TEKNIKSPRÅNG MED NYTT RADARSYSTEM

EKOSYSTEMET I KARLSKRONA VÄXER

HAVSRÄTTEN SÄTTER GRÄNSER PÅ ÖSTERSJÖN

OMVÄRLD

TEKNISK PROGNOS 2026

TEMA:
ÖSTERSJÖN

Bärplansdrönare är en av flera tekniker som nu utvecklas snabbt och skulle kunna stärka skyddet av Östersjöns kritiska vattenvägar och infrastruktur.



OMVÄRLD

TEKNISK PROGNOS 2026

4 KRÖNIKA:
Östersjön – vårt säregna hav.

6 FORSKNING FÖR FRAMTIDA KRIG
Försvarsmaktens forskningschef ska se till att forskningen kan fortsätta även i krig.

9 SAMMA HAV – NYTT UPPDRAG
Som Natomedlem har Sverige ett större ansvar att säkra Östersjön som kritisk farled.

13 FLYGKRAFT PÅ SJÖN
Bärplansdrönaren från KTH väcker militärt intresse.

18 UPPVISNING I NY TEKNIK
Doktorander och forskare i Smarc-projektet bjöd in till demo-dag.

20 SVERIGE VÄSSAR BLICKEN ÖVER ÖSTERSJÖN
Tekniksprång när Sverige byter ut sitt markbaserade radarsystem.

23 NATOS SAMARBETE KRING ÖSTERSJÖN TÄTNAR
Den svenska chefen i Natos marina Östersjöstab, CTF Baltic, berättar om samarbetet.

26 MARINA INNOVATÖRER MÖTS I KARLSKRONA
I den världsarvsmärkta örlogsstaden har ett nytt marintekniskt ekosystem vuxit fram.

30 HÄR BYGGS NYA UBÅTARNA
Varvet där Blekinge-klassens ubåtar byggs behöver både ny och gammal kunskap och teknik.

35 SNABBSTART FÖR OBEMANNAD TESTPLATTFORM
Sveriges första stora obemannade undervattensfarkost är en öppen testplattform.

38 FLYTTAR FRAM GRÄNSERNA FÖR ATTACKDYKARE
Nya gasblandningar och andningsapparater kan ge dykare utökad förmåga.

44 OPTISK FIBER LYSSNAR UNDER YTAN
Med hjälp av AI kan billiga fiberoptiska kablar bli högkänsliga sensorer under vattnet.

47 HAVSRÄTTEN – STÖTTEPELARE OCH STÖTESTEN
FOI utreder juridiken för att möta hot och teknikutveckling i havsdomänen.

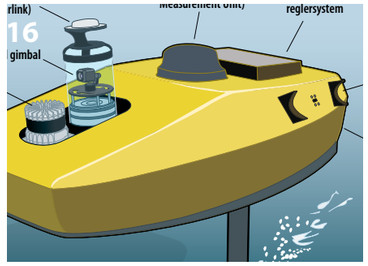


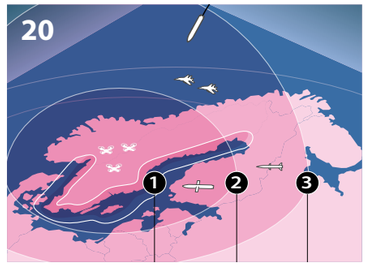


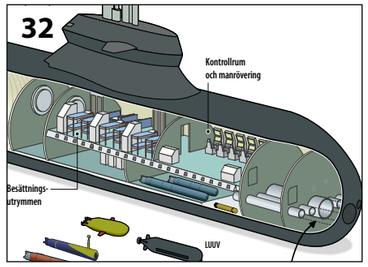












GRAFIK

10 UNDERVATTENSKABLAR I ÖSTERSJÖN
11 ÖSTERSJÖN – ETT GRUNT INNANHAV
12 KOMMUNIKATION UNDER VATTEN
16 EVOLO – BÄRPLANSDRÖNARE
22 SENSORSYSTEM NY
24 CTF BALTIC – SAMARBETE I ÖSTERSJÖN
29 KARLSKRONAS MARINA EKOSYSTEM
32 BLEKINGE-KLASS – NÄSTA GENERATIONS UBÅT
33 LUUV – LARGE UNCREWED UNDERSEA VEHICLE
43 ANDNINGSGASER VID MILTÄR DYKNING
45 ARRAY DISTRIBUTED ACOUSTIC SENSING (ADAS)
48 GRÄNSER I ÖSTERSJÖN

Publikationen Omvärld är sammanställd av FoT-projektet Omvärldsbevakning med teknisk prognos.

TEXT: Kajsa Skarsgård
FOTO: Tomas Ärlemo om inte annat anges
GRAFIK: Martin Ek
GRAFISK FORM: Peter Ehrlin
TRYCK: Multiply Solutions
FAKTAGRANSKNING:
Sidorna: 10–12: Linus Fast, FOI
Sidan 16: Jakob Kuttenkeuler, KTH
Sidan 22: Fredrik Pålsson, Mattias Alfredsson, Cecilia Lövström, FMV
Sidan 24: Jon Wikingsson, CTF Baltic (endast del med operativ kartbild – ej undre del "Utan sjöfarten stannar Sverige" med diagram)
Sidorna 32–33: Joachim Hallor, Saab
Sidan 43: Oskar Frånberg, Blekinge tekniska högskola
Sidan 45: Mattias Dahl (om ADAS), Blekinge tekniska högskola
Sidan 48: Pontus Winther, FOI

KRÖNIKA

ÖSTERSJÖN – VÅRT SÄREGNA HAV

Text: Kajsa Skarsgård



Foto: Tomas Ärlemo

Alla i Sverige har en relation till Östersjön. För många är relationen tydlig genom bad, fiske, båtturer, dykning, fågelskådning, utflykter eller färjeresor över till grannländerna. För andra är relationen indirekt: Östersjön och våra övriga havsförbindelser är kritiska för att det ska finnas mat och drivmedel i hela landet, för att insatsvaror ska nå nationellt viktiga industrier och för att exporten som stöttar statskassan ska komma ut i världen.

Även Ryssland är beroende av Östersjön för sina intressen, vilket bidragit till den ökande spänningen med Nato.

Medlemskapet i Nato innebär att Sverige nu ska bidra till att säkra Östersjön som en fungerande transportväg även i händelse av krig med Ryssland. Utöver att säkra det civila samhällets försörjningsbehov kring Östersjön, ska trupp och materiel kunna fraktas till Finland och de baltiska länderna. I motsatt riktning ska skadade och flyktingar evakueras. För att i ett krigstillstånd kunna säkra transporter på Östersjön krävs samverkande militär förmåga från botten till rymden.

TOTALFÖRSVARETS UPPDRAG KOPPLAT till Östersjön är alltså stort och komplext. Komplext är också Östersjön i sig som innanhav. Tekniken som ska användas här måste vara anpassad till ett grunt hav med skärgårdsmiljö och bräckt vatten som skiktar sig på grund av varierande salthalt och temperatur. Dessutom är Östersjön ett av världens mest trafikerade havsområden och rymmer kritisk infrastruktur som vindkraftsparker och ledningar för gas, el och kommunikation.

I det här numret av Omvärld – med temat Östersjön – intervjuar vi personer och gör nedslag i tekniker som ger en bild av vart den snabba utvecklingen är på väg och hur komplexiteten kräver mer helhetssyn och samarbeten. Inom teknikutvecklingen märks detta inte minst genom ett vidgat fokus, från specifika produkter till innovationsmiljöer som har förmåga att anpassa och skapa nytt utifrån styrande standarder och lagar.

AI-UTVECKLINGEN ÄR en gemensam möjliggörare för flera av teknikerna som skildras i detta nummer: bärplansdrönare, autonoma undervattensfarkoster, sensorförmåga från fiberoptiska kablar. Hur bra, säker och tillförlitlig AI-mjukvaran blir är därför också gränssättande för teknikutvecklingen.

Det finns fler relevanta framtidsfrågor om Östersjön som vi inte fick plats med i detta nummer. En är hur totalförsvaret genom teknikutveckling och samarbeten kan förebygga och hantera miljöskada så att Östersjön kan användas för rekreation och fiske även i framtiden. En annan fråga är hur det nu stärkta samarbetet mellan Natoländerna kring Östersjön påverkas om vissa får regeringar som ligger närmare Rysslands regim värderingsmässigt. En tredje fråga är vad som kan göras nu för att reducera risker för oavsiktlig eskalering i den snabba tekniska och militära kapprustningen, och för att i alla fall på lång sikt öka chanserna för säkrare relationer kring hela Östersjön. □

På Östersjön möts de militära domänerna och teknikutvecklingen går snabbt i dem alla. Försvarsmaktens forskningschef David Bergman ska med sina 1,5 miljarder kronor i årsbudget se till att kunskapen finns för att hantera framtidens hot.

FORSKNING FÖR FRAMTIDA KRIG

Text: Kajsa Skarsgård Foto: Tomas Ärlemo

Överstelöjtnant David Bergman sticker ut på det militära forskningsfältet, där ingenjörer dominerar. I sin akademiska ryggsäck har han studier i litteraturvetenskap och en doktorsavhandling i psykologi. Han har dessutom skrivit militära deckare och byggt upp Sveriges första förband för psykologiska operationer.

Efter att ha hamnat i en stridssituation med Sveriges första styrka i Afghanistan försökte han söka stöd i psykologiböcker om vad han upplevt. Det fanns mycket forskning om arbetspsykologi, men inte om jobb där det kan ingå att döda människor. Det var därför han började forska om stress i extrema situationer.

I sin nuvarande roll som Försvarsmaktens forskningschef måste David Bergman hålla sig uppdaterad om hela forskningsfronten och satsa forskningspengarna brett och långsiktigt. För att till exempel ha herravälde över ett område som Östersjön krävs kontroll från botten till rymden.

– Forskning är det sätt vi hanterar den inneboende osäkerhet som finns i krigföringen. Jag vet ju inte alltid vad vi kommer att ställas inför. Men genom att ha en hyfsat bred forskning inom områden som är sannolika att vi kan komma att behöva kunskap om bygger vi en latent förmåga. När det väl dyker upp ett problem i en framtida konflikt så har vi lägre tröskel att gå över, säger David Bergman.

Som exempel nämner han hur Försvarsmakten i drygt tio år har haft AI och autonomi som ett fokusområde för sina forskningssatsningar. Därför finns nu en spetskompetens inom AI att tappa av för teknikutveckling direkt till förbanden.

ANDRA PRIORITERADE forskningsområden är bland annat cyber, rymd, bioteknik och kvant – och alla kan få betydelse för de militära förutsättningarna på och kring Östersjön.

– Kvantsensorer är den teknologi som har kapacitet att kunna göra undervattendomänen transparent. Så det är absolut ett område jag måste bevaka, även om det ligger några horisonter längre fram, säger David Bergman.

Teknik är däremot inte samma sak som förmåga, poängterar han.

– Vartenda tekniskt system som vi har tagit fram för att förenkla krigföringen för människan har gjort det svårare för människan. Du ökar förvisso kapaciteten, men du tillför en kognitiv belastning.

Han tar radarsystem som exempel.

– Jag kan se bortom den optiska linjen, men jag måste sätta ihop ett helt socio-tekniskt system för att kunna tolka det. Det gäller alla informationssystem vi har. ▷



”Ny teknik kommer tillföra en dimension till krigföringen men inte revolutionera slagfältet, för motståndaren anpassar sig. Vi kommer att ha ännu modernare vapen, men vi kommer fortfarande ha soldater med bajonetter”, menar Försvarsmaktens forskningschef David Bergman.



»Den stora utmaningen med krig är att få det civila samhället att fortsätta fungera. Hålla igång ekonomin, all produktion, handel, utbildning.«

Att en enskild soldat har tillgång till mycket information är ju bra, men jag har ju bara en viss mängd kognitiv kapacitet här inne, säger han och pekar mot sitt huvud.

– Så vi måste alltid fråga oss hur mycket användning vi får av tekniken och när det blir för mycket. Och allt ska passa in i sammanhanget.

Försvarsmakten beställer alltmer forskning av civila, icke-tekniska lärosäten. Karolinska institutets försvarsmedicinska forskning blir allt viktigare med den ökade risken för krig kring Östersjön och Sveriges roll att då ta emot sårade. Handelshögskolan i Stockholm kan bidra med kunskap om handelsflöden och deras påverkan på staters ekonomi och agerande – också en högrelevant fråga i ett Östersjöscenario.

– Den stora utmaningen med krig är att få det civila samhället att fortsätta fungera. Hålla igång ekonomin, all produktion, handel, utbildning.

David Bergman har fått i uppdrag att se till att försvarsforskningen kan fortsätta i krig.

– Behovet av bra forskning och erfarenhetshantering kommer då bara öka. Där har vi ett arbete att göra.

Ukraina har löst det ad hoc på ett imponerande sätt, menar han, men saknar den systematik i erfarenhetsåterföringen från fronten och den skalbarhet i produktionen som är Rysslands fördel.

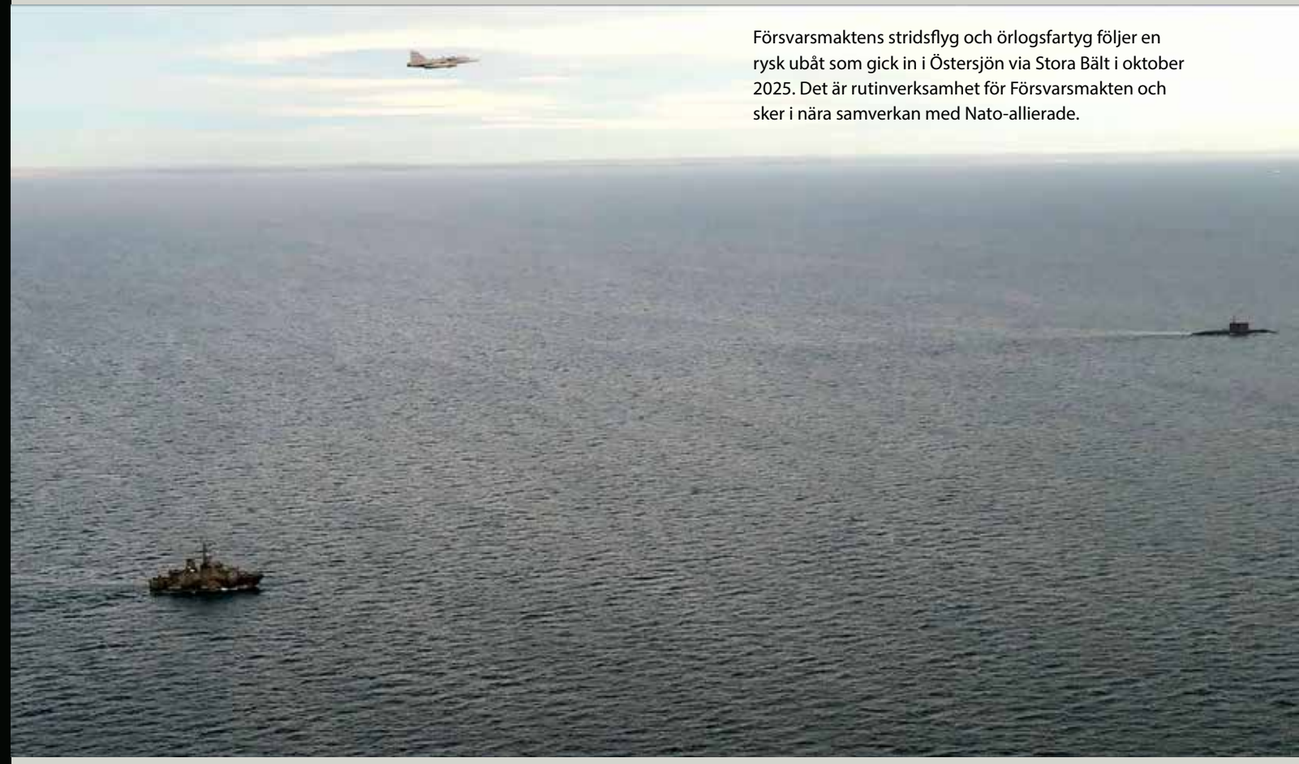
– Så om folk ser tillbaka om 20 år och undrar, vad fan gjorde Bergman när han hade forskningschefsposten, så är det förmodligen att vi kan bedriva samma forskning även under krigstid. □

"*Why jump out of a perfectly good airplane?*" är titeln på David Bergmans doktorsavhandling i psykologi från 2021. Den handlar om extrem stress och har fallskärmstjänst som empiri. Utifrån sin forskning har han också skrivit böckerna Nätverket (2026), Vem är du när kriget kommer? (2024) och Stridens psykologi (2022). David Bergmans skönlitterära alster är: Rex Maris (2024), Kodnamn Aurora (2021), 6 dagar (2016) och 36 timmar (2013).

SAMMA HAV – NYTT UPPDRAG

För Sverige är Östersjön inte längre en vallgrav som skyddar kusten. Det är i stället den viktigaste transportvägen för att kunna skydda Natos gräns mot Ryssland och nå fram med livsnödvändiga varor till befolkningen. Detta innebär ett svårare militärt uppdrag.

Text: Kajsa Skarsgård



Försvarsmaktens stridsflyg och örlogsfartyg följer en rysk ubåt som gick in i Östersjön via Stora Bält i oktober 2025. Det är rutinverksamhet för Försvarsmakten och sker i nära samverkan med Nato-allierade.

Foto: Försvarsmakten

I såväl fred som krig är Östersjön en livsnerv för länderna som omger innanhavet. Nu och historiskt.

– Men vi är lite sjöblinda. Vi står ofta med rumpan mot sjön och tittar inåt land, säger Linus Fast, senior forskare inom sjödomänen på Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI).

Han beskriver Sverige som en ö försörjningsmässigt: omkring 90 procent av godset till och från Sverige fraktas sjövägen. Det handlar om allt från livsmedel och läkemedel till energiprodukter, insatsvaror och basindustrivaror. Vissa samhällskritiska produkter kan bara tas emot i specifika hamnar.

Finland, Estland, Lettland och Litauen kan än mer betraktas som öar försörjningsmässigt.

3000–4000 fartyg rör sig på Östersjön varje dag. Även om en del gods skulle kunna ledas om under krig så skulle det inte motsvara behovet. Vissa försörjningskedjor har inte heller alternativa rutter i dagsläget.

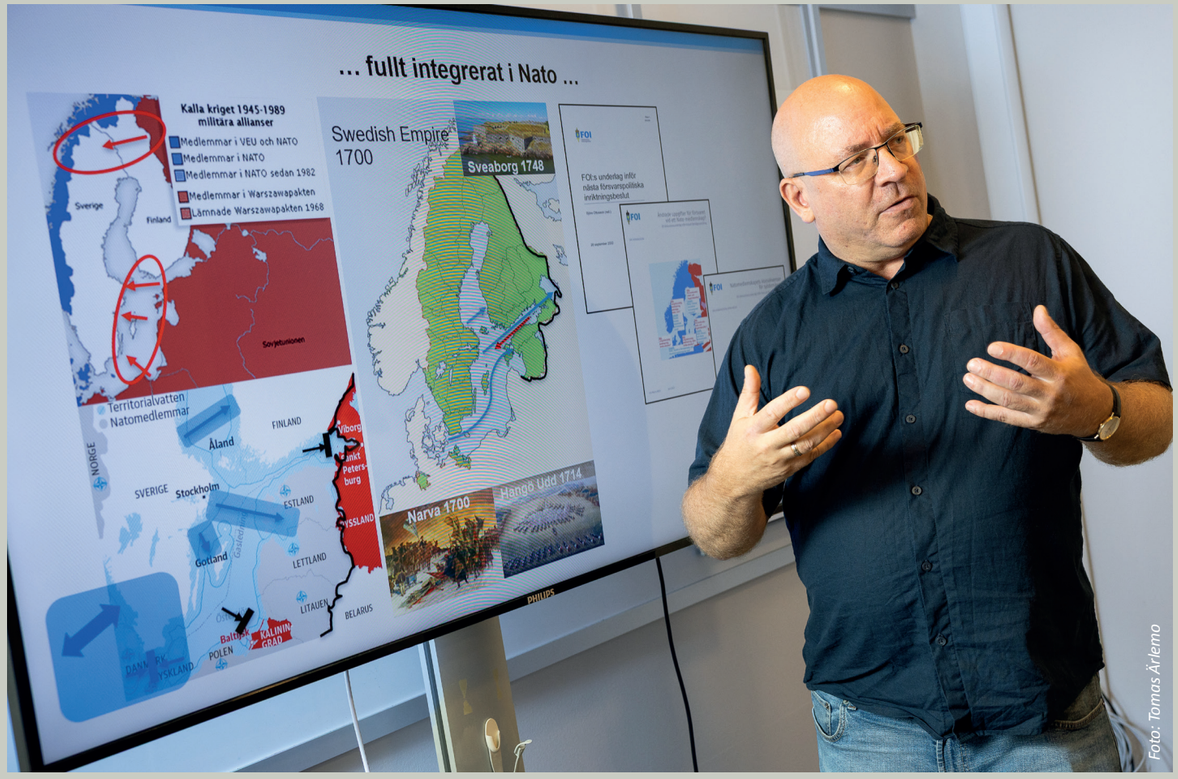


Foto: Tomas Ärlemo


Foto: Tomas Ärlemo

Till vänster: Linus Fast visar hur kontrollen över Östersjön har förändrats historiskt, men alltid varit central i säkerhetspolitiken. Ovan: Tobias Söderblom, utvecklingschef på Sjöstridsskolan.

UNDERVATTENSKABLAR I ÖSTERSJÖN



Källa: Submarine Cable Map, Svenska kraftnät, KTH

ÄVEN FÖR RYSSLAND är tillgången till Östersjön nödvändig, och en hög militär prioritet. Det är skuggflottan och det alltmer utvecklade hybridkriget i Östersjön ett symptom på. Kabelbrott. GPS-störningar. Gränskränkningar.

– Båda sidor är beroende av öppna flöden så länge det går. Men båda sidor vill kunna blockera den andras flöden så tidigt som möjligt, säger Linus Fast.

Som Natomedlem har Sverige en ny roll att axla på Östersjön. I stället för lager av skydd längs kusten för att förhindra att Ryssland landstiger i Sverige, ska Försvarsmakten nu bidra till att Nato etablerar sjökontroll över Östersjön om det blir krig. Detta för att kunna skicka trupper och materiel över till länderna mot den ryska gränsen (se grafik på s. 24).

– Försvarsmakten har förstått att man kanske får avstå lite verkansförband och coola vapensystem för att bygga upp en organisation för materiel och logistik, det som inte är så sexigt. För annars kommer inte det andra att funka. Men det finns ingen anledning att ha logistikbataljoner om det inte finns mat, drivmedel och ammunition lagrat. Eller som kan komma in, företrädesvis sjövägen.

I motsatt riktning över Östersjön ska skadade och flyktingar transporteras. Tre år efter Rysslands fullskaliga invasion av Ukraina befann sig omkring 18 procent av landets befolkning utanför Ukraina som flyktingar. Om motsvarande andel av befolkningen i Baltikum och Finland tvingas lämna sina länder skulle det motsvara cirka 2,1 miljoner människor. Det kan jämföras med 163 000 asylsökande som tog sig till Sverige under flyktingkrisen 2015, och det på egen hand.

– Förr var Östersjön vår vallgrav, nu är det en väg vi ska kunna använda i krig, sammanfattar Linus Fast.

Han drar en parallell till slaget vid Narva i nuvarande Estland. Den 20 november år 1700 lyckades Sverige under Karl XII:s befäl slå den mycket starkare ryska armén i den då svenska provinsen.

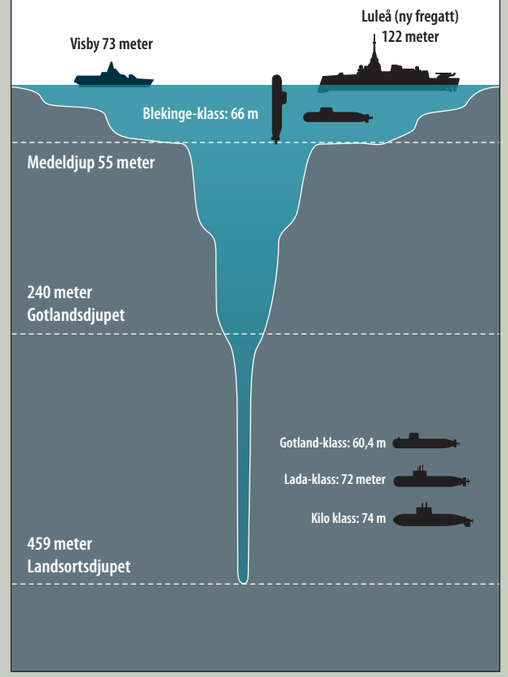
– Bara några dagar tidigare fanns bara 2000 svenskar där, mot närmare 40 000 ryssar. Men den svenska flottan hade lastat ombord 10 000 soldater som först hade slagit dansken. De fick utan rast och vila sedan marschera från Pärnu till Narva och i princip storma direkt. Det hade vi aldrig kunnat göra utan sjökontroll.

ATT FÖRSVARA SIN kust längs Östersjön är däremot enklare än att upprätthålla kontroll över Östersjön, särskilt när Ryssland har all anledning att vilja bestrida kontrollen. I Svarta havet har Ukraina visat hur man genom asymmetrisk krigföring kan skapa stora problem även för en starkare militärmakt. Huthi-rebellerna i Jemen har visat samma sak i sundet Bab el-Mandeb, och Iran i Hormuzsundet.

Även om Östersjön i sig inte har förändrats mycket över århundrandena har teknikutvecklingen ändrat förutsättningarna för sjökontroll. Numera går det att hota hela Östersjön från landbacken. I krig betyder det att varenda transport på Östersjön behöver skydd – från botten till rymden. ▷

ÖSTERSJÖN – ETT GRUNT INNANHAV

Medeldjupet i Östersjön är endast 55 meter. Det är mindre än längden på en svensk ubåt. Stora områden har ett djup som understiger 30 meter vilket gör miljön mycket svårnavigerad.



Tobias Söderblom är utvecklingschef på Sjöstridsskolan och har lång erfarenhet av förmågeutveckling, främst inom undervattendomänen.

– Vi kan inte räkna med att ha full sjökontroll över Östersjön under ett krigstillstånd. Det vi får försöka är att med alla till buds stående medel ha sjökontroll i ett visst område under en viss tid, säger han.

– Vi behöver ubåtar framskjutna mot fiendens utskeppningshamnar för att hålla koll om det kommer någonting, obemannade förmågor i alla domäner för att vara ett mängdhot, fregatter och annan luftförsvarsförmåga för att hålla koll på vassare vapensystem i luften. Dessutom behövs en mängd andra marina förmågor.

Allt eftersom slagfältet ovan ytan blir mer transparent, ökar betydelsen av att kunna verka i skydd av vattnet. Den förmågeutveckling på land och i luften som bygger på snabb och trådlös dataöverföring går däremot inte att kopiera under ytan. Vatten dämpar nämligen elektromagnetiska vågor kraftigt och Östersjöns vattenmiljö är särskilt komplex (se grafiken nedan).

Kommunikationen sätter därför gränser för sensorers och obemannade farkosters förmåga under vattnet. Ett sätt att komma runt problemet är att tanka av information till bojar vid ytan eller system på sjöbotten, som i sin tur kan skicka vidare (se grafik s. 32–33). Ett annat sätt är att minimera kommunikationsbehovet, till exempel genom autonomi.

– Det passar däremot inte att ha obemannade dödsrobotar som åker omkring ute i Östersjön för vi måste ha koll på vad som händer, annars är det risk att vi hamnar i en situation som vi inte har kontroll över, säger Tobias Söderblom.

– Men vi kan ha nytta av den autonoma och obemannade tekniken som externa sensorer, kommunikationsnoder eller andra saker för att komplettera de bemannade farkosterna. Man kan skicka in en obemannad farkost i ett område där det är för farligt för bemannade ubåtar att vara, eller för att kolla om det är minerat eller inte.

TOBIAS SÖDERBLOM HOPPAS att det gemensamma beroendet av öppna sjövägar på Östersjön och Natos förmåga att upptäcka, härleda och agera på fientlig aktivitet ska hindra att det pågående hybridkriget utvecklas till ett fullskaligt krig.

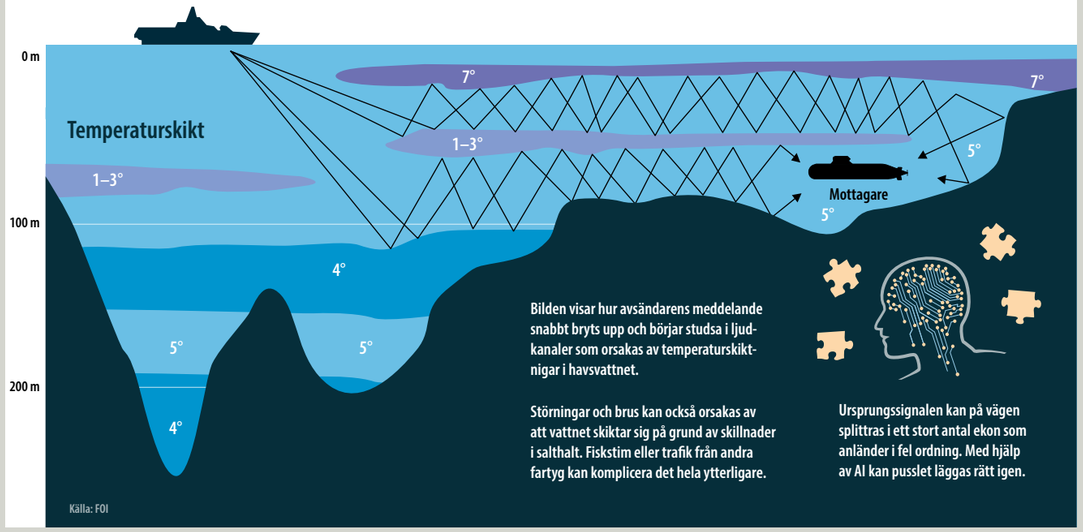
– Vi måste försöka få Ryssland att förstå att det inte är ett nollsummespel där det bara finns vinnare och förlorare, utan ett spel där alla kan vara vinnare. Det är så handeln funkar. □

KOMMUNIKATION UNDER VATTEN

Vatten dämpar elektromagnetiska vågor kraftigt. Ett sätt att kommunicera under havsytan är med akustiska signaler. Att skicka en signal är inget problem. Det är när den på sin färd till mottagaren utsätts för allehanda störningar som problemen börjar. Det som till slut kommer fram till mottagaren kan vara en kakafoni av ekon och brus som måste sammanfogas till något begripligt.

Ungefärlig räckvidd under vatten

Tal	2-3 mil
Bild	1 mil
Video	1-2 km





FLYGKRAFT PÅ SJÖN

Den far fram ovanför vattenytan. Tyst, snabbt och energisnålt. Kan bärplansfarkosten bli ett nytt inslag i framtidens flotta? Det tror Jakob Kuttenkeuler, professor i maritim robotik, som bygger bärplansdrönare på KTH och till FMV.

Text: Kajsa Skarsgård

Foto: Tomas Ärlemo



Jakob Kuttenkeuler testkör Evolo i Trosa skärgård.



Foto: KTH

Ghostfoilers jungfrutur i Stockholm i augusti 2026.

Jakob Kuttenkeuler öppnar dörren till verkstaden på Kungliga Tekniska högskolan med en sprittande energi.

– Här tillverkas kompositer, det 3D-printas, sågas och räknas. Och det är något som jag som lärare och professor på KTH älskar! Jag vet att det sker mycket i alla möten här, från studenter på bachelornivå till fast anställda och fakulteten.

I ett av verkstadens hörn ligger en gul bärplansdrönare halvt isärplockad. Det speciella med denna typ av ytgående farkost är att skrovet lyfts ovanför vattnet när det får fart. Skrovet balanserar på en mast, ihopsatt med ett bärplan under ytan som får lyftkraft likt vingar när det drivs framåt av en elmotor.

Detta gör den tystare och ger ett mindre vågavtryck än en vanlig båt. Med mindre vattenmotstånd krävs också mindre energi för att komma upp i hastighet och få bättre räckvidd.

GRUNDEN TILL KTH:S bärplansfarkost, Evolo, skapades av Jakob Kuttenkeuler med en grupp studenter under en kurs 2008, men lades sedan på hyllan. Tyvärr, eftersom ett företag fem år senare tog ett patent – som inte borde ha accepterats, menar Jakob Kuttenkeuler.

Sedan några år fortsätter han att utveckla Evolo tillsammans med studenter och kollegor på KTH.

– Jag är tydlig med att projektet är finansierat av Försvarets materielverk (FMV). Studenterna måste få välja om de vill jobba nära militära tillämpningar, säger Jakob Kuttenkeuler.

På uppdrag av FMV bygger han nu också, i sitt egna bolag, en större militär prototyp i svart kolfiber. Den kallas Ghostfoiler och är en katamaran som kan bära 500 kilo. Dess jungfrutur skedde i augusti 2026.

2024 var Evolo för första gången med på Repmus, Natos årliga testevenemang för marina drönare i Portugal.

Då kunde Jakob Kuttenkeuler visa att Evolo genom fjärrstyrning flög bra i olika sjötillstånd och klarade att både bära och släppa last. Men dess enda seende var operatörerens ögon på land.

På Repmus 2025 hade farkosten en kamera som skickade realtidsvideo till operatören via Starlink. Men glitchar i uppkopplingen orsakade krockar med bojar.

– När jag såg det fattade jag beslutet att vi måste ha ett system ombord som klarar att se hinder och väja för att skapa högre grad av autonomi och inte kräver att vi har kontakt med land. Så nu levlar vi upp. Och där kommer AI in.

IDÉN ATT LYFTA båtar ur vattnet med hjälp av vingar – bärplan – realiserades i Italien redan vid 1900-talets början. Telefonens fader, Graham Bell, satte 1919 rekord när hans bärplansfarkost kom upp i 110 kilometer i timmen.

De kommersiella och militära genombrotten kom i mitten av 1900-talet, men då satt bärplanen vid ytan. I slutet av förra seklet kom bärplanen som var nedsänkta under ytan. De var mer svårbalanserade, men mer effektiva. Farkosttypen tappade däremot mark på grund av höga kostnader och komplicerat underhåll.

– Det här projektet är framgångsrikt just nu för att teknikutvecklingen nått dit att vi enkelt kan bygga radarhöjdsensorer och själva kan bygga ett effektivt, litet och robust styr- och reglersystem. Batteritekniken gör också att vi kan ha en elektrisk motor och att vi med en 4G-antenn eller Starlink kan kommunicera enkelt och styra med mobiltelefonen, berättar Jakob Kuttenkeuler som lämpligt nog har en bakgrund inom såväl flygteknik som marin teknik.

Evolos styrsystem ligger i en orange plastlåda, stor som en portfölj, under skrovets tillbyggda huv. Det är den tekniken som är utvecklad vid KTH och gör att det inte krävs en person ombord för att balansera och styra.

– Den här farkosten är egentligen instabil kring fler axlar än flygplanet Gripen, så vårt reglersystem har i vissa fall större utmaningar än ett Gripen-plan, säger Jakob Kuttenkeuler och påpekar att han inte känner till någon annan aktör i världen som har utvecklat ett lika integrerat och avancerat styrsystem för en obemannad bärplansdrönare.

Nu i år när Evolo navigerar autonomt med hjälp av kamera, lidar och ombordbaserad AI, läggs ytterligare en låda till under skrovets skyddande huv. Navigeringslådan är svart, och större än styrsystemet.

– Den orangea lådan kallar vi för Kaptenen. Det är den som kör och balanserar det instabila. Den svarta lådan, som har sensorerna kopplade till sig, kallar vi ibland för Backseat Driver eller The Scientist.

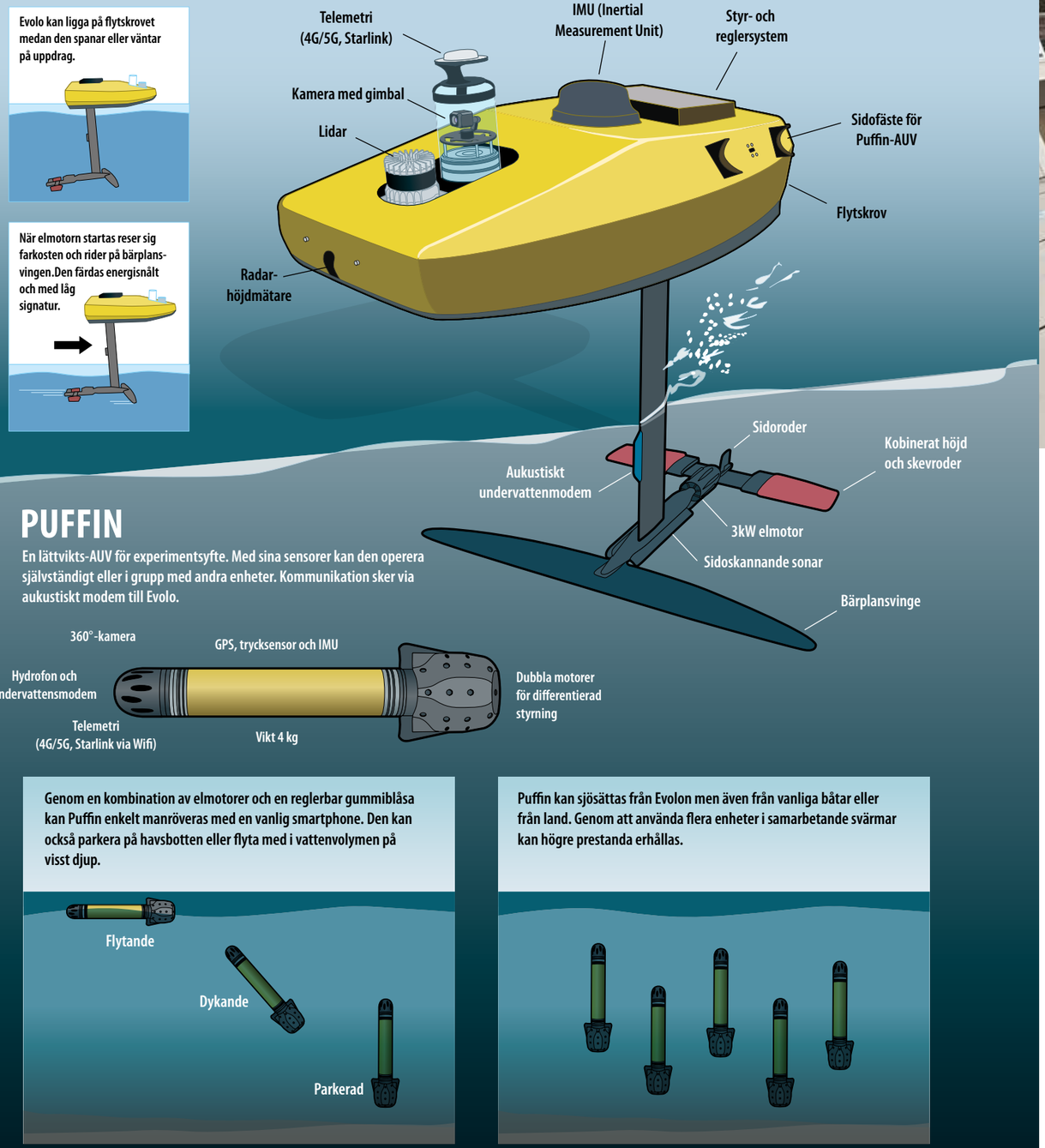
– Kaptenen ska vara klok, lugn, stabil. The Scientist tillåts vara mer vågad och ska göra alla tjusiga AI-grejer. Sitta i baksätet och se saker, undvika hinder eller följa efter något och ropa fram till Kaptenen: kör höger, kör vänster. Eller ringa oss när det dyker upp något elände.

EVOLO KAN BÄRA med sig och släppa ett par tubliknande undervattensfarkoster (micro AUV) kallade Puffin, som är utrustade med hydrofon och kan dyka på kommando. Jakob Kuttenkeuler vill göra Puffin så pass billig – kanske 20 000 kronor styck – att studenter enkelt kan låna en för egna experiment och så att de kan användas många tillsammans.

– Mina 30 år på KTH har lärt mig att om man ska veta var man är under vattnet med precision så kostar det cirka en miljon kronor per farkost, så det skalar vi bort i detta fall. I stället vet vi var den är när den dyker rakt nedåt, och Evolo kan mäta avståndet till den, så då kan vi ▷

EVOLO – BÄRPLANSDRÖNARE

Evolo färdas mjukare, mer energisnålt och med lägre signatur än en vanlig båt för att den drivs av en elmotor placerad under vattnet och rider på en bärplansvinge. Via aukustiskt modem kan moderfarkosten kommunicera med små lättvikts-AUV:er som släpps från sidan av skrovet. Data från både Evolos och AUV:ernas sensorer skickas vidare via telemetri för vidare analys.



Källa: KTH



Foto:Martin Ek

Jakob Kuttenkeuler visar en Puffin i KTH:s verkstad där Evolo ligger öppen på trälådan till höger.

»I ett scenario när du vill vara smygig kan du söka dig fram, kanske stanna, ligga och ”sura ett tag” och bara ha kameran igång.«

räkna ut baklänges var den är parkerad på sjöbotten. Snitsigt va!?

Hur skulle bärplansfarkosterna och deras last då kunna användas av totalförsvaret? Jakob Kuttenkeuler pekar på två bensindunkar som är monterade på Evolo. Ett av Sjöräddningens vanligaste uppdrag är att köra ut bränsle till båtar med soppatorsk. En idé KTH har är att göra experiment där den lilla eldrivna bärplansdrönaren skulle kunna utföra den uppgiften.

– Att vara sensorbärare är naturligtvis en uppenbar uppgift. Fast monterade kameror, eller varför inte ett par flygande drönare?

Andra typer av mindre laster av förnödenheter eller reservdelar skulle också lämpa sig, särskilt om snabbhet och tysthet är viktigt. Jakob Kuttenkeuler utesluter dessutom inte att den kan användas med eller som ett vapen. Eller för att evakuera en skadad person.



Foto: KTH

Ghostfoiler under Natos testevenemang Repmus i september 2026.

Men han ser också framför sig miljöövervakning eller spaningsuppdrag. Till exempel att regelbundet scanna av en hamns botten med sonar för att upptäcka förändringar.

– I ett scenario när du vill vara smygig kan du söka dig fram, kanske stanna, ligga och ”sura ett tag” och kanske bara ha kameran igång.

Eftersom farkosten sträcker sig både under och över vattenytan skulle den även kunna agera kommunikationsnod. En Puffin skulle också kunna vila under vattenytan en tid för att sedan flyta upp igen och skicka iväg information.

BÄRPLANSFARKOSTER PASSAR FRÄMST i skärgårds- och sjömiljö, eftersom större vågor kräver större farkoster. Men det är också möjligt att bygga dem större. En bärplansfarkost av samma vikt som en Visbykorvett skulle bara behöva ungefär en tredjedel av energin för att komma upp i samma eller högre maxfart, säger Jakob Kuttenkeuler baserat på det beräkningsverktyg som han har utvecklat på uppdrag av FMV.

– Sedan kan det finnas andra nackdelar med bärplansfarkosten.

Kostnaden kan vara en sådan. Bärplanets relativa känslighet en annan.

EN TID EFTER mötet i KTH:s verkstad är Jakob Kuttenkeuler på Natos testevenemang Repmus 2026. Där beslutade hans lag att migrera Evolos teknik till den nya, större katamaranen Ghostfoiler.

– För att vara en första version flyger hon jättebra och AI-systemet ser lovande ut. Men det är mycket kvar att göra, rapporterar Jakob Kuttenkeuler direkt från Portugal.

Han beskriver hur ”Team Sweden” på plats mekar ihop och stöttar varandra för att trimma sina produkter. Stämningen är varm och intensiv.

– Repmus är inte bara en övningsyta utan en nätverksyta. Här hamnar man i andra samtal mellan företag, myndigheter och akademi än när man sitter i olika korridorer i Stockholm. □

UPPVISNING I NY TEKNIK

Swedish Maritime Robotics Centre (Smarc) visade upp sin senaste forskning under en dag på fältstationen Askö i Trosa skärgård.

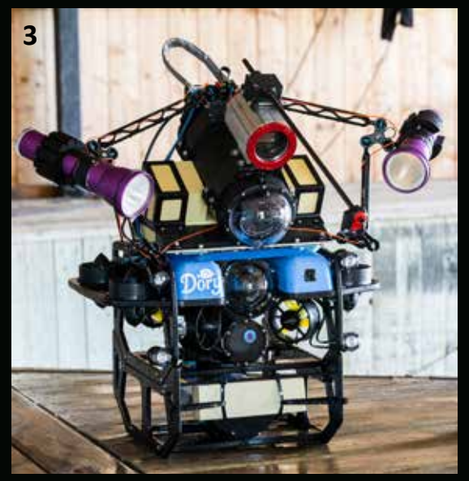
Text: Peter Sigray, Kajsa Skarsgård Foto: Tomas Ärlemo



1

1. Att navigera under vatten är en stor utmaning, särskilt för små och billiga drönare. Smarcs lösning är akustiska modem som mäter så kallad envägsrestid (eng. one way travel time). Med hjälp av tekniken går det både att bestämma var undervattensfordon befinner sig och att kommunicera med dem. Doktoranden Shekhar Upadhyay visar ett av fordonen som bär modemet.


2



3

2-3. Doktoranden Laura Kvarnstrand visar en fjärrstyrd undervattensfarkost med en hyperspektralkamera som avslöjar det som är osynligt för blotta ögat. Den kan avläsa algers hälsotillstånd under vattenytan, men även identifiera olika material utifrån deras optiska egenskaper – en förmåga särskilt intressant för försvaret.

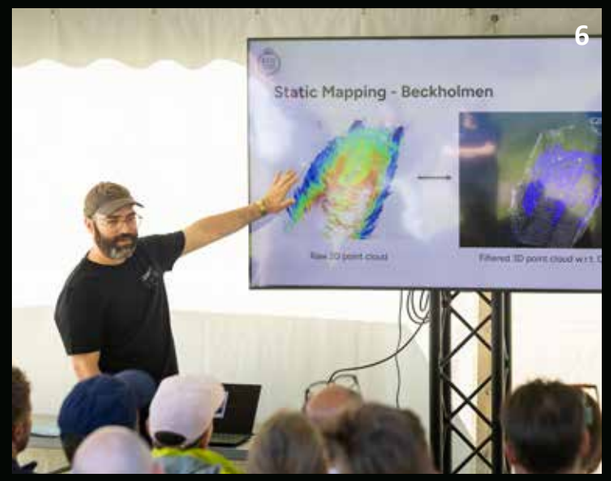
4. Besökarna fick i realtid följa samverkande undervattensfarkoster och ytgående farkoster. På skärmar på kajen kunde besökarna se ledningssystemet och vad farkosterna registrerade.


4


5

5. Smarcs föreståndare, Peter Sigray, visar hur undervattensfarkoster kan få längre uthållighet med hjälp av bränsleceller.

6. För autonomi är perception avgörande för att skapa en omvärldsbild. Här visar doktoranden Julian Valdez resultaten av mätningar med undervattenssonar i Beckholmens fartygsdocka. Genom att dockan töms kan man mäta upp ytan med mer moderna metoder, som t ex lidar i luft, för att för att sedan jämföra med vad sonaren uppmäter i vattnet.



6

7. Marinens forskningschef, Therese Tärnholm, var en av besökarna. ”Det är viktigt att vi inte bara tittar på det tekniska systemet, utan också på det sociotekniska och det styrande lagret. Hur ska tekniken fungera i systemen? Hur ska man kunna leda systemen? Vad finns det för lagstiftning och standarder? Vi måste få in tvärvetenskapen i projekten från början”, säger hon.


7



Foto: Thales Group

SVERIGE VÄSSAR BLICKEN ÖVER ÖSTERSJÖN

Radarsystemet från 1980-talet håller på att bytas ut mot ett toppmodernt sensornätverk i flera höjdlager. Det ska ge Sverige en helt ny förmåga att möta hot över Östersjön.

Text: Kajsa Skarsgård

Det markbaserade radarsystemet är ryggraden i Sveriges sjö- och luftövervakning. Nu står det inför ett stort tekniksprång. Under 2026 ska Sverige för första gången få radarstationer av så kallat särskilt lång räckvidd. De kan se långt upp i rymden, och betydligt bättre över Östersjön, och in i Ryssland, än tidigare.

– De ska upptäcka flygfarkoster liksom objekt i rymddomänen på upp till 200 mils avstånd. Till exempel satelliter och ballistiska robotar, även interkontinentala, berättar Mattias Alfredsson som på Försvarets materielverk leder projektet ”Sensorsystem Ny”, den omfattande satsningen på att modernisera det markbaserade sensorsystemet.

– Ballistiska robotar följer en kastbana i rymden och kommer i hög hastighet. Därför behöver man upptäcka dem tidigt.

Befintliga radar med lång, medellång och kort räckvidd kommer att bytas ut mot toppmoderna ditos fram till 2030 då nuvarande system når sin livslängds slut. En av nyheterna är att den korträckviddiga kustspaningsradarn inte bara kan upptäcka hot vid vattenytan utan också lufthot på låg höjd, såsom kryssningsrobotar och drönare.

Det nya sensornätverket är mer störningståligt. Det innehåller även passiva sensorer som är svårare att upptäcka eftersom de bara fångar upp signaler, inte skickar några. Radarsystemens nya antennteknik gör det möjligt att följa mindre mål på längre håll, och inte minst många mål samtidigt. I luften och på ytan.

Den förbättrade lägesbilden ska ge Försvarsmakten, såväl som det civila samhället, tidigare varningar om hot. Även hot från hypersoniska vapen.

– Tidsförloppen från upptäckt till verkan är mycket kortare idag. Förr i tiden kunde det kanske röra sig om en halvtimme från upptäckt till verkan. Idag kan det behöva handla om minuter eller sekunder, säger Mattias Alfredsson.

DET NYA MARKBASERADE sensornätverket kommer bidra till att detektera drönare, men det är inte dess huvuduppgift. Däremot kan det integreras med andra sensorsystem, även sådana i rymden och under vattnet.

Radarsystemen är till stor del mjukvarubaserade och ska uppdateras och utvecklas kontinuerligt för att upptäcka nya hot.

– Men om vi gör en förändring i sensorerna måste det gå i takt med gränsytorna i omgivande system, och det är en stor utmaning som är en del av ett större arkitekturarbete.

Det nya systemet av markbaserade sensorer ska skapa en bättre grund för multidomäna operationer tillsammans med andra Natoländer. Då krävs också effektiva ledningsstödssystem som snabbt gör den stora mängden data begriplig och användbar. AI-utvecklingen är avgörande. Samtidigt kräver de nya sensorerna mer aktiv och avancerad styrning av operatörer. Det krävs också en kulturförändring och nya arbetssätt för att jobba mer integrerat över vapengrenarna.

Sverige är inte ensamt om att modernisera sitt sensorsystem.

– Det nordiska samarbetet är väldigt starkt och de system vi har anskaffat används av Nato och av andra länder, säger Mattias Alfredsson.

Själv spanar han ständigt på teknikutvecklingen för luftlägesbilder. Särskilt intressant finner han möjligheten att positionera objekt med hjälp av de elektromagnetiska vågorna från befintliga civila sändare, för till exempel tv, radio och mobildata.

– Det är en typ av passiv radar, eller parasiterande radar.

Hur just 6G-tekniken utvecklas mot detta syfte kan du läsa om i systerpublikationen Teknisk Prognos nr 1/2026, ”5G och 6G – Ny teknik för totalförsvaret”. □



Mattias Alfredsson.

Foto: Tomas Ärlemo

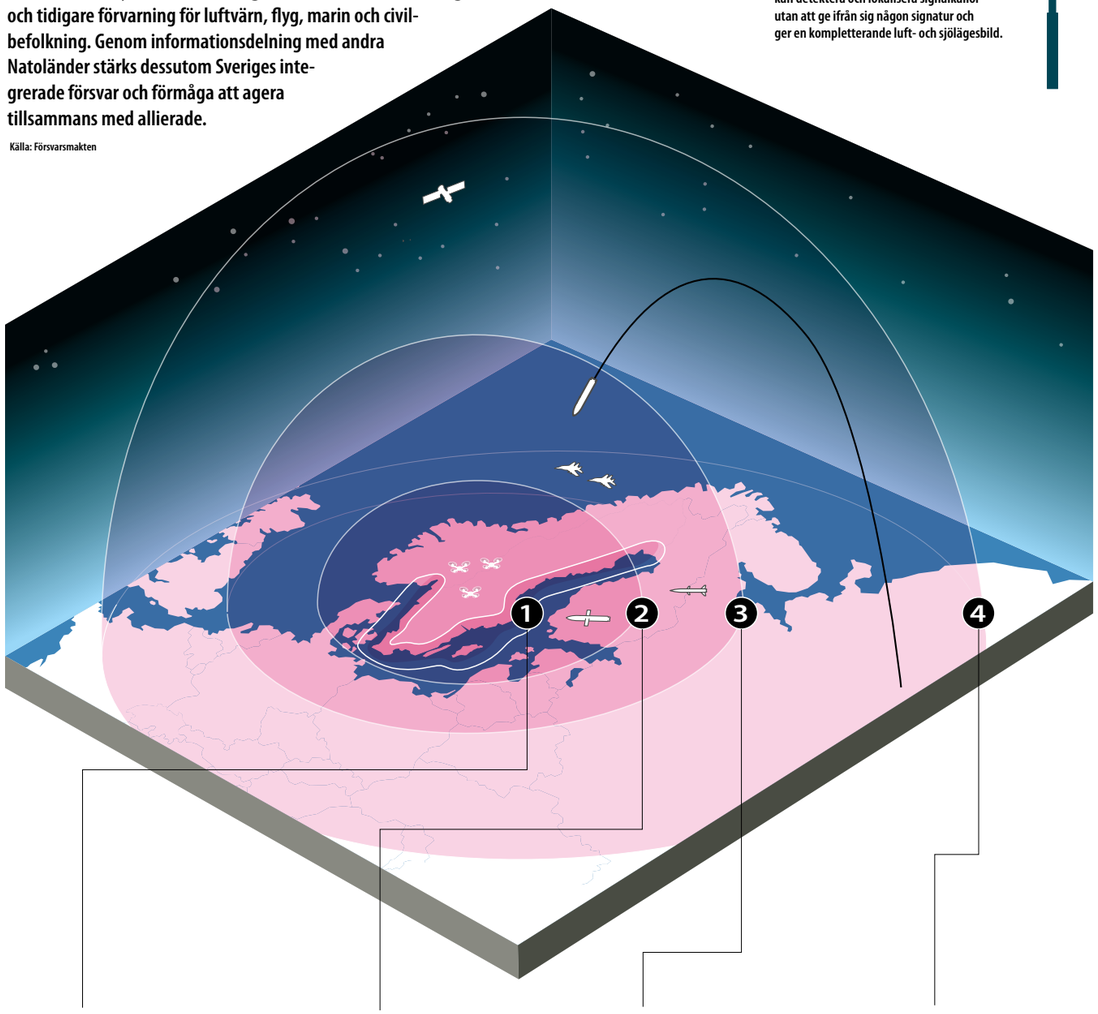
SENSORSYSTEM NY

Sensorsystem ny består av flera överlappande lager av aktiva och passiva sensorer. De nya radarsystemen får olika räckvidder och funktioner och ska kunna upptäcka bland annat drönare, kryssningsrobotar, hypersoniska vapen, ballistiska robotar och satelliter. Systemet ska även ge snabbare beslutsunderlag och tidigare förvarning för luftvärn, flyg, marin och civilbefolkning. Genom informationsdelning med andra Natoländer stärks dessutom Sveriges integrerade försvar och förmåga att agera tillsammans med allierade.

Källa: Försvarsmakten

PASSIVA SYSTEM

Passiva sensorer (PSS) är ett komplement till de aktiva sensorerna nedan. Systemet kan detektera och lokalisera signalkällor utan att ge ifrån sig någon signatur och ger en kompletterande luft- och sjölägesbild.



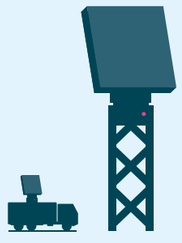
KUSTSPANINGSRADAR

KSSR

Den befintliga kustspaningsradarn Scanter 5202 från Danska Terma uppdateras och får ny, utökad förmåga. Systemet bidrar med förbättrad sjölägesbild och förbättrad luftlägesbild på låg höjd och kan exempelvis detektera drönare och kryssningsrobotar.

MEDELRÄCKVIDDIG RADAR

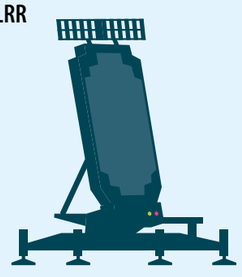
MRR



Giraffe 4A från Saab och GM200 MM/C från nederländska Thales. Systemen ska ersätta Försvarsmaktens befintliga system PS-871. Bidrar till förbättrad luft- och sjölägesbild och kan snabbt förstärka täckningen i prioriterade områden tack vare sin rörlighet.

LÅNGRÄCKVIDDIG RADAR

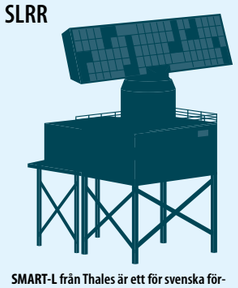
LRR



TPY-4 från amerikanska Lockheed Martin. Systemet ska ersätta Försvarsmaktens befintliga system PS-861. Kan bland annat detektera och mäta in kryssningsrobotar och ballistiska missiler samt skicka data till luftvärnssytemet Patriot och bidra till rymdlägesbild.

SÄRSKILD LÅNGRÄCKVIDDIG

SLRR



SMART-L från Thales är ett för svenska förhållanden nytt radarsystem som ger Försvarsmakten en ny förmåga. Har kapacitet att täcka stora områden. Kan bland annat detektera och mäta in kryssningsrobotar och ballistiska missiler samt skicka data till luftvärnssytemet Patriot och bidra till rymdlägesbild.



NATOS SAMARBETE KRING ÖSTERSJÖN TÄTNAR

Text: Kajsa Skarsgård Foto: Tomas Ärlemo

Jon Wikingsson är ställföreträdande chef för Commander Task Force Baltic (CTF Baltic) i Rostock som leder Natos dagliga arbete i Östersjön.
– Vi blir otvetydigt starkare tillsammans, säger han.

Varje morgon jämkar CTF Baltic samman lägesbilderna från Natos militärmakter kring Östersjön, plus Norge, Frankrike, Storbritannien, Nederländerna och Italien. Den gemensamma lägesbilden är grunden för operationen Baltic Sentry. Syftet är att säkra alliansens kritiska infrastruktur, handel och gränser genom att upprätthålla sjökontroll i Östersjöregionen.

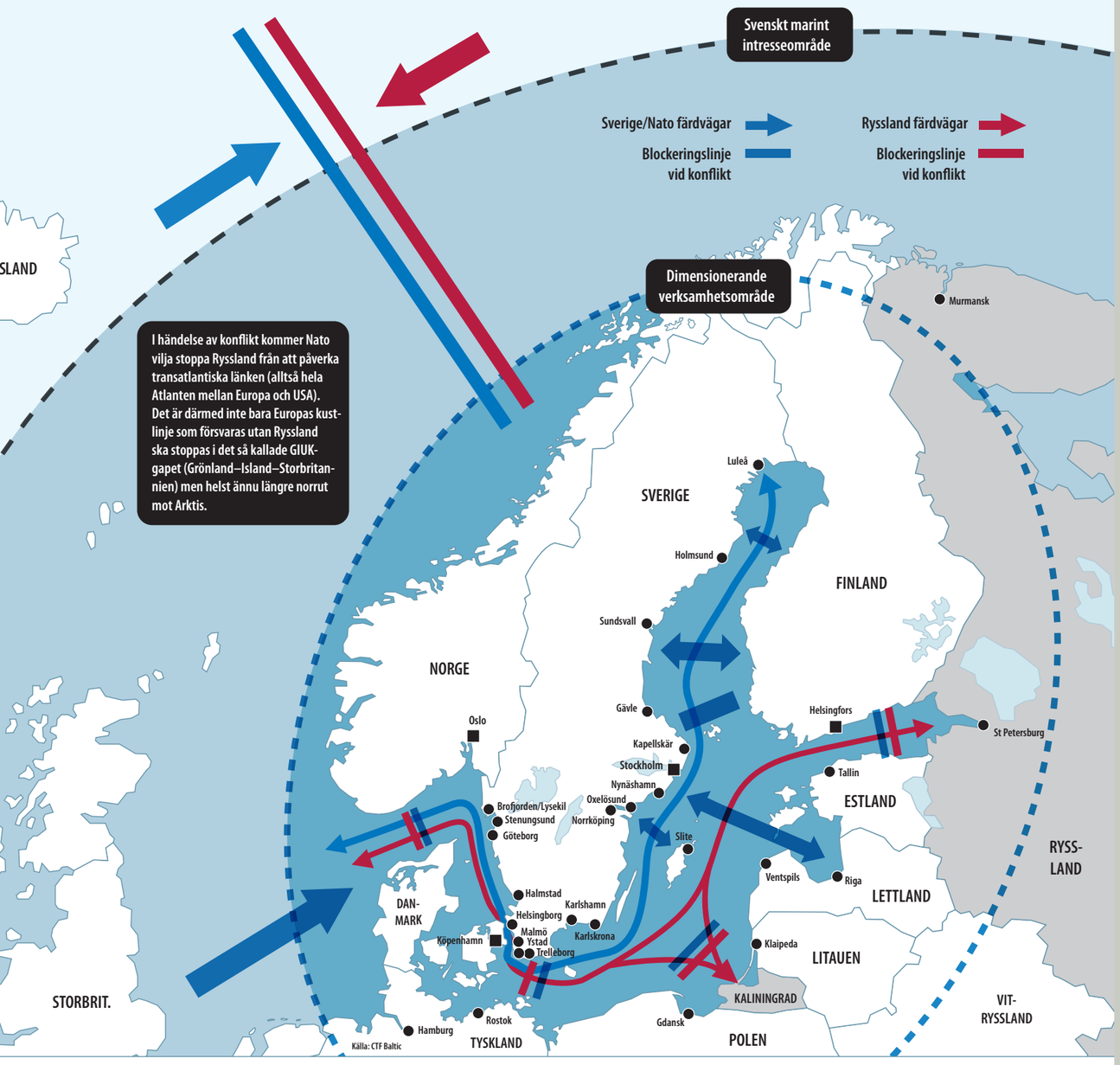
Flottiljamiral Jon Wikingsson har drygt 30 års erfarenhet från den svenska marinen, bland annat högsta operationsledningen.

– När man sitter ett tiotal nationer runt ett bord och ska lösa ett problem inser man med en gång att ju fler man är, ju bättre förståelse och helhet blir det. Idéerna kring hur man ska hantera saker och ting blir mer konkreta och långsiktiga. Det är inte enklare, men vi blir otvetydigt starkare tillsammans, säger han.

CTF Baltic skapades 2024, för att lösa Natos operativa behov i Östersjön åt den centrala marina ledningsstaben utanför London, Marcom. ▷

CTF BALTIC – SAMARBETE I ÖSTERSJÖN

Både i fred och vid konflikt är öppna sjövägar över Östersjön och västkusten helt avgörande för transport av varor, materiel och människor. Natos marina ledningsstab utanför London (Marcom) och CTF-Baltics mål är att ha kontroll över området och samtidigt motverka rysk sjökontroll. Det dimensionerande verksamhetsområdet är speciellt på grund av sin krävande miljö. Östersjön har 4 000 fartygsrörelser per dag och inte alla Natoländer är rustade för att verka året runt i ett arktiskt havsklimat.



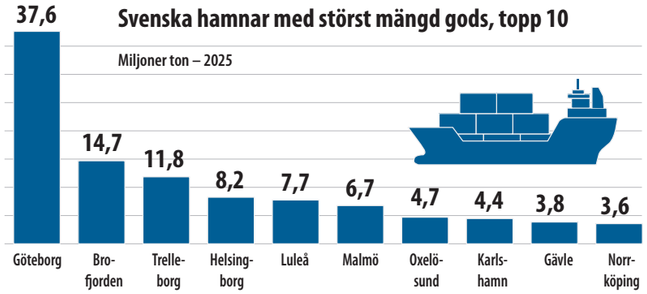
UTAN SJÖFARTEN STANNAR SVERIGE

Göteborgs hamn är störst i norden och avgörande för container-, olja- och fordonsindustrin.

Brofjorden/Lysekil står för en stor del av Sveriges drivmedelsförsörjning och tar emot stora mänger råolja.

Trelleborgs hamn är Sveriges största hamn för fartygsburen färjetrafik och den viktigaste huvudleden för gods till och från kontinenten.

Luleå hamn är en avgörande livlina för norra Sveriges basindustri och malmexport. Källa: Sjöfartsverket, Riksdagen



– Aldrig tidigare under min karriär i marinen har jag sett ryska fartyg så aktiva i Östersjön och Atlanten som de är nu, berättar Jon Wikingsson.

Ryssland har militära sjögående enheter och flyg i hela Östersjön och upp mot Skagerack, i Engelska kanalen och upp till Arktis och Murmansk.

– Det de gör är att se till att deras intressen omhändertas. Det kan vara transporter till Ryssland, eskortering av skuggflottan och så vidare. Är Ryssland aktiva, måste vi också vara aktiva. Övervaka, ha kontroll på vad som händer. Det är en del av att bygga stabilitet, annars hade vågen tippat över.

– Men jag tror att den största effekten av CTF Baltic är att Östersjöländerna nu mycket mer gemensamt planlägger hur vi hjälper varandra på bästa sätt.

Huvuduppgiften är att säkerställa handlingsfriheten att nyttja havet.

– Det är egentligen inte de militära behoven som är störst, utan att säkerställa försörjningen av de varor som krävs för att samhällena runt Östersjön ska fungera i fred, kris och krig. (Läs mer på s. 9-12).

JON WIKINGSSON PÅMINNER om att hela Sveriges totalförsvar har gått med i Nato, inte bara Försvarsmakten. Vägar och järnvägar behöver till exempel byggas och rustas upp för att Sverige ska klara uppgiften att ge värdlandsstöd till Nato-allierade.

– Försvarsmaktens uppdrag är att skydda de civila transporterna, inte genomföra dem. Vi har varken lastbilar eller fartyg för att försörja en hel befolkning.

En stor utmaning inom totalförsvaret och Nato är att få olika aktörers tekniska system att fungera ihop, inte minst kommunikation och ledningssystem. Nato håller på att skapa Baltic Mission Network där lägesbilden med sensordata från varje lands sjöcentral ska gå in i en gemensam ledningscentral.

– Att skapa ett nätverk för en ostörd miljö är relativt enkelt. Men vi lägger till Nato-standarder för att säkerställa funktionalitet i krig, när resten av samhället kanske är utslaget. Hur ska informationen flöda? Vilka protokoll och vilka krypton ska det vara? Vilken information ska tillåtas? Det största hotet mot en gemensam ledningscentral är ju cyberattacker.

Arbetet med att standardisera allt från hårdvara till mjukvara har tagit fart i Nato. I detta arbete har Nato börjat gå från krav på konsensusbeslut till majoritetsbeslut. Risken för att konsensuskrav fördröjer Nato i en skarp situation har gjort att medlemsländer har utvecklat egna multilaterala militära samarbeten parallellt.

– Hamnar Nato som helhet i en lösning med majoritetsbeslut tror jag att de multilaterala samarbetena vid sidan om Nato inte behövs i samma utsträckning som idag, för då kan du agera på liknande sätt inom Nato, säger Jon Wikingsson.



Jon Wikingsson.

ATT NATOLÄNDERNA KRING Östersjön får ett allt större ansvar för sitt innanhav är delvis en fråga om teknik och kompetens.

– Det är enkelt att tro att vilken fregatt som helst att kan uppträda i Östersjön i januari, men det är inte säkert att det fungerar rent tekniskt. Östersjöländernas fartyg är däremot byggda för att uppträda i ett arktiskt klimat.

– Det handlar också om hur personalen är tränad. Det finns länder i Nato som ser det som utmanande att verka i Östersjön med 4 000 fartygsrörelser per dygn. De är vana att kunna gå två veckor ute på Atlanten och inte möta ett enda fartyg. Här är det båtar runt en hela tiden.

CTF Baltics högkvarter är tänkt att rotera mellan Tyskland, Polen och Sverige. Från svenskt politiskt håll finns intresse att det i stället blir kvar permanent i Karlskrona från 2032.

– Det skulle göra att behovet att skydda den regionen ökar dramatiskt. Men Sverige är det största landet kring Östersjön, har ingen landgräns mot Ryssland och är beroende av sjöfarten både som nation och i vår roll som värdlandsstödsnation. Så det är logiskt att vi tar mer ansvar, menar Jon Wikingsson

– För Nato är det viktigaste att ledningsplatsen är i närheten av Östersjön och på en fortifikatoriskt skyddad plats. □

MARINA INNOVATÖRER MÖTS I KARLSKRONA

Det nya marintekniska ekosystem som har utvecklats i Karlskrona de senaste tio åren bär alltmer frukt. Om Nato flyttar hit sin marina stab för Östersjön kan de internationella samarbetena stärkas ännu mer.

Text: Kajsa Skarsgård



Deltagare i European Defence Tech Hubs marina hackaton testar sin teknik tillsammans.

Foto: Dennis Törnström, MTC



David Appelberg är chef för Marine Technology Center of Sweden (MTC).

Foto: Tomas Ärlemo

Landvägen är Karlskrona en avkrok. Ur ett marint perspektiv kunde Karl XI inte ha valt en mycket bättre plats för att grunda en örlogsstad år 1680, naturligt skyddad av sin isfria skärgård. År 2032 kan Karlskrona också bli basen för Natos marina operationer i Östersjön (Command Task Force Baltic – läs mer på s. 23-25).

Här leder David Appelberg sedan fem år Marine Technology Center of Sweden (MTC). Mårten Silvanius leder marinens nystartade experimentkontor vid Sjöstridsskolan, förkortat MaX. Båda verksamheterna har flyttat in i en byggnad på Saltö, kallad The Bridge, som är det nya fysiska navet i Karlskronas marintekniska innovationssystem. I de ljusa och öppna lokalerna kan teknikutvecklare, små och stora företag, akademi och myndigheter mötas.

– I maj satt 20 ukrainska operatörer här och berättade om behovsbilden i en marin kontext och fjärrstyrde farkoster där ute, säger David Appelberg och pekar ut mot vattnet där kobbar och skär sticker upp.

Då genomförde European Defence Tech Hub sitt första marina hackaton här. 100 personer från flera europeiska länder var på plats för att testa och utveckla sin teknik mot olika problem. Till exempel hur man integrerar data från sensorer i olika domäner eller skjuter ner flygande drönare utan att de skadar bebyggelse eller kritisk infrastruktur.

– De stora försvarsbolagen var här tillsammans med de väldigt mycket mindre entreprenörerna och de gifte faktiskt ihop sin teknologi, sina koncept och tankarna om att det här kan vi nog göra tillsammans.

Det vinnande laget i hackatonet byggde en navigeringslösning för GPS-störda miljöer. Det leddes av en man från Mariupol i Ukraina.

– När han klev upp på scenen och sa att han gör detta för att kunna komma hem en dag blev det väldigt verkligt varför den här verksamheten är viktig, säger David Appelberg.

Under det fyra dagar långa hackatonet skedde själva byggandet i en industrilokal kallad The Fishery, ett par hundra meter bort i den nedlagda fiskehamnen. Därifrån kan man skymta det marina område som under 2027 ska bli MTC:s permanenta testyta. Platsen kallas The Graveyard – det är dit teknik ska komma för att dö eller överleva.

– Det ligger också åtta medvetet sänkta örlogsfartyg där, som en skeppsspärr mot ryssen och dansken på 1700-talet, säger David Appelberg.

MTC OCH MARINENS experimentkontor MaX ska på sikt också ha digitala miljöer för test av AI, dataintegrering, stridsledning och simulering.

MaX köper tjänster av civila MTC, som i sin tur står för bland annat lokaler och leverantörskontrakt. Detta för att underlätta samarbete med små civila aktörer som saknar rutiner för att sälja tjänster och produkter till myndigheter.

– Det här är inte en säkerhetsklassad fastighet och ingenting här är hemligt. Det ska vara en enkel tillgång till lokalerna och testmöjligheterna i havet, och inga höga kostnader om man vill testa sin teknik i verkligheten, säger David Appelberg.

Mårten Silvanius tillägger:

– Sedan kommer man säkerligen till en punkt där det blir sekretessklassat. Då släpper vi den här miljön och flyttar in på till exempel varvsområdet eller marinbasen och fortsätter verksamheten där. Men vid det laget har företaget visat att de är pålitliga, att de levererar och kan bidra till svensk försvarsförmåga. ▷



Foto: Tomas Ärlemo

Mårten Silvanius, verksamhetsledare för marinens experimentkontor, MaX.

»Eftersom ekosystemet i Karlskrona har byggts upp under tio år kan vi komma in i MaX springandes.«

Att placera MaX utanför Försvarsmaktens höga grindar är en lärdom från flygstridsskolans experimentkontor i Uppsala (läs mer om det i Omvärld 2025 på temat innovation).

Trots att MaX är en satsning helt i linje med ÖB:s och marinchefens order att få fart på innovationen, har Mårten Silvanius mött en del tvivel.

– Försvarsmakten är en konservativ organisation. Vi ska inte hålla på med lattjolajban-grejer, som vissa anser att det här är. Men det första svaret på det är att det här är på blodigaste allvar, säger han.

– Det andra svaret är att vi behöver hitta andra vägar för att bli snabbare, för nu har vi hållit på i kanske tio år att försöka bygga upp fart igen. Det här är ett sätt att använda den civila innovationsstyrka som finns.

Mårten Silvanius är tydlig med att MaX är en nationell förmåga.

– Vi jobbar med alla lärosäten och företag som kan bidra, men jag får en känsla av att kritikerna tror att det här är en lokal eller regional satsning.

MTC grundades däremot med stöd av Karlskrona kommun och Region Blekinge, och närheten mellan viktiga aktörer har bidragit till dess styrka. Inom några kilometers radie finns marinbasen, Sjöstridsskolan, Saabs varv, Blekinge tekniska högskola, NKT som har satsat mångmiljardbelopp på sin fabrik av sjökablar och lokala företag med lång historia på det marina området

– I Karlskrona drivs också den gröna omställningen väldigt hårt. NKT:s sjökablar knyter ihop länder och energisystem med varandra och minskar Europas beroende av olja och gas från Ryssland. Det är väldigt intressant när försvarspelaren möter frågan om energiomställning, säger David Appelberg.

BLEKINGE TEKNISKA HÖGSKOLA har ett civilingenjörsprogram inom marinteknik, och studenttrycket på det ökar. MTC:s forskningsledare Oskar Frånberg började bygga upp programmet för drygt tio år sedan, och Mårten Silvanius har doktorerat där. Själv byggde han under samma tid upp labbet på Försvarsmaktens dykeri och navalmedicinska centrum (DNC) som hade flyttat från Stockholm till Karlskrona.

Dykeriforskningen påverkades inte så hårt av Försvarsmaktens nedskärningar efter Kalla kriget. Det är nämligen en kunskap som är särskilt relevant för Sverige med sin komplexa skärgårdsmiljö och grunda innanhav, och som även kopplar till ubåtsförmågan. (Läs mer om dykeriforskningen på s. 38).

– Varför tittar hela Nato på Karlskrona och Sverige nu inom dykeriområdet? Jo, för att vi har fått möjlighet att i lugn och ro genomföra riktigt bra forskning med världens bästa anläggning, säger Mårten Silvanius.

– Dykeri är den lilla, lilla – men ganska viktiga – domänen. Det har gjort att vi har kunnat springa snabbt, och det har i sin tur gett ringar på vattnet.

Tillsammans skapade Mårten Silvanius och Oskar Frånberg först ett nationellt center för undervattensteknologi (NUC), som sedan utvecklades till MTC, och som nu har fått sällskap av MaX.

– Vi har flyttat målstolparna hela tiden. Eftersom ekosystemet i Karlskrona har byggts upp under tio år kan vi komma in i MaX springandes.

Vad skulle en flytt av Natos marina stab CTF Baltic till Karlskrona innebära för detta ekosystem?

– Jag tror att tillförseln av allierad expertis till regionen kommer stärka den internationella samverkan och möjligheterna för oss att utveckla ytterligare relevant förmåga för Nato, säger Mårten Silvanius. □

KARLSKRONAS MARINA EKOSYSTEM

Från 1600-talets örlogsvarv till dagens högteknologi – Karlskronas marintekniska ekosystem bygger på över 340 års koppling mellan marinen, varvsindustrin, teknisk kompetens och utveckling. Utöver aktörerna nedan finns bland annat Ericsson, RISE, Roxtec, MCT Brattberg och Embedded Art på plats. 2032 kan även Natos marina Östersjöstab, Command Tack Force Baltic, flytta till Karlskrona.

1. MTC – The Bridge

Marine Technology Center of Sweden

Marine Technology Center of Sweden (MTC) och dess mötesplats The Bridge är navet i det marintekniska ekosystemet i Karlskrona. Här kan utvecklare och intressenter inom civil såväl som militär marin teknik träffas och jobba tillsammans.

2. MaX – Marinens experimentkontor

MaX

Sjöstridsskolans experimentkontor för marinen, MaX, huserar bl. a. i MTC:s lokal The Bridge. Syftet med MaX är att korta vägen från marinens identifierade behov till verifierad lösning.

3. The Fishery

MTC:s industrilokal för att bygga och utveckla prototyper.

4. The Graveyard

MTC:s permanenta marina demonstrations- och testyta i Karlskronas skärgård (från 2027).

5. Sjöstridsskolan

Utbildar och övar marinens personal samt bedriver forskning och utveckling för att forma framtidens marina krigföringsförmåga.

6. Marinbasen

Marinbasens övergripande uppgift är att stödja de marina förbanden och övervaka Sveriges 2 700 kilometer långa kust med territorialhav.

7. Saab

SAAB

Här utvecklar, bygger och underhåller Saab ubåtar, fartyg och system åt bland annat Sveriges försvarsmakt.



8. Försvarets materielverk

FMV

FMV finns på plats i Karlskrona inom verksamhetsområdena marinmatriel samt test och evaluering.

9. DNC

Försvarsmaktens dykeri och navalmedicinska centrum (DNC) ansvarar för utbildning, prov- och försöksverksamhet inom dykeri och har en anläggning i världsklass.

10. NKT

NKT

Ett av världens ledande företag inom produktion av undervattenskablar, bland annat högspänningskablar till havsbaserade vindkraftsparker.

11. Blekinge tekniska högskola

Har bland annat ett civilingenjörsprogram inom marin teknik och en egen marin testyta i vattnet utanför campus.

12. Kust-bevakningen

Ansvarar för övervakning, miljöräddningstjänst och ordningshållning till sjöss samt utövar tillsyn och kontroll inom fiskeri, tull, gräns, sjötrafik, jakt, naturvård och miljöbrott.

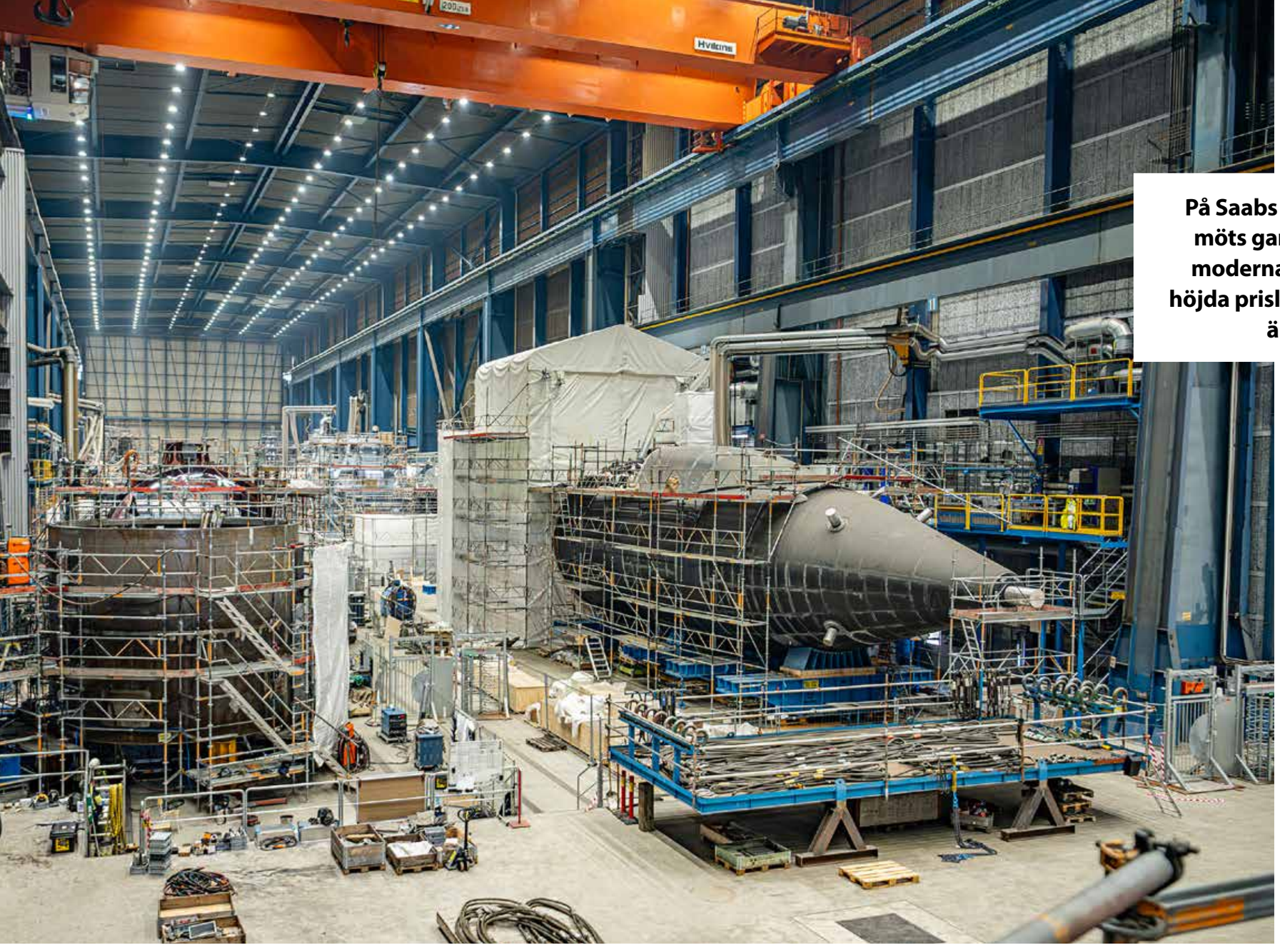


Foto: Saab

HÄR BYGGS NYA UBÅTARNA

På Saabs världsarvsmärkta varv i Karlskrona möts gammal och ny teknik när Östersjöns modernaste ubåtar byggs. Förseningar och höjda prislappar har väckt kritik, men ubåtarna är fortfarande eftertraktade.

Text: Kajsa Skarsgård

Från det öppna innovationscentret The Bridge i Karlskrona (s. 26) är det är inte många vingslag bort till Saabs varv. Här möts besökare däremot direkt av sekretessavtal och fotoförbud. Med de förbehållen visar kommunikatören Joachim Hallor ändå vägen in till hallarna där Sveriges två nya ubåtar byggs upp bit för bit.

Försektionen till en av Blekinge-ubåtarnas tryckskrov står uppställd så att torpedtuberna pekar mot taket. Mellan dem syns öppningen på ca 1,5 meter i diameter där bland annat obemannade farkoster ska kunna slussas in och ut. Det är en av ubåtens nya förmågor och kallas flexible payload lock.

– Genom den kan man till exempel också lasta saker i hamn under ytan, placera ut saker på havsbotten eller skicka ut en grupp attackdykare. Ingen annan konventionell ubåtsmodell har en sådan här sluss som kan ta emot en stor obemannad farkost som LUUV:en, säger Joachim Hallor. (Läs mer om LUUV:en på s. 33 och 35).

LISTAN MED UTRUSTNING och förmågor som Försvarsmakten vill ha in i ubåten har vuxit sedan utvecklingsarbetet startade i början på 2000-talet. Att få plats med allt har varit en av utmaningarna att lösa, berättar Joachim Hallor.

Hela ubåten är designad i ett 3D-system och det är möjligt att i modellen gå in och simulera upplevelsen genom VR-glasögon. Vissa kritiska delar av ubåten har även byggts i fullskaliga modeller i plywood för att testa och optimera alla utrymmen. Attackdykare har till exempel fått testa en replika av slussen för att se till att de får plats med sin utrustning och inte fastnar i något.

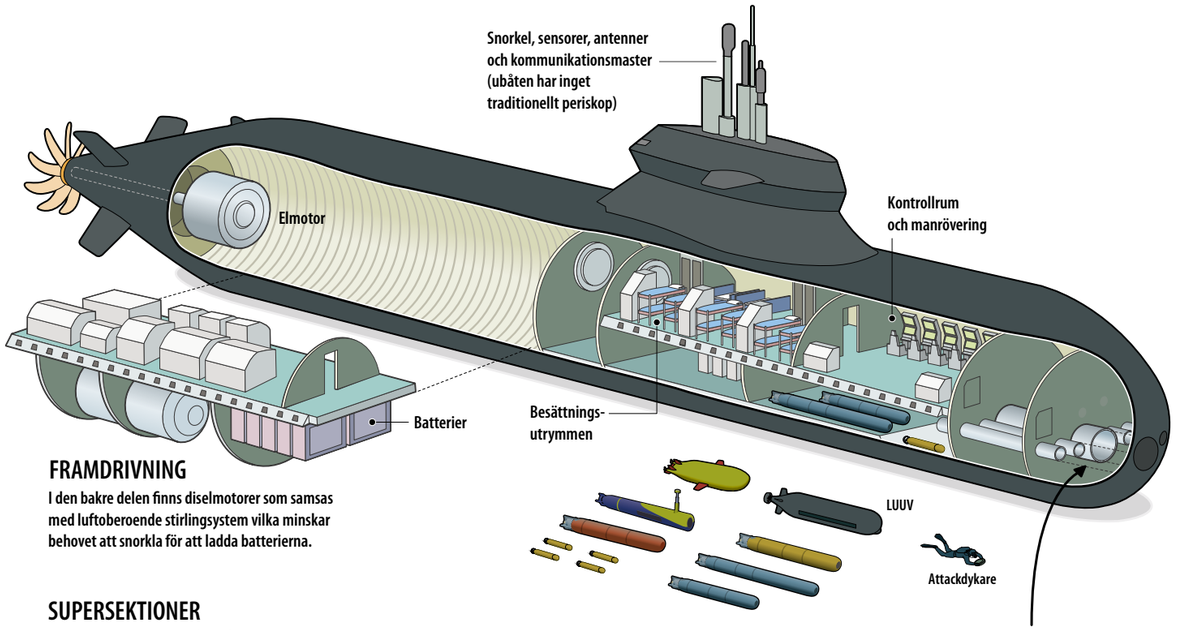
Ubåten byggs i fem segment, för att göra den totalt 66 meter långa farkosten på 2000 ton mer hanterbar på varvet.

Ett par av tryckskrovets mittsektioner ligger ner i hallen. En plattform är delvis inskjuten i dem och där håller delar av ubåtens inredning och utrustning på att monteras. Medan en svetsare låter sin låga brinna till hög rockmusik, installerar en elektriker kablar mellan plattformens olika system. ▷

BLEKINGE-KLASS – NÄSTA GENERATIONS UBÅT

Blekinge-klassen (typ A26) är Sveriges nästa generations ubåt. Låg signatur, luftoberoende framdrivning, avancerade sensorer och möjlighet att använda obemannade farkoster kombineras med lång uthållighet och hög flexibilitet. Ubåten är särskilt optimerad för grunda och komplexa vatten som Östersjön, men kan även operera över stora havsområden.

Längd:	66,1 m
Bredd:	6,75 m
Deplacement ytläge:	1 925 ton
Drift:	3 diesel- och 3 stirlingmotorer
Besättning:	25–30 personer

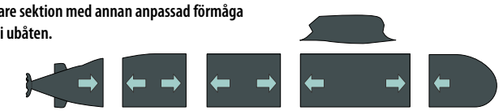


FRAMDRIVNING

I den bakre delen finns diselmotorer som samsas med luftoberoende stirlingsystem vilka minskar behovet att snorkla för att ladda batterierna.

SUPERSEKTIONER

Blekinge-klassen byggs i fem så kallade supersektioner som skjuts ihop och svetsas samman på varvet. Det modulära konceptet gör att en ytterligare sektion med annan anpassad förmåga kan byggas in i ubåten.



FLEXIBLE PAYLOAD LOCK (FPL)

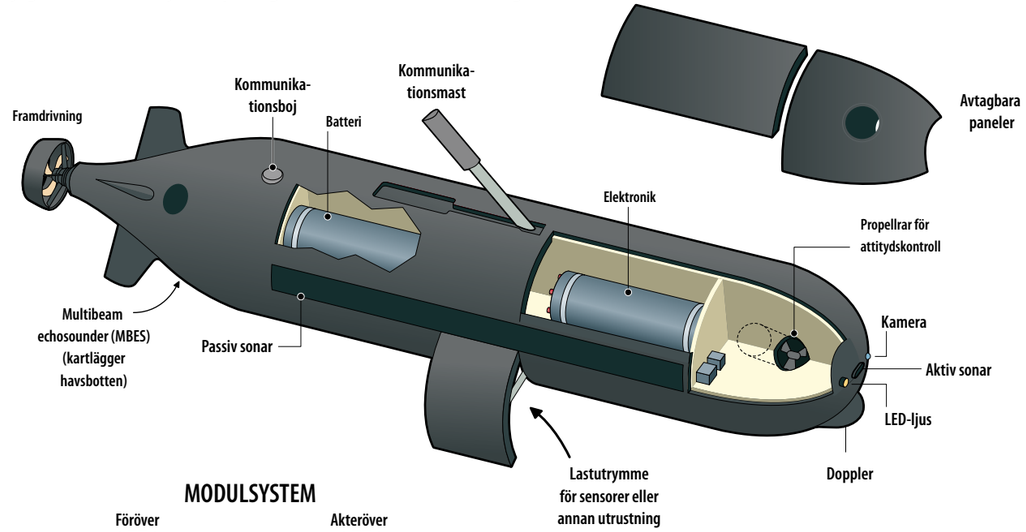
Utöver fyra vanliga torpedtuber har Blekinge-klassen en större utslussningstub på 1,5 meter i diameter. Här kan dykare och obemannade farkoster slussas in och ut – exempelvis LUUV:en eller andra obemannade eller fjärrstyrda undervattenfarkoster.

Källa: SAAB

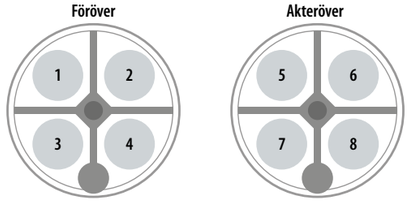
LUUV – LARGE UNCREWED UNDERSEA VEHICLE

Saabs LUUV kan sjösättas från kaj eller ytfartyg. Den kan genomföra uppdrag utan direkt övervakning och därefter självständigt återvända till sin bas. När drönaren i stället sätts in från en ubåt från Blekinge-klassen kan besättningen och den obemannade farkosten samverka. Ubåtens smygförmåga ger LUUV:en ytterligare möjligheter för framskjuten spaning och underrättelseinhämtning.

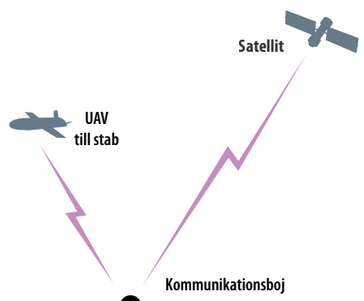
Längd:	7 m
Bredd:	1,4 m
Vikt:	6,5 ton
Framdrivning:	Elmotor
Last:	Sensorer eller annan utrustning



MODULSYSTEM



LUVV:ens innanmäte är uppbyggt enligt ett modulsystem med åtta cylinderformade utrymmen som kan kombineras med olika typer av elektronik och batterier beroende på uppdrag.



KOMMUNIKATION UNDER VATTENYTAN

Kommunikation under vatten är svårt och det finns ingen generell lösning på problemet. På korta avstånd fungerar radio och laser, men på längre avstånd får man kombinera en rad olika kommunikationstekniker (se även grafik på s. 12).

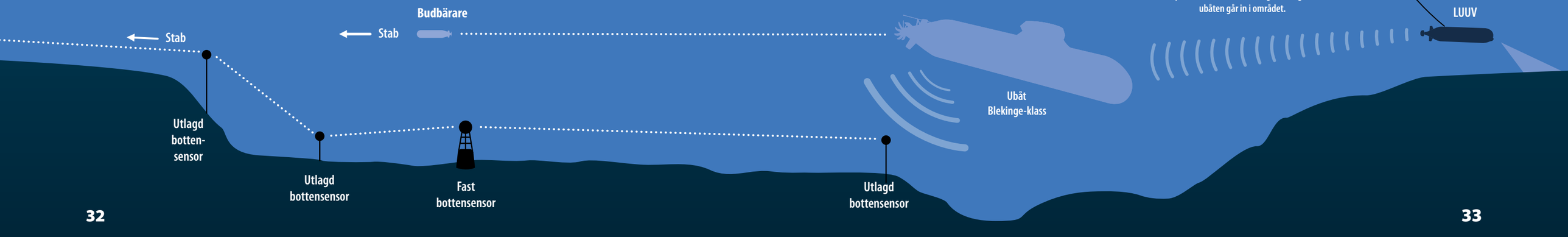



Foto: Saab

»Är det någonting som skapar osäkerhet så är det ubåtar. Säga vad man vill, men det är väldigt svårt att hitta dem. Framför allt i Östersjön.«

Plattformarna med tillhörande utrustning installeras i ubåtens tryckskrov med flexibla gummiupphängningar. Det gör att plattformarna kan röra sig och därmed dämpa vibrationer inifrån ubåten såväl som tryckvågor från explosioner i vattnet utanför.

På varvet i Karlskrona samsas den senaste produktionstekniken för 3D-scanning och digitaliserad rörbockning med en press från 1958 som kan trycka och forma stål med upp till 1000 tons tryck.

– När varvet gick över från Thyssenkrupp till Saab, 2014, fanns det kanske en övertro på digitala produktionsmetoder. Man missade känslan för materialet. Till exempel att allt stål är unikt och beter sig olika. Man måste kunna materialet. Vi har fått ta in gamla svetsare och kollegor som har kunskapen i fingrarna, berättar Joachim Hallor.

I Karlskrona är det stor konkurrens om ingenjörer i flera kategorier. På varvet ser man också ett växande behov av kvalificerade svetsare, rörläggare, elektriker och plåtslagare.

ATT SVERIGE INTE hade byggt en ubåt på 15 år och att varvet var i sämre skick än väntat, är två av förklaringarna som brukar ges till varför leveranstiden och kostnaden för ubåtarna har mer än fördubblats. Kontraktssumman är nu 25 miljarder kronor och ubåtarna ska levereras 2031 respektive 2033. Polen har ändå beslutat att också köpa tre ubåtar av Saab.

En person med god insyn i svenska försvarsbeställningar är Björn Nobel, tidigare Wollentz, som ger en intervju i Stockholm. För ett drygt år sedan gick han i pension från chefsposten för forskning och utveckling på Försvarets materielverk (FMV) och driver nu ett eget bolag inom försvarsinnovation. Längre tillbaka har han på Försvarsmakten ansvarat för beställningarna av de ubåtar som nu byggs i varvet och arbetat med kontrakten kring JAS 39 Gripen E som också blev kraftigt försenade.

Han poängterar att vinstdrivna aktiebolag inte kommer att tacka nej till viktiga kontrakt. Men om mycket stora och strategiskt viktiga uppdrag läggs på ett begränsat antal leverantörer samtidigt, uppstår ett väldigt stort tryck på både kompetens och produktionskapacitet.

– Där har staten ett ansvar som beställare att se till helheten, säger Björn Nobel.

Saab och BAE Systems står tillsammans för den allra största delen av ordrarna från FMV. Även de storbolagen talar nu om vikten av att bygga ekosystem av mindre företag för att snabba på utvecklingen. Samtidigt vittnar Björn Nobel om att samarbetsavtalen som de stora bolagen erbjuder ofta inte tillgodoser de mindre företagens intressen i frågor om immateriella rättigheter, tekniskt kunnande och framtida kommersialisering.

– Staten behöver styra beställningarna tydligare i den riktning man långsiktigt vill utveckla industrin, exempelvis genom att skapa förutsättningar för samarbete med mindre leverantörer och med företag i andra länder i Östersjöregionen.

Trots förseningar och spruckna budgetar tycker Björn Nobel att Gripensystemet har varit en av Försvarsmaktens bästa satsningar. Han tycker också att ubåtarna borde bli fler.

– Är det någonting man från en angripares perspektiv vill undvika så är det är ju osäkerhet. Och är det någonting som skapar osäkerhet så är det ubåtar. Säga vad man vill, men det är väldigt svårt att hitta dem. Framför allt i Östersjön. □


Björn Nobel tycker att staten bör styra försvarsbeställningarna mer i den riktning man vill utveckla industrin långsiktigt.

SNABBSTART FÖR OBEMANNAD TESTPLATTFORM

Text: Kajsa Skarsgård Foto: Tomas Ärlemo

Sveriges första stora obemannade undervattensfarkost tog sitt jungfrudopp under sommaren. Den är inte bara ett framtida komplement till ubåtar. Redan i år blir den en öppen testplattform för att utveckla undervattensteknik.


Kim Weyns på Saab Naval designar datorsystemet till den obemannade undervattensfarkosten.

Den är gullig. Vit, mjuk i formerna, med sensorer placerade som ögon och mun. Sjökon, kallas den skämtsamt. Officiellt kan systemet få det stiligare latinska artnamnet, Sirenia. Den kallas också kort och gott LUUV:en, large uncrewed undersea vehicle.

Den här LUUV:en är speciell på flera sätt. Den är framtagen på rekordkort tid för att testa nya sätt att beställa materiel. Den är en demonstrator utan andra hemligheter än de som Saab Naval vill hålla på som företag. Den ska vara en öppen testplattform för att andra företag, forskare och studenter ska kunna provköra till exempel sensorer, mjukvara och kommunikationssystem på den.

– Det finns de som forskar på hur man håller en kurs, ett bra djup, hur man detekterar andra farkoster och undviker dem. Det är inte specifikt för LUUV:en så det ska vi inte hitta på själva, säger Kim Weyns som designar dess datorsystem.

Utanför verkstaden i varvet där LUUV:en byggs står en vattenfylld container där den fick sitt första dopp i juni 2026, ett år efter att beställningen från Försvarets materielverk (FMV) landade hos Saab Naval.

– Vi har gjort vissa sjöprover men måste göra fler för att trimma in alla saker under tidig höst. Då har vi en grundplattform. Sedan ska vi fortsätta utveckla olika funktioner, särskilt autonomi och vad man ska göra med all sensordata, säger Kim Weyns.

Om demonstratorn bevisar sin förmåga är tanken att operativa LUUV:ar ska kunna produceras parallellt, och fånga upp den senaste utvecklingen från testplattformen. Men då gäller det också att Saab förbättrar hur det som stort, globalt aktiebolag samarbetar med mindre aktörer så att det gynnar alla parter att delta i utvecklingen.

SKARPA LUUV:AR BLIR sannolikt mer lika ubåtar i färgen. Gulligheten är ändå en chimär. LUUV:en ska bli en tyst och vass sensorplattform som autonomt eller i samverkan med andra system kan patrullera stora områden ▷



I fören sitter en aktiv sonar, en kamera, ett LED-ljus och en så kallad doppler som används för navigering och positionering.



Kim Weyns, Robert Rising och Tobias Söderblom är några av nyckelpersonerna i LUUV-projektet.



LUUV:ens akter, med propellern ur bild.

och lämna last på botten (se grafik s. 33). På sikt skulle LUUV:en också kunna lägga ut minor, eller skjuta torpeder.

Tobias Söderblom, utvecklingschef på Sjöstridsskolan, har varit drivande i beställningen av LUUV:en och är Försvarsmaktens projektledare.

– Ubåtarna är för få för att ta hand om den nya hotbilden, och de mindre obemannade farkosterna har inte den sensorförmåga, nyttolast och uthållighet som en LUUV kan ha, säger han.

Med lithiumjon-batterier ska LUUV:en kunna vara ute i 1-2 veckor och patrullera över 100 mil. Bränsleceller skulle kunna öka uthålligheten i framtiden.

LUUV:en är byggd för att rymmas i den utslussningsportal som de nya ubåtarna av Blekinge-klass kommer att ha, men det kanske inte blir så relevant att nyttja på ett litet och välövervakat hav som Östersjön.

Tobias Söderblom ser i stället framför sig att en LUUV där arbetar ihop med en ubåt för att öka dess effekt, eller används i stället för en ubåt för enklare och farligare uppdrag. En arbetshäst som kan patrullera en gasledning, verka i ett minerat område eller bara scanna av en okänd miljö innan en bemannad ubåt sedan går in i den.

Han bedömer att 10–20 LUUV:ar med prislappar på ett- till tvåhundra miljoner kronor styck skulle ge mest nytta för pengarna, men de operativa koncepten är inte utredda ännu.

»Jag tror att vi kommer ikapp rätt snabbt nu eftersom vi har ledande kompetens inom ubåtar och undervattenvapen.«

Tekniskt är autonomidelen den tuffaste utmaningen i utvecklingen.

– Vi måste bygga förtroende för att tekniken funkar. Det blir nästa steg.

Det är ännu inte helt utrett hur autonoma undervattensfarkoster får användas enligt havs- och folkrätt (se s. 47).

– Vi löser inte de juridiska problemen i projektet, men sätter fingret på dem och pressar på vad som behöver ändras i lagstiftningen, säger Tobias Söderblom.

ROBERT RISING ÄR projektledare för LUUV:en på Saab Naval. I slutet av 2023 lät han två team av ubåtsingenjörer iterera fram varsitt koncept för en LUUV. Pengarna höll precis på att ta slut när FMV bjöds in att ta del av utvecklingen och därigenom möjliggjorde att farkosten kunde slutföras.

För att skynda på processen har demonstratorn lägre prestanda än den tänkta slutprodukten. De som designar LUUV:en har suttit i samma lokal som de som bygger den och ”good enough” har varit mottot. De har tagit vara på kunskap, mjukvara och även överblivna delar från andra Saab-projekt.

Saab och Sverige har legat efter såväl Ryssland som andra länder i utvecklingen av just stora obemannade undervattensfarkoster. Vilka förmågor andra LUUV:ar har är osäkert och varierar. Mycket sitter i mjukvaran och utvecklas konstant.

– Jag tror att vi kommer ikapp rätt snabbt nu eftersom vi har ledande kompetens inom ubåtar och undervattenvapen, säger Robert Rising.

Tobias Söderblom poängterar att Sverige länge legat i framkant på undervattensområdet eftersom en viktig strategi för att undergräva ett ryskt sjöherravälde på Östersjön har varit att skapa osäkerhet.

– Nu när vi i Nato har större grad av sjöherravälde tvingar det in Ryssland i Sveriges gamla roll, och de är redan duktiga under vattnet. Så jag tror vi kommer att få se fler av sådana här farkoster till sjöss. Nästa steg är väl svärmar av LUUV:ar och andra obemannade undervattensfarkoster som arbetar tillsammans. □

Flyttar fram gränserna för attackdykare

Av säkerhetsskäl är militära dykare begränsade till fyra timmar under vattnet. Men ny svensk forskning kan öppna möjligheten att verka i havet dagar i sträck.

Text: Kajsa Skarsgård Foto: Tomas Ärlemo

Dykledaren Mattias Tidstrand ansvarar för testdykarnas säkerhet i poolen. Vid poolkanten står Daniel Dahlin, chef för utvecklingsavdelningen på Dyk- och navalmedicinskt centrum (DNC).

Två attackdykare sitter i badshorts på en avsats i Sveriges djupaste pool. Den är 18 meter djup och ligger på marinbasen i Karlskrona. Under skarpa uppdrag kan attackdykare förbränna 7 000 kalorier. Nu agerar de forskningsobjekt och ska bara sitta av sina 240 minuter. Men genom att göra det kan de flytta fram människans förmåga att vara under vattnet.

240 minuter på 7,5 meters djup är maxgränsen för säkra dyk på ren syrgas, vilket attackdykare använder i särskilda återandningsapparater för att inte lämna bubblor efter sig. En begränsande risk är syrgasförgiftning som kan leda till krampanfall. En annan risk är permanenta lungskador.

– Den övergripande frågan vi vill svara på här är: Kan vi med mindre risk för lungproblem och kramper dyka längre tid och djupare med attackdykare? berättar Oskar Frånberg, professor i systemteknik med inriktning marinteknik vid Blekinge tekniska högskola.

Hypotesen är att det går, genom att blanda in vätgas i syrgasen. Experimentet testar två procent väte.

– Det här är en liten, men väldigt central del, av hur vi kan utöka förmågan hos våra dykförband.

Testdykarna lyssnar på P1-dokumentären "Fridykaren" för att fördriva tiden under vattnet.



»Potentiellt kan vi förlänga dyktiden bortom horisonten. Då är det i stället kyla och näring som börjar begränsa dykarna.«

– Det enda stället vi kan uppträda helt dolt på idag är i havet. Allting annat syns.

Oskar Frånberg har själv varit röjdykare. Innan han ens hade börjat skolan hade han börjat bygga dykapparater i badkaret av ballonger och sugrör.

– Jag brukade hjälpa min moster med höskörden varje år. Jag stod där i den gassande solen och det var bara dammigt och hö överallt, och då brukade jag fantisera om olika dykapparater för att ta mig därifrån till havet.

FÖRSVARSMAKTEN ANVÄNDER I dagsläget mekaniska dykapparater, som inte har förändrats särskilt mycket sedan åttiotalet. Men elektroniska andningsapparater, som automatiskt blandar gasen rätt efter läge, har blivit alltmer tekniskt mogna och håller på att upphandlas. Även i detta är Oskar Frånbergs tvärvetenskapliga forskningsgrupp central, eftersom den bygger algoritmer som skapar rätt gasblandning.

– Om man inför de elektroniska andningsapparaterna kan man styra sin syrgashalt ner till en nivå som inte längre skadar lungorna. Potentiellt kan vi förlänga dyktiden bortom horisonten. Då är det i stället kyla och näring som börjar begränsa dykarna.

De flesta dykare använder inte ren syrgas. Då är i stället risken att en för snabb uppstigning leder till att de andra gaserna kommer ut i blodet och orsakar dykarsjuka, och i värsta fall stroke. Lösningen på det är att gå upp stegvis och med pauser för att andas ut gaserna i stället. Det görs enligt en dekompressionstabell.

Efter att ha sett att den amerikanska tabell som Försvarsmakten använde ledde till fall av dykarsjuka i den svenska marina miljön, utvecklade Oskar Frånbergs forskargrupp för fem år sedan en svensk dekompressionstabell, Swen-21.

I den förfinande de också parametrarna och möjligheterna att variera risktagandet. På så sätt har de kunnat höja både säkerheten och förmågan.



Oskar Frånberg har under dykexperimenten hjälp av doktoranden och utvecklingsingenjören Sofia Glashoff. Själv forskar hon inom dykeri och digitalisering.

FÖR ATT KUNNA DYKA på större djup kan även attackdykare växla från syrgas till en annan gasblandning.

– I en attackdykarsituation kan operationen vara så farlig att dykledaren väljer en tio-procentig risk för dykarsjuka i uppstigningen för att inte båten ska bli bekämpad. Men det kan också vara så att alla dykare i teamet måste komma fram och att det är ▷



I dykeriforskningen samarbetar Oskar Frånberg med forskare i bland annat matematik, medicin och nutrition.

rimligt att de tar mer tid på sig, och då reducerar man risken.

Detta har väckt stort intresse i Nato och banat väg för en mer gemensam tabell, som i form av algoritmer kan integreras i elektroniska andningsapparater. Swen-21 har därför uppdaterats och fått det nya namnet Unified Decompression Framework.

När fler länder använder tabellen får forskarna också mer data för att utveckla den. Dykdata är en bristvara, inte minst i en militär kontext. Ett problem är också bristen på data om kvinnliga dykare, vilka blir allt fler och har en högre risk för dykarsjuka.

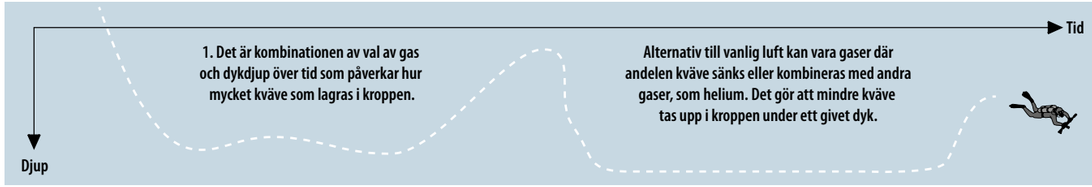
Med den nya tekniken kan dykare komma att bli mer självständiga genom att ta över en del säkerhetsbedömningar från dykledaren. Samtidigt väntas dykare få en mer samspelande roll med andra förmågor.

– Idag har dykarna bara det de har med sig och på sig, och jobbar autonomt och avskuret. Nästa stora game changer tror jag blir när dykarna kan koppla upp sig digitalt, får tillgång till sensorer och kan kommunicera med varandra och andra enheter, säger Oskar Frånberg. □

»Nästa stora game changer tror jag blir när dykarna kan koppla upp sig digitalt, får tillgång till sensorer och kan kommunicera med varandra och andra enheter.«

ANDNINGSGASER VID MILTÄR DYKNING

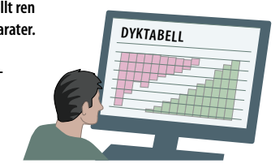
I svenska Försvarsmakten brukar man tala om fem huvudsakliga typer av militära dykare. De flesta är tvungna att förhålla sig till risken för dykarsjuka. Det är ett medicinskt tillstånd som uppstår när kvävet i dykgasen löses upp i kroppens vävnader under krävande dyk och bildar fria gasbubblor i blodet på grund av alltför snabb trycksänkning vid uppstigning. Vanlig luft i dykartuber innehåller ungefär 79% kväve och 21% syre.



2. Vid risk för dykarsjuka kan man med pauser förändra dekompressionen vid uppstigning så långsamt att övermättnaden av kväve i kroppens vävnad inte når kritiska värden.



3. Attackdykare använder traditionellt ren syrgas i så kallade återandningsapparater. Dessutom gör avsaknaden av kväve i andningsgasen att risken för dykarsjuka inte blir ett problem vid långa uppdrag. I stället uppstår en risk för syrgasförgiftning vid långa krävande dyk.



4. Lösningen kan vara att tillsätta tillsatsgaser som kväve och helium till den rena syrgasen. Detta i kombination med dyktabeller för exakt rätt gasblandning vid olika djup under ett uppdrag. På så sätt kan man med elektronisk andningsapparatur utföra mycket långa dyk utan risk för vare sig dykarsjuka eller syrgasförgiftning.

ATTACKDYKARE

Tar sig obemärkt fram under ytan för att ta sig in i ett område för spaning och strid.

RÖJDYKARE

Röjer och kartlägger minor och ammunition i sjöar och hav, exempelvis en väg in i en skärgård.

AMFIBIE, ARBETE, FLYGBÄRGNING OCH INGENJÖR

Amfibiedykare möjliggör rörlighet för en amfibiebataljon. Arbetsdykare arbetar ner till 40 meter med underhåll och avhjälpande av fel. Flygbärgningsdykare bärgar havererade luftfarkoster och säkrar materiel. Ingenjördykare undanröjer hinder eller undersöker om det behövs byggas broar.

VÅTKLOCKEDYKARE

Jobbar ofta från dykfartyget HMS Belos med ubåtsräddning och inspektion på havet.



ANDNINGSAPARAT			
Återandningsapparater, både slutet och halvslutet system.	Öppet system (tuber) eller återandningsapparater.	Öppet system (tuber).	Slangmatat hjälmsystem som innehåller radio.
VANLIG GASTYP			
Traditionellt har ren syrgas använts, moderna system kan använda syrgas med tillsatser av andra gaser.	Luft eller blandgas som nitrox*. Experiment görs med heliox* och trimix*.	Vanlig luftblandning.	Oftast används luft som matas från ytan. Från dykfartyget HMS Belos dyker man även med heliox*.
FÖRDELAR			
Lång dyktid och uthållighet. Minimal eller ingen bubbelsignatur.	Lång dyktid. Gaserna kan anpassas beroende på djup.	Enkel beprövad teknik.	Lång arbetstid och möjlighet till kommunikation.
NACKDELAR			
Komplicerad och känslig utrustning, O^2 innebär begränsningar och risk för syrgasförgiftning.	Komplex utrustning, gasvalet kräver nogrann planering.	Luft är begränsande för djupa och långa dyk.	Slang begränsar rörligheten.

* **Nitrox** är en andningsgas med större andel syre i relation till kväve jämfört med vanlig luft. **Heliox** är en andningsgas som består av en blandning av syre och helium. **Trimix** är en blandgas som består av syre, helium och kväve.
Källa: Försvarsmakten, Blekinge tekniska högskola.

OPTISK FIBER LYSSNAR UNDER YTAN

Kan enkla och billiga kablar av optisk fiber fungera som högkänsliga öron i Östersjön? Detta testas nu i skärgården intill Blekinge tekniska högskola. Svårigheten är att filtrera all data. Om AI klarar det kan havet bli betydligt mer transparent.

Text: Kajsa Skarsgård

Det är livat på bryggan vid Blekinge tekniska högskola i Karlskrona. Den tre kilometer långa fiberkabel som ska dras från högskolan och ut mellan öarna är resultatet av ett brett lokalt samarbete som stoltserar på plats inför inbjudna journalister.

NKT, stadens världsledande producent av undervattenskablar, står för linan. Den består av 48 optiska fiber – hårstråtunna glastrådar som leder ljus. Med sitt skyddande hölje mäter kabeln bara 22 millimeter.

Sjöstridsskolan ska komma med sitt fartyg HSM Frigg och lägga ut kabeln. Men sedan kommer beskedet att arbetet skjuts upp en dag.

– Kapten Karlsson bedömde att det är för starka vindbyar. Då blir det lite ryckigt och kanske inte så bra kvalitet på skarvarna som ska göras ombord, och det är ju de som är kritiska i alla installationer, säger Christofer Odehammar som är senior projektledare för kabelövervakning på NKT.

DET ÄR INTE nytt att lägga optiska fiberkablar längs sjökablar eller järnvägsrälsar för att snabbt märka när en skada har uppstått. Men nu är frågan om kabeln också kan fungera som en enda kontinuerlig sensor som passivt fångar alla slags ljud omkring sig under vattnet. Detta görs genom att dechiffrera ljusreflektionerna av laserpulserna som ständigt skickas in i fibern, och som förändras av yttre ljudvibrationer. Detta kallas distributed acoustic sensing (DAS).

– Det finns många demos på detta onshore runt om i världen, men jag har inte hört talas om ett test som detta offshore tidigare, säger Christofer Odehammar.

Fibern är så vibrationskänslig att den producerar en enorm mängd sensordata. Billigare och kraftfullare datorer och AI gör det nu teoretiskt möjligt att hitta nålarna i höstacken, förklarar Mattias Dahl som är professor och forskningsledare i marin teknik på högskolan.

– Vi behöver träna AI-system för att kunna detektera att ”nu passerar det en båt på det hållet” och ”nu släpps ett ankare tio meter från kabeln”. Man skulle också ▷

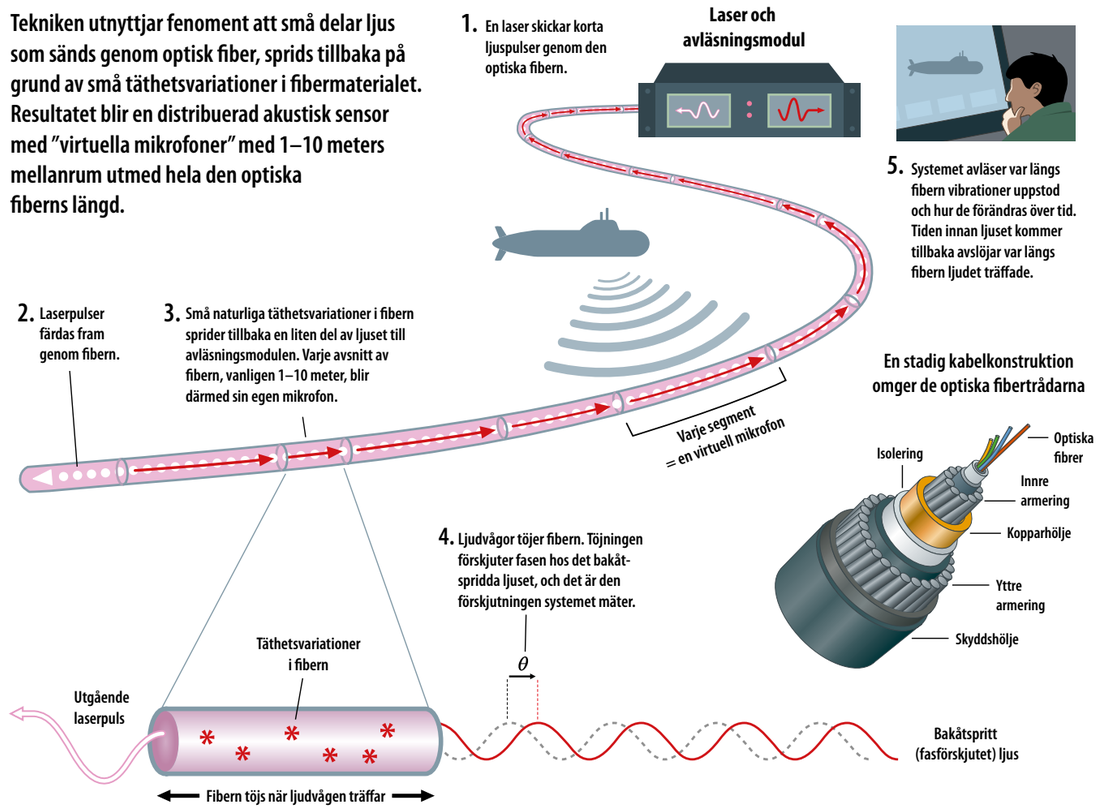


FOTO: NKT

Christofer Odehammar.

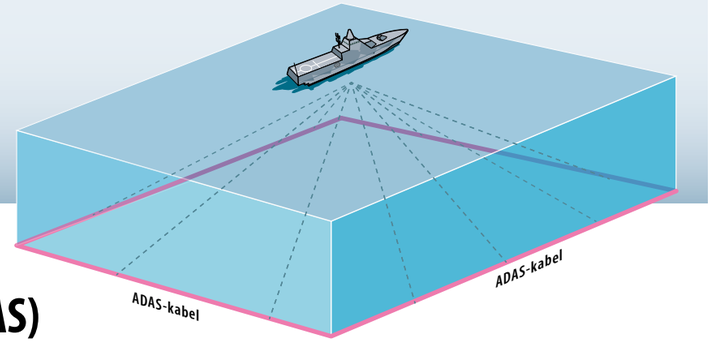
Array Distributed Acoustic Sensing (ADAS)

Tekniken utnyttjar fenomenet att små delar ljus som sänds genom optisk fiber, sprids tillbaka på grund av små täthetsvariationer i fibermaterialet. Resultatet blir en distribuerad akustisk sensor med ”virtuella mikrofoner” med 1–10 meters mellanrum utmed hela den optiska fiberns längd.



Mönster ökar precisisionen

En ADAS-kabel kan läggas i rät linje, exempelvis för att följa och bevaka en pipeline. Men läggs kabeln istället i ett mönster – en genomtänkt geometri – så ökar precision och upplösning vilket ger en mer noggrann avläsning av en viss vattenvolym och dess yta.

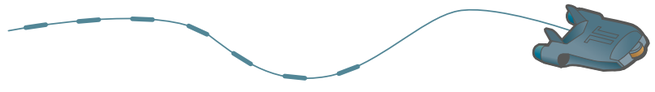


Källa: Blekinge tekniska högskola

Towed Array Sensor (TAS)

ADAS ska inte förväxlas med Towed Array Sensor (TAS). TAS bygger också på fiberoptik, men där ADAS utnyttjar täthetsvariationer i själva fibermaterialet använder TAS fiberoptiska passiva sensorer som monteras med jämna mellanrum utmed fiberkabeln.

Källa: FOI



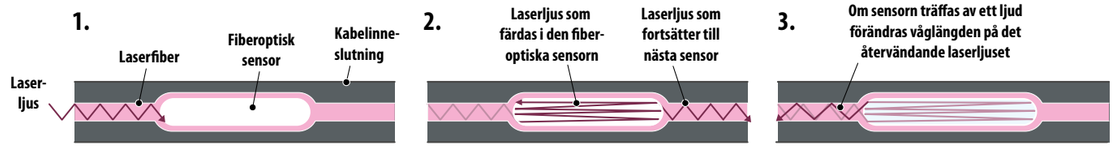




Foto: Tomas Ärlemo

Mattias Dahl visar var den optiska kabeln kommer att ligga i vattnet utanför Blekinge tekniska högskola.

»Man kanske inte vill ha dykare eller båtar inne i en vindkraftspark. Då kan man testa olika sensor-formationer för att fokusera lyssnandet på sådant som förekommer inom parken, men samtidigt inte lyssna på det som sker utanför den.«

kunna fånga upp fiendeubåtar eller dykare som ger ifrån sig ljud med viss periodicitet.

Vad kan man inte fånga upp?

– Farkoster som är utvecklade för att avge extremt svaga signaturer, där AI-systemet inte enkelt har kunnat tränas upp i förväg, säger Mattias Dahl.

EFTERSOM OPTISK FIBER används just för att blixtsnabbt transportera höga datamängder har den inte de kommunikationshinder som ofta begränsar undervattensteknik. Kabeln behöver däremot vara ansluten till en DAS-enhet, en så kallad interrogator, som skickar ut ljuspulserna och tar emot det reflekterande ljuset. Interrogatorn kan i sin tur skicka data vidare till en server eller molntjänst.

Mattias Dahl visar var projektets testkabel ska dras upp ur sjön, in i högskolebyggnaden och upp i ett stort mötesrum med panoramautsikt över vattnet och öarna. I ett hörn ska datorerna som hanterar all data stå.

Till skillnad från den mesta undervattenstekniken är DAS-sensorn billig och enkel, medan den dyra delen av mätinstrumentet kan stå torr och skyddad på land.

– Det kostar mer att sabotera en sådan här kabel under vattnet än att lägga ut en ny, säger Mattias Dahl.

Utöver att utveckla DAS-tekniken för undervattensmiljön ska Mattias Dahl och hans forskargrupp testa om kabeln kan fungera som en gruppantenn som kan styra och fokusera sitt lyssnande. De kallar det array distributed acustic sensing (ADAS).

De gör detta genom att inte bara lägga ut kabeln i en linje, utan i olika mönster. Då kan även kabelformationen bidra till att samma ljudkälla förstärks och fångas upp av fibern i flera olika punkter.

– Det är intressant för att bevaka kritisk infrastruktur. Man kanske inte vill ha dykare eller båtar inne i en vindkraftspark. Då kan man testa olika sensor-formationer för att fokusera lyssnandet på sådant som förekommer inom parken, men samtidigt inte lyssna på det som sker utanför den. □

HAVSRÄTTEN – STÖTTEPELARE OCH STÖTESTEN

Det kan väcka svårare juridiska frågor att skicka ut en autonom farkost på spaningsuppdrag i Östersjön i fredstid, än att använda ett autonomt vapen i krigstid. Det berättar Pontus Winther, jurist och forskare på FOI som försöker navigera folkrätten i en ny tid.

Text: Kajsa Skarsgård

Foto: Getty Images, Chris Meredith

När teknikutvecklingen går snabbt och Östersjön är skådeplats för ett eskalerande hybridkrig, ser Pontus Winther ibland en frustration riktad mot lagar och regler. Bland annat under ett krigsspel han deltog i tillsammans med personer från myndigheter med ansvar i den marina domänen.

– Deltagarna upplevde att juridiken förhindrar effektiva marina operationer för svensk säkerhet, berättar han.

För att undersöka om det ligger någonting i den uppfattningen leder han nu forskningsprojektet ”Juridiska förutsättningar för maritim säkerhet” på Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI).

– Är det rättsliga handlingsutrymmet de facto för litet för att svenska myndigheter ska kunna vidta de åtgärder som är nödvändiga för att upprätthålla svensk säkerhet i den marina domänen? Eller är det så att det saknas kunskap om det utrymme som faktiskt finns, och att vi har ett underutnyttjande av de regler som finns?

PONTUS WINTHER ÄR sjöofficeren som blev jurist och forskare. Han har varit huvudlärare i militäroperativ juridik på Försvarshögskolan och folkrättslig rådgivare på Högkvarteret. Hans hypotes är att det både finns faktiska juridiska begräsningar och att myndigheterna inte har rätt juridisk kompetens på rätt ställe för att kunna fatta snabba, operativa beslut som ryms inom lagar och regler.

– Jag har verkligen arbetat med de här frågorna från alla håll. Och det här har alltid upplevts som ett problem. Så jag är väldigt glad att jag äntligen får forskningstid att fundera på vad det består i. Förstår vi inte det så är det svårt att göra någonting åt det.

VATTENVÄGAR HAR VARIT viktiga för handel sedan urminnes tider. Därmed också behovet av att tydliggöra regler för tillgång och ansvar. I Babylonien, omkring år 1750 före vår tideräkning, nedtecknades Hammurabis lagar som innehåller de äldsta kända reglerna om sjöfart.

Drygt 3 000 år senare, år 1609, formulerade den nederländska juristen Hugo Grotius idén att havet inte kan ägas av någon och att alla stater har rätt till sjöfart och handel. Den utgångspunkten lever vidare än idag, men från 1700-talet växte också principen fram att kuststater av säkerhetsskäl ska ha kontroll över ett begränsat område närmast land.

Den moderna havsrätten finns nedtecknad i havsrättskonventionen (UNCLOS) från 1982. Den samlar och vidareutvecklar tidigare regler och mekanismer för konfliktlösning.

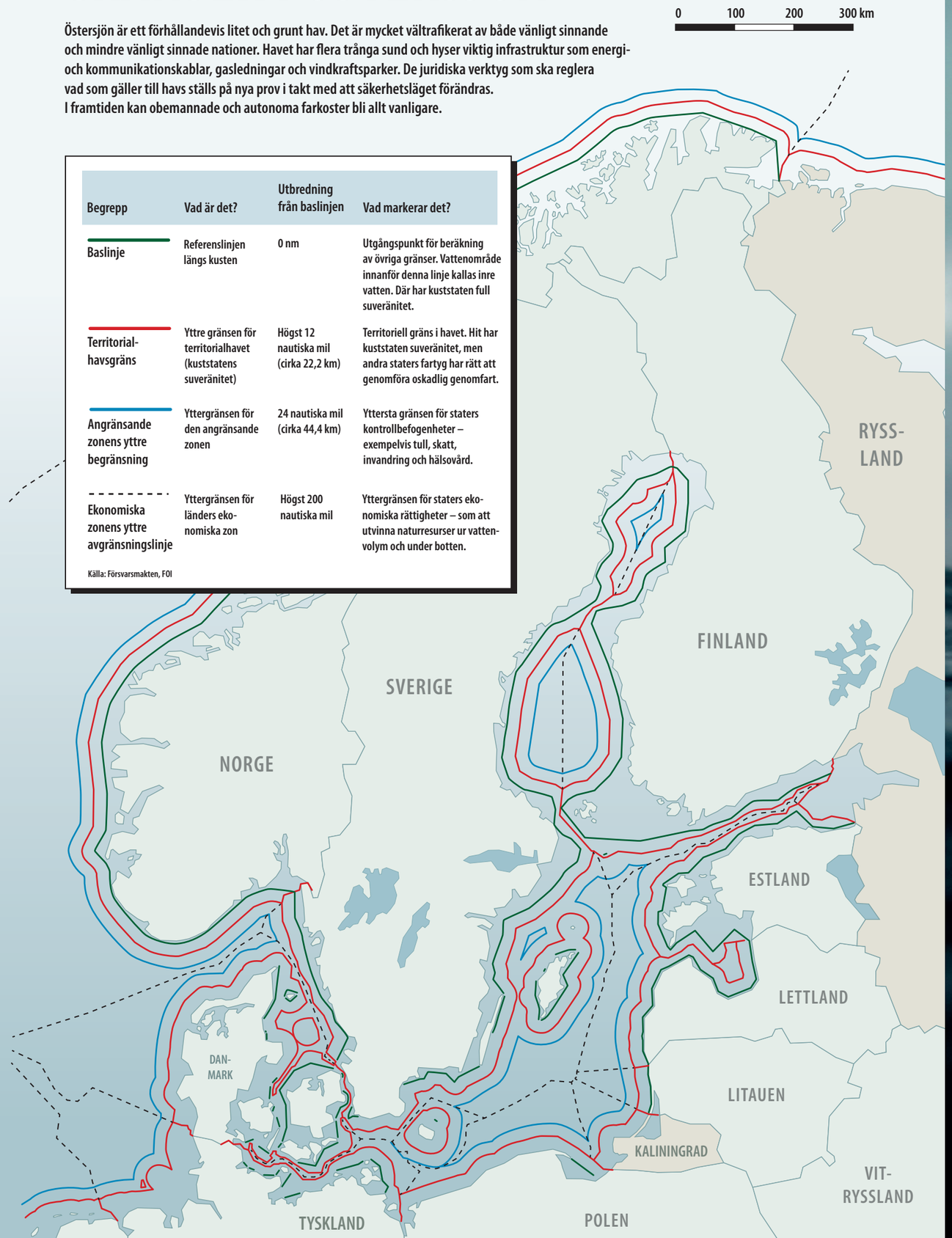
– I de förhandlingarna var Sverige väldigt noga ▷

GRÄNSER I ÖSTERSJÖN

Östersjön är ett förhållandevis litet och grunt hav. Det är mycket vältrafikerat av både vänligt sinnande och mindre vänligt sinnade nationer. Havet har flera trånga sund och hyser viktig infrastruktur som energi- och kommunikationskablar, gasledningar och vindkraftsparker. De juridiska verktyg som ska reglera vad som gäller till havs ställs på nya prov i takt med att säkerhetsläget förändras. I framtiden kan obemannade och autonoma farkoster bli allt vanligare.

Begrepp	Vad är det?	Utbredning från baslinjen	Vad markerar det?
Baslinje	Referenslinjen längs kusten	0 nm	Utgångspunkt för beräkning av övriga gränser. Vattenområde innanför denna linje kallas inre vatten. Där har kuststaten full suveränitet.
Territorial-havsgräns	Yttre gränsen för territorialhavet (kuststatens suveränitet)	Högst 12 nautiska mil (cirka 22,2 km)	Territoriell gräns i havet. Hit har kuststaten suveränitet, men andra staters fartyg har rätt att genomföra oskadlig genomfart.
Angränsande zonens yttre begränsning	Yttergränsen för den angränsande zonen	24 nautiska mil (cirka 44,4 km)	Yttersta gränsen för staters kontrollbefogenheter – exempelvis tull, skatt, invandring och hälsovård.
Ekonomiska zonens yttre avgränsningslinje	Yttergränsen för länders ekonomiska zon	Högst 200 nautiska mil	Yttergränsen för staters ekonomiska rättigheter – som att utvinna naturresurser ur vattenvolym och under botten.

Källa: Försvarsmakten, FOI



med att påpeka den särskilda säkerhetspolitiska karaktären i Östersjön. Därför finns det bland annat olika folkrättsliga lösningar för en del sund i Östersjön.

– Vi vet ju att exempelvis Öresund är mycket viktigt. Dess strategiska betydelse och möjliga inverkan på en konfliktutveckling har nu blivit ännu mer konkretiserad, säger Pontus Winther apropå USA:s och Israels folkrättsstridiga angrepp på Iran och den efterföljande krisen i Hormuzsundet.

FOLKRÄTTEN BRUKAR UTFORMAS på ett teknikneutralt sätt för att den ska stå sig genom en oförutsebar framtid. Men när teknikutvecklingen nu börjar möjliggöra obemannade eller autonoma farkoster på och i havet uppstår ändå många juridiska frågor.

En grundbult i juridiken till havs är till exempel att det ska finnas en befälhavare ombord med ansvar för att fartyget navigerar säkert. Befälhavaren har också ansvar för att hjälpa människor i sjönöd, och det är en av de äldsta sederna bland sjöfarare. Skyldigheten gäller enligt folkrätten även i krig.

Hur människor i sjönöd ska undsättas av en befälhavare på distans, eller av en autonom farkost, är därför också viktiga frågor att reda ut.

– Kopplat till detta finns också frågan om en obemannad eller autonom farkost är ett fartyg i rättens mening. Då ställs det vissa krav. Är det en farkost som inte är ett fartyg? Då ställs det andra krav. Är det en utrustning eller ett vapen? Då ställs det ytterligare andra krav, säger Pontus Winther.

– Så det finns inte bara ett svar på vad man får och inte får göra med autonoma och obemannade farkoster. FOI arbetar mycket med dessa frågor nu för att skapa goda juridiska förutsättningar för Försvarsmakten att använda sådana system på ett effektivt och rättsenligt sätt.

PONTUS WINTHER PÅPEKAR också att vapen med en viss grad av självständighet redan finns sedan tidigare, såsom de sjöminor som används av den svenska Försvarsmakten.

– Om vi tar det enkla fallet – krig – så har man konstaterat att de regler som finns i krig ska följas också avseende autonomt dödligt våld. Man måste till exempel kunna skilja på militära mål och civil egendom och bara rikta våldsanvändningen mot militära mål. Så då är det ”bara” att teknikutveckla tills systemen uppfyller de krav som finns.

För att ingripa mot Rysslands sabotage och skuggflotta i Östersjön har jurister bland annat hittat stöd i modern miljörätt, liksom i en konvention från 1884 till skydd för telegrafkablar.

– Det vi ser nu är ju också bara en teknikutveckling av tusentals som man sedan har fått anpassa lagstiftning efter. Juristens uppgift är att föreslå lösningar som gör att teknikutveckling och rättsstatliga värden kan samexistera.



Foto: Tomas Ärlemo

Pontus Winther.

VARFÖR ÄR DET viktigt att Sverige och Nato lever upp till sina folkrättsliga åtaganden?

– Trots att det finns stora och militärt starka stater som uppenbart struntar i folkrätten tycker fortfarande de absolut flesta andra stater i världen att den är kittet för mellanstatliga relationer. Små och mellanstora stater är beroende av en fungerande folkrätt.

– Historiskt motiverar ofta Ryssland sina överträdelser av folkrätten med att ”så där gjorde ju Europa”, ”så där gjorde ju USA”. Västs ingripanden i Kosovo och Libyen är exempel på situationer som Ryssland ofta använder som ursäkt för sin våldsanvändning, säger Pontus Winther.

Han pekar också på att Putin inte med militär makt har lyckats uppnå vad han vill i Ukraina, Israel har inte lyckats i Gaza, och USA har inte gjort det i Iran.

– Gång på gång ser vi hur bristfälligt det militära maktmedlet är, vilket i sin tur talar för en regelbaserad världsordning där man löser saker med förhandlingar i stället. □

Foto: Getty Images,Inigo Cia

FÖRSVARSMAKTEN

Rapporten är sammanställd av FoT-projektet Omvärldsbevakning med teknisk prognos.

FMV dokumentbeteckning: 24FMV2096-42
September 2026