

Projektnummer	Uppdragsgivare
E85132	Försvarsmakten
FoT-område	
Undervattensteknik	

Författare
Mikael Svedendahl

Datum	Memo nummer
2025-11-10	FOI Memo 8988

Arbetslägesrapport 2025 för FOI:s projekt SMaRC II

Detta är en milstolpe för 2025 som sammanfattar genomförd verksamhet inom SMaRC II (AT.9227008) under året fram t.o.m. september 2025.

1 Bakgrund

SMaRC 2.0 används i detta memo som benämning för det nuvarande centret, SMaRC som benämning på det tidigare finansierade centret och SMaRC II som benämning på det projekt som drivs internt på FOI. SMaRC 2.0 syftar till att vidmakthålla den kunskap och det nätverk som skapades under projektet SMaRC som löpte 2017-2023 [1], i samklang med övrig verksamhet som finansieras av Försvarsmakten inom områdena robotik, obemannat, autonomi och undervattens-teknik.

Målen för SMaRC 2.0 är att

- utveckla Försvarsmaktens samverkan med civil forskning och industri i syfte att nationellt stärka militära marina undervattens- och ytsystem tekniskt och kompetensmässigt
- utveckla området obemannade farkoster genom nära samverkan inom KTH och FMV med projekten Skeppsbyggnadsteknik FMV 2024-2026 och SMaRC FMV 2024-2026 samt med övrig FOI-verksamhet inom undervattensområdet
- omhänderta resultaten från forskning samt utveckling av demonstratörer inom SMaRC 2.0 som bär mot det militära försvarets behov genom kontinuerlig samverkan med FoT-Sjösystem, FoT-Undervattensteknik samt vid behov övriga FoT-områden inom FM
- ge förutsättningar för utbildning av anställningsbar personal/kompetens till försvarsmyndigheterna
- utveckla och vidmakthålla nätverk inom teknik för obemannade system inom den marina domänen.

FOI:s uppdrag inom SMaRC II är att

- influera inriktningen av verksamheten inom SMaRC 2.0 så att den blir relevant också för försvarets behov och kompletterar redan pågående och planerad verksamhet finansierad av Försvarsmakten inom undervattensområdet, autonomiområdet samt inom sjösystem och energisystem
- bidra till omhändertagande av resultat för Försvarsmaktens förmågeutveckling
- bidra till inriktning och utveckling av kurser och examensarbeten inom grundutbildningarna
- om lämpligt bidra med handledning av doktorander och vid examensarbeten.

FOI:s fokus kommer inledningsvis vara undervattenskommunikation, se avsnitt 2.1. Andra områden av intresse är exempelvis GNSS-oberoende navigering, autonomt beteende med stöd av AI och luftberoende framdrivning.

Titel
Arbetslägesrapport 2025 för FOI:s projekt SMaRC II

Memo nummer
FOI Memo 8988

2 Projektets verksamhet 2025

Projektet på FOI inleddes under hösten 2024 då planeringsmöten med KTH som företrädare SMaRC 2.0 genomfördes [2]. Det beslöts att ett FOI-projekt bör anslutas till centret för att FOI då i högre grad kan ta del av resultat, delta i evenemang inom SMaRC 2.0 och påverka inriktningen av centret. En skiss av ett sådant projekt togs fram och diskuterades med KTH, som är positiva till projektets inriktning.

Ett möte med föreståndaren för SMaRC 2.0, Peter Sigray, hölls i april 2025. Där beskrevs FOI:s arbete inom FoT-området undervattensforskning, FoT-området autonomiforskning och inom projektet autonoma funktioner för UV-farkoster, samt FOI:s uppdrag inom SMaRC 2.0 och forskningsarbetet inom FOI:s del av SMaRC 2.0, här benämnt SMaRC II. Hur forskningsarbetet skulle anslutas till SMaRC 2.0 diskuterades vidare, där det uppdagades en del juridiska frågor kring immaterialrätt och anslutningsnivåer till centret. Efter mötet fick FOI:s juridiska avdelning i uppdrag att ta fram en överenskommelse som beskriver hur dessa delar hanteras. FOI har tagit fram ett förslag på en överenskommelse som i oktober 2025 skickats till KTH för synpunkter/godkännande. Därefter kan projektet presenteras för ledningsgruppen i SMaRC 2.0 som tar beslut om anslutning. Projektet har i nuläget fokus på undervattenskommunikation och beskrivs nedan.

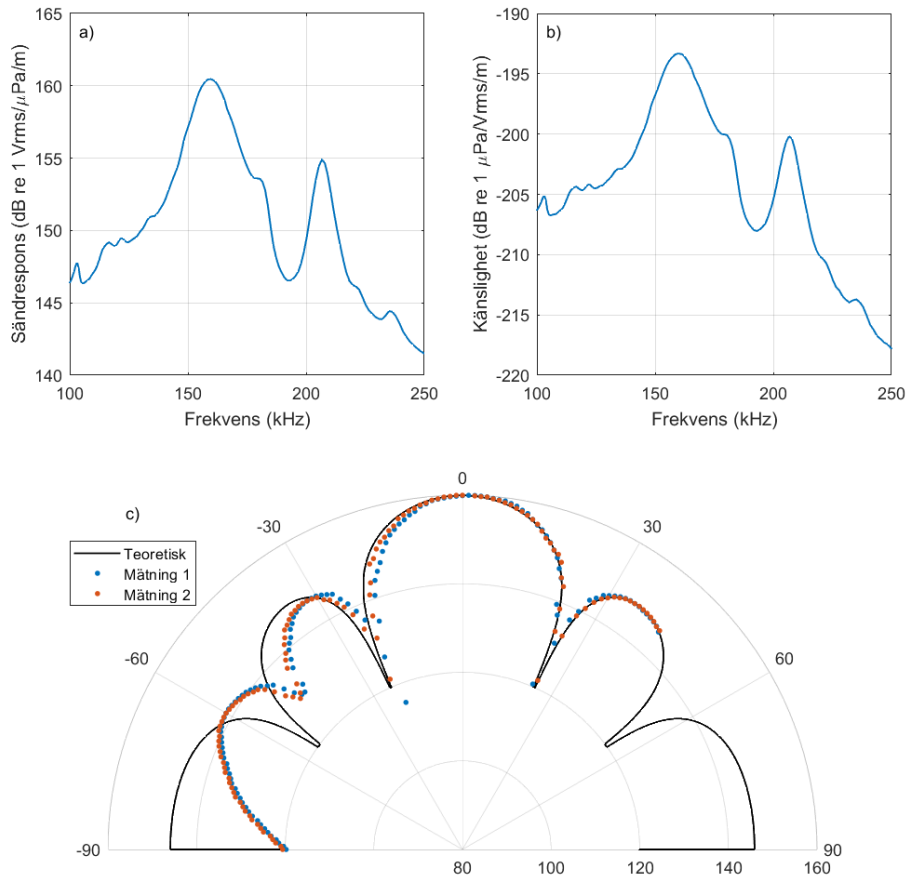
2.1 Riktad kommunikation

Projektet på FOI handlar i huvudsak om att studera hur riktade sändare och mottagare i undervattensmodem kan användas för att förbättra prestandan i akustiska kommunikationslänkar och -nätverk. Målet är i första steget en demonstration av en kommunikationslänk vid passage av en AUV framför en riktad undervattenskommunikationsmodul. Det är därför av stor vikt att upprätta samverkan med KTH:s Marine Robotics Laboratory (MRL), vilket drivs av SMaRC 2.0 och tillhandahåller samt utvecklar AUV:er. De kommunikationsmetoder som kommer att användas började utvecklas under tidigare SMaRC-projekt [3-4].

2.1.1 Genomfört arbete 2025

Under året har mycket arbete fokuserat kring att undersöka de arrayer som kan tänkas användas under försök med riktad kommunikation, samt att ta fram elektronik som möjliggör tester till sjöss.

Kommunikation kring 160 kHz är lämpligt då FOI både har riktade och omnidirektionella sändare och mottagare för detta område. En intressant jämförelse är att kunna använda riktad och oriktad kommunikation vid samma förhållanden för att utvärdera och jämföra länkegenskaper direkt. Figur 1 visar sändrespons, känslighet samt ett riktningsdiagram vid en relevant frekvens för en av de arrayer som undersökts i FOI:s tanklab. Fem stavar i arrayen används och var i denna mätning inte fasförskjutna utan hade huvudloben riktad rakt fram. Arrayen har sedan roterats i horisontalplanet, vinkelrätt mot sin egen axel, medan den sänder pulser vid 156 kHz. Den teoretiska kurvan (svart linje i figur 1) visar den ideala arrayens egenskaper, givet grova mätningar av dess elementseparation. En sådan beräkning tar inte hänsyn till effekter vid infästningen av arrayen, vilket kan leda till den skillnad mellan teori och mätning som framförallt finns vid större vinklar.

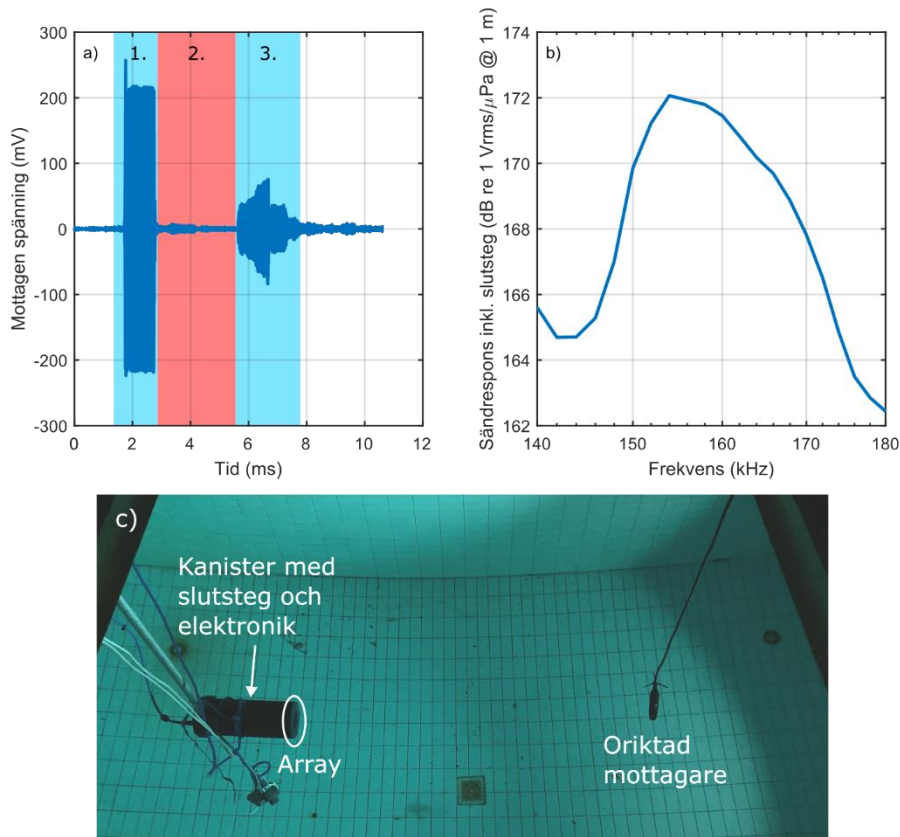
Titel
Arbetslägesrapport 2025 för FOI:s projekt SMaRC IIMemo nummer
FOI Memo 8988

Figur 1. Karakterisering av array med fem stavar. a) Sändrespons och b) känslighet som funktion av frekvens samt c) riktningsdiagram med arrayens lob riktad rakt fram mot 0° i figuren. Radien i c) motsvarar uppskattad sändrespons (dB re 1 $V_{rms}/\mu Pa/m$).

För att skapa en riktad sändning kommer slutsteg behövas för respektive stav. Dessa måste vara relativt små och vara anpassade för sändarelementen avseende frekvens och impedans. Ett sådant slutsteg har tagits fram och testats elektriskt samt i FOI:s tanklab med arrayerna, se figur 2. Slutsteget har visat god förmåga och sändnivåer över 190 dB re 1 $\mu Pa/m$ har uppmätts rakt framför den riktade arrayen. Figur 2a visar en tidsserie av mottagen spänning från en omnidirektionell mottagare 2 m framför arrayen. Vanligtvis anländer starka reflexer från bassängens kortsidor ca 1,7 ms efter pulsen (tidsfönster 2. i figuren) som gått rakt från sändare till mottagare (tidsfönster 1. i figuren). I detta fall blir denna reflex dämpad p.g.a. arrayens riktningsverkan. Reflexen från bassängens kortsida noteras dock tydligt (tidsfönster 3. i figuren). Slutstegets sändrespons uppmättes för att relatera pålagd spänning till ljudtryck i vattnet vid kommande sjöförsök, se figur 2b.

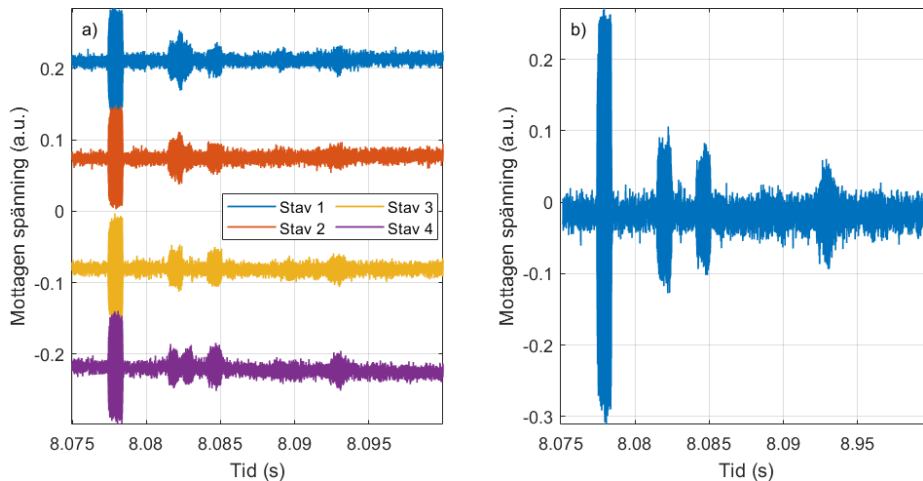
Titel
Arbetslägesrapport 2025 för FOI:s projekt SMaRC II

Memo nummer
FOI Memo 8988



Figur 2. Sändning med eget slutsteg monterat i kanister. a) Tidsserie vid sändning av kort puls: 1. Direktväg. 2. Dämpad reflektion från bassängens långsida p.g.a. arrayens riktungsverkan. 3. Reflektion från bassängens kortsida. b) Sändrespons uppmätt med det egentillverkade slutsteget. c) Uppställning i tanklabbet. Arrayen är monterad i änden på en kanister innehållande FOI:s egentillverkade slutsteg, kraftmatningskort samt digital-till-analog-omvandlare. En omnidirektionell mottagare är placerad 2 m från arrayen.

Slutligen krävs mottagarelektronik för att ta emot akustiska vågor. Dessa är under utveckling och projektet har än så länge använt sig av ett befintligt kort som kan använda fyra av stavarna. Detta kort, bestående av filter och förförstärkare, är inte anpassat för de element som används i projektet, men kan användas för mindre precisa mätningar. Detta kort prövades också i FOI:s tanklab då både tonpulser och mer komplexa signaler kunde spelas in, se figur 3.



Figur 3. Arrayen som mottagare. Mottagen spänning från fyra av fem stavar a) separerade i y-led för visualisering och b) adderade i fas för lobbildning rakt framåt.

Titel
Arbetslägesrapport 2025 för FOI:s projekt SMaRC II

Memo nummer
FOI Memo 8988

2.1.2 Kommande arbete: Q4 2025, 2026 och framåt

Under oktober 2025 ska ett första sjöförsök genomföras vid mätplats Djupviken i samverkan med FoT-projektet Undervattenskommunikation 23-26. Målen med övningen är att testa de mottagar- och sändarsystem som utvecklats under året under verkliga förhållanden, samla in testdata, utföra kanalinspelningar samt att jämföra systemet med omnidirektionella sändare och mottagare. Då endast ett exemplar av det riktade systemet finns att tillgå kommer dock riktad sändning och mottagning inte kunna utföras samtidigt. Vid försöket ska det riktade systemet monteras på en bottenstruktur som är gyro-upphängd för att åstadkomma riktningsverkan från systemet parallellt med vattenytan, se figur 4a.

Så snart överenskommelsen med SMaRC 2.0 är på plats inleds samtal kring hur ett system kan integreras på deras undervattensfarkost. Förhoppningen är att detta kan göras under 2025.

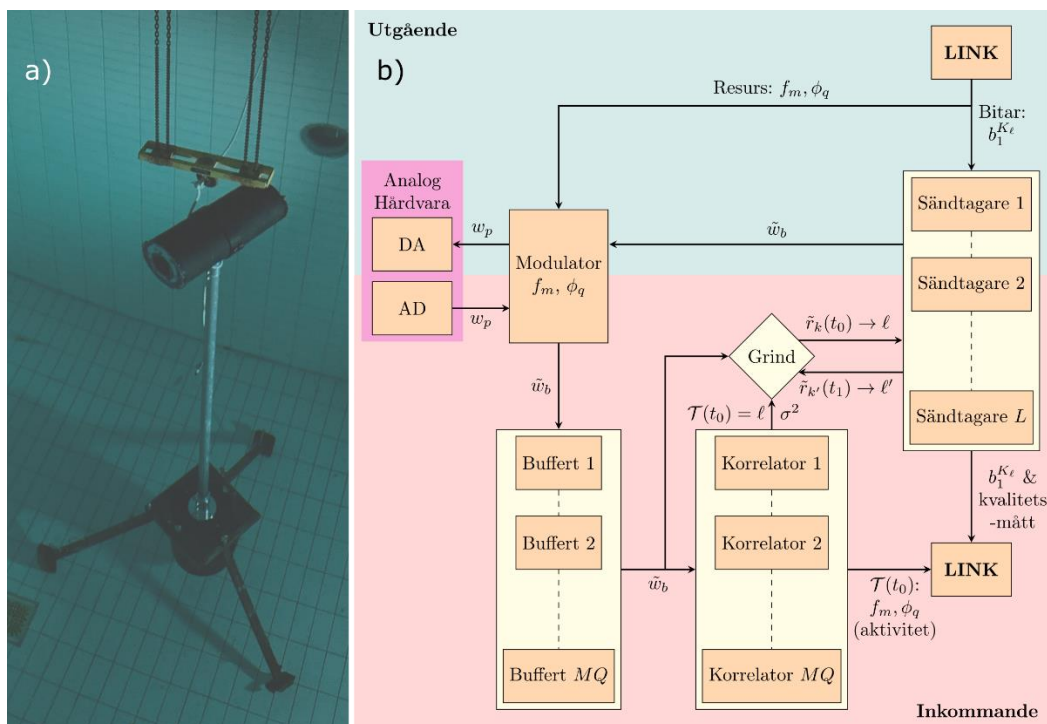
Under 2026 fokuseras arbetet vidare på kommunikationslänken och de komponenter som finns i PHY-lagret, se figur 4b. Sändtagaren kommer vara en icke-koherent metod (Sleipner) baserad på frekvensmodulering (Frequency Shift Keying, FSK) från tidigare doktorandarbete inom SMaRC [4]. Inom FoT Undervattenskommunikation pågår arbete för att skapa en kommunikationsarkitektur (FOI-ustack) där gruppen identifierar typiska moduler och definierar tydliga gränssnitt mellan dem. Baserat på FOI-ustack har ett arbete påbörjats för att skapa ett enat ramverk i C++ (FOI-unet) där Sleipner ingår. I dagsläget saknas endast en del kod för buffring, detektion och dopplerjustering. Dessutom ska Modulatoren programmeras.

Vid sändning får sändtagaren bitar från lagren ovanför och skapar en vågform i komplext basband (\tilde{w}_b). Modulatoren lyfter detta till passband (w_p), men ska dessutom fas-förskjuta (ϕ_q) fem vågformer, vilket ger sändningen en riktning vid sändning från arrayen.

Vid mottagning ska Modulatoren blanda ned från passband till komplext basband för ett antal låsta riktningar. Dessa data läggs i en buffert som en detektor använder för att detektera en infångningssekvens. Vid detektion av inkommande meddelanden öppnas en grind till sändtagaren som begär data från bufferten och därefter avkodar och skickar bitar vidare till lagren ovanför det fysiska lagret.

Titel
Arbetslägesrapport 2025 för FOI:s projekt SMaRC II

Memo nummer
FOI Memo 8988



Figur 4. Exempel på kommande arbete. a) Den riktade sändaren på en anpassad bottenstruktur. b) Det fysiska lagrets (PHY) struktur vid sändning (ovan, utgående) och mottagning (under, inkommande).

2.2 Deltagande vid evenemang inom SMaRC 2.0

FOI medverkade med ett flertal medarbetare vid två SMaRC 2.0-evenemang under året: KTH Underwater Technology Day i januari och SMaRC 2.0 Demo Day i juni vid Askölaboratoriet.

Vid KTH Underwater Technology Day gavs många intressanta presentationer av både doktorander, forskare och representanter för industrin. Främst SMaRC-anslutna projekt presenterades, men inte uteslutande. Specifikt kan nämnas nyttjandet av magnetiska anomalier för navigering samt olika metoder för SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Vid mötet anordnades det även en rundvisning av MRL.

Till SMaRC 2.0 Demo Day var en givande dag med ett flertal presentationer samt tid för utbyte mellan forskare och representanter för näringslivet på förmiddagen. På eftermiddagen gavs intressanta demonstrationer av centrets robotar och farkoster, se figur 5. Ett par system och demonstrationer var av särskilt intresse:

- En flygande drönare kunde hämta en undervattensfarkost som låg i vattenbrynet och lämna över den till en plattform i närheten, se figur 5c. Detta skulle kunna förenkla förfarandet vid upphämtning av undervattensfarkoster från större plattformar till sjöss. Det ska dock nämnas att detta utfördes i lugnt vatten i en vik, och att en attrapp till undervattensfarkost användes, då en verklig farkost väger för mycket för mindre flygande drönare.
- Evolo är en ytfarkost baserad på en bärplansplattform, se figur 5a. Den visades upp i viken vid Askö, men hade också varit i Portugal på REPMUS under förra året där den utsattes för betydligt mer sjöhävning. Bärplanet gör den betydligt mindre påverkad av vågor, vilket kan vara av intresse om ytsystem ska bära känsliga sensorer och annan utrustning.
- Sea Iguana är en gående robot som demonstrerades då den gick fram på botten invid kaj på Askö, se figur 5e. Även om den inte rörde sig snabbt kan det finnas tillämpningar för att t.ex. finna system på botten och närma sig dessa utan att röra upp bottensediment.

Titel
Arbetslägesrapport 2025 för FOI:s projekt SMaRC II

Memo nummer
FOI Memo 8988



Figur 5. Bilder från SMaRC 2.0 Demo Day i juni 2025. a) Autonomous foilboard EVOLO, b) Swarming dive robot Puffin, c) upphämtning av undervattensfarkost (attrapp) med flygande drönare, d) Long-range and Long-endurance demonstrator (LoLo), e) Sea Iguana. Foto: Mathias Andersson, FOI.

3 Referenser

1. "Swedish Maritime Robotics Centre Annual Report 2023", 2024
2. M. Svedendahl, "Årsrapport 2024 för SMaRC II", FOI Memo 8711, 2025
3. M. Lundberg Nordenvaad, "Arbetslägesrapport 2022 för FOI:s del i projektet SMaRC", FOI Memo 7968, 2022.
4. V. Lidström, "On the Design of Noncoherent Acoustic Underwater Communication", PhD dissertation, KTH Royal Institute of Technology, 2023.