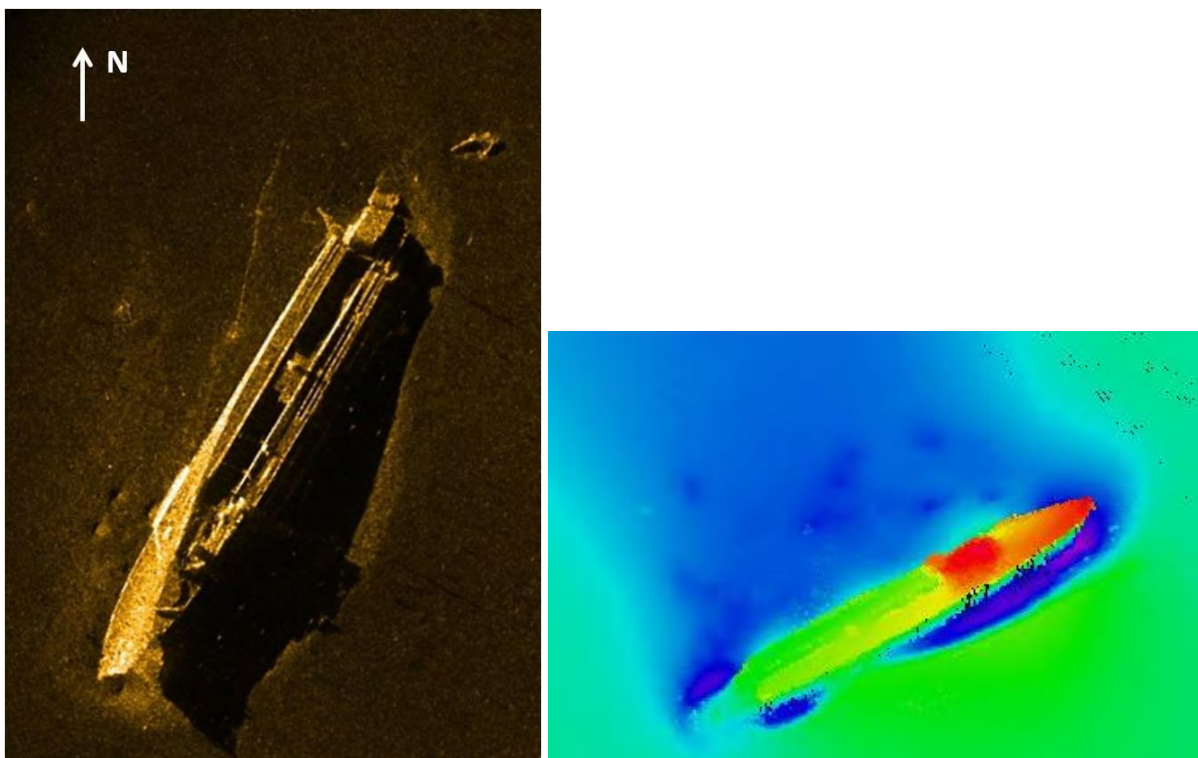
Vid Sjöfartsverkets undersökning 1992 detekterades senapsgas i små mängder i sedimenten (Sjöfartsverket 1992). Senare års undersökningar i SGUs nationella sedimentsprovtagningsprogram har även visat på kraftigt förhöjda arsenikhalter i sedimentet nedströms (nordväst) vrakområdet. Även ryska undersökningar har gjorts i området (Spiridonov och 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. Inom Interreg projektet DAIMON så genomfördes 2017 en undersökning av sedimentet vid dumpningsområdet utanför den svenska territorialgränsen. Av 29 provtagningsplatser återfanns senapsgas i 52 % av proverna (Dahllöf m. fl. manuskript).

De toxiska ämnena som nu undersöks misstänks härstamma från vraken som legat mer eller mindre orörda sedan 1940-talet. 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.

Den nu aktuella undersökningen har skett vid dumpade vrak som identifierades av Sjöfartsverket 2015 med hjälp av multibeamekolod och side scan sonar samt ROV-filmning på vissa vrak (Figur 3). Hela området utanför Måseskär kan delas in i en västra och en östra del med kluster av närliggande vrak. Det västra klustret ligger utanför Sveriges territorialgräns medan det östra ligger innanför (Figur 2). 2016 och 2017 genomfördes två studier inom det västra området där nedbrytningsprodukter av de arsenikhaltiga stridsmedlen Clark I och/eller Clark II detekterats i vävnadsprover från havskräfta, fisk och räka (Ahlsén m.fl. 2017, Ahlsén m.fl. 2018). 2019 års studie fokuserar på det östra området och inom det, de tre vraken Bal141, Bal145 och Bal147 (Figur 2).



Figur 2. Översigtskarta över de undersökta vrakområdena på västkusten. Det västra området är det som undersöktes i de tidigare studierna 2016 och 2017. Den aktuella undersökningen (2019) genomfördes i den östra delen av vrakområdet. Röda punkter visar vrak som identifierats av Sjöfartsverket 1992 och 2015. De vrak som fiskas under 2019 års undersökning är markerade med orangea punkter.



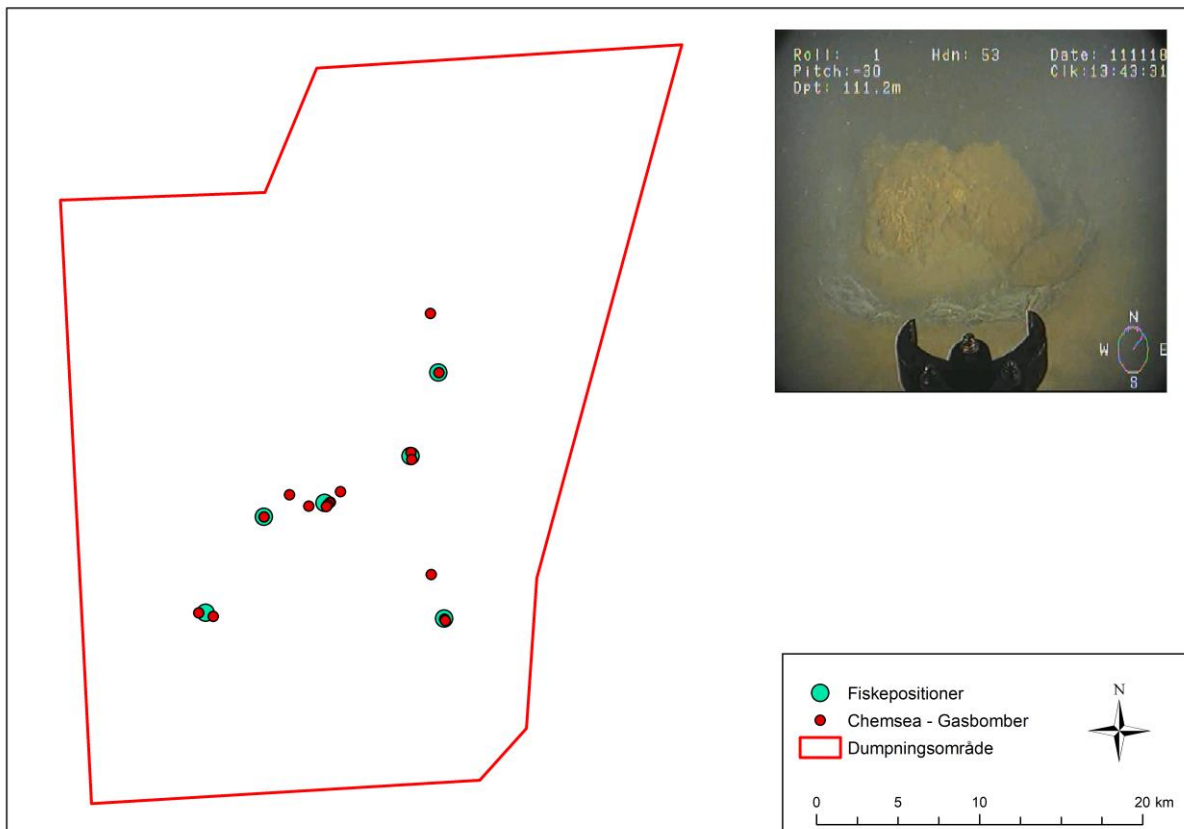
Figur 3. Bilder av aktuella vrak från den akustiska undersökningen av Sjöfartsverket 2015. Den vänstra bilden visar side scan sonar bild av Bal141. Den högra bilden visar en multibeam bild av Bal145 (Sjöfartsverket 2015).

Östkusten

Dumpningsområdet i Östersjön, Gotlandsdjupet ligger cirka 50 sjömil söder om Gotland. I området dumpades i huvudsak kemiska stridsmedel i behållare och inneslutet i bomber och granater. Det innebar en större spridning av materialet vid dumpningsaktionen och ökade risken för senare spridning och oavsiktligt upptag genom till exempel bottentrålning på havsbotten än om fartyg innehållande kemiska stridsmedel hade dumpats. Det dumpade stridsmedlen kom från de ryskockuperade delarna av Tyskland och utgick från hamnen i Wolgast, Tyskland (HELCOM 2013). Gotlandsdjupet ersattes efter ett tag som dumpningsområde med Bornholmsdjupet, men uppskattningsvis dumpades 2000 ton stridsmedel inom Gotlandsdjupet, varav 1000 ton var kemiska stridsmedel (HELCOM 1994). Av de 1000 tonnen var ca 63 % senapsgas medan de resterande bestod av bland annat olika Clark-typer och Adamsit.

Dumpningsområdet i Gotlandsdjupet har studerats av bland annat Sjöfartsverket inom programmet CHEMSEA (Chemical Munitions, Search and Assessment) med multibeamekolod, side scan sonar och ROV (CHEMSEA Findings 2014). Genom översiktliga akustiska undersökningar och bekräftande ROV-dykningar kunde de identifiera flera objekt av kasserat stridsmaterial, bland annat minor. Förutom visuell undersökning med ROV togs också prover av sedimentet, direkt med ROV i anknytning till identifierade objekt eller med bottenhuggare. I sedimentet hittades spår av kemiska stridsmedel, därav bland annat senapsgasrelaterade och arsenikinnehållande kemikalier.

I den aktuella undersökningen planerades provtagningspunkterna i Gotlandsdjupet utifrån verifierade objekt som inom CHEMSEA programmet identifierats som gasbomber (Figur 4). Totalt undersöktes sex positioner.



Figur 4. Översiktskarta över dumpningsområdet i Gotlandsdjupet. Röda punkter visar på de gasbomber som identifierades under CHEMSEAs undersökning 2012 (foto CHEMSEA). Utifrån gasbomberna planerades och utfördes provtagning vid 6 positioner (turkosa punkter).

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 (CHEMSEA Findings 2014) undersöktes hälsostatusen hos torsk vid dumpningsområden av kemiska vapen. Torsken fångades med pelagisk trål (i dumpningsområdena) och med bottentrål (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 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. Men detta ansågs eventuellt ha orsakats av låga

syrgasvärden i dumpningsområdet varför en koppling till förekomst av kemiska stridsmedel sågs som osäker.

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 bottenar, 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 arsenikinhållande hud- och vävnadsskadande stridsmedel och 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 tre till fyra gånger så höga halter av kvicksilver och arsenik i fisk från dumpningsområden jämfört med fisk från referenslokaler. Inga spår av senapsgas registrerades. Hälsoillståndet hos fisken i dumpningsområdet var dessutom kraftigt försämrat jämfört med fisken i referensområdet. Hudskador i form av sår och bölder förekom. Området uppvisade dessutom onormalt höga arsenikkoncentrationer i sedimentet.

Fisk från industriellt arsenikförorenade bräck- och sötvatten har ofta förhöjda totalarsenikhalter. Det mesta av arseniken (90-95%) föreligger som organiskt bunden arsenik i form av både fett- och vattenlösliga föreningar (Norin och Vahter, 1983). De organiska föreningarna antas ackumuleras från lägre trofiska nivåer i form av biosyntetiserade organiska arsenikföreningar (Lunde, 1972). Detta antas eftersom makroalger, mikroalger och andra mikroorganismer men inte fisk har förmåga att biosyntetisera organiska arsenikföreningar. Ackumulation av arsenik i fisk varierar med art, ålder, vattentemperatur och salthalt (NRCC, 1978).

Inom DAIMON projektet har fenylarsenik-föreningar detekterats i torsk från dumpningsområdet vid Bornholmsdjupet. I 13 % av insamlad torsk gavs ett positivt resultat (Niemikoski m.fl. manuskript). Samma föreningar upptäcktes också i vävnad från pirål fångad i dumpningsområdet i Arendal, Skagerrak. Majoriteten av proverna, 19 av 20, gav ett positivt resultat (Niemikoski m.fl. manuskript).

Metodik

Målarter

Vid val av målarter i föreliggande studie 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. Arter som framgångsrikt undersökts i tidigare studier har också tagits i beaktande.

För undersökningen på vraken väster om Måseskär på västkusten fokuserades fisket på havskräfta (*Nephrops norvegicus*), nordhavsräka (*Pandalus borealis*) och pirål (*Myxine glutinosa*).

För undersökningen i Gotlandsdjupet på östkusten fokuserades fisket på torsk (*Gadus morhua*) och plattfisk så som rödspätta (*Pleuronectes platessa*) och skrubbskädda (*Platichthys flesus*).

Fisk

De fiskarter som fångades i Gotlandsdjupet var torsk och skrubbskädda. På västkusten fångades även pirål. Bland dessa är torsk den kommersiellt viktigaste men även skrubbskädda är av betydelse.

Torsk är en välstuderad art gällande dess ekologi, hälsa och utbredning. Hos fisk kan födovalen variera beroende på ålder. Hos torsk förekommer ett skifte i födoval under olika levnadstadierna där juvenil torsk (upp till ca 2,5 år) är predator på bottenfauna, medan adult torsk övergår till en mer fiskbaserad föda. Torsken är en art som uppvisar stark områdestrogenhet. Sammanställande studier har visat på att 41 % har ett relativt stationärt beteende och 18 respektive 20 % är precist eller oprecist målsökande (Robinchaud och Rose, 2004). Endast 20 % av de undersökta torskarna rörde sig över stora områden utan någon tydlig hemvändande. På grund av torskens levnadsätt som demersal och bentopelagisk art och som dessutom gärna söker skydd i exempelvis vrak anses risken att torsken kommer i kontakt med dumpade objekt som stor.

Plattfiskar exempelvis skrubbskädda, 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 det övre sedimentskiktet på havsbotten och äter främst ormstjärnor, kräftdjur, havsborstmaskar 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 även lättfångade djur som den lokaliserar med lukt. Studier på maginnehåll har visat att huvudfödan består av räkor.

Havskräfta

Havskräftan är en kommersiellt viktig art som lever stationärt på lerbotten. 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 för förhöjda halter i vävnaden hos havskräfta jämfört med fisk (Rand 1995).

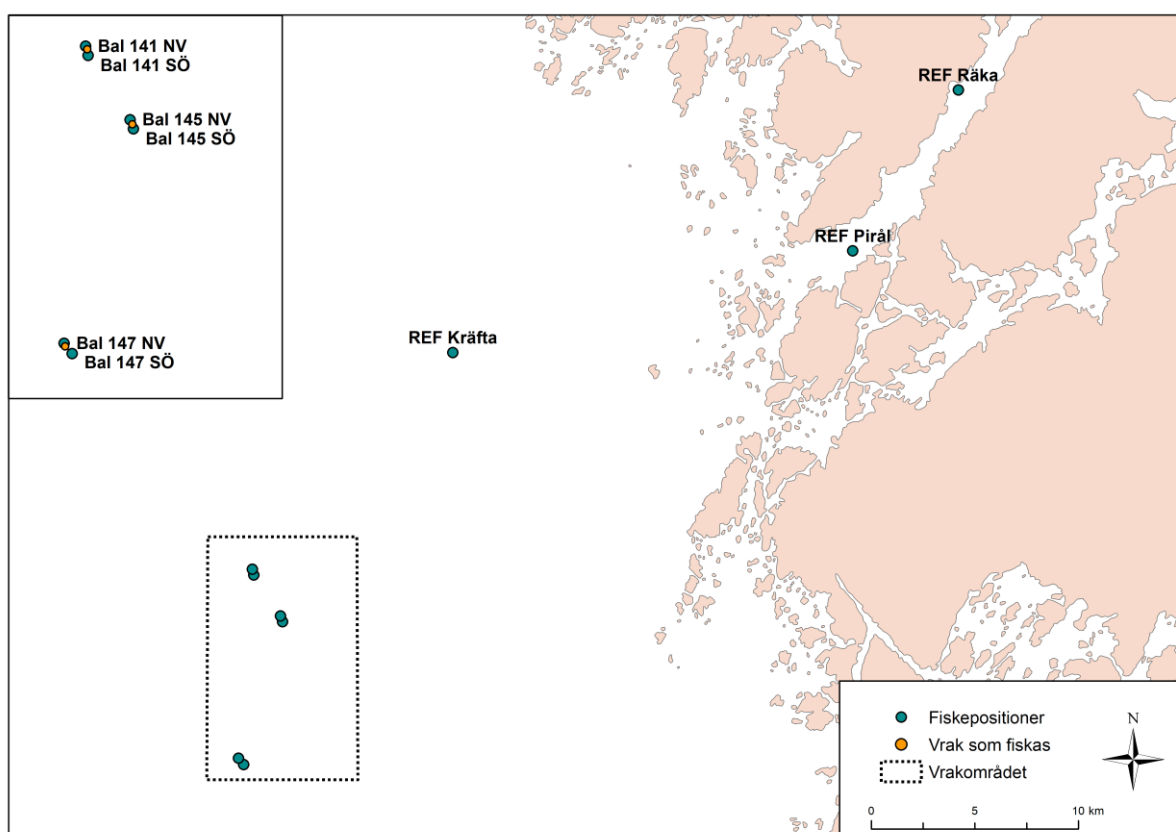
Nordhavsräka

Nordhavsräkan är en av de viktigaste kommersiella arterna och fiskas aktivt inom det aktuella området på västkusten. 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 djurplankton, havsborstmaskar och kräftdjur.

Provtagning

Västkusten

På västkusten utfördes ett passivt provfiske efter havskräfta, nordhavsräka och pirål. Fisket skedde med kräftburar, räkburar och olika varianter av pirålsfällor. Sex länkar sattes inom området riktat mot de tre utpekade vraken. Runt varje vrak sattes två länkar, en nordväst (nedströms) och en sydöst (uppströms) om vraket (Figur 5). På varje länk satt sex kräftburar, minst två räkburar samt minst tre olika varianter av pirålsfällor. Flera fiskeansträngningar genomfördes under 2-4 juni samt 26-28 augusti 2019 och fångsten från en position analyserades som ett samlingsprov per art per position.



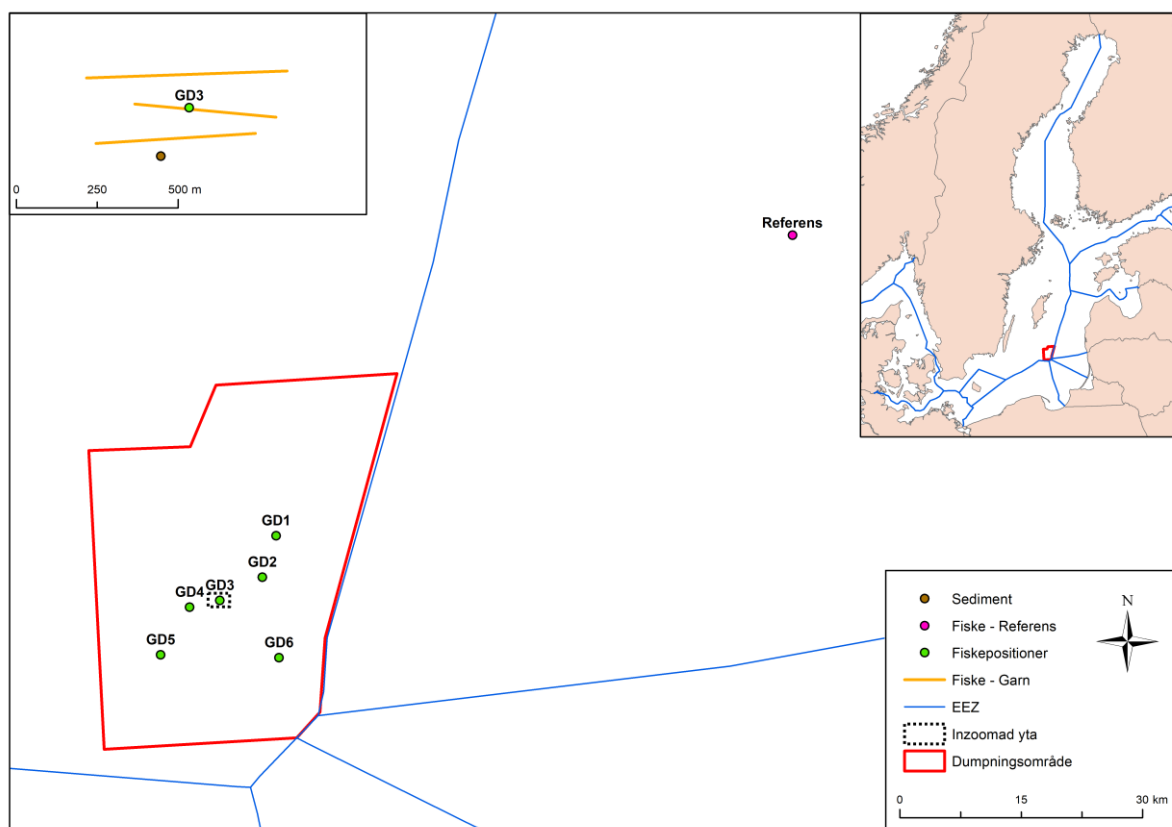
Figur 5. Översiktsskarta över undersökningen på västkusten. De gröna punkterna visar var fisket efter havskräfta, nordhavsräka och pirål utfördes. Rutan uppe i vänstra hörnet visar en närbild på de fiskade vraken (orangea punkter).

Gotlandsdjupet

I Gotlandsdjupet utfördes ett passivt provfiske med garn med avsikt att fånga torsk och plattfisk. Fångst med garn innebär hög säkerhet att bottenlevande individer fångas, och innebär också lägre risk att få upp andra potentiellt farliga objekt som finns i området. Bottenlevande individer anses ha större benägenhet att påverkas av eventuella föroreningar i sedimentet än pelagiska individer. Fisket skedde på sex positioner upprepade gånger över fyra sammanhängande dagar mellan den 12 och 15 Juni 2019. Garnen hade en längd på ca 500 m och placerades så nära som möjligt de bestämda provtagningspositionerna (Figur 6). Garnen lades ut på eftermiddagen och vittjades på morgonen dagen efter. Flera fiskeansträngningar genomfördes och fångsten från en position analyserades som ett samlingsprov per art per position.

Referensfisk av de aktuella arterna fångades under SLU Aquas 2019 års BITS undersökning (Baltic International Trawl Survey) på en position nordöst om dumpningsområdet (Figur 6).

Vid varje position samlades även sediment in från de översta fem centimetrarna med hjälp av en bottenhuggare (Van Veen).



Figur 6. Översiktsskarta över de undersökta positionerna i Gotlandsdjupet (gröna punkter) samt referensstationen för fisket (rosa punkt). En närbild av GD3 syns uppe till vänster med lagda garn (gula linjer) och sedimentprov (brun punkt).

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). Analyserna utfördes av VERIFIN genom bland annat "liquid chromatography-tandem mass spectrometric" (LC-MS/MS) och "gas chromatography-tandem mass spectrometric" (GC-MS/MS) tekniker.

För att bevisa närvaro av nedbrytningsprodukter av dumpade kemiska stridsmedel i biota genomförs semikvantitativ kemisk analys av målkemikalier. Kemiska stridsmedel som innehåller arsenik (t ex. Adamsit, Clark I och II) och trifenylarsin hydrolyseras och/eller oxideras i den marina miljön och bildar nedbrytningsprodukter. De ämnen som analyserades i vävnad från biota från dumpningsområdena var därför:

- Oxidationsprodukt av Adamsit, 5,10-Dihydrophenarsazin-10-ol 10-oxid (2O),
- Oxidationsprodukt av Clark I/II, difenylarsinoxid (3O),
- Oxidationsprodukt av Trifenylarsin, trifenylarsinoxid (4O),

För att undersöka närvaro/frånvaro av dumpade kemiska stridsmedel och deras nedbrytningsprodukter i sedimentet genomfördes kvantitativa kemiska analyser av aktuella kemiska stridsmedel. Kemiska stridsmedel som misstänks har dumpats i de aktuella områdena och som därför analyserats av VERIFIN är:

- Senapsgas (H),
- Adamsit (DM),
- Clark I (DA),
- Trifenylarsin (TPA),
- α -kloracetofenon (CN),
- Lewisit I (L1) and II (L2),
- Tabun (GA),
- Komponenter av arsinolja, som innehåller TPA och fenyldiklorarsin (PDCA),
- Nedbrytningsprodukter av ovanstående ämnen analyserades också.

För mer detaljerad beskrivning av analyserna se rapporten från VERIFIN i Appendix I.

Resultat

Totalt analyserades 34 prover från biota och sediment och resultatet för dem presenteras nedan.

Biota

Totalt analyserades 28 prover av biota, varav fem var referensprover. Proverna innehöll muskelvävnad från enskilda individer eller samlingsprov från flera individer fångade på samma position under en eller flera fiskeansträngningar.

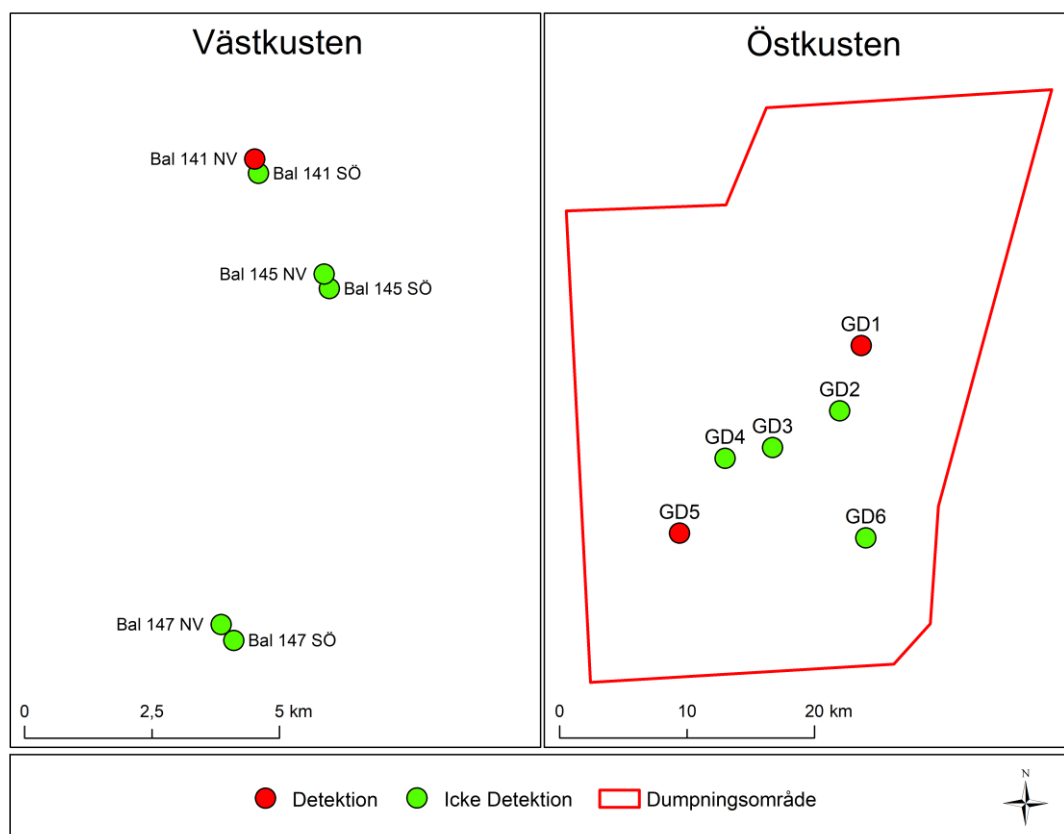
Från västkusten analyserades 17 prover med vävnad från havskräfta, nordhavsräka och pirål. Utav de 17 proverna var det ett som innehöll en nedbrytningsprodukt av Clark I och/eller II i form av difenylarsinoxid (3O) (Tabell 1). Vävnaden i provet kom från pirål fångad nedströms om BAL141 (Figur 8). Mängderna var mätbara men under gränsen för kvantifiering.

Från Gotlandsdjupet analyserades 11 prover med vävnad från torsk och skrubbskädda. Utav de 11 proverna var det två som innehöll nedbrytningsprodukt av Clark I och/eller II i form av difenylarsinoxid (3O) (Tabell 1). Ett av proverna innehöll även nedbrytningsprodukt av Trifenylarsin i form av trifenylarsinoxid (4O). Vävnaderna i de två proverna kom från fångad torsk på positionerna GD1 och GD5 (Figur 7). Mängderna var mätbara men under gränsen för kvantifiering.

Tabell 1. Resultat från analys av nedbrytningsprodukter från de kemiska stridsmedlen Adamsit (5,10-Dihydrophenarsazin-10-ol 10-oxid, 2O), Clark I/II (difenylarsinioxid, 3O) och Trifenylarsin (trifenylarsinioxid, 4O) i vävnad från havskräfta, nordhavsräka och pirål. Analyserna utfördes vid Finnish Institute for Verification of the Chemical Weapons Convention, Department of Chemistry A.I, Finland (VERIFIN).

Region	Station	Art	Antal i prov	Behandling	Nedbrytningsprodukt av		
					Adamsit (2O)	Clark I/II (3O)	Trifenylarsin (4O)
Västkusten	BAL141 NV	Havskräfta	2	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	BAL145 NV	Havskräfta	1	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	BAL145 SÖ	Havskräfta	1	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	BAL147 NV	Havskräfta	1	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	REFERENS	Havskräfta	>10	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	BAL141 NV	Nordhavsräka	>10	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	BAL141 SÖ	Nordhavsräka	2	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	BAL145 NV	Nordhavsräka	1	Vävnad	N.A.	N.A.	N.A.
Västkusten	BAL147 NV	Nordhavsräka	1	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	BAL147 SÖ	Nordhavsräka	6	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	REFERENS	Nordhavsräka	>10	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	BAL141 NV	Pirål	>10	Vävnad	N.D.	+	N.D.
Västkusten	BAL141 SÖ	Pirål	>10	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	BAL145 NV	Pirål	>10	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	BAL145 SÖ	Pirål	>10	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	BAL147 NV	Pirål	>10	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	BAL147 SÖ	Pirål	>10	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Västkusten	REFERENS	Pirål	>10	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Östkusten	GD1	Torsk	>10	Vävnad	N.D.	+	+
Östkusten	GD2	Torsk	8	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Östkusten	GD3	Torsk	9	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Östkusten	GD4	Torsk	7	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Östkusten	GD5	Torsk	>10	Vävnad	N.D.	+	N.D.
Östkusten	GD6	Torsk	>10	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Östkusten	REFERENS	Torsk	5	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Östkusten	GD2	Skrubbskädda	3	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Östkusten	GD5	Skrubbskädda	1	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Östkusten	GD6	Skrubbskädda	5	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.
Östkusten	REFERENS	Skrubbskädda	5	Vävnad	N.D.	N.D.	N.D.

+ = Detektion N.D. = Ingen detektion N.A. = Inte analyserat



Figur 7. Närbild av de undersökta områdena på väst- och östkusten. Positioner med detektion av nedbrytningsprodukter av kemiska stridsmedel i biota markeras med röda punkter. Gröna punkter markerar positioner utan detektion.

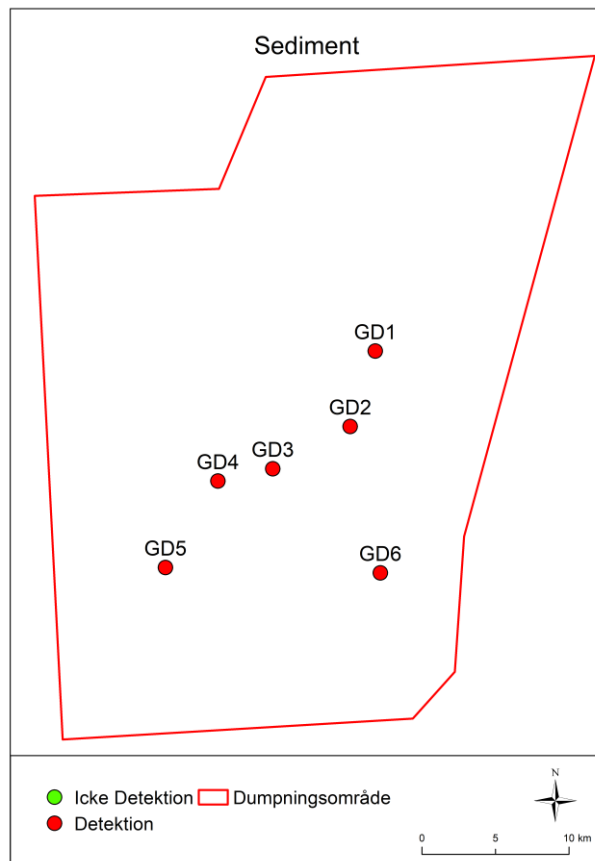
Sediment

Från Gotlandsdjupet analyserades sex prover med sediment, ett prov taget från varje fiskeposition (Figur 8). Samtliga prover innehöll nedbrytningsprodukter av Clark I och/eller II i form av difenylarsinoxid (3O) och Trifenylarsin i form av trifenylarsinoxid (4O) samt metylerade former av Adamsit (2.1) och Clark (3.1) (Tabell 2). Mängderna var mätbara men under gränsen för kvantifiering.

Tabell 2. Resultat från analys av nedbrytningsprodukter från de kemiska stridsmedlen Adamsit (oxideringsprodukt, 2O), Adamsit (möjlig bakteriell nedbrytningsprodukt, 2.1), Clark I/II (difenylarsinoxid, 3O), Clark I/II (möjlig bakteriell nedbrytningsprodukt, 3.1) och Trifenylarsin (trifenylarsinoxid, 4O) i sedimentproverna. Analyserna utfördes vid Finnish Institute for Verification of the Chemical Weapons Convention, Department of Chemistry A.I, Finland (VERIFIN).

Station	Ursprung	Nedbrytningsprodukt av				
		Adamsit (2O)	Adamsit (2.1)	Clark I/II (3O)	Clark I/II (3.1)	Trifenylarsin (4O)
GD1	Östkusten	N.D.	+	+	+	+
GD2	Östkusten	N.D.	+	+	+	+
GD3	Östkusten	N.D.	+	+	+	+
GD4	Östkusten	N.D.	+	+	+	+
GD5	Östkusten	N.D.	+	+	+	+
GD6	Östkusten	N.D.	+	+	+	+

+ = Detektion N.D. = Ingen detektion



Figur 8. Närbild av de undersökta området på östkusten. Positioner med detektion av nedbrytningsprodukter av kemiska stridsmedel i sediment markeras med röda punkter. Gröna punkter markerar positioner utan detektion.

Diskussion

Mellan andra världskrigets slut och 1948 dumpades ca 22 000 ton stridsmedel i dumpningsområdena vid Måseskär och Gotlandsdjupet (HELCOM 1994). Ammunition och behållare dumpades styckvis eller tillsammans packade i otjänliga fartyg. I över 70 år har nu ammunition och behållare legat på eller i sedimentet och påverkats av den marina miljön. Vilket skick de nu befinner sig i är oklart, men bara ca 10 år efter dumpningen togs bomber och patroner upp från ett dumpningsområde i Lilla Bält. Bombarna och patronerna hade sjunkit ner ca 50 cm i sedimentet, och vid upptag upptäcktes att höljena hade rostat sönder och inget innehåll fanns kvar (HELCOM 1994). Tørnes m.fl. (2002) hittade vid en undersökning av dumpningsområdet utanför Norska Arendal ammunition som hade korroderat sönder och förlorat sitt innehåll, men också ammunition som var i god kondition. Den söndervittrade ammunitionen var i huvudsak av typen flygbomber, som har ett tunnare metallhölje. Allmänt gäller att sannolikheten för att ammunitionen korroderat i sådan grad att innehållet läcker ut ökar med tiden, och frigörelsen av kemiska stridsmedel förväntades nå sin absoluta topp under 2010-talet (Sanderson m.fl. 2008).

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 undersökning. 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 Bornholmsdjupet i Östersjön. Modelleringen utgår från parametrar såsom koncentrationen av ämnet i sedimentet, fettlösligheten, ackumulerings-potentialen samt en antagen giftighetsgrad hos substansen. Resultatet från modelleringen visade att det endast 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.

Västkusten

Last med ammunition innehållande senapsgas har tidigare verifierats bland vraken i det aktuella området på västkusten. 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 tyder på att även någon annan typ av kemiskt stridsmedel eller förtjockad senapsgas funnits bland lasten. De tidigare studierna på biota inom den västra delen av området vid Måseskär (Ahlsén m. fl. 2017, Ahlsén m. fl. 2018) visade på närvaro av nedbrytningsprodukten Clark I och/eller II i form av difenylarsinsyra (3O) i vävnaden hos fisk respektive havskräfta samt i samlingsprov av nordhavsräka från tre provtagningspunkter.

Under 2019 års undersökning analyserades vävnad från individer fångade i de östra delarna av vrakområdet. Ett samlingsprov från pirål innehöll nedbrytningsprodukt av Clark I och/eller II i form av difenylarsinsyra (3O). Mängderna var mätbara men under gränsen för kvantifiering. Då både Clark I och II innehåller arsenikföreningar kan detta vara anledningen till de höga halterna av arsenik i sedimenten kring och nedströms vrakområdet.

Pirål är ingen fiskart som har något kommersiellt värde utan anses mer vara ett "skadedjur" som ger sig på och äter fångst i stående garn. Det är få djur som äter pirål, men vid studier på maginnehållet hos tumlare utgjorde pirålen en fjärdedel av födan. Däremot innebär pirålens levnadsätt med att ligga nergrävd i sedimentet att den riskerar att utsättas för de föroreningar som finns där. Den aktuella studien där ett samlingsprov av pirål testats positivt, samt tidigare studier från dumpningsområdet i Arendal där 19 av 20 analyserade pirålar innehöll ämnen (Niemikoski m.fl. manuskript), bevisar att pirålen har höga tendenser att ta upp ämnen i form av till exempel nedbrytningsprodukter av Clark I och/eller II.

Vävnadsprover från pirål analyserades från samtliga tre vrak, både ned- och uppströms. Dock var det endast ett samlingsprov som testade positivt, och det var på individer fångade nedströms BAL141. Detta vrak ligger också självt nedströms fem vrak, inom fyra kilometer, som kan ha påverkat individerna från BAL141 genom spridning av ämnen via bottenströmmen. Analys av vävnad från pirål fångade uppströms BAL141 innehöll inga ämnen av kemiska stridsmedel eller dess nedbrytningsprodukter.

Östkusten

Dumpningsområdet i Gotlandsdjupet har genom ROV-studier och sedimentprovtagning bekräftats ha närvaro av kemiska stridsmedel, därav bland annat senapsgasrelaterade och arsenikinnehållande kemikalier så som Clark I och Adamsit.

Under 2019 års undersökning analyserades vävnad från individer fångade inom dumpningsområdet på positioner bestämda utifrån tidigare identifierade gasbomber på havsbotten (CHEMSEA Findings 2014). Utav totalt 11 prover var det två samlingsprover av muskel från torsk som innehöll nedbrytningsprodukt av Clark I och/eller II i form av difenylarsinsyra (3O). Ett av proverna innehöll även nedbrytningsprodukt av Trifenylarsin i form av trifenylarsinoxid (4O). Mängderna var mätbara men under gränsen för kvantifiering.

Torsk är en relativt demersal art som lever och hämtar sin föda från sedimentlevande djur, men också i den fria vattenmassan. Dess levnadssätt torde dock innebära mindre risk för att utsättas för ämnen som finns i sedimentet än pirål då den inte uppehåller sig helt på eller i sedimentet. Dock består födan dels av bottenlevande djur vilket kan innebära att den utsätts för halter av ämnena. Torsken är en av de viktigaste kommersiella fiskarterna i Sverige och konsumeras flitigt av människan. Den är också ekologiskt viktig som toppredator men har på senare år minskat kraftigt i populationsstorlek.

Av de sedimentprover som provtogs i Gotlandsdjupet innehöll samtliga nedbrytningsprodukter av Clark I och/eller II i form av difenylarsinsyra (3O) och Trifenylarsin i form av trifenylarsinoxid (4O) samt metylerade former av Adamsit (2.1) och Clark (3.1). Mängderna var mätbara men under gränsen för kvantifiering. Att sedimentet på samtliga sex positioner var påverkade antyder att utbredningen är stor, framförallt kring de objekt som identifierades av Sjöfartsverket i samband med CHEMSEA projektet. Då positionerna valdes ut mer eller mindre slumpmässigt utifrån de identifierade objekten är sannolikheten troligen hög att sedimentet i andra delarna av dumpningsområdet innehåller liknande mängder föroreningar. Att det även detekterades hos en mobil art som torsk antyder att mer än bara de direkt provtagna positionerna är påverkade. Även för de andelarna av torskopopulationen som uppvisar störst stationärt beteende (41 %) kan det stationära området röra sig om 10-60 km² (Robinchaud m.fl. 2004).

Spridning i näringsväven

Två av de detekterade kemikalierna i sedimentet i Gotlandsdjupet, difenylarsinsyra (3O) och trifenylarsinoxid (4O), är desamma som även fanns i vävnaden hos individerna vid GD1 och GD5, vilket tyder på att det finns en direkt koppling mellan sedimentet och de marina organismerna. På västkusten analyserades inga sedimentprover i den aktuella undersökningen, men Sjöfartsverket kunde 1992 detektera senapsgas i små mängder i sedimenten vid dumpningsplatsen (Sjöfartsverket 1992). Även på västkusten var det samma kemikalier i vävnaden hos fångade individer 2019 som det var i sedimentet i Gotlandsdjupet. Det är alltså troligt att samma ämnen som hittats i vävnaden hos organismer fångade på västkusten också går att finna i sedimentet kring vraken på västkusten. Hur ämnena tas upp hos till exempel torsk är inte känt, men undersökningarna från dumpningsområdena visar tydligt att kemiska stridsmedel och deras nedbrytningsprodukter tas upp av organismer i påverkade områden.

Var i näringskedjan som ämnena tas upp är inte känt, men en typisk näringsväv består av små kräftdjur i botten och fisk i toppen. Nedbrytningsprodukter från kemiska stridsmedel har detekterats hos räka, havskräfta samt fisk, vilket innebär att närvaro finns på i stort sett alla steg i näringsväven. Utifrån Sanderson m.fl. (2007) modellering anses de kemiska stridsmedlen och deras nedbrytningsprodukter ha låg benägenhet att ackumuleras. Clark I och Adamsit, från vilka nedbrytningsprodukter har identifierats i biota, har högst ackumulationsbenägenhet av de undersökta substanserna men är fortfarande inte signifikant bioackumulerande. Frågan är då huruvida alla påverkade individer tagit upp ämnena själva, eller om individer högre upp på näringsväven fått det via sin föda.

Generellt finner man högre totalarsenikhalter i havsfisk än i brackvattens- och sötvattensfisk (Westöö and Rydälv, 1972). Då de arsenikhaltiga kemiska stridsmedlen förekommer som oorganiska föreningar tyder allt på att de organiska arsenikföreningarna som påvisats i biota härrör från föda från biosyntetiserande organismer längre ner i näringskedjan.

De kemiska analyserna har till stor del fokuserats på specifika nedbrytningsprodukter av de ursprungliga stridsmedlen som genom sin sammansättning utesluter att de bildats genom naturliga processer av naturligt befintlig arsenik i sediment eller organismer. Sedimentprovtagningarna har även visat förhöjda halter av ämnen härrörande från kemiska stridsmedel i närhet av dumpningsplatserna.

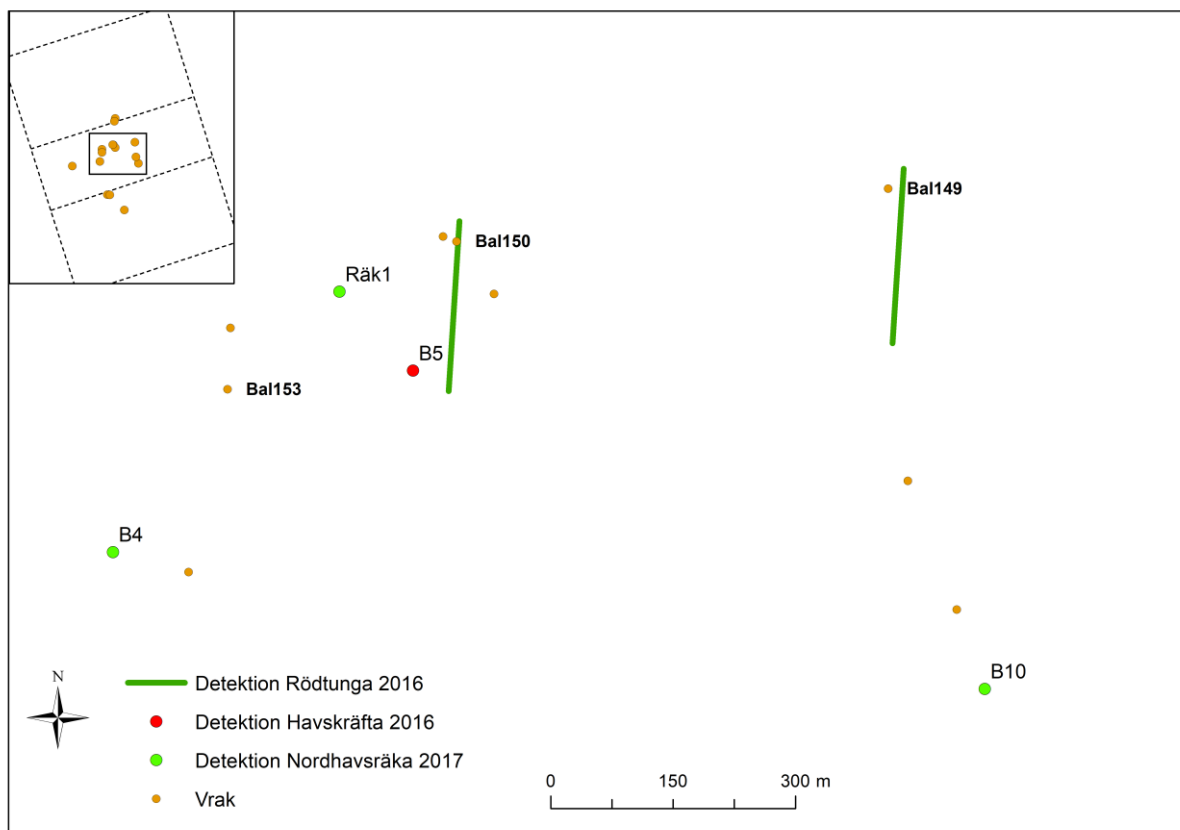
Pirålen är en art som genom sitt levnadssätt har hög risk att utsättas för ämnen i sedimentet, något som påvisats med den aktuella undersökningen och tidigare undersökningar av pirål i norska Arendals dumpningsområde. Dock återfanns även nedbrytningsprodukter hos andra arter som anses ha lägre risk att utsättas för ämnen i sedimentet, till exempel torsk. Däremot så livnär sig torsken på organismer som i sin tur har hög risk att utsättas. Det sista steget i näringsväven är förutom människan andra däggdjur så som säl och tumlare. Utifrån maginnehållsstudier på tumlare vet man att deras föda till en fjärdedel består av pirål, vilket innebär att de kan riskera att ta upp kemiska ämnen som finns i pirålens vävnad.

Det aktuella området på västkusten trafikeras och nyttjas flitigt av fiskenäringen, i huvudsak för fiske med bottentrål. Undersökningarna med side scan sonar av Sjöfartsverket 2015 visade på en botten helt täckt av trålspar mellan vraken. Bilder från en fjärrstyrd obemannad undervattensfarkost (ROV) visade att vraken oftast är täckta av nät från trålar som fastnat. 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 klumpar påträffades på sedimentet runt fartygen, vilket kan tyda på senapsgas. Cylindriska föremål hittades vid ett av vraken (BAL 153) vilka kan tolkas vara någon typ av ammunition.

Sanderson m. fl. (2008) utvärderade riskerna för fiskesamhället vid dumpningsområden, med Bornholmsdjupet som modellområde. Utifrån strömmätningar, spridningsmodeller och de kemiska stridsmedlens egenskaper har de modellerat fram att de vattenvolymer som har hög risk är <4 m över sedimentet och <58 km nedströms. Modellen togs fram innan nedbrytningsprodukter hittades i marin biota, men kom fram till att Trifenylarsin har högst riskprofil bland de kemiska stridsmedel som finns närvarande i Bornholmsdjupet, följt av Adamsit, Clark I och Senapsgas. Nedbrytningsprodukter av dessa ämnen har i denna undersökning detekterats i biota i form av difenylarsinsyra (Clark I/II) och trifenylarsinioxid (Trifenylarsin, komponent i Arsinolja).

Ett högt fisketryck, i form av bottentrålning, innebär troligen en större och kraftigare spridning än den naturliga spridningen modellerad av Sandersson m.fl. (2008). Under 2016 och 2017 års undersökning (Ahlsén m. fl. 2017, Ahlsén m. fl. 2018) detekterades nedbrytningsprodukter av kemiska stridsmedel hos individer fångade bland det huvudsakliga vrakklustret, och inte nedströms eller uppströms vraken (Figur 9). Dock var det för få individer som fångades och analyserades utanför huvudklustret för att en slutsats om att kringliggande områden inte är påverkade ska kunna dras.



Figur 9. Sammanställning av resultaten från 2016 och 2017 års undersökning (Ahlsén m. fl. 2017, Ahlsén m. fl. 2018) 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.

Nedbrytningsprodukter av det kemiska stridsmedlet Trifenylylsin hittades för första gången i biota hos organismer i Gotlandsdjupet. Ämnet detekterades även i samtliga sedimentprover som togs i dumpningsområdet. Trifenylylsin är en komponent av Arsinolja som används för att sänka fryspunkten genom blandning med senapsgas. Vid modellering kring de kemiska stridsmedlens hälsorisker för mänsklig konsumtion visar Sandersson m.fl. 2009 att störst hälsorisker visades för trifenylylsin, följt av senapsgas och arsenikinnehållande stridsmedel såsom Clark I och Adamsit. Trifenylylsin ansågs också ha högst risker för fiskesamhället (Sanderson m.fl. 2008).

De tidigare studierna på västkusten utfördes i den västra delen av vrakområdet som ligger utanför den svenska territorialgränsen, men innanför den exklusiva ekonomiska zonen. Det innebär att Sverige inom det östra vrakområdet har exklusiv rätt till exploatering av samtliga naturresurser, men området skyddas inte utav rikets lagar. Innanför territorialvattnet gäller rikets lagar och rätten att begränsa fartygstrafik och aktivitet. De västra delarna av vrakområdet inom vilket påverkade individer fångats kan därmed lättare regleras och skyddas för att minska spridningen av kemiska stridsmedel på havsbotten och eventuellt stänga fisket om så anses nödvändigt.

Efter de tidigare undersökningarna 2017 och 2018 på västkusten (Ahlsén m. fl. 2017, Ahlsén m. fl. 2018) diskuterades resultaten med Livsmedelsverket kring dess farlighetsgrad. 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 kvarstår. Huruvida det finns individer med högre koncentrationer går inte att utesluta.

Tack

Vi vill särskilt tacka de fiskare som vi samarbetat med vid provtagningen och som har varit mycket engagerade samt bidragit med utrustning och ett stort kunnande. Tack till SLU AQUA som bidragit med referensfisk från BITS-undersökningen.

Referenser

- Ahlsen., J. Bergkvist., J. Magnusson., M. Börjesson., D. Granmo., Å. 2017. Pilotundersökning av biota i anslutning till dumpade fartyg med kemisk ammunition. Havs- och vattenmyndigheten 2017:03.
- Ahlsen., J. Bergkvist., J. Magnusson., M. Granmo., Å. 2018. Undersökning av biota i anslutning till dumpade fartyg med kemisk ammunition. Havs- och vattenmyndigheten 2018:21
- 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.
- Büchert, A., Sørensen, A.K., Möhlenberg, F., Jensen, K. 1986. Rapport om försøg over opptagelse af giftgas i fisk. Miljøstyrelsens Havforureningslaboratorium, Levnedsmiddelstyrelsen og Civilforsvarets Analytisk-Kemiske Laboratorium 12p.
- CHEMSEA FINDINGS. 2014. Results from the Chemsea project - Chemical Munitions Search And Assessment. CHEMSEA
- DAIMON projektet. <https://www.daimonproject.com/>
- Dahllöf, I., Lindgren, J.F., Paka, V., Hassellöv, I.-M., Tengberg, A., Niemikoski, H., Kotwicki, L., Vanninen, P. 2020. Skagerrak dump site, concentrations of chemical warfare agents and environmental effects. In prep.
- 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.
- HELCOM. 1994. Report on chemical munitions dumped in the baltic sea. HELCOM CHEMU
- HELCOM. 2013. Chemical Munitions Dumped in the Baltic Sea. Report of the ad hoc Expert Group to Update and Review the Existing Information on Dumped Chemical Munitions in the Baltic Sea (HELCOM MUNI)
- 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
- Laurin, F. 1991. Scandinavia's underwater time bomb. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 47:11-15.
- Lunde, G. 1972. The absorption and metabolism of arsenic in fish. Reports on Technological Research Concerning Norwegian Fish Industry 5, 12 1.
- Moore M. N., Allen J. I., McVeigh A., 2006. Environmental prognostics: An integrated model supporting lysosomal stress responses as predictive biomarkers of animal health status. *Marine Environmental Research* 61. 278-304.
- Niemikoski, H., Söderström, M., Vanninen, P. 2017. Detection of Chemical Warfare Agent-Related Phenylarsonic Compounds in Marine Biota Samples by LC-HESI/MS/MS. *Analytical Chemistry* 89:

- Norin, H. Och M. Vahter. 1983. Organiska arsenikföreningar i fisk.- jämförelse av organiska arsenikföreningar i oexponerad fisk och fisk som exponerats för oorganisk arsenik. Statens Naturvårdsverk. Kontraktsnr: 5311061-5.
- NRCC 15391 (1978). Effects of arsenic in the Canadian environment. National Research Council of Canada.
- Pershagen, G. and M. Vahter., 1979. Arsenic. A toxicological and epidemiological appraisal. Statens Naturvårdsverk PM. 1128. 265p.
- Rand, G.M. 1995. Fundamentals of Aquatic Toxicology. Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment. Taylor & Francis. Washington D.C. second Edition. 1125 p.
- 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. 2007. PBT screening profile of chemical warfare agents (CWAs). Journal of Hazardous Materials, 148:210-215.
- Sanderson, H., Fauser, P., Thomsen, M., Sørensen, P.B. 2008. Screening level fish community risk assessment of chemical warfare agents in the Baltic Sea. Journal of Hazardous Materials, 154:846-857.
- 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.
- Sanderson, H., Fauser, P., Thomsen, M., Vanninen, P., Söderström, M., Savin, Y., Khalikov, I., Hirvonen, A., Niiranen, S., Missiaen, T., Gress, A., Polyak, Y., Paka, V., Zhurbas, V., Feller, P. 2010. Environmental hazards of sea-dumped chemical weapons. Environmental Science & Technology, 44:4389-4394.
- 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 Skagerrack (Swedish zone). All-Russia Geological Institute and Atlantic branch of Institute of oceanology, Russian Academy of Science, Moscow.
- Tørnes, J.A., Voie, Ø.A., Ljønes, M., Opstad, A.M., Bjerkeseth, L.H., Hussain, F. 2002. Investigation and risk assessment of ships loaded with chemical ammunition scuttled in Skagerrak.
- Waleij, A. 2001. Dumpade C-stridsmedel i Skagerrak och Östersjön en uppdatering.
- Westöö, G. and M. Rydälv. 1972. Arsenic levels in foods. Vår föda 24, 21.

Appendix

APPENDIX I VERIFINs analysrapport 2020