

A. TORBJÖRN JOHANSSON, MATHIAS H. ANDERSSON OCH
MARTIN GARMELIUS



A. Torbjörn Johansson, Mathias H. Andersson
och Martin Garmelius

Skydd av marint liv vid användning av aktiv sonar

Bild/Cover: © Mathias Andersson

Titel	Skydd av marint liv vid användning av aktiv sonar
Title	Protection of Marine Life during Active Sonar Operations
Rapportnr/Report no	FOI-R—3716—SE
Månad/Month	September
Utgivningsår/Year	2013
Antal sidor/Pages	41 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FMV
Forskningsområde	10. Undervattensforskning
FoT-område	Undervattensteknik
Projektnr/Project no	E28254
Godkänd av/Approved by	Torgny Carlsson
Ansvarig avdelning	Försvars- och säkerhetssystem

Denna rapport skall citeras som:

Johansson, A. T., Andersson, M. H. och Garmelius M. (2013). Skydd av marint liv vid användning av aktiv sonar, Teknisk rapport FOI-R—3716—SE, Totalförsvarets forskningsinstitut FOI. 41 s.

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

Denna rapport utgör slutrapport för projektet Skydd av marint liv vid användning av aktiv sonar (SKYMLAS). Projektet har under 2012 och 2013 arbetat för att ta fram kunskap om marinens aktiva sonarers miljöpåverkan och vad som kan göras för att kontrollera och minska denna. Projektet har deltagit i European Defence Agency-projektet Protection of Marine Mammals (PoMM) tillsammans med forskare och beslutsfattare från Tyskland, Norge, Nederländerna, Italien och Storbritannien. PoMM-projektets syfte var att ta fram underlag och metoder för att kunna skydda marina däggdjur vid användningen av aktiv sonar. SKYMLAS har genomförts av FOI på uppdrag av Försvarets Materielverk under 2011-2013. Projektets totalbudget var 5,3 Mkr, varav 3,2 Mkr utgjorde kostnader för deltagandet i PoMM.

Aktiva sonarers inverkan på marint liv har under senare år erhållit ett allt större internationellt intresse. Detta på grund av ett par uppmärksammade masstrandningar av valar och delfiner i samband med flottövningar. Flera länder har arbetat med att uppskatta och minimera påverkan av aktiv sonar på marint liv. Detta arbete har fokuserat på effekter på marina däggdjur, eftersom de har uppvisat störst påverkan och också hör bättre än fisk vid typiska sonarfrekvenser. Inom Sverige har forskning om sonarpåverkan och hur den kan begränsas inte tidigare bedrivits.

Försvarets verksamhet är ett riksintresse. Aktiv sonar används för att leta efter och identifiera objekt på och i vatten, och särskilt för objekt i vattenvolymen såsom ubåtar och minor är denna teknik oundgänglig. Det är därför viktigt för Marinen att kunna fortsätta använda aktiva sonarer med bibehållen operativ förmåga. Vi vill med denna rapport visa att med kunskap, smarta verktyg och enkla handlingsregler kan Marinen ta sitt miljöansvar för de aktiva sonarsystemen utan att verksamheten och förmågan påverkas nämnvärt. Vi rekommenderar att Marinen går vidare och implementerar operativa åtgärder som säkerställer att riskerna vid användning av aktiva sonarer hanteras.

Denna rapport utgör en sammanfattning av projektets samlade resultat; mer information finns i de publicerade rapporter, memon och vetenskapliga publikationer som listas i slutet av rapporten. Vi har inom PoMM medverkat till att ta fram en gemensam europeisk databas om marina däggdjur, ett grafiskt gränssnitt för ljudanalys och metoder för detektion och klassificering av marina däggdjurs läten. Vi har sammanfattat information om tumlare och de tre svenska sälarterna knubbsäl, gråsäl och vikare och bedömt det juridiska läget gällande dessa arters skyddsstatus samt användningen av aktiv sonar i vatten där de förekommer. Vi har gjort experiment för att bedöma hur tumlare och säl påverkas av Marinens sonarpulser och med hjälp av dessa visat att tumlare upp till 20 km från en av Marinens aktiva sonarer kan påverkas mycket negativt med risk att hälsa och livsuppehållande funktioner påverkas. Vi har utvärderat stödverktyg som förenklar för Marinen att ta hänsyn till risken att störa och skada marina däggdjur vid sonaranvändning och rekommenderar att ett sådant verktyg används. Slutligen har vi tagit fram ett förslag till handlingsregler för säker användning av aktiv sonar i Marinen.

Nyckelord: aktiv sonar, miljöpåverkan, marina däggdjur, tumlare, säl, Marinen.

Summary

This is the final report of the project “Skydd av marint liv vid användning av aktiv sonar”, which was carried out by FOI, the Swedish Defence Research Agency, during 2012 and 2013. Commissioned by FMV, the Swedish Defence Material Administration, this project has strived to estimate the environmental impact of the Swedish Navy’s use of active sonar and find ways of minimising this impact. The project has participated in the European Defence Agency project Protection of Marine Mammals (PoMM), where scientists and decision makers from Germany, Italy, the Netherlands, Norway, Sweden and the United Kingdom have developed knowledge and methods for protection of marine mammals during active sonar exercises.

The impact of active sonars on marine life has come into focus in recent years due to a number of mass strandings of whales and dolphins. These mass strandings have been connected to naval use of active sonar. In response to this, several countries have implemented research programs aimed at estimating and minimising the environmental impact of active sonars. These programs have focused on effects on marine mammals because they have displayed the greatest impact and because their hearing is better than that of fish at typical sonar frequencies. In Sweden, research into the environmental impact of naval active sonars has not previously been conducted.

The activities and capabilities of the Swedish Armed Forces are considered of national importance. Active sonar is crucial for detection and classification of objects in the water such as mines and submerged submarines. It is therefore important that the Swedish Navy maintain their active sonar capabilities. In this report we show that with knowledge, appropriate tools, and simple guidelines, the Swedish Navy can modify its doctrine so that active sonars are used in an environmentally responsible fashion while the effects on capabilities and performance are negligible. We recommend that the Swedish Navy proceeds to implement these changes.

This report introduces the project’s activities and summarises its results; full details are available in reports, memos and scientific publications listed at the end of the report. Within PoMM we have contributed to the development of a common European database on marine mammals, a graphical interface for audio analysis, and methods of detection and classification of marine mammal calls. We have summarised information about marine mammals in Swedish waters, i.e. harbour porpoises, grey seals, harbour seals, and ringed seals, and assessed the legal situation with regards to the protection status of these animals and the use of active sonar in Swedish waters inhabited by marine mammals. We have conducted experiments to estimate the impact of Swedish Navy sonar pulses on porpoises and seals and showed that harbour porpoises may receive severe behavioural effects at ranges up to 20 km from a transmitting sonar. We have evaluated software tools that support the Navy in managing risks of disturbing or injuring marine mammals during active sonar exercises and recommend that such a tool is used. Finally, we have proposed guidelines for environmentally responsible use of active sonar in the Swedish Navy.

Keywords: active sonar, environmental impact, marine mammals, navy, seal, porpoise.

Innehållsförteckning

1	Introduktion	7
1.1	Leveranser	8
2	Marina däggdjur i svenska vatten	11
2.1	Tumlare	11
2.2	Sälar	12
3	Lagläget	16
4	Aktiv sonar i Marinen	17
5	Experiment	19
6	Miljöpåverkan	22
7	Databas om marina däggdjur	26
8	Detektion och klassificering av marina däggdjurs ljud	28
9	Verktyg för ljudanalys	31
10	Stödverktyg	33
11	Handlingsregler	36
12	Slutsatser och vidare arbete	37
13	Slutord	38
14	Referenser	39

1 Introduktion

Ljud och buller kan påverka marint liv på olika sätt, genom fysisk påverkan på hörsel och andra organ, genom påverkan på beteende, och genom maskering av egna läten och naturliga ljud i omgivningen. Såvitt man vet idag sker fysisk påverkan endast vid höga ljudnivåer, medan beteenderespons och maskering sker vid lägre ljudnivåer. Hörselskador är allvarliga eftersom marina däggdjur är beroende av ljud och hörsel för kommunikation, navigering och födosök, men även påverkan på beteendet kan vara förödande. Faktorer som kan påverka en populations hälsa och överlevnad är t.ex. flykt från naturligt habitat, störning av födoupptag, och störning vid känsliga tidpunkter såsom parning. Störningar kan vara särskilt skadligt för populationer som är hotade och vars överlevnad redan är oviss, som t.ex. Östersjöpopulationen av tumlare. Marina däggdjur är känsliga för störningar eftersom det tar lång tid innan de blir reproduktiva och yngre individer är beroende av föräldrarna under en lång tid. Konsekvenserna kan bli stora om ett antal individer påverkas negativt eller dödas. Många marina däggdjur lever i grupper och interagerar och influerar varandra. En störning kan påverka en individ på kort eller lång sikt och därmed hela gruppen eller en stor del av den.

Aktiva sonarers inverkan på marint liv har under senare år erhållit ett allt större internationellt intresse. Detta på grund av ett par uppmärksammade masstrandningar i samband med flottövningar (för mer information se OSPAR 2009). Det har dock endast skett ett fåtal masstrandningar i nordeuropeiska vatten, och ingen av dessa kan kopplas till sonarövningar. Valar och delfiner kan stranda av flera orsaker t.ex. sjukdomar, felnavigering, väderfenomen som kraftiga stormar men även antropogena störningar, varav ljud kan vara en orsak. I de fall då strandningar har kopplats till användning av militära sonarer är det inte helt klarlagt hur påverkan sker. Man trodde tidigare att sonarerna gav skador på inre organ genom direkt fysisk påverkan. Den mest troliga hypotesen idag är snarare att djurens beteende påverkas. Särskilt kraftig störning kan ge upphov till panikliknande reaktioner, vilka på grund av onormala dykmönster i sin tur kan leda till organskador i effekter liknande dykarsjuka. Djupdykande arter av näbbvalssläktet har drabbats särskilt hårt, och det pågår forskning för att ta reda på vad detta beror på. Dessa arter finns inte i svenska vatten.

Vid projektets början identifierades ett antal kunskapsluckor. Det saknades inom Försvarmakten detaljerad kunskap om var i svenska vatten de marina däggdjuren finns och om de under någon tid på året är extra känsliga för störning. Vi behövde veta mer om hur känsliga de är för svenska marinens sonarpulser, huruvida det fanns något stödverktyg som kunde hjälpa till att hantera risken att störa och skada marint liv, och om det juridiska läget kring miljöpåverkan av aktiva sonarer. Marinen deltar ofta i internationella uppdrag och övningar på främmande vatten, och det fanns endast ytlig kunskap om vilka marina däggdjur de kunde möta och hur dessa låter. Dessa läten kan förvilla och störa en sonaroperatör, och om vi kan känna igen lätena och kanske detektera dem automatiskt får vi möjlighet att vidta skyddsåtgärder. Det rädde också oklarhet kring om sälar i svenska vatten egentligen låter i undervattensläge, och i så fall hur. Slutligen hade man inte utrett huruvida det borde finnas några handlingsregler för ansvarsfull användning av aktiv sonar, och hur dessa i så fall borde se ut.

Dessa kunskapsluckor har adresserats i detta projekt, vilket därför blev både brett och tvärvetenskapligt. Vår filosofi har varit att söka samarbete och informationsutbyte med alla berörda parter i syfte att resultatet ska bli så bra och relevant som möjligt. Vi har i och med slutförandet av detta projekt medverkat till att Försvarmakten och Marinen nu är relativt väl insatta i frågor som rör akustisk miljöpåverkan av aktiv sonar och har den kunskap som krävs för att gå vidare och implementera operativa åtgärder som hanterar riskerna vid användning av aktiva sonarer.

Denna rapport utgör en introduktion till och en sammanfattning av projektets samlade resultat. Resultaten har publicerats i vetenskapligt granskade rapporter, memon och vetenskapliga artiklar, och läsaren hänvisas till dessa för mer detaljer.

Rapporten inleds med en uttömmande lista på projektets leveranser. Därefter följer en genomgång av de marina däggdjur som regelbundet förekommer i svenska vatten. I kapitel 3 summerar vi det juridiska läget kring skydd av marina däggdjur och miljöpåverkan av aktiva sonarer. Marinens aktiva sonarsystem och deras användning beskrivs kort i kapitel 4. Kapitel 5 berättar om de experiment som projektet har utfört i syfte att bestämma hur en spaningssonars ljudpulser påverkar tumlare och säl. Resultaten från dessa experiment används för att uppskatta riskavstånd, d.v.s. avstånd från en sonarsändare inom vilka marina däggdjur riskerar hörselskador eller signifikanta beteendestörningar. Resultaten skiljer sig väsentligt åt mellan olika system, olika djurarter och mellan Östersjön och Skagerrak, vilket diskuteras i kapitel 6.

Projektet deltog i European Defence Agency-projektet Protection of Marine Mammals (PoMM) tillsammans med forskare och beslutsfattare från Tyskland, Norge, Nederländerna, Italien och Storbritannien. PoMM-projektets syfte var att ta fram underlag och metoder för att kunna skydda marina däggdjur vid användningen av aktiv sonar. PoMM-projektet har byggt upp en gemensam europeisk databas om marina däggdjur. Detta arbete och de relaterade verktyg som vi och de andra i projektet tagit fram beskrivs i kapitel 7. PoMM-projektet har också utvecklat och utvärderat metoder för detektion och artklassificering av marina däggdjurs läten. Kapitel 8 summerar detta arbete och dess resultat. Vi har inom ramen för PoMM-projektet även tagit fram ett verktyg för ljudanalys, se kapitel 9.

Kapitel 10 summerar vår utvärdering av stödverktyg för riskuppskattning och riskminimering vid sonaranvändning, och kapitel 11 är en sammanfattning av våra tankar kring handlingsregler för ansvarsfull användning av aktiv sonar i marinen.

Rapporten avslutas med slutsatser, förslag till vidare arbete samt slutord med tack till den stora grupp experter som bidragit.

1.1 Leveranser

Här följer en lista på de leveranser som projektet har genererat.

1.1.1 Verktyg

PoMM-projektets databas om marina däggdjur: observationer, populationsfördelningar, förekomst, ljudinspelningar, läten, data om strandade djur (Ciaccia m.fl 2013a).

Verktyg för sökning i PoMM-databasens audiodel och illustration samt uppspelning av resultat (Nordhamn m.fl. 2013).

ACAI - grafiskt användargränssnitt till ljudinspelningar inklusive verktyg för att lägga in data i PoMM-databasens audiodel samt integrerade metoder för brusreduktion samt detektion och analys av transienter (Johansson 2013b).

Algoritmer för detektion och analys av marina däggdjurs läten (Linderhed och Johansson 2013, Johansson 2013a).

Algoritm för klassificering av marina däggdjurs läten (Gunnarsson m.fl. 2013).

1.1.2 Vetenskapliga artiklar i refererade tidsskrifter och böcker

Andersson M. H. och Johansson A. T. Assessment of Marine Mammal Impact zones for Use of Military Sonar in the Baltic Sea. Publiceras i *Effects of Noise on Aquatic Life II* (preliminär titel), Springer, 2014.

Kastelein R. A., Hoek L., Janssens G., Gransier R., Johansson A. T. (2013). Behavioral responses of harbor seals (*Phoca vitulina*) to sonar signals in the 25 kHz range. Publiceras i *Marine Environmental Research*.

Kastelein R. A., van den Belt I., Hoek L., Gransier R., Johansson A. T. (2013). Behavioral responses of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) to sonar signals of around 25 kHz. Publiceras i *Marine Environmental Research*.

Kastelein R. A., van den Belt I., Hoek L., Gransier R., Johansson A. T. (2013). Behavioral responses of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) to 25 kHz naval sonar signals with and without harmonics. Under bearbetning för publikation i *Marine Environmental Research*.

1.1.3 Deltagande i vetenskapliga konferenser

Andersson M. H. och Johansson A. T. (2013). Assessment of Marine Mammal Impact zones for Use of Military Sonar in the Baltic Sea. Third International Conference on the Effects of Noise on Aquatic Life, Budapest, Ungern, 11-16 augusti 2013.

Johansson A. T. High-resolution whistle detection and frequency tracking using adaptive notch filters. 5th International Workshop on Detection, Classification, Localization, and Density Estimation of Marine Mammals using Passive Acoustics, Mount Hood, USA, 22-25 augusti 2011.

Johansson A. T. Minimering av sonarers miljöpåverkan. Marin Undersökningsteknik, Norrköping 8-9 mars 2012.

Johansson A. T., Garmelius M., Andersson M. H., Sigg R., Sigra P. och Persson L. Risksäkring av aktiv sonar. Marinstridsdagarna, Karlskrona, 22-24 januari 2013.

Johansson A. T. Porpoises and underwater noise: effects and possible mitigation measures. SAMBAH workshop, Göteborg, 15 april 2013.

Vi har även varit medförfattare till PoMM-projektets postrar, vilka deltagit i flera konferenser.

1.1.4 Rapporter

1.1.4.1 FOI-rapporter

Andersson M. H. och Johansson A. T. (2013). Akustiska miljöeffekter av svenska marinens aktiva sonarsystem, FOI-R—3504-SE, 75 s.

Andersson M. H. och Johansson A. T. (2013). Säker användning av militära sonarsystem - nationella handlingsregler och svensk lag. FOI-R—3656-SE, 23 s.

Johansson A. T., Garmelius M. och Andersson M. H. (2013). Skydd av marint liv vid användning av aktiv sonar. FOI-R—3716—SE, 41 s. (denna rapport)

Sigg R. och Johansson T. (2013). Utvärdering av riskuppskattningsverktyg för aktiv sonar, FOI-R—3505-SE, 26 s.

1.1.4.2 PoMM-projektets slutrapporter

Ciaccia E., Meneghetti N., Pavan G., Knoll M., Nissen I., Ludwig S., Lorenzen D., Kreimeyer R., Dekeling R., Benders F., Nordlund N., Kvadsheim P., Gunnarsson S.-L., Johansson T., Garmelius M., Hobson V., Fraser L. (2013). WE 1.4 Construction of Common Database: Final Report. EDA PROJECT ARRANGEMENT (PA) No B- 0389 - ESM01-GC Protection of Marine Mammals (PoMM).

Ciaccia E., Meneghetti N., Pavan G., Knoll M., Nissen I., Ludwig S., Lorenzen D., Kreimeyer R., Dekeling R., Benders F., Gunnarsson S.-L., Johansson T., Garmelius M. (2013). WE 2.1 Passive Acoustic Monitoring Tools: Final Report. EDA PROJECT ARRANGEMENT (PA) No B- 0389 -ESM01-GC Protection of Marine Mammals (PoMM).

Dekeling R., Benders F., Knoll M., Nissen I., Ludwig S., Lorenzen D., Kreimeyer R., Ciaccia E., Meneghetti N., Pavan G., Nordlund N., Kvadsheim P., Hobson V., Fraser L., Gunnarsson S.-L., Johansson T., Garmelius M., (2013). WE 1.3 Development of In- and Output Tools: Final Report. EDA PROJECT ARRANGEMENT (PA) No B- 0389 - ESM01-GC Protection of Marine Mammals (PoMM).

Gunnarsson S.-L., Johansson T., Garmelius M., Knoll M., Nissen I., Ludwig S., Lorenzen D., Kreimeyer R., Dekeling R., van Zon T., Benders F., Ciaccia E., Meneghetti N., Pavan G. (2013). WE 2.2 Classification of marine mammal sounds: Final Report. EDA PROJECT ARRANGEMENT (PA) No B- 0389 -ESM01-GC Protection of Marine Mammals (PoMM).

Nordlund N., Kvadsheim P., Knoll M., Nissen I., Ludwig S., Lorenzen D., Kreimeyer R., Stifani M., Pavan G., Dekeling R., Benders F., Liddell K., Gunnarsson S.-L., Johansson T. (2011). WE 1.1 Definition of Database Characteristics: Final Report. EDA PROJECT ARRANGEMENT (PA) No B- 0389 -ESM01-GC Protection of Marine Mammals (PoMM).

Nordlund N., Kvadsheim P., Knoll M., Nissen I., Ludwig S., Lorenzen D., Kreimeyer R., Ciaccia E., Meneghetti N., Pavan G., Dekeling R., Benders F., Liddell K., Fraser L., Gunnarsson S.-L., Johansson T., Garmelius M., (2013). WE 1.2 Collection and description of basis data sets: Final Report. EDA PROJECT ARRANGEMENT (PA) No B- 0389 - ESM01-GC Protection of Marine Mammals (PoMM).

1.1.4.3 FOI-memon

Johansson A. T. (2012). Lägesrapport för projektet ”FOI medverkan PoMM”. FOI Memo 4154.

Johansson A. T. (2013). Time domain methods for marine mammal whistle detection and tracking. FOI Memo 4560.

Linderhed A. och Johansson A. T. (2013). Porpoise click detection. FOI Memo 4530.

1.1.4.4 Dokumentation av arbete finansierat av projektet

Carlén I. och Carlström J. (2011). Sources of marine mammal data for PoMM in SE, FI, EE, LV, LT and PL. AquaBiota Notes 2011:4. 16 s.

Carlén I., Carlström J. och Nikolopoulos A. (2012). Marine mammal data for PoMM in SE, FI, EE, LV, LT and PL. AquaBiota Notes 2012:2. 32 s.

Särnblad A. (2013). Inventory of underwater vocalizations produced by harbour-, harp-, grey-, ringed- and hooded seals. FOI-S—4273-SE, FOI, Stockholm.

1.1.4.5 Uppsatser som skapats för projektet

Linderhed A. (2013). Marine mammal behavior response to sonars, a review. Kandidatuppsats, Institutionen för fysik, kemi och biologi, Linköpings universitet. LiTH-IFM- Ex--13/2826--SE.

Nordhamn A., Wigren A. och Eriksson J. (2013). Grafiskt gränssnitt till databas med val- och delfinljud. Kandidatuppsats, Institutionen för teknikvetenskaper, Uppsala universitet. TVE 13 038 juni.

2 Marina däggdjur i svenska vatten

Rapporten ”Akustiska miljöeffekter av svenska marinens aktiva sonarer” (Andersson och Johansson 2013a) beskriver våra marina däggdjur i detalj. Här följer en sammanfattning.

Marina däggdjur är långlivade djur som kan röra sig över stora områden under vissa delar av året, medan de över lag är mer stationära i samband med parning och uppfödning av ungar. De är som mest känsliga för störning under parningstiden och under de första månaderna efter att ungarna har fötts.

2.1 Tumlare

Tumlare (*Phocoena phocoena*, Figur 1) är en av de minsta tandvalarna och den vanligast förekommande valarten i norra Europa. Vuxna individer blir vanligtvis 1,5–1,8 m långa och väger 50–75 kg. Tumlaren är den enda val som förekommer regelbundet i större antal i svenska vatten. De är svåra att observera då de ofta endast exponerar den lilla ryggfenan och delar av ryggen över vattenytan (Figur 1). Födan för tumlare i svenska vatten utgörs av fisk i storleksordningen 10–30 centimeter som sväljs hela. I Östersjön parar sig tumlare i allmänhet under augusti månad medan parningen i Skagerrak och Kattegatt sker något tidigare. Kalven föds efter tio och en halv månads dräktighet och dias under nio månader men börjar även äta fast föda från tre till fyra månaders ålder. På den svenska syd- och västkusten uppskattas antalet tumlare vara omkring 8 000 (Naturvårdsverket 2011a). Det finns betydligt fler tumlare i danska och tyska vatten där antalet uppskattas till mer än 20 000. Kunskapsläget om beståndet i egentliga Östersjön, d.v.s. från Ålands hav i norr till de danska sunden i söder och väster, är dåligt, men populationen uppskattas bestå av 200–500 djur (Naturvårdsverket 2011a). Tätheten av tumlare antas vara högre i södra och västra Östersjön än i norra och östra (Figur 2).



Figur 1. (a) Tumlare på ytan sedd framifrån (foto: © Mathias Andersson), (b) Närbild på tumlare (foto: © Colette6, dreamstime.com).



Figur 2. Översiktskarta över utbredningen av tumlare i svenska vatten. Data hämtad från HELCOMs databas över uppskattad utbredning av tumlare. På grund av brist på information har endast kvalitativa densitetsnivåer använts.

De flesta tandvalar har väldigt god hörselförmåga och tumlaren är inget undantag. Den använder hörseln för navigering och för att hitta föda. Detta gör den genom att använda ekolokalisering; den genererar högfrekventa ljudpulser, s.k. klick, vid 110-160 kHz och lyssnar efter ekon från objekt i omgivningen. Varje klick har en längd av 40-50 μ s och antalet klick per sekund kan variera från ett fåtal upp till ett hundra. Klickljuden används också för kommunikation.

2.2 Sälar

Sälar (Pinnipedia) är en djurgrupp i ordningen rovdjur. Man delar in de 33 arterna i tre familjer – öronsälar (Otariidae), öronlösa sälar (Phocidae) och valrossar (Odobenidae). De tre svenska arterna knubbsäl, gråsäl och vikare hör till familjen öronlösa sälar. Sälstammarna anses vara livskraftiga och antalet djur ökar generellt i antal, med undantag för knubbsäl i Kalmarsund. Säl är framför allt känslig för störning i samband med parning och uppfödning av kutar, och vid dessa perioder är det ofta tillträdesförbud till sälskyddsområden. Detta skydd omfattar skär och grynnor som är viktiga för sälarna och även kringliggande vatten.

Sälar, inklusive våra svenska arter, har en väl utvecklad hörsel både under och över vatten. Alla tre arter har en varierad repertoar av undervattensläten, vilka t.ex. kan låta som klick, visslingar, vrål, och knackningar. Lätena varierar stort mellan olika arter och även mellan individer av samma art på olika platser. De fyller en viktig funktion vid avgränsningen av revir, dominansbeteende och vid parning. Läten har främst registrerats från hanar i samband med reproduktion. För en detaljerad genomgång av sälars undervattensljud och deras funktion, se Särnblad (2013).

2.2.1 Knubbsäl

Knubbsälen (*Phoca vitulina vitulina*, Figur 3) lever på grunda vatten längs öppna kuster, i skärgårdar och vid flodmynningar, där den uppsöker såväl sand- som klippstränder. Knubbsälen lever relativt stationärt, men unga individer kan simma långt från platsen där de föddes. Den huvudsakliga födan är fisk. Knubbsälshanen kan bli omkring 1,6–1,8 meter lång och väga 75–100 kg. Honan blir något mindre, 1,5–1,7 meter lång och med en vikt på 70–90 kg. Färgen är gråspräcklig hos både honan och hanen. Knubbsälens parning sker i slutet av juli och början av augusti. Fosterutvecklingen är fördröjd och kuten föds normalt i början av juni följande år. Den diar sedan i upp till en månad. I Sverige finns ca 15 000 knubbsälar (Naturvårdsverket 2011b). De är uppdelade på två skilda populationer (Figur 4). En grupp på ett par hundra djur kring Kalmarsund utgör en genetiskt isolerad kvarleva av de knubbsälar som etablerade sig i Östersjön för 8000 år sedan. Övriga knubbsälar finns i södra Öresund, Skagerrak och Kattegatt.



Figur 3. Knubbsäl (a) närbild (foto: © Lukas Blazek, dreamstime.com), (b) Vuxna individer och en kut (foto: © Mathias Andersson).



Figur 4. Översiktskarta över utbredningsområde för knubbsäl i Skandinavien. Kartan är baserad på data hämtad från vetenskapliga artiklar och rapporter som beskriver utbredningen av knubbsäl. Notera att populationen är separerad i en del på västkusten och en del kring Kalmarsund.

2.2.2 Gråsäl

Gråsälen (*Halichoerus grypus*, Figur 5) är den största och vanligaste sälen i svenska vatten. Gråsälen lever största delen av sitt liv ute till havs men söker sig upp på land under pälsömsningen i maj-juni. Den utnyttjar ofta samma kobbar och skär år efter år, s.k. sälvisten (eng. haul-out sites). Hanen kan bli lite över tre meter lång och väga upp till 300 kilo. Honan är något mindre och väger 100-190 kg. Gråsälen äter i huvudsak fisk som t.ex. torsk, strömming, lax och plattfiskar, men som ung också kräftdjur, musslor och snäckor. Under parningstiden, som infaller i mitten av mars i Östersjön, samlas gråsälen i stora kolonier. Detta sker oftast på isen men förekommer på land vid dåligt isläge. Gråsälshonan föder en kut i månadsskiftet februari–mars året därpå. Många gråsälskutar föds på isen i Bottenviken, Norra Kvarken eller Finska viken och på land i Stockholms skärgård, på Åland eller i Estland. Gråsälar på västkusten har observerats med kutar både under vårvintern och på hösten. I Sverige finns ca 25000 gråsälar i Östersjön (Naturvårdsverket 2011c), och även ett litet bestånd i Öresund (Figur 6).



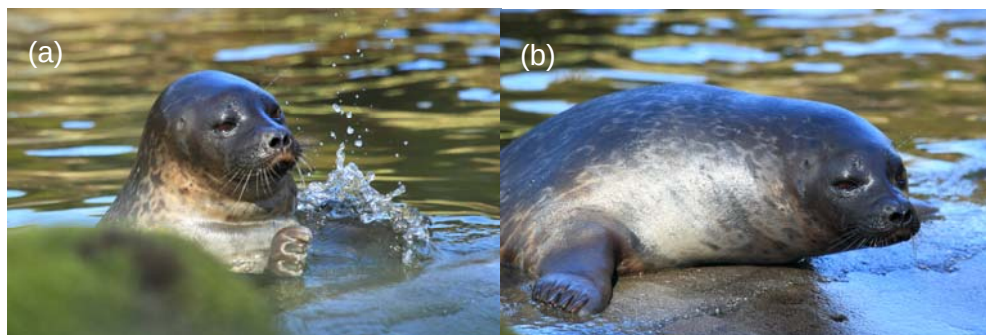
Figur 5. (a) Gråsäl i profil (foto: © Igmit, dreamstime.com), (b) Gråsälar på en kobbe (sälviste) (foto: Sergey Pristiyazhnyuk, dreamstime.com).



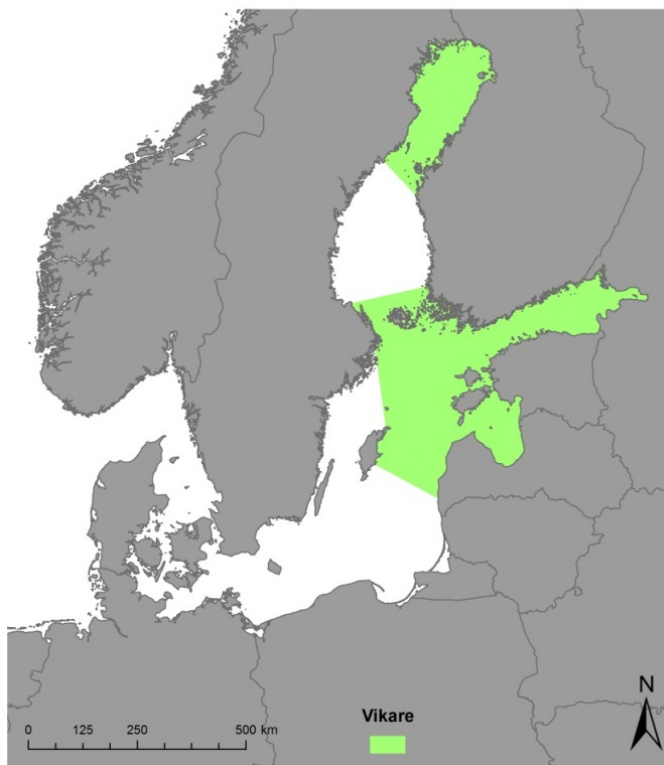
Figur 6. Översiktskarta över utbredningsområde för gråsäl i Östersjön. Kartan är baserad på data hämtad från vetenskapliga artiklar och rapporter som beskriver utbredningen av gråsäl.

2.2.3 Vikare

Vikare (*Pusa hispida*, Figur 7) är egentligen en arktisk sälart. Populationen i Östersjön blev instängd där efter den senaste istiden och utgör underarten östersjövikare (*Pusa hispida botnica*). Vikaren har ett litet huvud, en kort kattliknande nos och en fyllig kropp. Kutarnas päls är vit och mjuk när de föds. Vikarens framlabbar har klor som är mer än två och en halv centimeter tjocka och som används för att upprätthålla andningshål genom upp till två meter tjock is. Hanen blir cirka en och en halv meter lång och väger 65-95 kg. Honan blir cirka 1,3 meter lång och väger 45-80 kg. Vikaren är helt beroende av stabil is för föda och för att ge di åt kutarna. Den äter mindre kräftdjur det första året, därefter mindre fisk som skarpsill och strömming samt bottenlevande fisk som simpa. Parningstiden för vikare i norra Östersjön infaller från mars till början av april. Därefter är honan dräktig i ca elva månader. Kutarna föds i is- och snögrottor under februari–mars och de diar fram till slutet av april. Populationen i Östersjön är geografiskt separerad i en nordlig del i norra delen av Bottenhavet och inne i Bottenviken och en sydlig del (Figur 8). Populationen av vikare i Östersjön har lidit svårt av jakt och miljögifter och det finns uppskattningsvis omkring 10 000 individer kvar (Naturvårdsverket 2011d).



Figur 7. Vikare. Notera de kraftiga klorna och de typiska vita ringarna på ryggen (a, b) (foto: © Lukas Blazek, dreamstime.com).



Figur 8. Översiktskarta över utbredningsområde för vikare i Östersjön. Kartan är baserad på data hämtad från vetenskapliga artiklar och rapporter som beskriver utbredningen av vikare.

3 Lagläget

De marina däggdjuren i Sverige omfattas av olika former av skydd enligt flera paragrafer i Svea Rikes lag. För mer information om lagläget se ”Säker användning av militära sonarsystem – nationella handlingsregler och svensk lag” (Andersson och Johansson 2013b).

Tumlare omfattas av lagstiftningen om Statens vilt, ett begrepp som omfattar ett antal utvalda, sällsynta däggdjurs- och fågelarter. Detta innebär att ett djur som dödas eller hittats dött ska tillfalla staten och upphittaren är skyldig att underrätta polisen om händelsen (jaktlagen § 25 och jaktförordningen § 33). Tumlare är sedan den 1 juli 1973 fridlysta i Sverige och får varken dödas eller skadas. Döda tumlare skall rapporteras till Naturhistoriska Riksmuseet.

Tumlare klassas som Sårbar enligt Sveriges rödlista (2010), vilken baseras på de internationellt vedertagna kriterierna från Internationella Naturvårdsunionen (IUCN - International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). Detta innebär att arten kräver noggrant skydd. Sveriges rödlista skiljer inte på populationerna i Västerhavet och Östersjön utan gör en gemensam klassning för hela arten. IUCN klassar dock Östersjötumblarna som en underpopulation till populationen i Västerhavet. Därmed klassas Östersjötumlare av IUCN (2008) som Akut hotad på grund av sitt låga antal, medan västkustpopulationen är klassad som Sårbar (2010).

Vilt levande exemplar av tumlare är fredade enligt artskyddsförordningen (2007:845) vilket innebär att det är förbjudet att avsiktligt störa arten och att avsiktligt förstöra eller skada bo- och viloplatser.

Gråsäl, knubbsäl och vikare är upptagna i EUs art- och habitatdirektivs (92/43/EEG) bilagor 2, 4 och 5 över hotade arter, vilket innebär att de bör skyddas i form av särskilda bevarandeåtgärder. I Sverige finns 46 salskyddsområden som omfattar ca 13 800 hektar (2003).

EUs havsmiljödirektiv (2008/56/EG) anger att europeiska vatten ska uppnå god miljöstatus, t ex ”Tillförsel av energi, inbegripet undervattensbuller, ligger på nivåer som inte påverkar den marina miljön på ett negativt sätt”. I Sverige har havsmiljödirektivet genomförts huvudsakligen genom havsmiljöförordningen (2010:1341). I havsmiljödirektivet § 2.2 undantas militär verksamhet i fredstid, men detta undantag finns inte med i den svenska havsmiljöförordningen. Den svenska regeringen menar att i Sverige finns redan en miljölagstiftning som går längre än havsmiljödirektivet (Miljödepartementet 2012). Denna finns framförallt i miljöbalken.

Miljöbalken (1998:808) gäller för all civil och militär verksamhet som påverkar miljön. Kapitel 2 § 2 kräver att utövaren av verksamheten ska skaffa sig den kunskap som behövs för att skydda miljö och människor mot skada eller olägenhet. Kap 2 § 3 kräver att utövaren vidtar skyddsåtgärder och försiktighetsmått i syfte att förebygga, hindra eller motverka sådan skada eller olägenhet. Vid yrkesmässig verksamhet skall bästa möjliga teknik användas. Kap 2 § 6 kräver att utövaren om möjligt väljer en lämplig plats för att minimera sådan skada och olägenhet. De allmänna hänsynsreglerna i miljöbalken 2 kap kan tolkas som att Försvarsmakten måste ta hänsyn till den miljöpåverkan som aktiva sonarer kan ha och göra det som är möjligt och rimligt för att minimera eventuella effekter.

Flera resolutioner och konventioner tar upp miljöpåverkan av undervattensbuller. Dessa är dock inte lagligt bindande. Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic, North East Atlantic, Irish and North Seas (ASCOBANS) skapades 1991 för att genom ett internationellt samarbete underlätta bevarande av marina däggdjur. ASCOBANS har antagit allmänna riktlinjer för att förebygga skador på valar från antropogena verksamheter. Militära sonaraktiviteter tas upp som en sådan verksamhet (ASCOBANS 2006, 2009).

4 Aktiv sonar i Marinen

I ”Akustiska miljöeffekter av svenska marinens aktiva sonarer” (Andersson och Johansson 2013a) beskriver vi ljud i havet, aktiv sonar och marinens sonarsystem i detalj. Här följer en sammanfattning.

Ljud i havet skapas av många naturliga fenomen såsom vind, regn, brytande vågor, och seismisk aktivitet. Dessa källor ger upphov till havets bakgrundsljud. Fartygstrafik, utvinning av gas och olja, byggnation och drift av vind- och vågkraftverk, seismiska undersökningar, samt användning av ekolod och sonarer är exempel på mänsklig verksamhet som också bidrar till bakgrundsbullret. Slutligen bidrar fisk, marina däggdjur och andra marina arter med sina läten.

Aktiv sonar används både civilt och militärt för att undersöka objekt i vattenvolymen, på botten eller i sediment. Sonarer utnyttjar att ljud som sänds ut reflekteras mot objekt som ett eko och tar emot ekosignalen för att detektera och klassificera objekt i omgivningen. Typiska militära tillämpningar av sonarer är detektion, lokalisering och klassificering av olika mål under vattenytan. De används i fredstid främst i övningssyfte för att kunna fungera väl vid en eventuell kris- eller krigssituation. Under fredstida övningar kan aktiva val göras för att minimera risken att djur påverkas negativt. Sådana hänsyn får troligen lägre prioritet i ett skarpt läge.

Marinens sonarsystem kan sända ljudpulser av olika längder, frekvenser och karaktäristika i syfte att optimera den operativa prestandan. Pulsformen kan vara en ton med konstant frekvens (CW), en frekvensmodulerad ton (FM), eller en kombination av dessa två, s.k. COMBO. Vissa system använder också LPI-pulser (Low Probability of Intercept), vilka är mer bruslika.

Det är främst vid ubåts- och minjakt som den svenska marinen använder sig av aktiva sonarer. Olika typer av fartyg är inblandade i dessa två aktiviteter.

Vid ubåtsjakt används ytfartyg som t.ex. korvetter och bevakningsbåtar, vilka har ett skrovmonterat HMS-sonarsystem (Figur 10a). HMS är en förkortning för engelskans Hull Mounted Sonar. HMS-system fungerar bäst vid låga hastigheter. För att undvika skador på sonaren vid höga hastigheter kan den vara monterad på en hiss som endast firas ner vid sändning. Marinen använder sig av flera olika HMS-sonarsystem. Bevakningsbåtar är utrustade med sonar 199 som sänder pulser med frekvenser kring 57 kHz. Sonar 191 sänder korta pulser vid 95 kHz och finns på korvetter av Stockholms- och Göteborgsklass. Visbykorvetter har en typ av HMS som kan sända flera olika typer av pulser med frekvenser kring 86 kHz (FMV 2009).

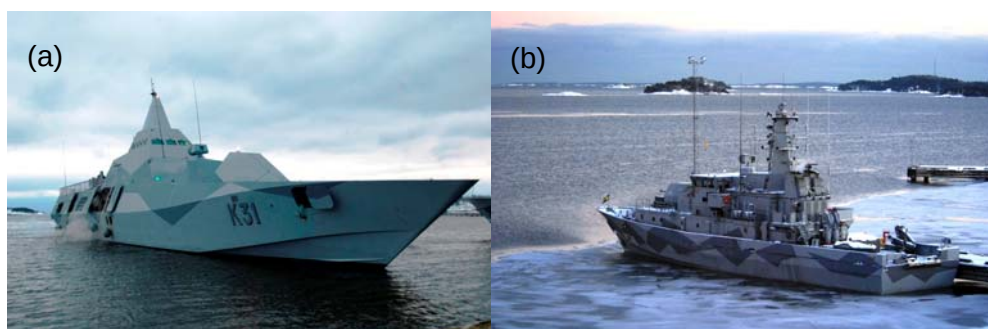
För att få bättre prestanda än vad som är möjligt med en HMS-sonar kan man använda en sonar som släpas efter fartyget och kan placeras på önskat djup. Denna typ av sonar kallas för släpsonar eller VDS från engelskans Variable Depth Sonar (Figur 10b). VDS-sonarer förekommer främst på korvetter och är ett komplement till HMS-sonarer i samband med ubåtsjakt. Korvetter av Göteborgs- och Stockholmsklass är utrustade med släpsonarerna 188 respektive 184 vilka sänder i intervallet 18-25 kHz. En modern Visbykorvett utrustad med både HMS- och VDS-sonarer visas i Figur 9a. Visbyklassens VDS använder ungefär samma frekvenser som sonarerna 188 och 184 (FMV 2009).

Vid ubåtsjakt kompletteras ytenheter ofta med helikoptrar utrustade med doppsöndare som sänks ner i vattnet. Helikoptrar har kort responstid och kan snabbt bege sig till aktuella insatsområden. Helikopter 14 kommer att använda en doppsöndare med benämning Sonar 234. Denna har en söksöndare vid ca 20 kHz och en klassificeringssöndare vid ca 300 kHz (FMV 2009).

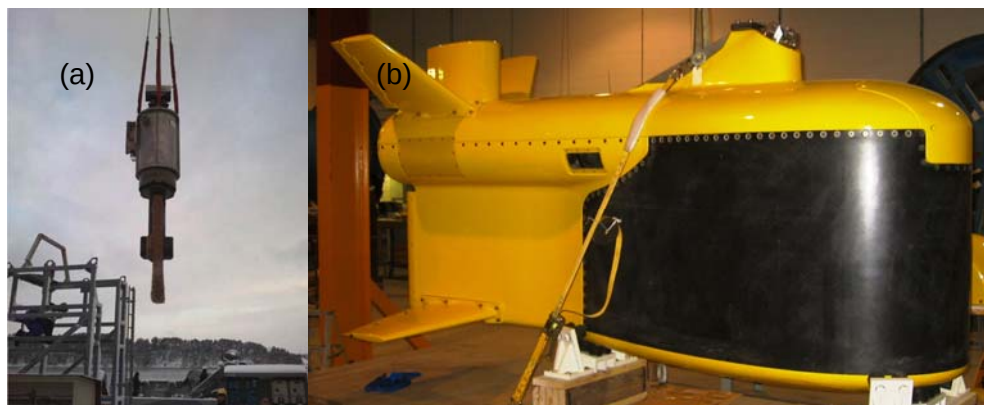
Aktiva sonarer används främst under slutskedet av en ubåtsjakt; initialt fokuserar plattformar med förmåga till passiv spaning på detta. Vid en misstänkt kontakt startas alla aktiva sonarer för att säkerställa och positionera kontakten. Sändningen kan alltså vara intensiv och komma från många olika enheter.

Vid minjakt används bl.a. minjaktsfartyg av Kosterklassen (Figur 9b). Kosterklassen har ett minjaktssonarsystem (Sonar 126) som används för både detektion och klassificering och kan sända i frekvensområdet 100–400 kHz. För att få en högre upplösning av ett minmål i samband med en minjakt kan en ROV (*eng.* Remotely Operated Vehicle) sjösättas. Denna är utrustad med en sonar s.k. ROV-S vilken använder frekvenser i området 100–500 kHz. När en minjakt inleds går fartyget ner i hastighet (1–5 knop) för att minska sin akustiska egensignatur. Ljudhastigheten uppmäts i stillaliggande läge och sensorsystemet kontrolleras. Slutligen sätts de aktiva sonarerna igång. Dessa kan vara aktiva under timmar, dagar eller veckor beroende på uppdrag.

De här nämnda sonarsystemen har maximala uteffekter mellan 214 och 220 dB re 1 μ Pa vid 1 m. Sonarer som arbetar vid lägre frekvenser använder ofta längre pulser än de som arbetar högfrekvent.



Figur 9. Exempel på fartygsklasser med aktiva sonarer, (a) HMS Visby, en Visbykorvett för ubåtsjakt och (b) HMS Ven, ett minjaktsfartyg av Kosterklass. foto: © Försvarsmakten/ Fjärde sjöstridsflottiljen.



Figur 10. (a) En HMS urtagen ur ett fartygsskrov, foto: © Försvarsmakten/ Fjärde sjöstridsflottiljen, (b) En släpkropp i en VDS, foto: © FMV.

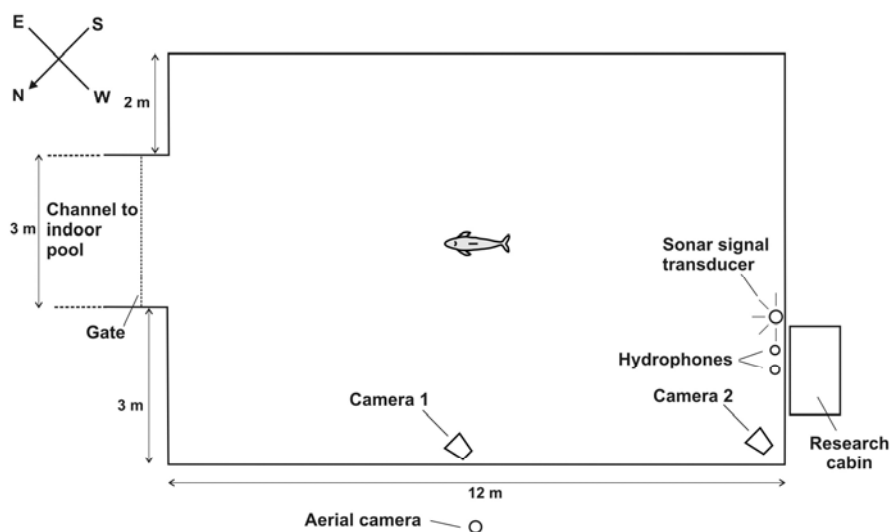
5 Experiment

Projektet utförde experiment för att undersöka hur beteendet hos tumlare och sälar påverkas av korta ljudpulser av de frekvenser och typer som används av svenska spaningssonarar. Sea Mammal Research Company (SEAMARCO) i Nederländerna utförde experimenten under vintern och våren 2012. Personal från FOI och FMV besökte anläggningen i mars 2012. Våra experiment fyller en specifik kunskapslucka; det har inte tidigare gjorts några studier om beteenderespons för denna typ av sonarpulser.

I FOIs och SEAMARCOs experiment deltog en tumlare och två knubbsälar i fångenskap. (De tre sälarterna i svenska vatten har liknande hörsel och beteende, och det är därför troligt att deras reaktioner på sonarpulser inte skiljer sig så mycket åt.) SEAMARCOs anläggning håller hög klass och djuren lever i en miljö som är mycket realistisk utom vad gäller rörelsefriheten. Varje moment i experimenten repeterades flera gånger i ett slumpvis mönster i syfte att bedöma variationer i responsen. Vi har i samarbete med SEAMARCO utarbetat manuskript till tre vetenskapliga artiklar baserade på försöken (Kastelein m.fl. 2013a, 2013b och 2013c). De utsätts nu för peer review-granskning och kommer att publiceras under 2014. Här följer en relativt detaljerad beskrivning av experimenten och deras resultat.

Beteenderesponsen hos ett djur beror av djurets psykologiska och fysiologiska tillstånd och vad djuret gör när det utsätts för en sonarpuls. Responsen kan också bero på externa faktorer såsom temperatur och väder. Därför kan man förvänta sig ett relativt stort naturligt spann i reaktioner för en viss störning. För att uppskatta detta spann är det viktigt att miljön så långt det är möjligt liknar djurens naturliga miljö. Experimenten bör också upprepas med många olika djur i varierande förhållanden. Sådana experimentserier blir dock mycket omfattande och kostnadskrävande och har såvitt vi vet hittills inte utförts.

Under experimenten utsändes sonarpulser i bassänger där tumlare och knubbsäl befann sig (se Figur 11). FOI försåg SEAMARCO med tre olika ping vilka sågs som representativa för släpsonarping i svenska marinen: ett 50 ms FM-svep med bandbredd 1 kHz, en 600 ms CW-puls, och en 900 ms Combopuls. CW-pulserna var viktade med ett coskvadratfönster och alla pulserns centrumfrekvens var 25 kHz. Djurens beteende noterades under en 30 minuters kontrollperiod och därefter sändes ping under 30 min med intervall typiska för operativ sändning. Dessa var 2 s för FM-pulsen och 10 s för övriga. Sedan följde en viloperiod. Nivåerna i vattnet var höga, men inte så höga att djuren kom till skada. Deras hörsel försämrades inte heller under försöken.

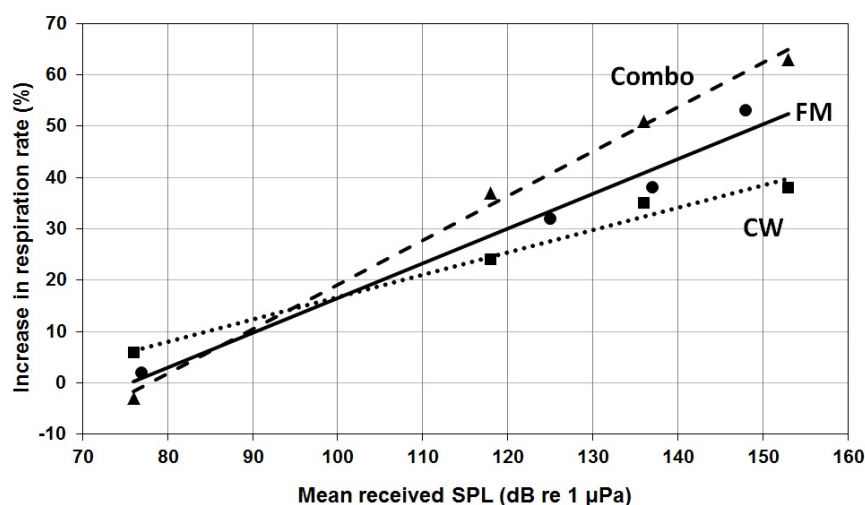


Figur 11. Illustration av försöksupställningen för tumlare vid SEAMARCOs forskningsanläggning. Från Kastelein m.fl. 2013a.

Vid en nivå av 125 dB re 1 μ Pa noterades nästan inga reaktioner alls hos de två sälarna hos SEAMARCO. Vid nivåer av 156-158 dB re 1 μ Pa noterades att sälarna hoppade, gick upp ur vattnet och stack upp huvudet oftare än då det var tyst i tanken. Detta var dock inte fallet i alla testperioder.

Tumlare visade sig vara betydligt mer känsliga för de använda sonarpingen än säl. Resultaten i form av ökning av andningsfrekvens hos tumlaren som funktion av ljudnivån i vattnet relativt perioder då det var tyst i vattnet ses i Figur 12. Man var tvungen att sänka nivån till 77 dB re 1 μ Pa för att tumlarens reaktioner skulle utebli eller bli ringa.

Sälarna reagerade starkast på FM-pulserna, medan tumlaren var känsligast för Combopulserna och minst känslig för CW-pulserna. Observera att förutom ljudtrycksnivån under sändning kan också pulsintervallet påverka responsen. Detta studerades dock inte.

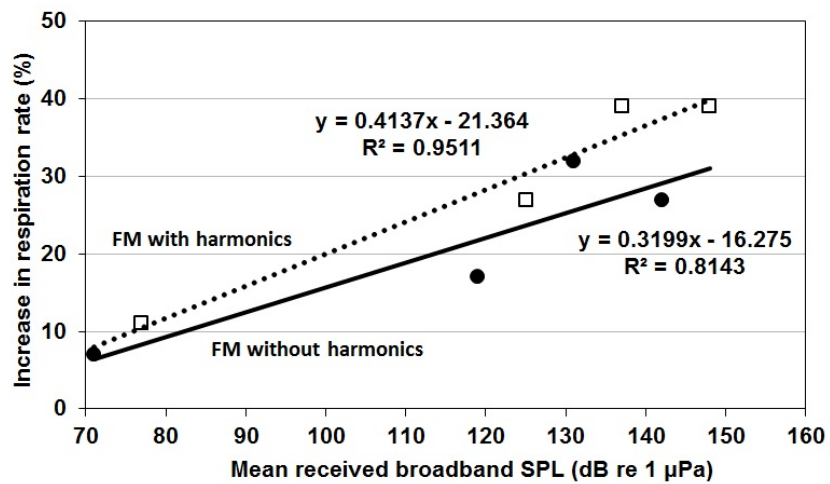


Figur 12. Ökning av andningsfrekvens hos tumlaren som funktion av ljudnivån i vattnet. Ökningen anges relativt perioder då det var tyst i vattnet och för de tre olika pulserna Combo (trianglar), FM (cirklar) och CW (kvadrater). Linjära anpassningar av den relativa ökningen som funktion av ljudtrycksnivån visas för Combo (streckad linje), FM (heldragen linje) och CW (prickad linje). Från Kastelein m.fl. 2013a.

Tumlaren uppvisade tydliga och signifikanta beteendereaktioner i form av oregelbundet simmönster och ökad hastighet och som en följd av detta beteende en ökad andningsfrekvens. Tumlaren hoppade även betydligt mer vid en ökning av ljudintensiteten. Det uppvisade beteendet vid ökning av andningsfrekvensen över 30-40 % stämmer väl överens med reaktioner som enligt Southall m.fl. (2007) har hög potential att påverka födosök, reproduktion eller överlevnad. Detta bedömer vi vara en signifikant påverkan. Tröskelvärden för denna reaktion är enligt Figur 12 ungefär 125 dB re 1 μ Pa för Combo-pulsen, 140 dB re 1 μ Pa för FM-pulsen, och 155 dB re 1 μ Pa för CW-pulsen.

Under experimenten visade det sig att övertoner genererades av elektroniken vid sändning. Vi bedömde att övertonernas nivåer var ungefär desamma som kan förväntas finnas i Marinens sonarsystem, varför de fick vara kvar. Dock väcktes ett intresse för att undersöka hur tumlarens respons skulle förändras om övertonerna filtrerades bort. Detta gjordes under vintern 2013 och resultaten visar att responsen blev mindre allvarlig då övertonerna hade tagits bort. Figur 13 visar ökningen av andningsfrekvens under sändperioder jämfört med tysta perioder för FM-pulser med och utan övertoner¹. Marinen skulle alltså kunna minska sin akustiska miljöpåverkan genom att reducera mängden övertoner i sina sonarsystem.

¹ Resultaten för en FM-puls med övertoner i Figur 12 och Figur 13 skiljer sig något åt. Beteenderesponser beror som sagt på många olika faktorer, och detta gör även att en viss individs respons vid olika tillfällen kan skilja sig åt. Notera att mätvärdena vid 125 och 137 dB re 1 μ Pa är ungefär samma i Figur 12 och Figur 13. De linjära anpassningarna är olika främst eftersom mätvärdena vid 148 dB re 1 μ Pa skiljer sig åt.



Figur 13. Ökning av andningsfrekvens hos tumlaren som funktion av ljudnivån i vattnet. Ökningen anges relativt perioder då det var tyst i vattnet och för FM-pulser med (vita fyrkanter; streckad linje) och utan (svarta cirklar; heldragen linje) övertoner. Linjerna visar linjära anpassningar av den relativa ökningen som funktion av ljudtrycksnivån. Från Kastelein m.fl. 2013c.

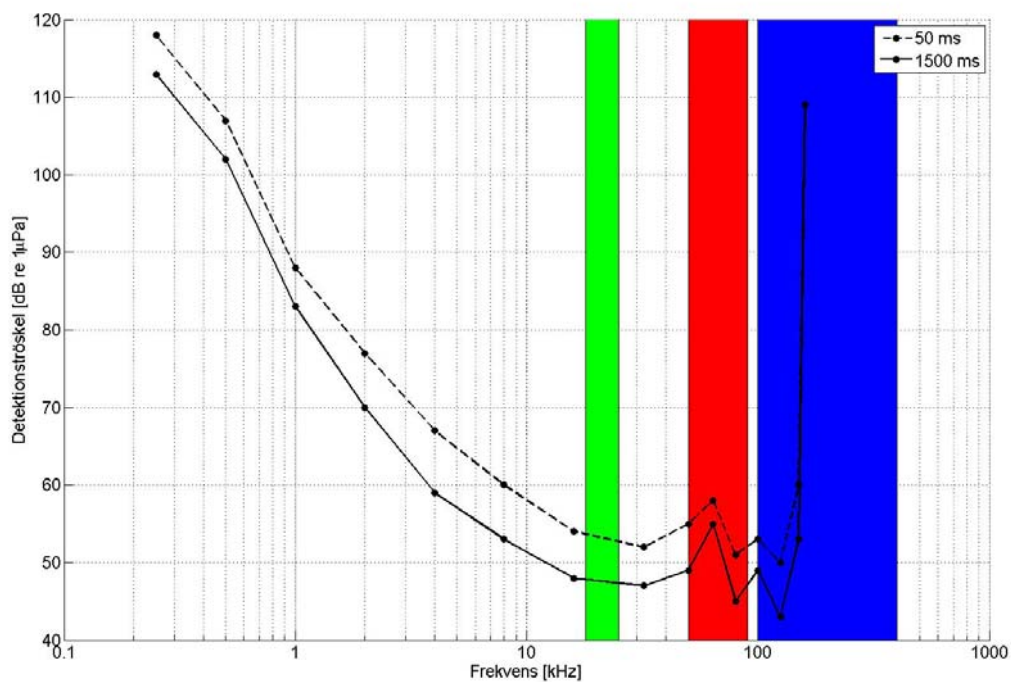
6 Miljöpåverkan

Vid projektet SKYMLAS start saknades det vetenskaplig information om miljöpåverkan från svenska marinens sonarsystem. Rapporten ”Akustiska miljöeffekter av svenska marinens aktiva sonarsystem” (Andersson och Johansson 2013a) fyller delvis detta kunskapsgap genom att ge en översikt av marina däggdjur i Sverige och deras känslighet för akustiska störningar. Rapporten presenterar också en sammanfattning av Marinens sonarsystem samt uppskattade riskavstånd för akustisk påverkan. Dessa kan ses som ett första steg i en riskuppskattning för Marinens aktiva sonarer. För en fullständig riskuppskattning krävs även information om hur sonarsystemen används, hur stor sannolikheten är att påträffa ett marint däggdjur inom riskavståndet, och hur djuren reagerar på sonarljuden. Rapporten beaktar även akustisk påverkan på fisk, och drar slutsatsen att det i dagsläget inte finns något som tyder på att svenska sonarer skulle kunna påverka svenska fiskarter på ett negativt sätt. Det finns endast bristfällig kunskap om ljudutbredning i istäckta vatten och i isen själv, varför det är svårt att uppskatta miljöpåverkan av sonarer på vikare under reproduktionstiden. Vi har använt ljudutbredningsmodeller för öppet vatten i brist på bättre data.

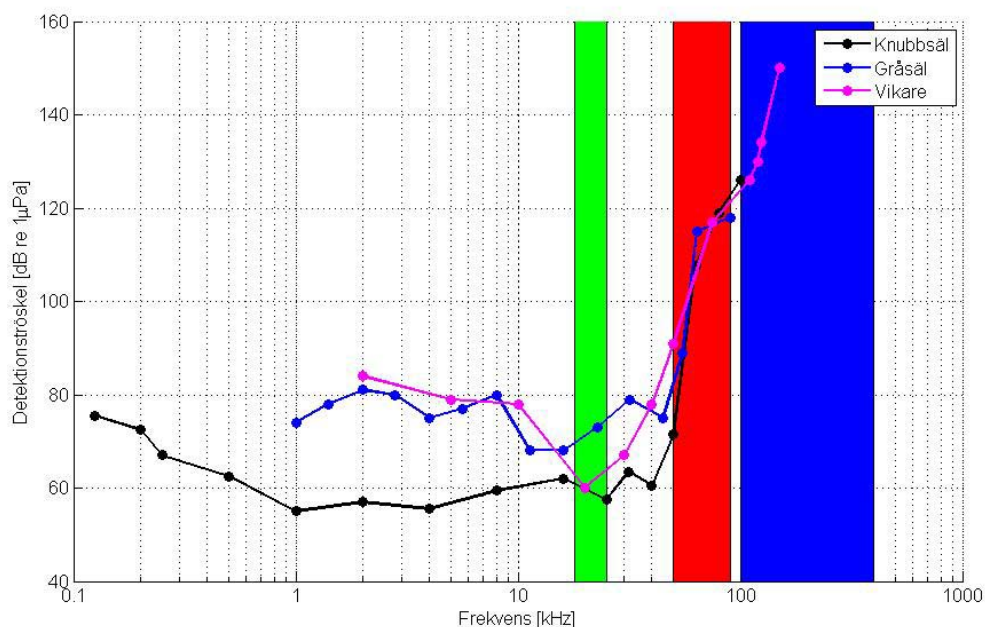
Marina däggdjur är långlivade och det tar flera år innan de blir köns mogna och kan reproducera sig. Ungarna är beroende av föräldrarna under en lång tid. Detta gör att marina däggdjur är känsliga för störningar. Det är dock svårt att observera skadeverkningar och beteenderespons i det vilda eftersom djuren befinner sig i vattnet hela eller stora delar av tiden. Konsekvenserna av långvariga störningar är också betydligt mindre väl kända än konsekvenserna av starka kortvariga störningar.

Richardson m.fl. (1995) beskriver tre typer av bullerpåverkan; maskering, reaktion och fysiska skador. Varje typ av påverkan kan ske inom en zon kring bullerkällan. Zonerna är överlappande och deras inbördes storleksordning kan variera. Till dessa läggs en fjärde zon inom vilken djuret hör ljudet, men inte nödvändigtvis påverkas av det. Maskering innebär att buller döljer nyttoljud, t ex så att djuret får svårare att uppfatta läten från artfränder eller navigera med hjälp av ekolokalisering. Reaktion innebär att djuret reagerar beteendemässigt eller fysiologiskt. Observera att detta inte nödvändigtvis innebär att djuret flyr undan från ljudkällan. Fysiska skador kan uppkomma vid höga ljudnivåer och innebär skador på hörselorganen eller andra vävnadsskador. Dessa typer av påverkan relaterar endast till individen, och det pågår ett arbete att översätta dem till påverkan på populationen som helhet (NRC 2005). Här finns dock få konkreta resultat, varför miljökonsekvensanalyser vanligen fokuserar på påverkan på individer.

I ”Akustiska miljöeffekter av svenska marinens aktiva sonarsystem” begränsar vi oss till att studera när hörselskador och signifikant beteendestörning inträder. Figur 14 och Figur 15 visar audiogram, d.v.s. de lägsta ljudnivåer som mottagaren kan uppfatta vid olika frekvenser, för tumlare respektive våra tre sälarter. De färgade banden indikerar de frekvensområden som Marinens VDS-, HMS- och minjaktssonarer använder. Figurerna visar att VDS-sonarernas frekvenser sammanfaller med det område där djuren hör som bäst, att tumlare hör mycket bra vid HMS-frekvenser, och att man även bör beakta minjaktssonarer upp till 200 kHz.



Figur 14. Audiogram för en tumlare för två pulslängder, 50 och 1500 ms, som funktion av frekvens (Kastelein m.fl. 2010). De breda färgade områdena visar frekvensområden för olika typer av svenska sonarer; grön = VDS, röd=HMS och blå=Minjakt.



Figur 15. Audiogram för säl i relation till sonarers frekvensspridning. Audiogrammen för de olika sälarterna är tagna från figurer i rapporten; knubbsäl (Kastelein m.fl. 2009), Vikare (Terhune och Ronald 1975) och gråsäl (Ridgway och Joyce 1975). De breda färgade områdena representerar frekvenser för olika typer av svenska sonarer; grön = VDS, röd=HMS och blå=Minjakt.

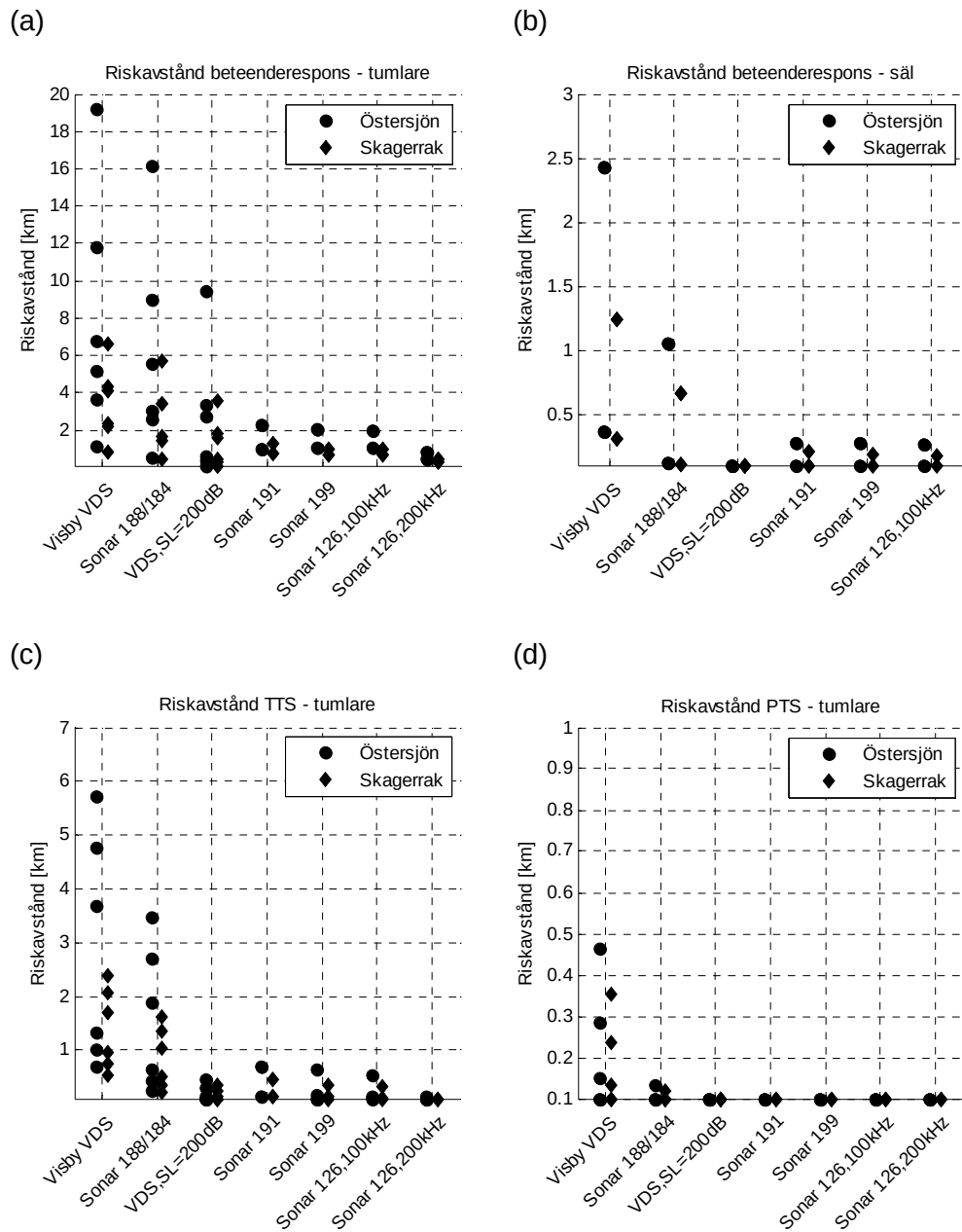
Med hjälp av data för Marinens sonarsystem och en noggrann undersökning av typiska ljudutbredningsförluster i Östersjön och Skagerrak kan vi modellera ljudnivån som funktion av avståndet från en aktiv sonar. Riskavstånd beräknas sedan med hjälp av trösklar för när signifikant beteenderespons och hörselskador inträder. Sådana trösklar har bl.a. publicerats av Southall m.fl. (2008) och Finneran och Jenkins (2012). Finneran och Jenkins resultat används av US Navy. De bygger på den grundligaste sammanställning av kända data som gjorts. Våra beräkningar använder Finneran och Jenkins resultat utom för beteenderespons hos tumlare, där vi istället använder resultaten av våra egna experiment.

Figur 16 visar en sammanställning av resultaten av riskavståndsberäkningarna. Fysiska skador på säl är osannolika och motsvarande riskavstånd mycket korta. Tumlare kan drabbas av signifikant beteendestörning vid avstånd upp till 20 km från en Visby-VDS som sänder med full effekt i Östersjön. Riskavstånden varierar starkt mellan olika miljöer och olika pulsformer; varje markör i figuren indikerar ett resultat för en specifik ljudutbredningsmiljö och puls. En jämförelse av de olika sonarsystemen drivna med full effekt visar att Visbyklassens VDS har störst miljöpåverkan både på tumlare och på säl; dess riskavstånd är högst i alla kategorier. Resultaten är relativt samstämmiga och visar att de studerade sonarsystemen kan rangordnas efter miljöpåverkan, i ordning från hög till låg påverkan, som Visbyklassens VDS, Sonar 188 och 184 (VDS), HMS-sonarerna 191 och 199, och minjaktssonaren 126. Denna rangordning förutsätter att systemen normalt sänder vid full uteffekt. För Sonar 126 har sändning vid 200 kHz lägre miljöpåverkan än sändning vid 100 kHz. Rangordningen kan förklaras av skillnader i sändningsfrekvens och pulslängd. Systemen vid högre frekvenser använder typiskt kortare pulser, vilket ger lägre energi i varje puls och kortare riskavstånd för hörselskador. En högre sändningsfrekvens ger också en högre absorption i vattnet, vilket ger kortare riskavstånd. En VDS som sänder med en källstyrka av 200 dB re 1 μ Pa vid 1 m har, med undantag för beteenderespons hos tumlare, lägre riskavstånd än Sonar 191, Sonar 199 och Sonar 126 vid 100 kHz.

Riskavstånden för beteenderespons hos säl är mindre än en femtedel av motsvarande värden för tumlare. Detta beror på de högre hörseltrösklar (sämre hörselförmåga) som gäller för säl och dess relativt högre acceptans för starka ljud.

Riskavstånden i Skagerrak är typiskt 1,5 till 3 gånger lägre än de i Östersjön. De största skillnaderna återfinns hos riskavstånden för beteenderespons, där den större absorptionen i Skagerrak spelar störst roll.

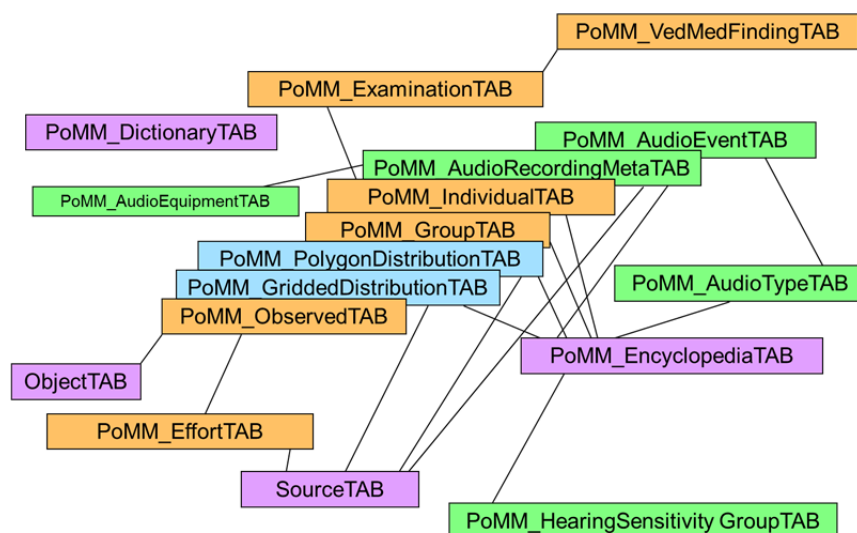
Notera att de riskavstånd som presenteras här sannolikt är betydligt kortare än motsvarande riskavstånd för de sonarer som kopplats till masstrandningar utomlands. Detta beror bl.a. på att dessa sonarer har högre uteffekter än de svenska och sänder vid lägre frekvenser.



Figur 16. Sammanfattning av riskavstånd: beteendestörning hos tumlare (a) och säl (b) samt hörselskador hos tumlare, temporära (TTS, c) och permanenta (PTS, d). *Notera att figurernas y-axlar inte har samma omfång!*

7 Databas om marina däggdjur

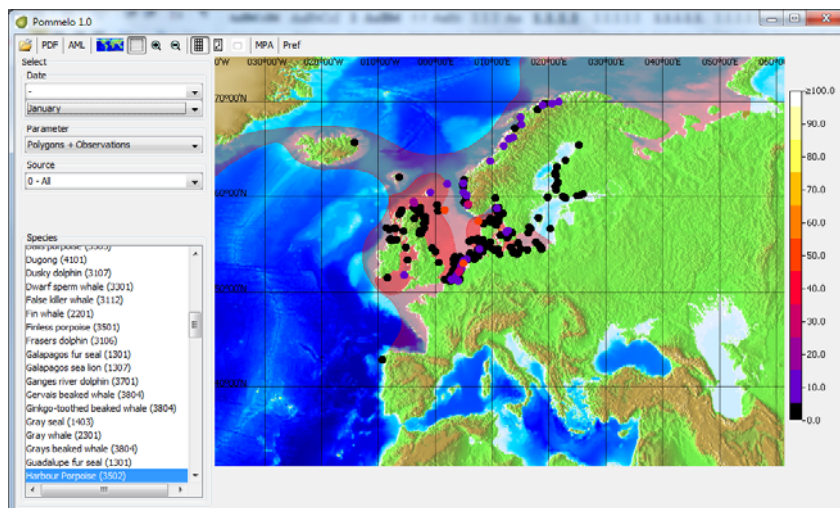
Inom PoMM-projektet har en databas om marina däggdjur i europeiska farvatten tagits fram (Nordlund m.fl. 2013, Dekeling m.fl. 2013, Ciaccia m.fl. 2013a). Databasen innehåller observationer, en encyklopedi, populationsfördelningar, samt en audiodatabas (Figur 17). Databasen innehåller ca 1 TB data och FOI kommer att få en kopia av den efter projektets slut. Denna databas är en unik resurs och kan fungera som underlag för indata till ett riskuppskattningsverktyg (se kapitel 10) och ligga till grund för framtida forskning om marina däggdjur.



Figur 17. PoMM-databasens struktur. Databasen består av fyra delar: encyklopedi (violett), observationer (orange), fördelningskartor (blå) och audiodatabas (grön). PoMM_DictionaryTAB är en ord- och begreppslista som är kopplad till flera tabeller och dess kopplingar visas inte.

På uppdrag av FOI har Aquabiota Water Research inventerat och samlat in data om marina däggdjur i främst Östersjön (Carlén och Carlström 2011, Carlström m.fl. 2012). Observationer och positionsangivelser samlades in från 21 källor i Sverige, Finland, Estland, Lettland, Litauen och Polen. FOI konverterade och infogade datat i PoMM-databasen. FOI har också utvecklat metoder för att hitta dubletter och ogiltiga värden i PoMM-databasen.

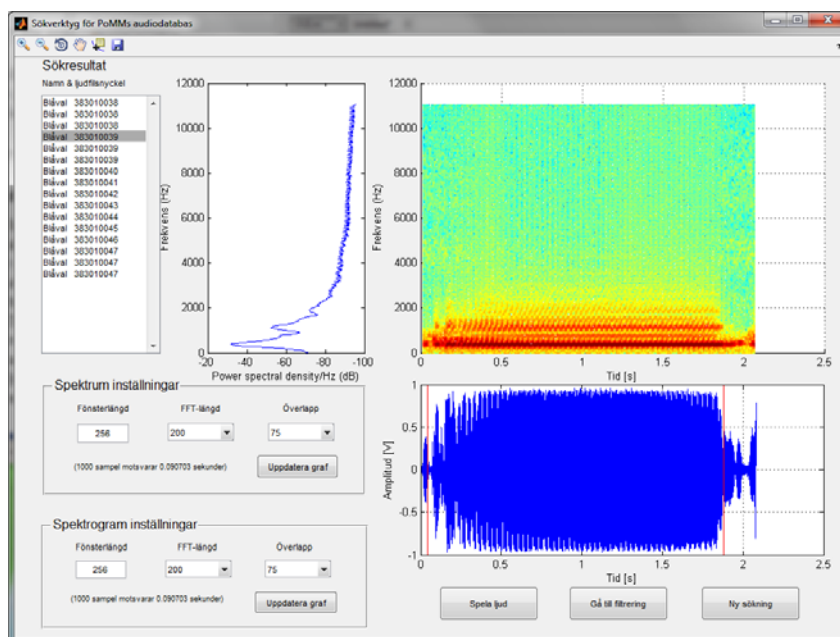
PoMM-projektet har också resulterat i flera andra produkter relaterade till databasen. Här kan nämnas en encyklopedi om marina däggdjur, vilken idag finns på engelska och tyska men har stöd för ytterligare språk. Projektet har tagit fram två grafiska verktyg för presentation av data i databasen (Dekeling m.fl. 2013). PoMMelo (se Figur 18) kan användas för att visa populationsfördelningar, observationer och förekomst. Ett enklare gränssnitt baserat på WMS kan visa ungefär samma data på ett förenklat sätt i en webbläsare. Storbritannien har även bidragit med en fältidentifikationsguide till marina däggdjur och ett mjukvaruverktyg med information om dem.



Figur 18. PoMelo-verktyget för presentation av data i PoMM-databasen.

PoMM-projektets audiodatabas innehåller 17 GB ljudinspelningar och ca 2500 indexerade och artidentifierade läten från marina däggdjur. Vi har bidragit med undervattensinspelningar av sälar i Östersjön upptagna av Seppo Madekivi på FNRI i Finland och indexering av läten i dessa och andra inspelningar. För att lätt kunna indexera läten utvecklade FOI en inmatnings- och indexeringsmodul till det grafiska audiogränssnittet ACAI (se kapitel 9). Denna möjliggör också navigering i databasen och visning av dess innehåll i ACAI.

Det är inte så lätt att söka information i PoMM-databasen, främst på grund av dess storlek men delvis också på dess struktur. Därför har FOI tagit fram ett sökverktyg för audiodata och läten. Denna utveckling utfördes utanför PoMM-projektet av en grupp studenter vid Uppsala universitet. Arbetet resulterade i ett gränssnitt som förutom sökning och visning av resultaten också låter användaren filtrera och transformera ljud och läten på olika sätt (Nordhamn, Wigren och Eriksson 2013). Verktyget medger sökning på art, längd och frekvens, och bör kunna vara användbart i utbildningssyfte. Verktygets resultatskärm visas i Figur 19.



Figur 19. Gränssnitt för sökning i PoMM-projektets audiodatabas.

8 Detektion och klassificering av marina däggdjurs ljud

Detektion och klassificering av marina däggdjurs läten är viktiga verktyg för akustisk observation och förbättrar möjligheterna att detektera djur i närområdet runt en aktiv sonar för att kunna vidta relevanta åtgärder. PoMM-projektet ägnade ett arbetspaket åt marina däggdjurs akustik. Huvudfokus låg på att ta fram en audiodatabas och på att utveckla algoritmer för klassificering av marina däggdjurs läten. Här menas artklassificering men även klassificering i olika grupper. Denna gruppindelning kan vara taxonomisk, baserad på hörselegenskaper, eller baserad på likhet mellan olika arters läten. Tyskland och Nederländerna fokuserade på klassificering och Italien på audiodatabasen. Vi från svensk sida bidrog till audiodatabasen, inom detektion och karaktärisering av läten samt till inventering av sälars undervattensljud. Vi ledde PoMM-arbetet inom detektion och klassificering.

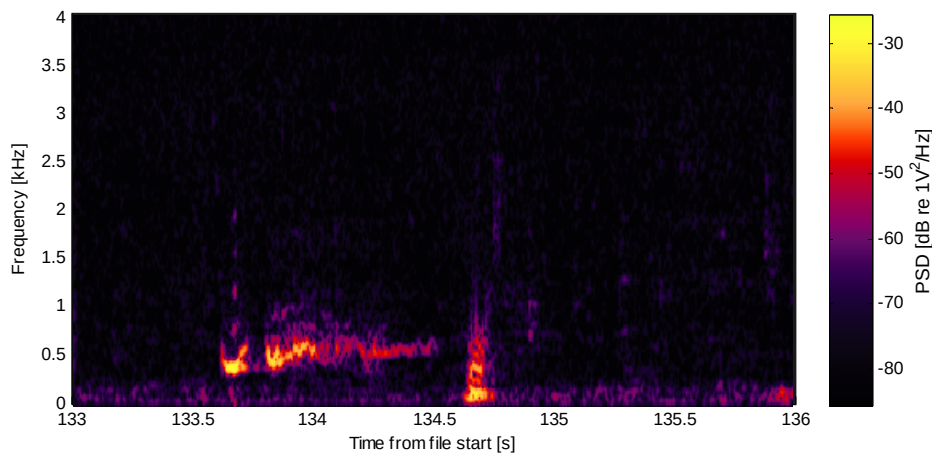
För att kunna träna upp en automatisk klassificeringsmetod är det nödvändigt att ha ett stort antal indexerade läten, d.v.s. en lista på var läten finns i de tusentals ljudfiler som ingår i audiodatabasen och vilken art som gett upphov till varje läte. Det är ett tidsödande arbete att ta fram denna lista, och projektet indexerade totalt drygt 2500 läten. Vissa arter, t.ex. de flesta delfiner, använder snarlika läten och är mycket svåra att skilja åt akustiskt. Därför kom projektet överens om att gruppera dessa arter i en gemensam klass. Under PoMMs slutmöte i Kiel 17-19 september 2013 kommer Tyskland att demonstrera den klassificerare de har byggt upp med hjälp av projektets audiodatabas och indexerade läten. För vissa arter klassificeras nästan alla läten korrekt men andra arter och grupper är betydligt svårare att känna igen; här klassificeras under 60 % av lätena korrekt. Nederländernas klassificerare är en kommersiell produkt och de delade främst med sig av sina erfarenheter av klassificering av marina däggdjurs läten. Resultaten (Tabell 1) är något bättre än Tysklands (Gunnarsson m.fl. 2013). Källkoden till den tyska klassificeraren kommer att göras tillgänglig för projektet.

Tabell 1. Resultat från Nederländernas lätesklassificerare. Värdena anger antal läten och de sorteras efter vilken art de verkligen tillhör (rad) och vilken art de klassificerades som (kolumn). De 683 lätena i denna tabell utgjorde de data som klassificerarna tränades mot; övriga läten i databasen användes för testning. Klasserna är de som beslutades i PoMM-projektet, se Gunnarsson m.fl. 2013.

Sann klass	Klassificeringsresultat							
	1 Stor bardval	2 Liten bardval	3 Cuvier's näbbval	4 Näbbval av släktet <i>Hyperoodon</i>	5 Delfin	6 Tumlare	7 Säl	Totalt
1	58	3	1	0	11	0	5	78
2	0	21	0	0	4	0	4	29
3	0	0	282	8	0	0	0	290
4	0	0	11	119	0	0	0	130
5	10	4	1	1	231	0	4	251
6	0	0	0	0	0	20	0	20
7	0	6	0	0	5	0	54	65
Totalt	68	34	295	128	251	20	67	683

Vi från svensk sida fokuserade främst på tumlare och våra tre sälarter. Vår ursprungliga plan var att ta fram detektorer för sällläten, men det visade sig att experterna i PoMM-projektet inte var överens om hur sälars låter under vatten. Därför ändrade vi våra planer till att göra en sammanställning av de senaste vetenskapliga rönen om sälars undervattensljud. Sea-U Marine Science Center i Malmö kontrakterades för detta arbete och sammanställde

sina resultat i en skriftlig rapport (Särnblad 2013), se kapitel 2.2 i denna rapport. Figur 20 visar ett spektrogram av en 3 s sekvens av gråsälsläten.

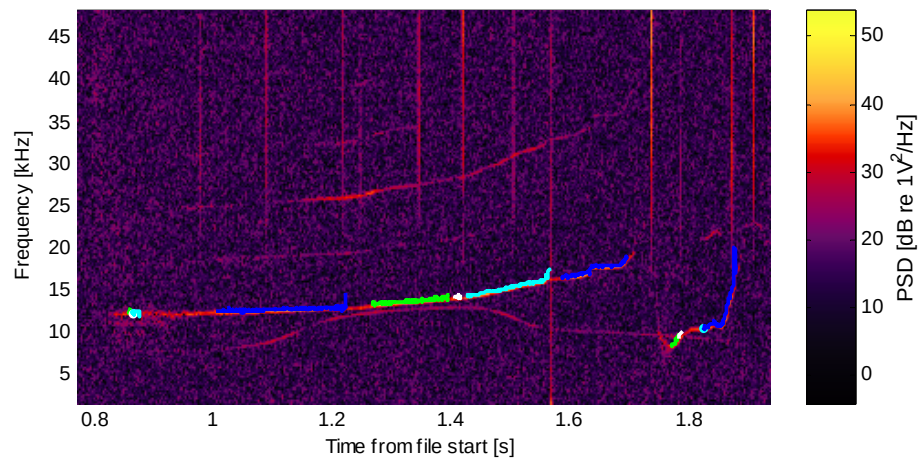


Figur 20. Vågform och spektrogram för en 3 s ljudinspelning med gråsälsläten. Inspelningen gjordes i Ålands Hav 1994 av Seppo Madekivi på FNRI.

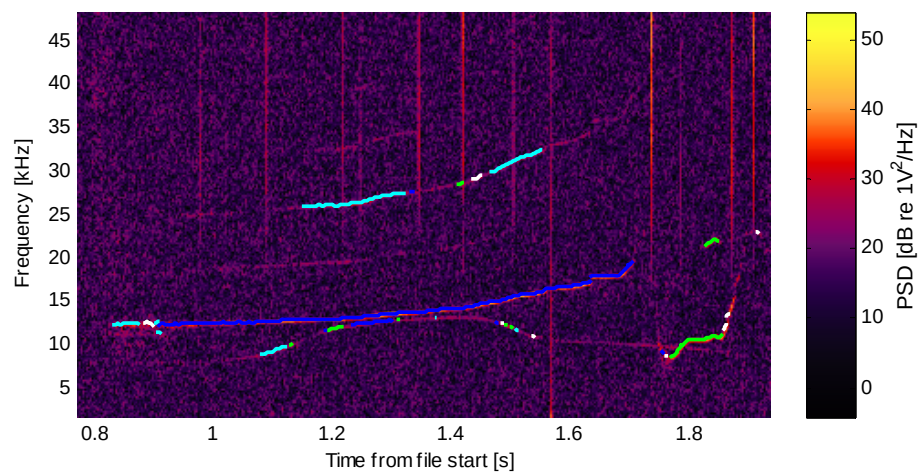
Tumlarens korta klickljud vid 110-160 kHz är på nära håll lätta att detektera med en energidetektor förutsatt att man har tillgång till en hydrofon som går tillräckligt högt upp i frekvens och att man samplar tillräckligt fort. På grund av att absorptionen i vattnet är hög vid dessa frekvenser blir dock detektionsräckvidden kort, som bäst några hundra meter. Eftersom tumlare kan påverkas av aktiva sonarer på betydligt längre avstånd valde vi att försöka ta fram en detektionsalgoritm som kunde möjliggöra längre detektionsräckvidder. Vi utvecklade flera olika detektorer baserade på Empirical Mode Decomposition och utvärderade dessa med hjälp av inspelade tumlarklick i PoMMs audiodatabas (Linderhed och Johansson 2013). Resultaten blev tyvärr inte så bra som vi hoppades; vi lyckades inte slå energidetektorn.

Många arter av delfiner, sälar och valar använder någon form av visselliknande läten. Det är därför viktigt att kunna detektera och klassificera dessa. Vi tog inom ramen för PoMM-projektet fram en helt ny typ av signalbehandling för dessa läten. Dels anpassades en modern signalbehandlingsmetod (Niedzwiecki och Meller, 2011) till detektion av dessa läten och noggrann extrahering av deras amplitud- och frekvensutveckling, och dels tog vi fram en metod att använda förhandsinformation om deras frekvensinnehåll för att kunna detektera och karaktärisera i riktigt svåra förhållanden. Sådan förhandsinformation kan t.ex. komma från en snabb men mindre noggrann detektor eller från en manuell extrahering i en spektrogrambild. För mer information, se ”Time domain methods for marine mammal whistle detection and tracking” (Johansson 2013a). Figur 21 visar ett exempel på resultat från metoden.

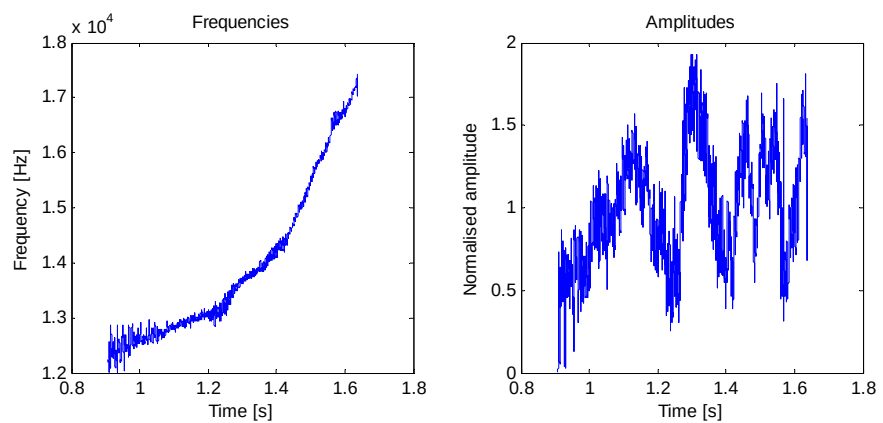
(a)



(b)



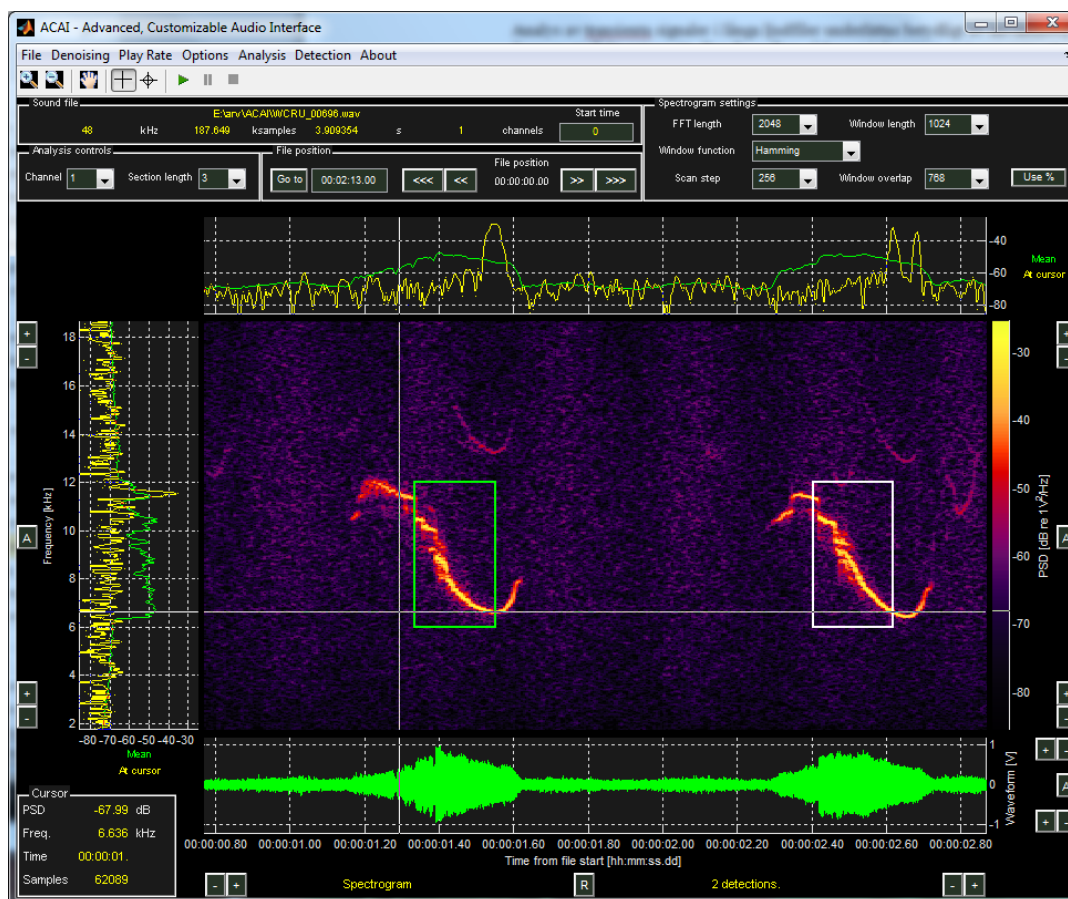
(c)



Figur 21. Exempel på resultat från detektion och karaktärisering av visselliknande läte. (a) Spektrogram av inspelning med frekvensutvecklingar för detekterade läten, metod: tidsdomän. (b) Som (a) men spektrogrambaserad detektionsmetod (fler detektioner men sämre noggrannhet). (c) Resultat av kombination av spektrogrambaserad metod och tidsdomänsmetod: detaljerad frekvens- och amplitudutveckling för den långa detektionen som syns som en lång blå linje i (b).

9 Verkt yg f r ljudanalys

Analys av transienta signaler i långa ljudfiler underlättas betydligt av användning av någon form av grafiskt gränssnitt. Det finns flera sådana mj kvaror men ingen som erbjuder både integration mot databas, enkel grafisk navigering och interaktion, möjlighet till användning av egna algoritmer samt samtidig visning av vågform, spektrum och spektrogram på ett sätt som g r det enkelt att relatera dem till varandra. Därför erbjuder vi oss att inom PoMM-projektet utveckla ett sådant verktyg. Med stöd av Italien designade och utvecklade vi det Matlab-baserade ljudanalysverktyget ACAI (Advanced Customizable Audio Interface), se Figur 22.



Figur 22. ACAI, grafiskt gränssnitt för ljudanalys.

ACAI visar vågform, spektrum och spektrogram samtidigt och med överensstämmande axelomf ng f r ett avsnitt av en ljudfil. Knappar och reglage möjliggör navigering i filen och ändring av inställningar för spektrum och spektrogram samt uppspelning. Data kan filtreras till frekvensintervall i vyn innan uppspelning och man kan reglera uppselningshastigheten. Zoomning kan göras med hjälp av knappar eller genom att dra med musen, och zoomning i en axel leder till att de andra uppdateras. På menyraden finns ytterligare kontroller och möjlighet att anpassa verktyget. Där återfinns också kommandon för att köra brusreduktion, brusutj mning, samt olika detektorer och analysmetoder. Bland dessa finns en energidetektor, en detektor f r klicklika transienter samt flera detektorer f r visselliknade läten och frekvenssv p, bl.a. den detektor som vi utvecklat inom PoMM-projektet. Resultaten från detektorer och analyser presenteras grafiskt i v gforms- eller spektrogramaxeln och kan sparas på fil för vidare analys. ACAI är konstruerat så att det ska vara lätt att modifiera dess algoritmer och integrera nya algoritmer; implementationen av en algoritm är helt fristående från ACAI och kopplas till ACAI med hjälp av en gr nsschnittsfunktion.

Som tidigare nämnts ingår även ett gränssnitt till PoMMs audiodatabas i ACAI. Här kan man navigera i databasen och ändra i dess fält, ladda in ljudfiler i ACAI, samt visa, ändra och lägga till indexerade läten till databasen.

ACAI består av en samling Matlabprogram men bör kunna kompileras och användas utanför Matlabmiljön. Det har också använts för analys av ljud från dykare och andra undervattensinspelningar och bör kunna komma till nytta i framtida forskning. För en fullständig beskrivning av alla funktioner, se den användarmanual som medföljer ACAI (Johansson, 2013b).

10 Stödverktyg

Påverkan på marina däggdjur vid undervattensaktivitet och i synnerhet vid användning av aktiv sonar har blivit ett uppmärksammat område. I ”Utvärdering av riskuppskattningsverktyg för aktiv sonar” (Sigg och Johansson 2013) diskuterar vi hur Marinens behov av att risksäkra sin användning av aktiv sonar bäst tillgodoses. Specifikt utvärderar vi fyra olika stödverktyg tänkta att underlätta sådan risksäkring. Vår bedömning är att Marinen skulle vara betjänt av att använda ett sådant verktyg. Ett landbaserat system som sköts av expertutbildad personal är mest lämpligt då tolkning och användning av resultaten underlättas av en bred kompetens inom bl. a. akustik och marinbiologi.

Flera länder har utvecklat stödverktyg, här kallade riskuppskattningsverktyg, som uppskattar risken att påverka marina däggdjur vid sonarövning. Detta ger möjlighet att justera övningsparametrar så att risken minskas. Riskuppskattningverktyg uppskattar påverkan i form av bestående hörselnedsättning (PTS, Permanent Threshold Shift), tillfällig hörselnedsättning (TTS, Temporary Threshold Shift), och även beteenderespons. De uppskattar omfattningen av denna påverkan genom att utföra samma beräkningar som ett taktiskt stödsystem för aktiv sonar, d.v.s. modellering av sändning och ljudutbredning, samt att de även modellerar tätheten av djur av olika arter i övningsområdet, deras känslighet för de sända pulserna och deras reaktion.

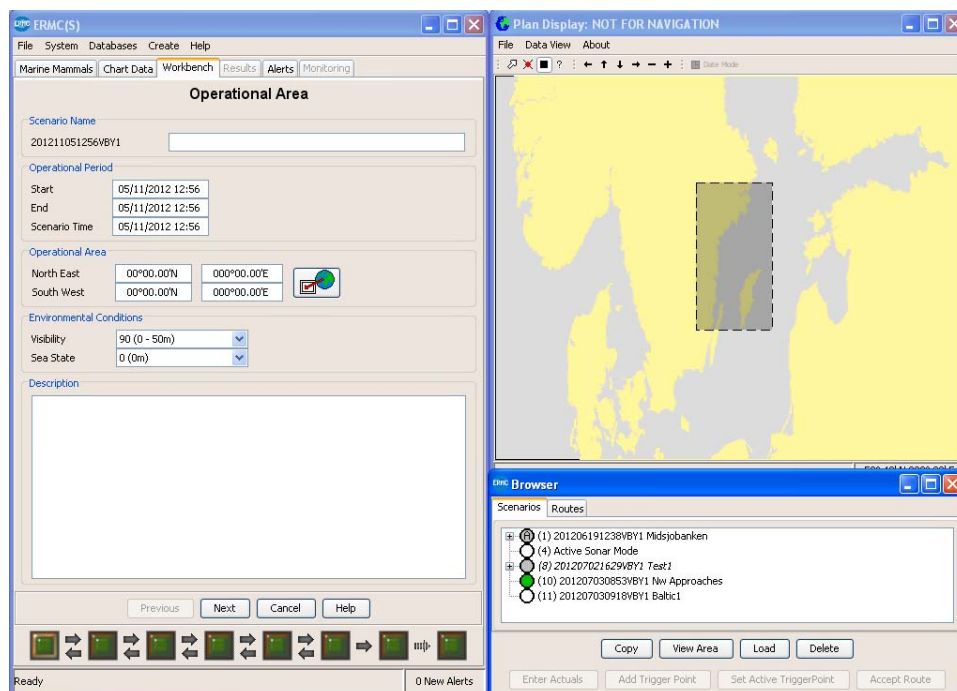
Vi har utvärderat två riskuppskattningsverktyg för potentiell användning i Marinen. ERMIC (BAE Systems, Storbritannien) är en robust produkt som är framtagen för att användas operativt på Marinens plattformar men som likväl kan användas av en expertgrupp (Figur 23). SAKAMATA (TNO, Nederländerna) har ett enklare gränssnitt och bör tilltala en expertanvändare, men är mindre robust än ERMIC och får ses som ett verktyg under utveckling (Figur 24). Bägge dessa verktyg skulle kunna vara lämpliga för användning i Marinen på något års sikt förutsatt att man integrerar ljudutbredningsmodeller och databaser anpassade för Östersjön.

För att ett riskuppskattningsverktyg ska ge korrekta bedömningar behövs kunskap och information inom flera områden. Förutom det som krävs för de taktiska stödsystemen måste vi ha en databas som beskriver den geografiska fördelningen av de arter av marina däggdjur som kan förekomma där verktyget är tänkt att användas. Vi måste också ha kännedom om hur djuren påverkas av olika typer av sonarljud. Här ingår bl. a. vid vilka nivåer de lider fysisk skada, hur deras beteende påverkas och hur de reagerar på sonarljuden. Idag har vi inte tillräckligt bra indata för riskuppskattning i svenska vatten. FOI och många andra arbetar med att ta fram data och förbättra de databaser som saknas eller är bristfälliga. Detta är dock ett stort och svårt arbete.

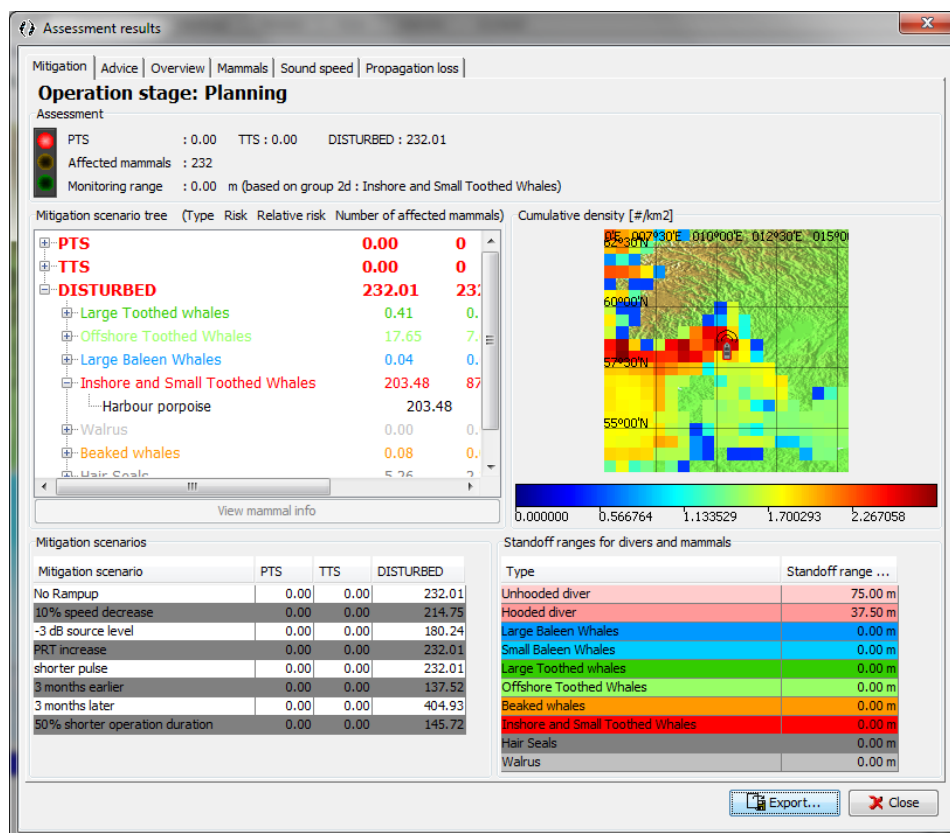
Ett alternativ till den fullfjädrade riskuppskattning som utförs av ERMIC och SAKAMATA är att presentera biologiska data i kartformat och låta användaren själv bedöma, med hänsyn till biologin, var och när det är mest lämpligt att genomföra en sonarövning. Detta är ett bra alternativ i de fall då en pålitlig riskuppskattningsberäkning inte kan genomföras och kan även annars fungera som ett viktigt komplement till användning av ett riskuppskattningsverktyg. Kartverktyg kan presentera information som är svår att ta hänsyn till i en sluten beräkning och göra så på ett överskådligt och lättillgängligt sätt. Detta illustreras av det verktyg ”Maringeografisk biologikalender” (Figur 25) som Gunnar Möller vid 4:e sjöstridsflottiljen tagit fram (Möller 2012). I detta ambitiösa verktyg presenteras inte bara information om marina däggdjur. Områden av intresse för fisk och fågel samt områden som av olika anledningar är skyddade har också katalogiserats och presenteras i verktyget.

SAKAMATA antar att alla djur flyr när de utsätts för en sonarpuls, medan ERMIC ansätter en modell där vissa flyr, vissa stannar kvar och vissa simmar mot källan. För att försöka reda ut vilken modell som passar bäst för våra svenska djurarter har vi inom projektet handlett en litteraturstudie utförd som ett kandidatarbete vid Linköpings Universitet

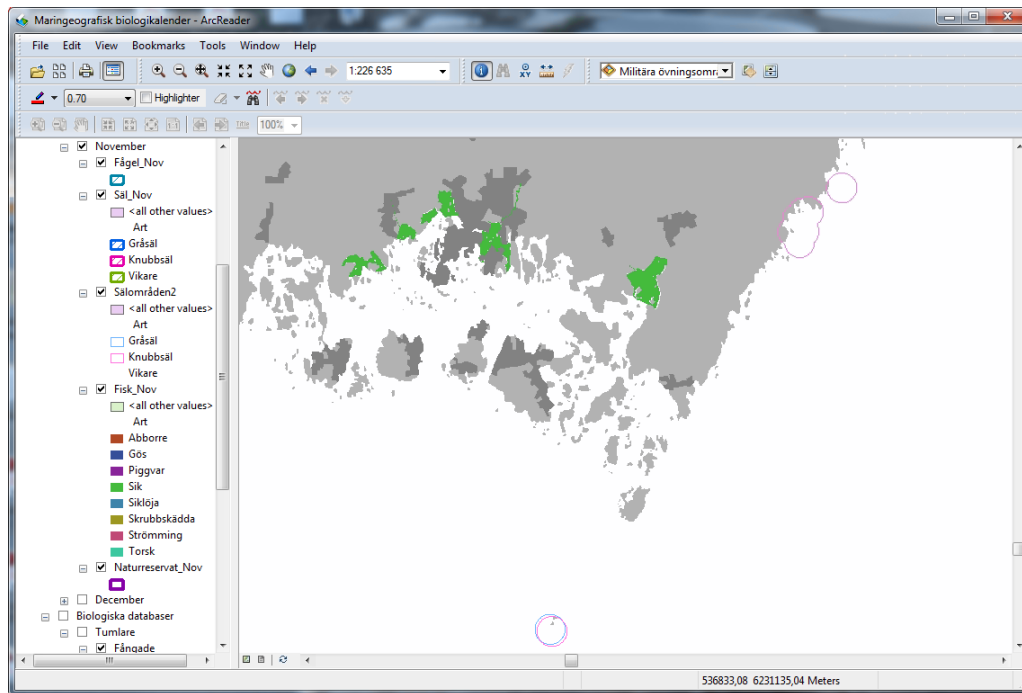
(Linderhed 2013). Studien visar att tumlare typiskt flyr medan ERMCS modell stämmer relativt väl för sälar.



Figur 23. ERMCS öppningsvy.



Figur 24. Riskuppskattningsverktyget SAKAMATA, resultatvy. Verktöget uppskattar antal djur som drabbas av PTS, TTS och signifikant beteendestörning. Panelen nere till vänster "Mitigation scenarios" listar några tänkbara ändringar i övningsparametrarna och deras effekt på miljöpåverkan.



Figur 25. Maringeografisk biologikalender, månadsdata för november i området kring Karlskrona.

11 Handlingsregler

I ”Säker användning av militära sonarsystem – nationella handlingsregler och svensk lag” (Andersson och Johansson 2013b) ger vi exempel på åtgärder och handlingsregler för ansvarsfull användning av aktiv sonar som ur ett vetenskapligt perspektiv skulle kunna vara lämpliga i Sverige. Vi har tagit fram dessa förslag genom att studera bl.a. Norges, Frankrikes, Storbritanniens, Nederländernas och USAs handlingsregler för aktiv sonar.

Syftet med förebyggande åtgärder och handlingsregler är att minimera den akustiska miljöpåverkan från sonaraktiviteten. För att förebyggande åtgärder skall fungera behövs flera olika sorters information. Man behöver veta vilka arter som kan förekomma i det aktuella övningsområdet och vilka populationstätheter det kan röra sig om, hur känsliga de är för sonarljuden, och vad risken är för att de påverkas samt vad en påverkan leder till för effekt på djuret och populationen. Starkt restriktiva åtgärder kommer inte att fungera då Försvarsmakten måste klara av sitt uppdrag. Samtidigt får inte miljöpåverkan bli för stor för då kan samhället komma att reagera via politiska beslut vilka kan begränsa användningen av aktiva sonarer. Detta skulle kunna hända om djurs beteende påverkas så kraftigt att de tvingas bort från områden som är viktiga för dem. Likaså kan samhället reagera om hörselskador uppkommer som försämrar djurens förmåga att hitta föda och fortplanta sig. Vi håller det också för mycket troligt att om djur dödas så kommer det att bli en reaktion.

Vissa översiktliga riktlinjer skulle kunna gälla för alla enheter, medan andra troligen kommer att behöva anpassas till olika system. Säl och tumlare reagerar olika när de utsätts för starka ljud och tumlare är betydligt känsligare för akustisk påverkan än säl. Handlingsregler bör ta hänsyn till dessa skillnader.

När en övning planeras bör information inhämtas om förekomst av marina däggdjur i övningsområdet. Vidare bör man beakta vilka typer av sonarsystem som kommer att användas och hur många enheter som är inblandade i övningen. Detta för att kunna göra en noggrannare riskanalys av övningen där det ingår att beräkna riskavstånd och/eller antal djur som riskerar att påverkas. Ett annat alternativ eller snarare ett komplement till en riskanalys är att en miljökonsekvensbeskrivning upprättas inför varje planerad sonarinsats. Detta kan även göras i samband med att nya system köps in.

Inför ett övningsmoment där aktiva sonarer skall sända med en ljudstyrka över en viss nivå bör en säkerhetszon upprättas, där inget djur får befinna sig under sändning. Detta kan ske med hjälp av observatörer och/eller passiv akustisk övervakning (PAM). Man skall även använda sig av en akustisk varning som sänds ut innan uppstart för att förhindra att marina djur finns i ljudkällans absoluta närhet när potentiellt skadliga ljudnivåer sänds ut. Detta kan ske i någon form av en ramp up-procedur eller på annat vetenskaplig belagt sätt.

Om ett djur kommer innanför säkerhetszonen skall åtgärder vidtas så att djuret inte utsätts för höga ljudnivåer. Detta kan göras antingen genom att man stänger av sonarer eller sänker uteffekten. Man börjar sedan om med den ovan beskrivna uppstartssekvensen igen när djuret är utanför riskområdet.

Efter en övning skall en standardiserad dokumentation upprättas. Där skall framgå var och när aktiv sonar användes samt vilka frekvensband, pulstyper, pulsintervall och utsända effekter som användes. Observationer av säl och tumlare i övningsområdet innan, under och efter övning skall rapporteras. Om döda eller skadade djur upptäcks skall en incidentrapport upprättas och skickas till ansvarig myndighet. I rapporten skall ovan nämnda information finnas med samt ytterligare information om fartygsrörelser och möjlig orsak till händelsen. Vissa delar av rapporten kan komma att hemligstämplas om det är nödvändigt men så mycket som möjligt skall vara öppet för att trovärdigheten inte skall påverkas.

12 Slutsatser och vidare arbete

Det här projektet har haft ett brett upplägg, vilket vi tycker har varit nödvändigt för att kunna svara på huvudfrågan: vad är miljöpåverkan av svenska marinens aktiva sonarer, och vad kan man göra för att hantera och minimera den? Vi har kunnat utnyttja FOIs breda kompetens inom områden som undervattensakustik, signalbehandling, marinbiologi, databasprogrammering och taktiska stödsystem. När denna kompetens inte har varit heltäckande har vi tagit hjälp av inhemsk expertis inom bl.a. oceanografi, juridik, och Marinens verksamhet och sonarsystem. Vi har mött en överväldigande positiv respons på att vi har utfört detta arbete. Det har också gått lätt att samarbeta med externa parter och få svar på de mest skiftande frågor. PoMM-projektet har stundtals varit både tungrott och svårkontrollerat, men har ändå levererat unika resultat och verktyg och gett oss kontakt med experter med lång erfarenhet av arbete med miljöpåverkan av aktiv sonar. Detta har varit mycket betydelsefullt.

En lämplig fortsättning på det här projektet vore att ta fram och implementera operativa handlingsregler för aktiv sonar i Marinen. Det övergripande målet för ett fortsättningsprojekt skulle kunna vara att skapa förutsättningar för Marinen att uppträda operativt och samtidigt minimera negativ miljöpåverkan av buller under vattnet genom att ta fram miljöpolicy och handlingsregler. I arbetet bör flera parter förutom FOI ingå. Här kan nämnas experter från Marinen, operativ personal som kommer att beröras av policyn, miljöhandläggare, jurister, Generalläkaren, beslutsfattare på Försvarshögkvarteret samt externa experter.

Vi har tagit fram en stor del av det underlag som behövs för att ta fram relevanta operativa handlingsregler. Man bör dock gå vidare med en kartläggning av miljöpåverkan av Marinens sonarer i utländska vatten, där det finns andra djurarter och råder andra ljudutbredningsförhållanden. Man behöver också utföra kompletterande experiment för att ta fram bättre underbyggda resultat om vid vilka ljudnivåer hörselskador och beteendepåverkan inträder. Sådana undersökningar bör om möjligt utföras på ett flertal individer och, för maximal relevans, i förhållanden som är så lika det vilda som möjligt.

Vi har utvärderat stödverktyg för riskuppskattning, och man bör gå vidare med att välja vilken väg man vill gå och anpassa valt verktyg till Marinens behov. En viktig komponent här är att ta fram ett GIS-lager med populationsdensiteter och utbredning av marina däggdjur i svenska vatten. Detta innebär omhändertagande av resultat från EU-projektet SAMBAH och processering av PoMMs databas samt annan ny information som framkommit sedan PoMM-databasen skapades. (SAMBAH tar fram populationsdensitetskarter för tumlare i Östersjön och ska avslutas under 2015.) Som en del i funderingarna på en riskhanteringsstrategi bör Marinen också överväga hur visuell och akustisk observation ska användas och hur man ska integrera automatiska metoder för detektion och klassificering av läten samt göra dem operativa. För de övningsområden som används flitigt kan en akustisk miljökonsekvensbeskrivning vara lämplig. Då kan det krävas en inventering av marint liv i närområdet.

Aktiva sonarer är den marina verksamhet vars miljöpåverkan har fått störst uppmärksamhet, men det är inte den enda av Marinens aktiviteter som påverkar miljön akustiskt. Vi föreslår att man även studerar sprängningar och lämpligen tar fram operativa handlingsregler även för dessa. Detta skulle kräva kunskapsinhämtning och experiment för att ta fram ny kunskap. Båt- och fartygsbuller bör också beaktas.

Handlingsregler ska bygga på vetenskapliga grunder och tas fram i samarbete mellan alla berörda parter. En kunskapsbaserad operativ miljöpolicy och handlingsregler för akustisk miljöpåverkan i Marinen skulle tydligt demonstrera att Marinen tar sitt miljöansvar på området och minimera svenska marinens påverkan på det marina livet. Vi rekommenderar att Marinen snarast påbörjar detta arbete.

13 Slutord

Detta arbete har spänt över många olika discipliner och krävt expertkompetens på flera områden. Vi vill säga tack till alla som på något sätt varit inblandade för att ni har agerat bollplank, kommit med goda idéer, svarat på många frågor och bidragit med er expertis och erfarenhet. Särskilt vill vi tacka:

Stig-Lennart Gunnarsson för ett mycket gott samarbete under alla faser av projektet; intern marknadsföring, beredning, och utförande.

Deltagarna i PoMM-projektet, särskilt Gianni Pavan, Mirko Stifani, Nina Nordlund, Petter Kvadsheim, Roman Kreimeyer och Frank Benders.

Peter Sigray och Leif Persson för ert stöd, ni har funnits i kulisserna genom hela projektet.

Linus Fast, utan dig hade projektet kanske inte blivit av.

Tommy Lekenmyr för driv och engagemang i miljöfrågor.

Gunnar Möller, Marcus Hammarberg och Roger Edfors på MWDC, 4:e sjöstridsflottiljen för expertstöd om sonarer och Marinens verksamhet.

Julia Carlström, Ida Carlén och Anna Nikolopoulos på Aquabiota för biologiskt och oceanografiskt expertstöd.

Lena Lund för hjälp på sluttampen.

Anna Särnblad för ihärdighet och driv.

Matts Gustavsson för guidning i politiska frågor.

Jörgen Pihl och Sven Ivansson för stöd i akustikfrågor.

Ewa Axelsson och Marie Karlsson hos Generalläkaren för snabbkursen om Miljöbalken.

Karin Wall och Patrik Börjeson på Havs- och Vattenmyndigheten för era förtydliganden om EUs Havsmiljödirektiv och Art- och Habitatdirektiv.

14 Referenser

Inom projektet

- Andersson M. H. och Johansson A. T. **(2013a)**. Akustiska miljöeffekter av svenska marinens aktiva sonarsystem, Teknisk rapport FOI-R—3504-SE, Totalförsvarets forskningsinstitut FOI, 75 s.
- Andersson M. H. och Johansson A. T. **(2013b)**. Säker användning av militära sonarsystem - nationella handlingsregler och svensk lag. Teknisk rapport FOI-R—3656-SE, Totalförsvarets forskningsinstitut FOI, 25 s.
- Andersson M. H. och Johansson A. T. **(2014)**. Assessment of Marine Mammal Impact zones for Use of Military Sonar in the Baltic Sea. Publiceras i *Effects of Noise on Aquatic Life II* (preliminär titel), Springer, New York, USA.
- Carlén I. och Carlström J. **(2011)**. Sources of marine mammal data for PoMM in SE, FI, EE, LV, LT and PL. AquaBiota Notes 2011:4. 16 s.
- Carlén I., Carlström J. och Nikolopoulos A. **(2012)**. Marine mammal data for PoMM in SE, FI, EE, LV, LT and PL. AquaBiota Notes 2012:2. 32 s.
- Ciaccia E., Meneghetti N., Pavan G., Knoll M., Nissen I., Ludwig S., Lorenzen D., Kreimeyer R., Dekeling R., Benders F., Nordlund N., Kvadsheim P., Gunnarsson S.-L., Johansson T., Garmelius M., Hobson V., Fraser L. **(2013a)**. WE 1.4 Construction of Common Database: Final Report. EDA PROJECT ARRANGEMENT (PA) No B- 0389 -ESM01-GC Protection of Marine Mammals (PoMM).
- Ciaccia E., Meneghetti N., Pavan G., Knoll M., Nissen I., Ludwig S., Lorenzen D., Kreimeyer R., Dekeling R., Benders F., Gunnarsson S.-L., Johansson T., Garmelius M. **(2013b)**. WE 2.1 Passive Acoustic Monitoring Tools: Final Report. EDA PROJECT ARRANGEMENT (PA) No B- 0389 -ESM01-GC Protection of Marine Mammals (PoMM).
- Dekeling R., Benders F., Knoll M., Nissen I., Ludwig S., Lorenzen D., Kreimeyer R., Ciaccia E., Meneghetti N., Pavan G., Nordlund N., Kvadsheim P., Hobson V., Fraser L., Gunnarsson S.-L., Johansson T., Garmelius M., **(2013)**. WE 1.3 Development of In- and Output Tools: Final Report. EDA PROJECT ARRANGEMENT (PA) No B- 0389 -ESM01-GC Protection of Marine Mammals (PoMM).
- Gunnarsson S.-L., Johansson T., Garmelius M., Knoll M., Nissen I., Ludwig S., Lorenzen D., Kreimeyer R., Dekeling R., van Zon T., Benders F., Ciaccia E., Meneghetti N., Pavan G. **(2013)**. WE 2.2 Classification of marine mammal sounds: Final Report. EDA PROJECT ARRANGEMENT (PA) No B- 0389 -ESM01-GC Protection of Marine Mammals (PoMM).
- Johansson A. T. **(2013a)**. Time domain methods for marine mammal whistle detection and tracking. FOI Memo 4560, Totalförsvarets forskningsinstitut FOI.
- Johansson, A. T. **(2013b)**. ACAI user manual, v3.4.
- Kastelein R. A., van den Belt I., Hoek L., Gransier R., Johansson A. T. **(2013a)**. Behavioral responses of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) to sonar signals of around 25 kHz. Publiceras i *Marine Environmental Research*.
- Kastelein R. A., Hoek L., Janssens G., Gransier R., Johansson A. T. **(2013b)**. Behavioral responses of harbor seals (*Phoca vitulina*) to sonar signals in the 25 kHz range. Publiceras i *Marine Environmental Research*.
- Kastelein R. A., van den Belt I., Hoek L., Gransier R., Johansson A. T. **(2013c)**. Behavioral responses of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) to 25 kHz naval sonar signals with and without harmonics. Under bearbetning för publikation i *Marine Environmental Research*.
- Linderhed A. och Johansson A. T. **(2013)**. Porpoise click detection. FOI Memo 4530. Totalförsvarets forskningsinstitut FOI.
- Linderhed A. **(2013)**. Marine mammal behavior response to sonars, a review. Kandidatuppsats, Institutionen för fysik, kemi och biologi, Linköpings universitet. LiTH-IFM- Ex--13/2826--SE.

- Nordhamn A., Wigren A. och Eriksson J. (2013). Grafiskt gränssnitt till databas med val- och delfinljud. Kandidatuppsats, Institutionen för teknikvetenskaper, Uppsala universitet. TVE 13 038 juni, 36 s.
- Nordlund N., Kvadsheim P., Knoll M., Nissen I., Ludwig S., Lorenzen D., Kreimeyer R., Ciaccia E., Meneghetti N., Pavan G., Dekeling R., Benders F., Liddell K., Fraser L., Gunnarsson S.-L., Johansson T., Garmelius M., (2013). WE 1.2 Collection and description of basis data sets: Final Report. EDA PROJECT ARRANGEMENT (PA) No B- 0389 -ESM01-GC Protection of Marine Mammals (PoMM).
- Sigg R. och Johansson T. (2013). Utvärdering av riskuppskattningsverktyg för aktiv sonar, Teknisk rapport FOI-R—3505-SE, Totalförsvarets forskningsinstitut FOI, 26 s.
- Särnblad A. (2013). Inventory of underwater vocalizations produced by harbour-, harp-, grey-, ringed- and hooded seals. Rapport FOI-S—4273-SE, Totalförsvarets forskningsinstitut FOI.

Utanför projektet

- ASCOBANS (2009). "Report of the Intersessional Working Group on the assessment of acoustic disturbance," Noise Working Group, ASCOBANS, Bonn, 24 s.
- Finneran, J. J., och Jenkins, A. K. (2012). "Criteria and Thresholds for U.S. Navy Acoustic and Explosive Effects Analysis," SSC Pacific, USA, 64 s.
- FMV (2009). "Hydroakustik och sonarteknik för marinen v.2.0." Försvarets Materielverk, s 210-250.
- Miljödepartementet (2012). Svar på EU-pilotbegäran angående genomförandet i svensk lagstiftning av Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/56/EG av den 17 juni 2008 om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på havsmiljöpolitikens område (Ramdirektiv om en marin strategi). M2012/1846/R. 11 s.
- Möller (2012). "Projekt maringeografisk biologikalender", Projektbeskrivning, Fjärde sjöstridsflottiljen, Försvarsmakten.
- Naturvårdsverket (2011a). "Tumlare, *Phocoena phocoena*, EU-kod: 1351. Vägledning för svenska arter i habitatdirektivets bilaga 2," NV-01162-10. Stockholm, Sverige, 11 s. <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5846-3.pdf>
- Naturvårdsverket (2011b). "Knubbsäl, *Phoca vitulina*, EU-kod: 1365. Vägledning för svenska arter i habitatdirektivets bilaga 2," NV-01162-10. Stockholm, Sverige, 10 s. http://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/natura-2000/arter/rygggradsdjur/vl_knubbsal.pdf
- Naturvårdsverket (2011c). "Gråsäl, *Halichoerus grypus*, EU-kod: 1364. Vägledning för svenska arter i habitatdirektivets bilaga 2," NV-01162-10. Stockholm, Sverige, 8 s. http://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/natura-2000/arter/rygggradsdjur/vl_grasal.pdf
- Naturvårdsverket (2011d). "Vikare, *Phoca hispida*, EU-kod: 1938. Vägledning för svenska arter i habitatdirektivets bilaga 2," NV-01162-10. Stockholm, Sverige, 8 s. http://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/natura-2000/arter/rygggradsdjur/vl_vikare.pdf
- Niedzwiecki M. och Meller M. (2011). "New Algorithms for Adaptive Notch Smoothing", IEEE Transactions on signal processing 59(5), s 2024-2037.
- NRC (2005). *Marine mammal populations and ocean noise* (The National Academic Press, Washington, DC), 135 s.
- OSPAR (2009). "Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment," Teknisk rapport, 134 s. http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00441_noise%20background%20document.pdf
- Richardson J., Greene C., Malme C. och Thomson D. (1995). "Marine Mammals and Noise". Academic Press, San Diego, USA, ISBN 0-12-588440-0.
- Southall, B. L., Bowles, A. E., Ellison, W. T., Finneran, J. J., Gentry, R. L., Greene, C. R., Jr., Kastak, D., Ketten, D. R., Miller, J. H., Nachtigall, P. E., Richardson, W. J., Thomas, J.

A., och Tyack, P. L. (2007). "Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations," *Aquatic Mammals* **33**, s 411-521.

Data för audiogram

- Kastelein, R. A., Wensveen, P. J., Hoek, L., Verboom, W. C., och Terhune, J. M. (2009). "Underwater detection of tonal signals between 0.125 and 100 kHz by harbor seals (*Phoca vitulina*)," *Journal of the Acoustical Society of America* **125**(2), 1222–1229.
- Kastelein, R. A., Hoek, L., de Jong, C. A. F., och Wensveen, P. J. (2010). "The effect of signal duration on the underwater detection thresholds of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) for single frequency-modulated tonal signals between 0.25 and 60 kHz," *Journal of the Acoustical Society of America* **128**, 3211–3222.
- Ridgway, S.H., och Joyce, P.L. (1975). "Studies on seal brains by radiotelemetry," *Rapports et Proces-Verbaux des Reunions* **169**, 81-91.
- Terhune, J.M., och Ronald, K. (1975). "Underwater hearing sensitivity of two ringed seals (*Pusa hispida*)," *Canadian Journal of Zoology* **53**, 227-231.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se