

**SMART STAD
TÄNKER SJÄLV**

**UNGA FORSKARE
OCH AUTONOMI**

**VASSASTE LJUSET
FINNS I LUND**

OMVÄRLD

TEKNISK PROGNOSE 2022

TEMA:

AUTONOMI

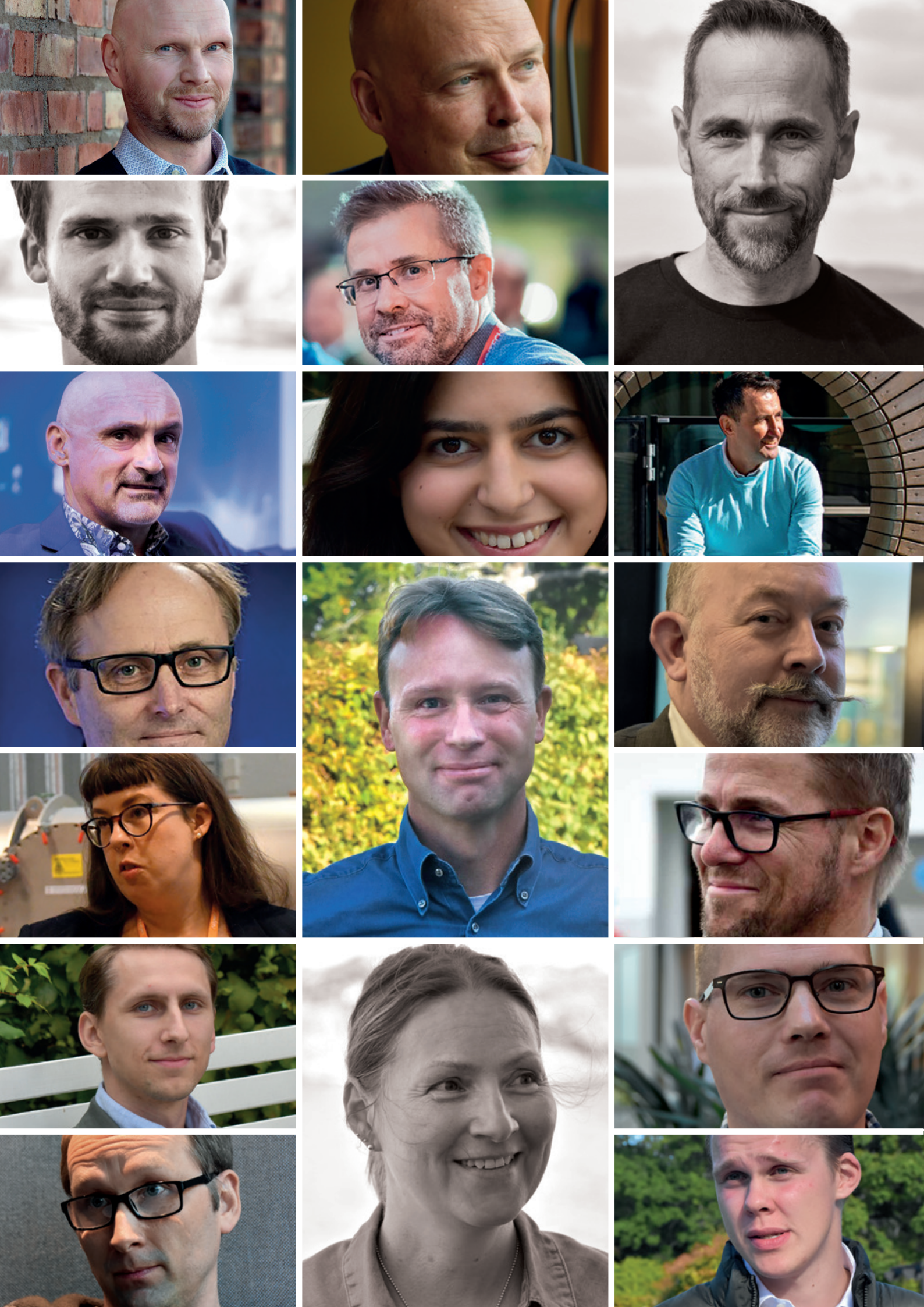
Autonomitrenden sveper över världen.

En orolig tid och en oviss framtid
ökar takten i jakten på nya tekniker.

Olika grader av autonomi spelar
en viktig roll för försvaret

FMV





INNEHÅLL OMVÄRLD

KRÖNIKA	4
PÅ VÄG MOT DEN TÄNKANDE MASKINEN	6
DEN SMARTA STADEN	12
MÄNNISKAN OCH MASKINEN I DEN DIGITALA GRUVAN	18
LOKALA NÄTVERK BYGGER BUBBLOR	22
NÄR MÄNNISKAN TAR ETT STEG TILLBAKA	24
AUTONOMI PÅ SCENEN	28
EN FARKOST GÅR AN – TVÅ KAN GÅ BRA	30
I OCEANERNAS DJUP FINNS MÅNGA SVAR	33
DET SKA VARA ORDNING PÅ DE OBEMANNADE FARKOSTERNA	34
DATASPEL LÄR ROBOT FATTA RÄTT BESLUT UNDER HAVSYTAN	37
UNGA FORSKARE OCH AUTONOMI	42
IDÉERNA VÄXER I REGNSKOGEN	44
SVÅRT ERSÄTTA SLUG UBÅTCHEF	46
”VÄRRE KAN DET INTE BLI”	50
KAMPEN HAR BÖRJAT MELLAN MODELLERNA	53
MASKININLÄRNING MED RESERVATIONER	56
KONSTGJORD BAKTERIE KRÄVER TEKNIKSPRÅNG	58
LJUSET I LUND VASSAST I VÄRLDEN	60
HAN ÄR SPINDELN I FORSKNINGENS STORA NÄT	64

KRÖNIKA

AUTONOMI EN AV NYA TEKNIKER SOM DRIVS FRAM I EN OROLIG TID

Vi befinner oss i en brytningstid. Gamla relationer omvärderas och ersätts av nya. Nya handelsmönster håller på och etableras. Även om det internationella säkerhetsläget försämrats under en längre tid så är det kanske ändå först nu som insikten infunnit sig, hos de flesta, att det här kan bli allvarligt. Pandemin gav en hint om detta men efter den 24:e februari är det tydligt att vi är på väg in i ett nytt globalt landskap.

Den avspänning och samförstånd som rådde under 90- och 00-talen, efter Murens fall, med ekonomisk tillväxt, frihandel och tillit i de internationella relationerna, kanske var ett undantag?

Efter kalla kriget försåg de välsmorda globala

leveranskedjorna oss med billiga varor. "The world is flat" proklamerade Thomas Friedman i sin bok med samma namn. Den akuta situation som vi nu står inför gör att det finns en risk att vi är så upptagna med de akuta problemen här och nu att vi glömmat att blicka framåt. Läsningar i de internationella relationerna kommer att tillta och antagonistiska stater kommer att svetsas samman och om 10–20 år kanske säkerhetsläget är ännu sämre? För att stå redo inför en framtid som nu utvecklas i en farlig riktning måste vi investera i ny teknik snabbare för att kunna stå redo att möta det framtida hotet.

I jakten på nya tekniker som kan vara av intresse för framtidens försvar så beskriver vi i detta nummer några utvalda teknikområden som har analyserats av Forsvarshögskolan med stöd av Totalförsvarets

forskningsinstitut. Teknikområdena som ursprungligen rapporterats av Fraunhofer och som i sin tur levererat sina rapporter till Bundeswehr, men som vi får tillgång till, kan ge inspiration till kommande tekniker att investera i. Analyserna sker utifrån ett svenskt militärt perspektiv. Teknikområdena har olika rubriker som: högentropikeramer, stora autonoma undervattensfarkoster, antimaskininlärning, biologiska sensorer och maskininlärning inom materialutveckling. Väldigt olika ämnen kan tyckas men några gemensamma nämnare kan ändå identifieras. De är alla generella och datadrivna ur något perspektiv och kan användas som en komponent i ett militärt system – som skulle kunna vara autonomt i någon mening. För att binda ihop årets Omvärld har vi valt autonomi som tema.

Autonomitrenden berör vi med olika reportage från företag och forskningsmiljöer. Autonomi är ett brett område och i avsnittet försöker vi förklara vad det är och vilka tillämpningsområden som faktiskt driver den utvecklingen. Det finns många civila drivkrafter som skyndar på utvecklingen. Det finns många olika verksamheter där man vill ta bort människan ur ekvationen. Det kan vara olika skäl som säkerhet eller kostnad. Att identifiera några av de områdena och förstå dem kan ge inspiration till vilka typer av autonomi som kan vara av intresse för försvaret. Automation är ett område som i sig är beroende av mjukvara, elektronik (halvledarkomponenter), batterier (eller annan typ av energiförsörjning för sig framdrivning) och data. Ett område som alltså i sig själv driver på elektrifiering och digitalisering. När autonoma system knyts ihop till hela verksamheter eller till och med städer, uppstår helt nya förutsättningar och möjligheter.

Våra besök på Gränsö (WASP) och Kristineberg (SMaRC demodagar) 2022 gav ytterligare inblick i autonomins utmaningar och vilka tekniker som ligger till grund för framtidens system. Flera forskare och projekt omnämns i detta nummer.

Vi ger slutligen en snabb inblick i de stora forskningsinfrastrukturerna, med ett besök på MAX IV i Lund och ett samtal med Big Science Sweden. Grundforskningen som bedrivs i dessa miljöer skapar ny kunskap som i sin tur ligger till grund för framtidens tekniker. De civila forskningssatsningarna bör kontinuerligt analyseras ur ett militärt perspektiv, för att tidigt förstå vilka resultat som kan återanvändas i den militära kontexten. Ökad förståelse för fysiska fenomen kan bana väg för nya framtida system och förmågor. □



Mikael Schönström, fil.dr. FMV
mikael.schonstrom@fmv.se
Projektledare Omvärldsbevakning
med teknisk prognos.



Foto: Saab

»När vi talar om autonomi menar vi egentligen automatisering och styrkan i att koordinera system av maskiner och fordon, där man inte längre tvunget har en operatör eller förare i varje.«

PÅ VÄG MOT DEN TÄNKANDE MASKINEN

Automation och automatisering bygger främst på robotik och maskininlärning men också på kunskap kring integration av data och system. I första hand har det handlat om att det som är farligt eller tråkigt utförs av självstyrande maskiner eller robotar. Ofta används begreppet autonomi när man egentligen menar automation och automatisering.

Combitech, med 2 100 anställda, beskriver sig som en nordisk teknislösning- och konsultpartner. Combitech har många projekt som handlar om det som i vardagligt tal kallas för autonomi. Det kan röra smarta städer, gruvor och nätverk. Ett viktigt ämne för Combitech är människans förhållningssätt och

säkerhet i relation till autonom teknik. För att förstå begreppet autonomi är därför Combitech en bra ingång.

Jesper Tordenlid är verksamhetsutvecklare på Combitech och projektledare för forskningsarenan WARA-PS. Christian Grante är doktor inom komplexa säkerhetskritiska system och expert inom automatisering på Combitech. De arbetar med verksamheter i varierande stadier av utveckling. Jesper Tordenlid har lång erfarenhet av produkt- och systemutveckling inom försvars- och säkerhetskoncernen Saab och Christian Grante har arbetat många år på Volvo Group med tunga fordon och mobila maskiner.

– Det är så spännande för det händer saker när personer och kompetenser från olika miljöer möts. Det

är en ständig kompetensutveckling, då samtal uppstår i skärningspunkterna mellan samhället och industrins behov och forskningens framsteg. Framtidens digitaliserings- och automationsutveckling handlar till stor del om hur vi lyckas integrera olika system och lösningar i samspel med människan, säger Jesper Tordenlid.

AUTOMATISERING – INTE AUTONOMI

Christian Grante är tveksam till att begreppet autonomi fått så stort fokus i samhällets tekniskdiskussion.

– När vi talar om autonomi menar vi egentligen automatisering och styrkan i att koordinera system av maskiner och fordon, där man inte längre tvunget har en operatör eller förare i varje. Före 2010 fanns inte begreppet autonoma fordon med bland strategiska teknologier i till exempel Gartners kurva för emerging teknologier, 2015 kulminerar hajpen och nu är termen inte med på listan längre.

– Jag är lite frustrerad över att området inte alltid beskrivs rättvist. Det har varit en stor övertro på att det ska lösa allt som förare och maskinoperatörer gör och nu är det en besvikelse i att så inte är fallet. Det finns stora möjligheter med automatisering av mobila maskiner och fordon men för att nyttja teknologin behöver övergripande system och verksamheter anpassas och förändras. Genom digitalisering

kan vi använda styrkan i automatisering samtidigt som vi har kvar den mänskliga flexibiliteten och initiativförmågan, säger Christian Grante.

– Ett exempel på samverkan mellan maskin och människa är Epirocs automatiserade underjordslastare, där man automatiserat de repetitiva operationerna som att köra fram och tillbaka mellan last- och dumpningsplats. Operationen att fylla skopan är däremot komplex och utförs av en operatör via teleoperering. Det gör att varje operatör kan operera flera maskiner samtidigt, både att koordinera systemet av maskiner men också kunna ingripa i svåra och oförutsägbara situationer som är kostsamma eller omöjliga att automatisera.

MÖJLIGHETER FÖR TOTALFÖRSVARET

Automation kommer att spela en stor roll inom den smarta staden och den smarta industrin, säger Jesper Tordenlid och Christian Grante. De menar att det finns möjligheter i totalförsvaret, både inom militärt och civilt försvar. Tänk till exempel på självnavigerande och obemannade farkoster som kan lämna utrustning, läkemedel eller bära sensor. Det är dock viktigt att fortsätta lära av olika situationer, för behovsbilden och utmaningarna ser olika ut. Tre exempel på civil tillämpning och som Combitech är involverade i är forskning kring autonoma ▸



Christian Grante, till vänster, och Jesper Tordenlid till höger.

»Det är ingen slump att vi arbetar med underjordsgruvor. Det är en arbetsmiljö som är komplex, ytorna är stora och de ligger under mark. Där handlar automationen om att kunna skapa ett jämnt materialflöde, undvika låsningar mellan maskiner i produktionen och att flytta medarbetarna från en osäker miljö.«

räddningssystem, driftsatta maskinflottor i gruvan och uppkoppling av pappersbruk.

I WARA-PS, som är en del i det svenska forskningsprogrammet Wallenberg AI, Autonomous Systems and Software Program (WASP) är automation och artificiell intelligens, AI kärnan. Farkoster i luften, på marken och i vattnet samverkar med räddningspersonal och operatörer för att undsätta människor i nöd snabbare. Insatserna koordineras via ett ledningssystem och en digital plattform som kopplar ihop de olika delarna. Combitech och Linköpings universitet har byggt ett öppet ledningssystem, kallat WARA-PS Core System, som binder ihop allt.

– Den röda tråden är att få tekniken och

användarna att mötas i lösningar som är bra för samhället. WARA-PS handlar om att knyta samman produkter och system för att skapa nya tjänster som kan undsätta personer snabbare, istället för att operera var för sig och som isolerade öar. Under demoveckorna i Västerviks skärgårdsmiljö testar vi årligen det i demonstrationer och samlar in skarp forskningsdata, berättar Jesper Tordenlid.

– I forskningsarenan engageras medarbetare från industri, akademi och samhälle. Resurser lånas också in, exempelvis från Saab som bidrar med den autonoma farkosten Piraya, som är utrustad med flertalet sensorer, Enforcer III som är en ombyggd stridsbåt för autonomiforskning och de mindre markbundna fordonen som heter Leo Rovers men

också programvara för scenariosimulering av flera olika aktörer. Andra verksamheter är engagerade med teknik och lösningar, exempelvis företagen Ericsson och Axis Communications. Flera myndigheter bidrar med kunskap, vidare forskare från flera svenska universitet.

GRUVA SVÅR MILJÖ

I gruvan finns det två primära syften med att automatisera – produktion och personlig säkerhet. Utmaningen är att få det att fungera i ett produktionsflöde, ha energiförsörjning och robusta nätverk, säger Christian Grante.

– Det är ingen slump att vi arbetar med underjordsgruvor. Det är en arbetsmiljö som är komplex, ytorna är stora och de ligger under mark. Där handlar automationen om att kunna skapa ett jämnt materialflöde, undvika låsningar mellan maskiner i produktionen och att flytta medarbetarna från en osäker miljö. Fordonen kan i princip operera dygnet runt och i utrymmen som har en riskbild. De kan inte ersätta människans skicklighet men de har en jämn arbetstakt över dygnet, säger Christian Grante.

– Vi har i partnerskap med Epiroc utvecklat ett system för trafikstyrning som är i produktion. Autonoma maskiner kan stödja materialflödesbehovet genom att utföra kompletta uppdrag och samspela med varandra i en produktionsarea där även konkurrenters maskiner kan verka, oavsett om de är autonoma eller fjärrstyrda av operatörer. Utvecklingsarbetet driver Epiroc och vi i

nära samarbete med gruvoperatörer som exempelvis LKAB, Boliden och Newcrest, berättar Christian Grante.

TRÅDLÖS UPPKOPPLING

En kritisk faktor i automatiseringen är den trådlösa uppkopplingen. Kartongbruket Holmen Iggesund har, med kunskap från Combitech, löst det genom att installerat ett privat 5G-nät för inomhus- och utomhustäckning. Lösningen skapar förutsättningar för en effektiv produktion, i en svår radiomiljö med stora avstånd mellan produktion och utskeppningshamn. Stegvis kommer hela brukets verksamhet inkluderas och kopplas upp för att erhålla den fulla styrkan av digitalisering, till exempel genom automatiserade processer, uppkopplade sensorer, handhållna enheter och autonoma transporter.

SYSTEM AV SYSTEM

– Automation har man kunnat länge, säger Christian Grante. Det svåra är att bygga system av system. Det kräver kunskap inom integration och informations säkerhet, för att i den värdeskapande processen integrera maskiner som gör olika saker. Människan ska vara överst i värdekedjan, göra det den är bra på och som maskinerna inte klarar av. Här ser jag en möjlighet för försvaret lära sig av den civila sidan och tvärtom, avslutar Christian Grante. Möjliggöraren ligger i att ha en digital plattform och ett ledningssystem där olika tillverkare kan koppla in sina system och samarbeta. Det handlar om autonoma lösningar som samverkar med människor. □

Autonomi och skalbarhet

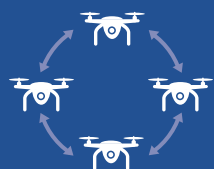
För att åstadkomma säkra effektiva autonoma- eller automatiska system har Combitech har tagit fram en kub som på tre sidor visar sammanlagt nio kriterier som bör uppfyllas. Är alla kriterier på plats kan modeller skalas upp från enkla system som självgående gräsklippare till tunga industrier eller till och med tillämpningar inom totalförsvaret.

Standarder och säkerhet

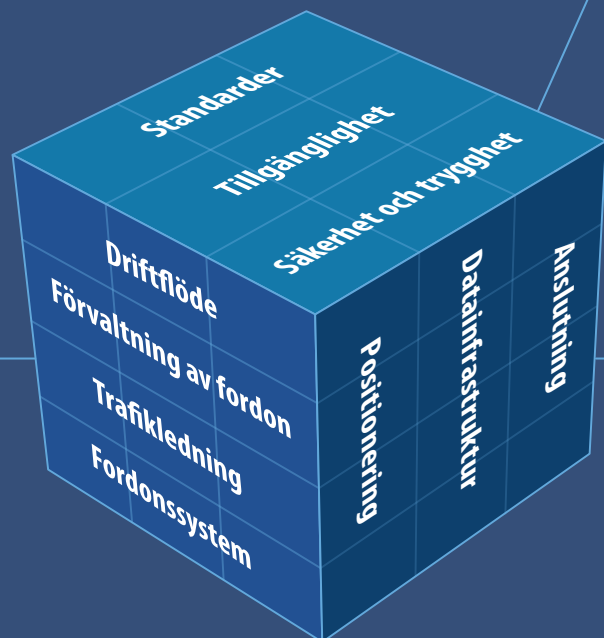
Standarder för mjukvara och hårdvara underlättar när nya autonoma projekt dras igång. Olika tillverkare ska kunna koppla in sina system och samarbeta på ett säkert sätt.



Förvaltning och drift



Autonoma system bygger på robotik och maskininlärning, här ingår trafikledning och driftflöde så att systemet hela tiden är koordinerat och så effektivt och säkert som möjligt. Hänsyn måste också tas till samspel med mänskliga operatörer.

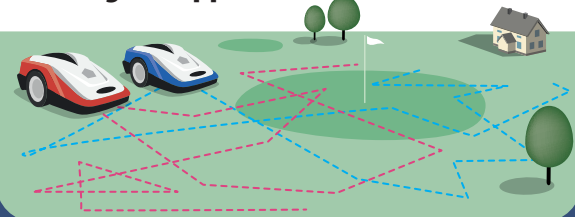


Positionering och datainfrastruktur



Utan bra positionering blir automation omöjlig. Enheterna måste veta var dom själva och andra enheter befinner sig. En stabil infrastruktur kan ibland kräva lokala 5G-nätverk.

Robotgräsklippare



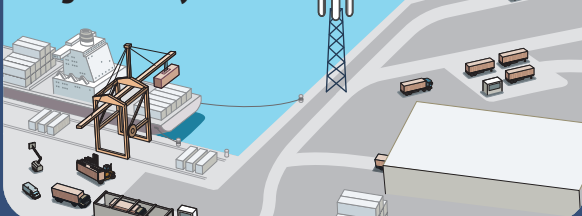
För att använda sig av en enstaka robotgräsklippare räcker det i allmänhet med att gräva ner en begränsningslina i marken och sensorer för att undvika kollisioner. Men så snart man använder två gräsklippare eller fler ökar komplexiteten dramatiskt och alla nio kriterier från kuben måste snart uppfyllas.

Jordbruk



GPS- och nätverksguidade jordbruksmaskiner och kultiveringsrobotar kan så, skörda, rensa ogräs och gödsla med hög precision. Drönare överblickar ägorna och kartlägger ogräs, skadedjur, jordmån- och avkastning.

Logistiska system



Genom att koordinera ett system av autonoma maskiner, fordon och containers är man inte tvungen att ha en operatör eller förare vid varje station. Exakt positionering och delning av sensordata kräver stabil uppkoppling och säkerhet. Lösningen kan vara ett lokalt 5G-nätverk.

Gruvdrift



Gruvor är farliga och komplexa arbetsmiljöer där vissa arbetsmoment med fördel kan automatiseras. Här finns trafikstyrningssystem redan i drift som är en kombination av autonoma enheter som övervakas av operatörer. Mer om autonom gruvdrift på sidan 18.

Autonomi i den komplexa militära miljön

Autonomi i den militära världen har funnits ett tag, en modern torped är i stor utsträckning autonom. I från det att den avfyras kan den sköta sig själv och missar den målet så har den en plan för det också. Men att släppa lös komplexa autonoma militära system i den militära miljön är en helt annan sak och människan behöver alltid vara högst i värdekedjan.



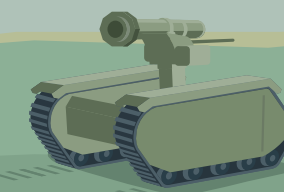
Luft

Självnavigerande, obemannade farkoster som kan spana, bära sensorer, ge måldata, hämta utrustning, läkemedel och skadade. Möjligheterna är många, och på en högre autonom nivå skulle farkoster från samtliga arenor kunna bilda något som kan liknas vid en virtuell resurshanterare som kan hjälpa till med att fördela resurser samt ge förslag på åtgärder.



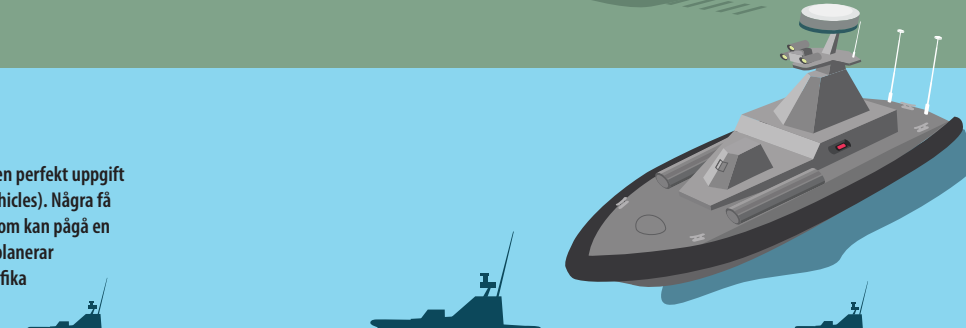
Mark

Autonom transport av utrustning och skadade skulle kunna underlätta mycket för personalen på slagfältet. I den riskfyllda urbana miljön skulle bestyckade autonoma markgående fordon ibland kunna ta sig an de farligaste uppgifterna.



Sjö

Att spana av stora arealer till sjöss skulle vara en perfekt uppgift för några dussin USV:er (unmanned surface vehicles). Några få operatörer skulle kunna övervaka uppdraget som kan pågå en längre tid. De programmerar sökmönster och planerar överordnade uppgifter men kan också ge specifika uppgifter åt enskilda USV:er.



En grupp autonoma USV:er skulle komma väl till pass vid ubåtsjakt. De kan föra med sig flera typer av egna sensorer och snabbt lägga ut en lyssnarledja i en farled.

Obemannad farkost

Sonar

Hydrofonkedja

Släpsonar

Under vatten

Autonoma undervattensfarkoster kommer i alla storlekar från en skrovdiameter på ett par decimeter upp till storlekar som börjar likna riktiga konventionella ubåtar. Marinens AUV 62 MR används för att lokalisera och identifiera minor och AUV 62 AT för att simulera egna eller andras ubåtar när man tränar ubåtsjakt.

Mer om autonoma undervattensfarkoster på sidorna 28 till 36.

AUV 62 AT



DEN SMARTA STADEN

Foto: Getty Images

I framtidens smarta stad kommer husen att vara autonoma. De reagerar på sensordata och annan information och fattar egna beslut som till exempel att dela med sig av överskottsenergi till ett hus som har brist på energi. Det säger Senadin Alisic som forskar på smarta städer och ekosystem och är strategisk rådgivare vid Combitech.

I framtidens smarta stad kommer byggnader att vara autonoma. Fastigheter kan dela med sig av överskottsenergi till hus som har energibrist genom att reagera på sensordata och annan information. Det säger Senadin Alisic som forskar på smarta städer och ekosystem vid Linnéuniversitetet och arbetar som strategisk rådgivare på den nordiska techlösning- och konsultpartnern Combitech.

Senadin är engagerad i projektet Crossways Växjö som är ett samarbete mellan näringsliv, akademi och kommun för att skapa en ny stadsdel i Växjö som främjar en klimatneutral och innovationsdriven

mötesplats. Inom samverkan finns ett delprojekt med fokus på det som kallas energigemenskap och som delfinansieras av Energimyndigheten, där man tillsammans ska undersöka hur områden kan lösa problem med delning av energi och effekt genom att lokalt producera mer energi än man förbrukar.

Smarta städer och telefoner

Städerna har historiskt präglats av samhällets utveckling. Staden som handelsplats växte fram vid vattnet, med industrialiseringen kom fabrikenas skorstenar in i stadsbilden och nu har informationssamhället flyttat in. Data skickas i ett ständigt brus, genom

luften och i fiberkablar men fortfarande bär staden arvet från industrisamhället. Den moderna platsen skickar ännu information i de gamla stuprören.

– Den smarta staden byggs av informationsamhället. Det finns ett stort behov av att knyta samman vertikaler i en plattform och det är där innovationen sker. Vi saknar fortfarande förståelse för hur ambitiösa klimatmål kan nås genom att digitaliseringen integreras i stadsutvecklingen. Vi riskerar att fortsätta förvandla det offentliga rummet till betongöknar, vilket skapar problem i decennier, berättar Senadin Alisic. Genom att tillhandahålla en digital plattform och kombinera data från till exempel vård-, transporter, byggnader och väder skapas nya värden. Många verksamheter tittar idag på specifika användarfall och försöker erbjuda nya innovativa lösningar men tyvärr är dessa inte fullt integrerade.

– Genom att kombinera data skapas mervärde. Det är bara fantasin som sätter gränser. Energi, vatten, mobilitet, hälsa och sjukvård är några exempel som kan knytas samman. Staden blir som en smartphone med standardapplikationer och gränssnitt som integreras i ett digitalt ekosystem och skapar nytta för invånarna, säger Senadin Alisic och fortsätter.

– Syftet med att betrakta staden som en plattform

är också att det främjar ny ekonomi och innovation genom principer för öppen data. Producenter och konsumenterna av produkter, tjänster och lösningar kopplas samman i ett digitalt ekosystem där flera producerar och konsumerar samtidigt. Jag anser att den digitala transformationen av staden och plattformstrategier går hand i hand med de 17 globala utvecklingsmålen, speciellt mål åtta som syftar på hållbar ekonomisk tillväxt och mål nio som syftar på innovation, säger Senadin Alisic.

– Man har upptäckt mervärdet med det digitala ekosystemet för städer. Man kopierar företag som har plattformen som en verksamhetsmodell. Apple är ett exempel på det, då vi producerar och konsumerar applikationer på en plattform som faciliteras av företaget. I dag levererar plattformsbolag som Apple många tjänster till ekosystemet utan att de behöver utveckla allt själva. Det är precis det som den smarta staden bör göra. Genom att utveckla en plattformstrategi kan städer accelerera integration av digitaliseringen i traditionell stadsutveckling, säger Senadin Alisic. Det som definierar begreppet smart stad är integration av data och teknik i ett strategiskt förhållningssätt till hållbar stadsutveckling, medborgarnas välbefinnande och ekonomisk utveckling. För att nå visionen måste >

»Genom att kombinera data från olika vertikaler skapas mervärdet för samhället. Det är bara fantasin som sätter gränser. Energi, vatten, mobilitet, hälsa och sjukvård för att nämna några exempel knyts samman.«

intressenterna gå från upphandling av produkter till ett ökat samarbete för att lösa framtida problem.

Cybersäkerhet från start

Senadin Alisic säger att drivkrafterna bakom den smarta staden är den gröna omställningen, som är ett svar på resursbrist och problem som orsakas av urbanisering och globalisering. It med trender inom artificiell intelligens, AI, cloud computing och sakernas internet är några exempel på bra tekniker och verktyg. Det mesta av tekniken finns för många städer. Det nya är att den används för att i större utsträckning koppla upp staden. Men när städerna blir beroende av ett fungerande nät ökar också sårbarheten. Naturkrafter och vandalisering är också hot. Ett åskväder eller en översvämning kan ställa till lika stor skada som en hackare.

– Smarta städer blir inte starkare än den svagaste länken i ekosystemet. Som tur är börjar vi inse att cybersäkerhet inte är en it-fråga utan snarare handlar om risker som bör hanteras av hela verksamheten. Säkerheten börjar tas på allvar och byggs in från början. Med tanke på hotbilderna är det nödvändigt att garantera integriteten under hela livscykeln, säger Senadin Alisic och menar att det går att minska en hel del risker genom bra och genomtänkta upphandlingar, att testa produkter och tjänster, att arbeta med risk- och sårbarhetsanalyser men också genom att kontrollera data samt att skapa förankring och tillit bland invånarna.

En digital tvilling

En stor fördel med den digitaliserade staden är att det går att skapa en tredimensionell informationsmodell, en så kallad digital tvilling. Byggnader och gator, lyktstolpar och träd samt planteringar och skog, allt som finns i verkligheten kan representeras digitalt. För att vara en tvilling fullt ut måste även information som beskriver staden och dess objekt läggas till. Den digitala tvillingen fungerar som ett stort kollektivt minne och har många fördelar.

– Det finns en styrka i att simulera först och bygga sedan, säger Senadin Alisic. Den digitala tvillingen kan användas som en modell för hållbar utveckling, då den effektivt kombinerar innovationer inom

digital teknik med urbana operativa mekanismer. Med andra ord främjar den säkrare och effektivare stadsutveckling med inkluderande vardagstjänster samt hjälper till att skapa mer hållbara miljöer med låga koldioxidutsläpp. Jag tror att i framtiden kommer varje leverantör av fysiska objekt behöva uppfylla kravet att leverera även en digital tvilling.

Transporter är en av nyckelfrågorna. Det talas mycket om leveransen för den sista milen, den kan till exempel skötas av drönare.

– Det är tydligt att bilen som en gång var den framtida stadens symbol nu är ett problem. Stadsutvecklare föredrar att planera gånggator och cykelvägar framför bilgator. Man försöker skapa ett nytt ideal där tanken på friheten är att inte behöva ha bil, säger Senadin Alisic. Det görs massor av intressanta försök med autonoma transporter. Till exempel att via en app beställa en cykel som drivs av en elmotor och har fyra hjul. Väl framme förvandlas den till en vanlig cykel och när den har gjort sitt blir den en fyrhjuling igen och rullar till nästa beställning.

Den självkörande privatbilen är fortfarande en bit bort. Senadin Alisic menar att det är första steget vi ser idag, där avancerade system stödjer bilföraren. Därefter blir det partiell automation där föraren tar över när lösningen stöter på problem. I dessa stadier har vi fortfarande ett stort behov av att en individ övervakar körningen. Även i högre automation, där bilen utför det mesta av arbetet med hjälp av ett avancerat geostaket, krävs involvering av en människa. Full automation blir det sista steget men där är vi inte än. Det går inte heller att diskutera autonomi i bilar utan att ta upp säkerheten. Ett autonomt hus kan inte ställa till med så mycket jämfört med en personbil, därför går utvecklingen snabbare där.

– Det brukar sägas att den smarta bilen inte kommer att byggas i Detroit utan i Silicon Valley. Det talesättet passar in på stadsutveckling också. Jag tror att vi kommer se en ny typ av aktörer. Det traditionella samhällets byggare, som exempelvis cementföretag, bör ställa om för att klara konkurrensen från de nya stadsutvecklarna som kommer från tech-branschen. Den innovativa insatsen blir allt viktigare i framtiden.



Foto: Johan Nordström

»Drivkrafterna bakom den smarta staden är den gröna omställningen som är ett svar på resursbrist, urbanisering och globalisering.«

Kommit längre utomlands

En kartläggning visar att visionerna om smarta städer i Sverige än så länge är i tidiga faser. Senadin berättar att det händer mycket positivt, och förutom de tre storstäderna nämner han Linköping, Lund, Helsingborg, Örebro och Växjö som exempel.

– Utomlands har man kommit längre, berättar Senadin Alisic. Singapore med sin vision att digitalisera hela samhället i syfte att förbättra för medborgare och företag anses ligga främst vad gäller smart teknik. Singapore siktar på att vara det första landet som utvecklar en bilfri miljösmart stad. Oslo har satsat hårt på elektrifiering och självkörande mindre bussar. Amsterdam utvecklar bland annat lösningar för energilagring. San Francisco fokuserar på smarta byggnader och trafiklösningar. Köpenhamn har fått pris för ett system som övervakar luftkvalitet, energiförbrukning samt trafik- och avfallshantering.

Svenska forskare och stadsplanerare pekar ut trender som tydligt visar att städerna är på väg in i informationssamhället men Senadin Alisic säger att det råder stor osäkerhet om dessa trender kommer att slå igenom. Det finns så många andra faktorer

som påverkar och frågor som vi inte har svaren på. Tillgången till energi, vatten och jordbruksmark är exempel på sådana osäkerheter. Vidare påverkar världsläget – blir det flyktingströmmar till följd av krig och klimatförändringar? Likaså om samhällena går i en liberal eller konservativ riktning. Det gör enligt Senadin Alisic att man börjat diskutera tre scenarier beroende på hur trenderna slår igenom:

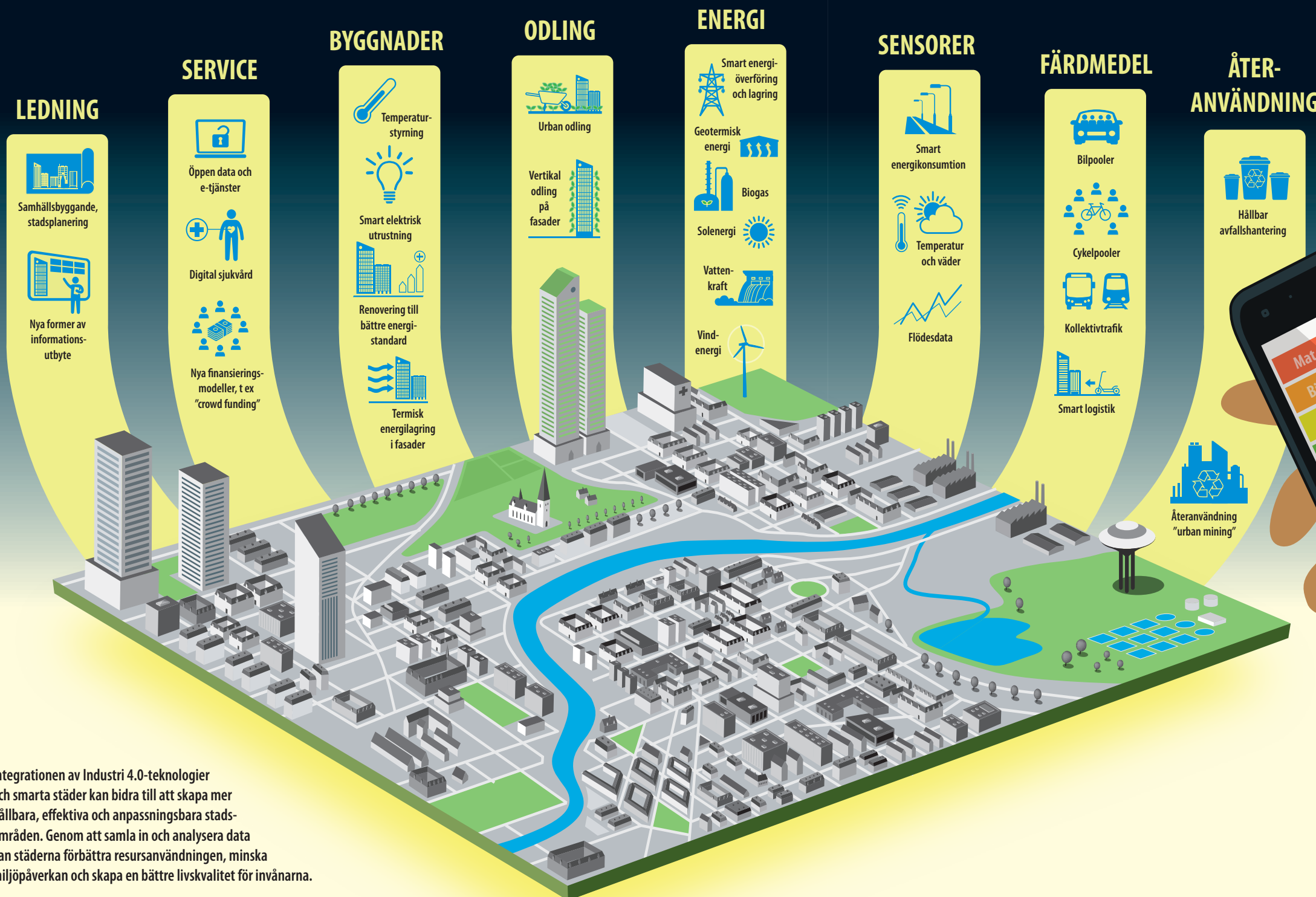
- Teknostaden: Stor tillgång på energi och hög grad av samhällelig kontroll.
- Ekostaden: Låg tillgång på energi och hög grad av samhällelig kontroll.
- Fristaden: Stor tillgång på energi men låg grad av samhällelig kontroll.

– Det är viktigt att offentlig sektor krok ar med industrin och andra samhällsaktörer för att titta på utmaningar, lösningar och vägen framåt. Förmågan att införa ett ekosystem inom ramar för stadsutveckling kommer att vara en viktig förutsättning för att lyckas med visionen och skapa ett smart och tryggt samhälle, avslutar Senadin Alisic. □

Den smarta staden

Samhällets vertikaler samlade i en gemensam plattform

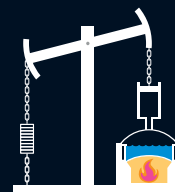
När man talar om autonomi så nämns ofta begreppet "system av system". Den smarta staden är ett bra exempel på detta. Genom att samla stadens vertikaler i en gemensam plattform kan stora synergieffekter uppnås. Energibehov kopplas till faktisk förbrukning, service och transporter matchas mot invånarnas behov. Återvinning, avfallshantering och odling kan verka gynnsamt för miljön. Men en viktig aspekt blir också informations säkerhet och integritet. Systemet bygger på mängder av sensorer samt insamling av personliga data och beteendemönster.



Från industri 1.0...

En analogi till den smarta staden är att jämföra hur industrin utvecklats de senaste 200 åren, från enkel mekanisering till skräddarsydda produktionsflöden.

Industri 1.0



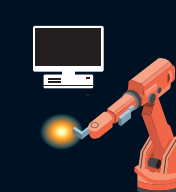
Mekanisering, vattenkraft, ångkraft

Industri 2.0



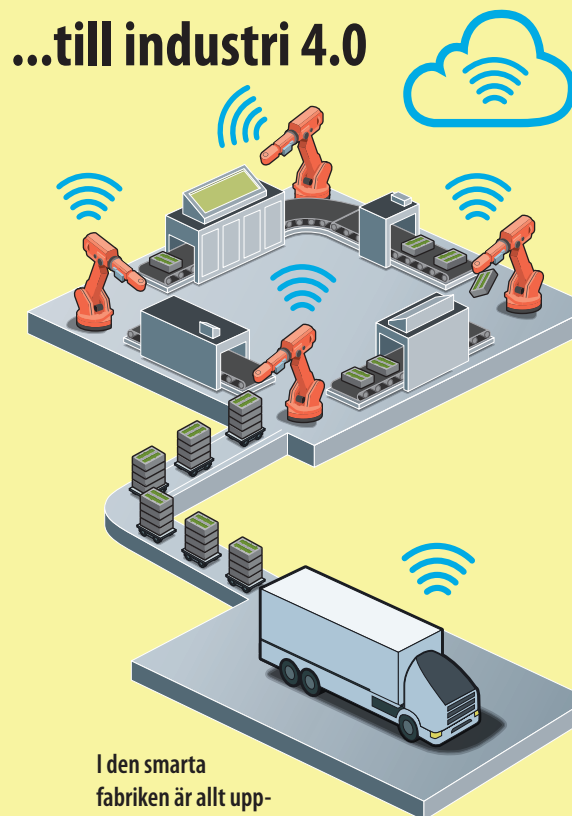
Massproduktion, löpande band, elektricitet

Industri 3.0



Datorisering och automation

...till industri 4.0



I den smarta fabriken är allt uppkopplat så att varje enhet i produktionskedjan bär med sig information om var den ska och hur. Målet är produktion med kortare omställnings- och ledtider, färre fel och mer flexibilitet.



Hela staden i mobilen

Genom att integrera virtuella städer i mobiltelefoner i en smart city-plattform, kan medborgare få tillgång till en mängd olika tjänster och resurser, inklusive realtidsdata om trafikflöden, kollektivtrafik, väderrapporter och lokala evenemang.

MÄNNISKAN OCH MASKINEN I DEN DIGITALA GRUVAN

I visionen om den digitala gruvan arbetar obemannade maskiner dygnet runt. Inga avbrott för raster eller sömn. Gruvan lunkar på. Drömmen om den autonoma gruvan lär stanna vid en vision. Men utvecklingen har kommit en bra bit på väg.

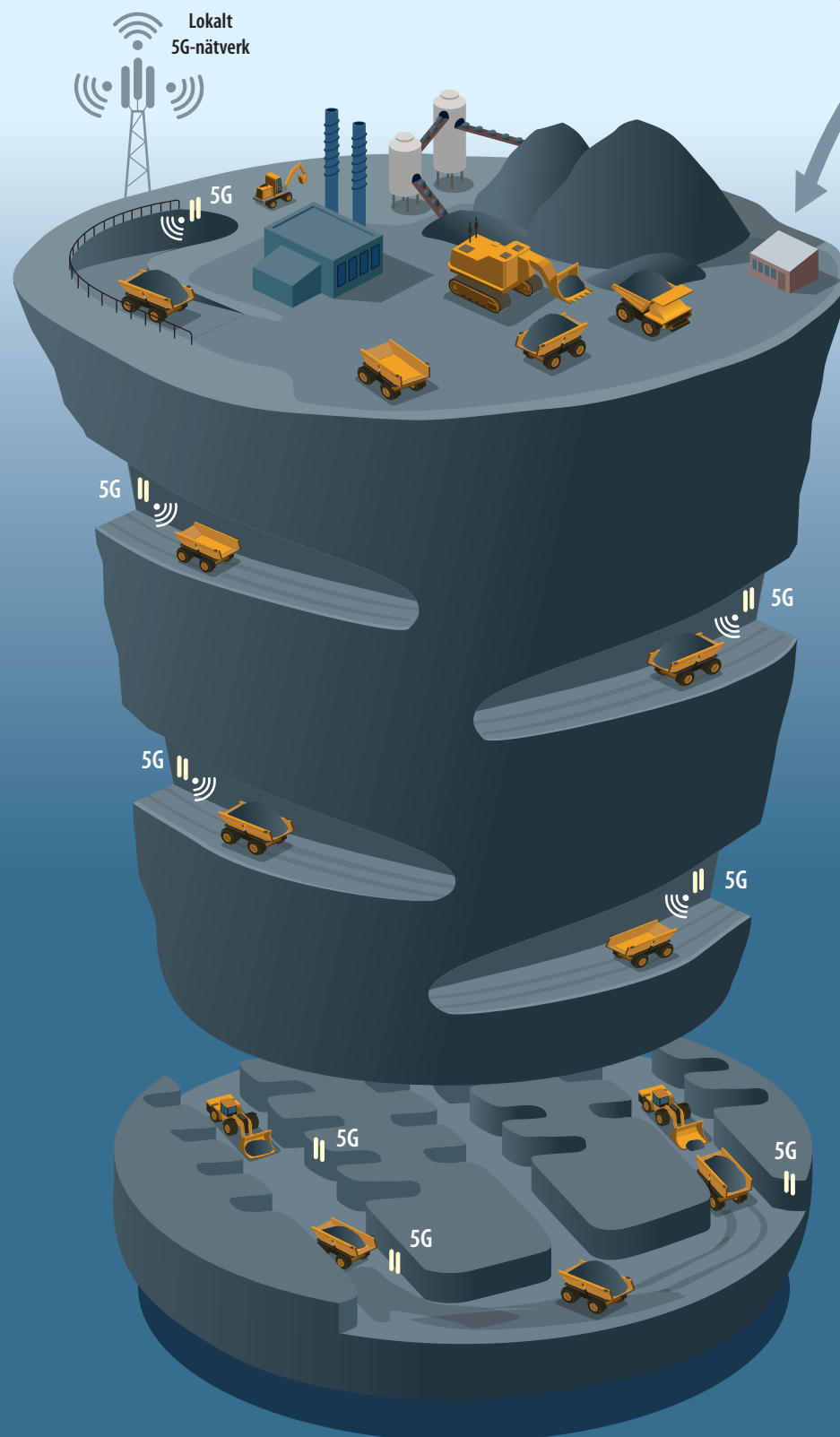
Den svenska gruvnäringen är viktig och branschen ligger långt fram för att skapa en klimateffektiv produktion. Automationslösningar och trafikledningssystem kommer att öka produktiviteten och säkerheten. Visionen är den digitala gruvan där obemannade maskiner arbetar dygn efter dygn i långsam takt.

– Lösningar där autonoma maskiner kan utföra kompletta uppdrag och samspela med varandra i en delad area är efterfrågad i gruvbranschen. Det handlar om att kunna skapa ett jämnt materialflöde, undvika låsningar mellan maskiner i produktionen och att flytta medarbetarna från en osäker miljö. Det säger Robert Raschperger, som är konsult för Epiroc och produktutvecklingsledare på Combitech och som arbetar med trafikledning av förarlösa maskinflottor.

– Epiroc och Combitech har ett nära samarbete där man kombinerar teknik med kunskap för hur trafikstyrning ska systematiseras och utvecklas. Motorn i lösningen är en egenutvecklad modul kallad traffic management system. Den möjliggör att maskiner kan dela vägar, serviceplatser samt last- och dumpningsplatser utan att krocka eller störa varandra. ▷

Den digitala gruvan

Längst ner i gruvorterna bryts och lastas malmen av bemannade eller fjärrstyrda maskiner på traditionellt sätt eller tele-remote från ett operatörsrum på ytan, men transporten upp till markytan sköts av ett autonomt paternosterverk av självkörande dumpers. Systemet har full koll på var varje fordon befinner sig, tack vare ett lokalt 5G-nätverk som distribuerar data, såväl för position och koordination, som tal, video- och sensoröverföring.



Trafikkontroll



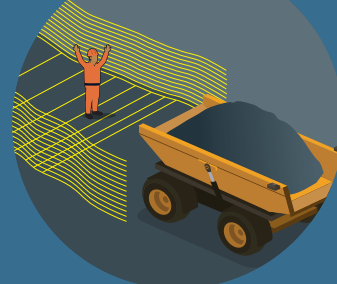
Dumperförarna har ersatts av operatörer som sitter tillsammans i ett rum, där de enkelt kan samverka och hålla ett vakande öga på samtliga enheter i fordonsflottan, både bemannade och obemannade. Skulle en kritisk situation uppstå är det enkelt att ta över maskiner tele-remote eller stänga av en eller flera gruvorter för autonom trafik.

Positionering



Samtliga enheter i fordonsflottan förses med positionstaggar och kommunicerar via ett lokalt positionssystem kallat WISPER som klarar en noggrannhet ner till en decimeter. Systemet kan visualisera realtidsdata både i 2G och 3D till operatören på markytan.

Sensorer



Utöver positioneringssystem är fordonen utrustade med lidar (light detection and ranging) för ökad precision och säkerhet.

– Helheten är vital i den digitala gruvan, säger Robert Raschperger som tillbringat en stor del av sitt yrkesliv i transportbranschen men även inom försvarsindustrin. Mina år i försvaret gav mig en insikt i hur viktigt det är att integrera system. När man utvecklar datasystem duger det inte att arbeta steg för steg. Man måste tänka mer i termer av värdekedjor och flöden än resurser. Det var något jag också fick lära mig under mina år inom telekomindustrin.

ATT BRYTA MALM är komplicerat. I verksamheten ingår många olika faktorer som till exempel säkerhet, lönsamhet och investering på sikt. Det går att tömma en gruva snabbt eller att ha den som en långsiktig och säker inkomstkälla. Dessa faktorer går det att sätta siffror på och därmed kan man bygga datormodeller för att simulera och pröva automation och autonomi i processen. En del av dygnet står gruvan still, så målet är att hålla den öppen längre.

En vision är den digitala gruvan, där obemannade maskiner kan arbeta på dygn efter dygn och bryta malm som flödar i långsam takt.

– Det gäller att tänka i flöden och vilket värde verksamheten vill skapa, säger Robert Raschperger och gör en liknelse med robotgräsklippare.

– Två robotgräsklippare klipper inte gräsmattan vid villan dubbelt så fort, de kommer att störa varandra. Samma sak gäller i gruvan, om man plockar in flera autonoma maskiner. Det krävs styrning.

– Begreppet autonomi uppfattas ofta som att det finns en enhet som självständigt gör ett uppdrag. Det kan exempelvis röra sig om en autonom lastare, en torped eller en robotgräsklippare. Alla är enheter som på egen hand kan lösa uppdragen, säger Robert Raschperger och ger följande definition:

- En automatiserad process följer en förutbestämd sekvens av operationer oavsett vad som händer
- I en autonom process finns förmågan att i olika grad lösa problem eller att anpassa sig till förändrade förutsättningar

– Om en automatisk robotarm tappar en pryl får

»Två robotgräsklippare klipper inte gräsmattan vid villan dubbelt så fort, de kommer att störa varandra. Samma sak gäller i gruvan, om man plockar in flera autonoma maskiner. Det krävs styrning.«



den ligga och roboten plockar upp nästa pryl för nästa moment. En autonom robotarm plockar upp prylen och sätter dit den innan den fortsätter. Människan skriver regler, så att maskinen kan lösa en palett av problem och delvis blir självständig. Bakom gruvmaskinerna och robotgräsklipparen finns det samma tanke – enheter som styrs och integreras för att uppnå ett mål.

– Samma princip gäller också för försvaret. Man kan byta ut gruvmaskinerna mot farkoster, integrera dessa i ett system och styra mot ett övergripande mål, säger Robert Raschperger och menar att den stora frågan är hur långt man ska driva det obemannade. Säkerhetsfrågorna spelar en stor roll. □



LOKALA NÄTVERK BYGGER BUBBLOR

WiFi-uppkoppling till internet eller intern-nät må vara fantastiskt men det har sina brister. Ibland räcker inte bandbredden. Radioskuggor och användare som förflyttar sig kan störa förbindelsen. Vid

Holmen Iggesunds kartongbruk söder om Hudiksvall försvann exempelvis lastbilsförarna från etern, när de var på väg till hamnen tre kilometer längre bort. Lösningen blev ett privat 5G-nät som byggts i nära samverkan med Combitech.

– Utan bra förutsättningar för kommunikation blir det ingen autonomi. Så enkelt är det. Konnektivitet och positionering är grundpelare för digitalisering, säger Per Åkesson, som är affärsområdeschef för Autonomy solutions and private Networks på Combitech.

DET SOM DRIVER automationen är främst två krafter – produktivitet och säkerhet. Per Åkesson tycker att automation egentligen är ett bättre ord än autonomi.

– Rent akademiskt är autonomi ett uttryck för att något klarar sig helt på egen hand men då skulle det per definition inte behövas någon kommunikation. Men så fungerar det inte i praktiken. Autonoma eller automatiserade fordon ingår i större system där det krävs att man kan dela upp arbetsuppgifter, fördela gemensamma resurser samt styra fordon på distans. För det krävs utbyte av information.

Dessa enskilda nätverk, exempelvis en kommunikationsbubbla för en hamn, ett lager eller en fabrik blev möjliga på bred front först nyligen när Post- och telestyrelsen (PTS) släppte frekvenser för 5G för privata nät så kallade lokala tillstånd. Holmen Iggesunds kartongfabrik siktar på digitalisering, automatiserade processer och autonoma transporter.

– Informationen måste flöda utan avbrott överallt, även när man förflyttar sig. Systemet bygger på vanliga mobiler, plattor, laptops eller annan kommunikationsutrustning med sim-kort, säger Per Åkesson som är en av de som är engagerade i Holmen Iggesund.

PER ÅKESSON BERÄTTAR att man lika gärna kan etablera ett privat nät eller en taktisk bubbla över



Foto: Peter Karlsson

sjukhus och räddningsverksamheter som över ett kartongbruk. Försvaret och samhällskritisk verksamhet ställer dock andra krav än industrin, som inte på samma sätt behöver räkna med att utrustningen flyttas runt och utsätts för hårdhänt hantering eller att någon aktivt försöker slå ut nätet.

– Vill man ha en större taktisk bubbla inom exempelvis totalförsvaret i ett specifikt område så bör man så långt det går utnyttja den befintliga infrastrukturen i stället för att bygga en separat. I den nya versionen av Raket är tanken att man ska kunna komplettera med mindre taktiska bubblor där täckningen är för dålig eller där kraven på säkerhet är högre.

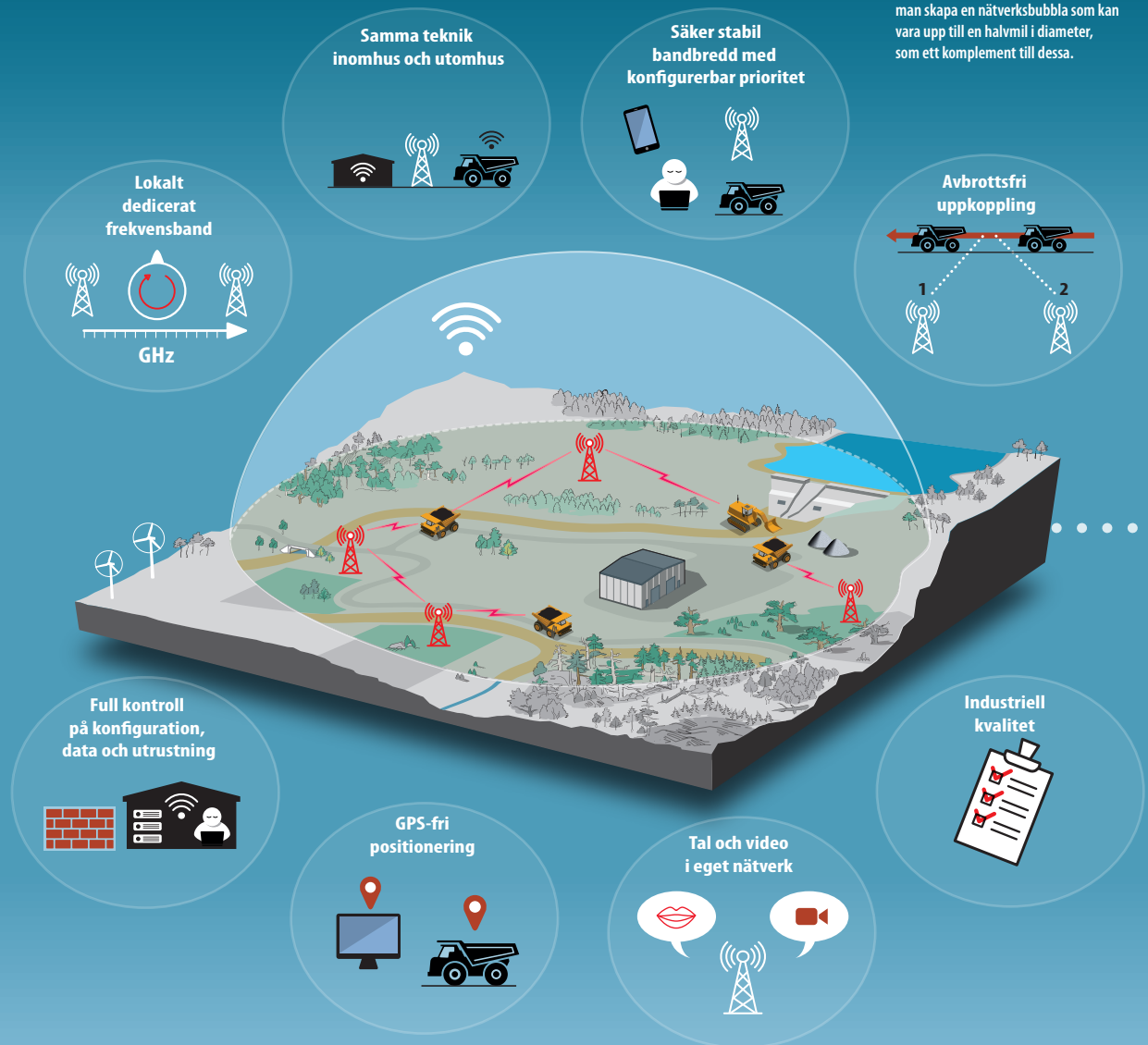
I mobilsamhället kan "bubbeltänket" komma att bli aktuellt. Per Åkesson pekar på ett av samarbetena som kan tyda på det.

På sidorna 12–15 berättar Senadin Alisic om den framtida staden som han menar kan bli robustare än dagens stad vilket torde vara av intresse när frågorna om samhällets sårbarhet i kris och krig åter blivit aktuella. □

Lokala privata nätverk

Post- och telestyrelsen (PTS) har ett drygt år gjort det möjligt att få tillstånd till frekvensutrymmena 3720–3800 MHz och 24,24–25,1 GHz. Tanken är att ge möjlighet för industrier, gruvor, hamnar, sjukhus och industrier att bygga robusta lokala nätverk och att ge utrymme för innovation och utveckling. Ett exempel kan vara ett dammbygge i norra Sverige där den vanliga 5G-täckningen kan vara dålig.

Mobiltäckningen i Sverige består av en stor mängd områden som överlappar varandra. För att komplettera mobiltäckningen kan man skapa en nätverksbubbla som kan vara upp till en halvmil i diameter, som ett komplement till dessa.



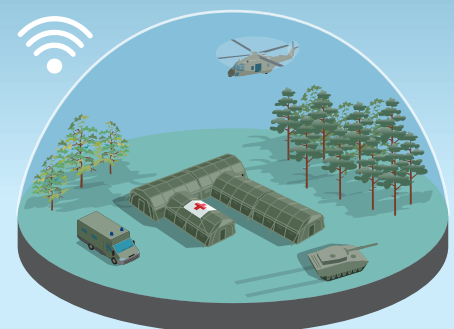
Andra exempel på lokala nätverksbubblor



Flygplats



Skogsbrand



Militärt

ANALYS**NÄR MÄNNISKAN
TAR ETT STEG
TILLBAKA**

Om vi tar bort människan kan helt nya typer av fartyg, flygfarkoster, och fordon byggas. Kan dessa även styras av ett fåtal med avancerad mjukvara – då finns det stordriftsfördelar.



avsett om man använder begreppet autonomi, automation eller obemannat så finns det en gemensam nämnare – en drivkraft att minska människans direkta roll i de tekniska systemen. Det finns flera vinster med

att ha tekniska system som är automatiserade, delvis autonoma eller obemannade. Begrepp som beskriver lite olika dimensioner av ett fenomen, en strävan att låta de tekniska systemen själva få en mer framträdande roll och där människan tar ett steg tillbaka.

AUTONOMINS DRIVKRAFTER

I det tidigare arbetet med teknisk prognos över halvledarteknik (22FMV1402-9) blev det tydligt att det är två krafter som driver utvecklingen inom halvledarteknik. Elektrifiering (grön omställning) och digitaliseringen. Inom området autonomi som är temat för denna rapport kan liknande övergripande drivkrafter identifieras. Drivkrafterna inom autonomi är viljan till ett ökad oberoende och en flexibilitet (oberoende av människans behov av sömn, mat och säkerhet) och ekonomi (det blir effektivare om systemet kan vara i gång 24/7 samt att mängder av funktioner som måste anpassas till människan kan rationaliseras bort och ersättas av andra funktioner).

Det finns fördelar med ett system som kan operera självständigt. Självständighet eftersträvas idag inom många områden och på många olika nivåer. Självständighet gäller inte bara tekniska system utan även länder och geografiska områden – strategisk autonomi är ett begrepp som blivit vanligare på senare år med anledning av hur världen nu utvecklas. Man vill bort från ett beroende som anses innebära en risk. Handlingsfrihet och kontroll över resurserna är målet. Autonomi är en trend som genomsyrar vår tillvaro. Från tro och tillit – att det man behöver finns tillgängligt i de globala leveranskedjorna – till att man ibland istället ser beroendet som en begränsning och orsak till ökad risk som man vill minimera.

Oberoendet skapar flexibilitet och en förmåga att hantera risker på ett annat sätt. Handlingsfriheten ökar ytterligare om man kan ha olika tekniska system med olika grad av autonomi för olika uppgifter. De autonoma systemen kan samverka för att lösa komplexa problem, de kan omprogrammeras för att lösa nya uppgifter, och kanske i framtiden även lära sig och uppdatera sig själva beroende på hur uppdraget fortskrider med hjälp av framtida AI-tekniker.

Vårt behov av autonomi driver utvecklingen inom många teknikområden som idag betecknas som framväxande. AI, batteriteknik, halvledarteknik (som till exempel processorer då mer beräkningskraft och

»Men när vet man om något är disruptivt. Det blir ofta i efterhand som man inser att något är eller blev disruptivt. Hur kan man identifiera något disruptivt innan det ens är det? Är det möjligt?«

energislutare system behövs) navigation och kommunikation (eftersom systemen ibland måste kommunicera med varandra i olika grad och för att hitta i sin omgivning).

Om vi tar bort människan kan helt nya typer av fartyg, flygfarkoster, och fordon byggas. Kan dessa även styras av ett fåtal med avancerad mjukvara – då finns det stordriftsfördelar.

EN KOMBINATION AV TEKNIKER

Autonomi är inte en teknik utan genom att kombinera olika tekniker får man en tillämpning där objekt kan agera autonomt. I den civila sektorn drivs man förutom av att minska risken för människor även av ekonomiska incitament. Ett lager utan människor kan byggas helt annorlunda och vara igång dygnet runt. Drönare som levererar paket i otillgängliga områden blir billigare än en transportfirma som ska köra ut paket för hand.

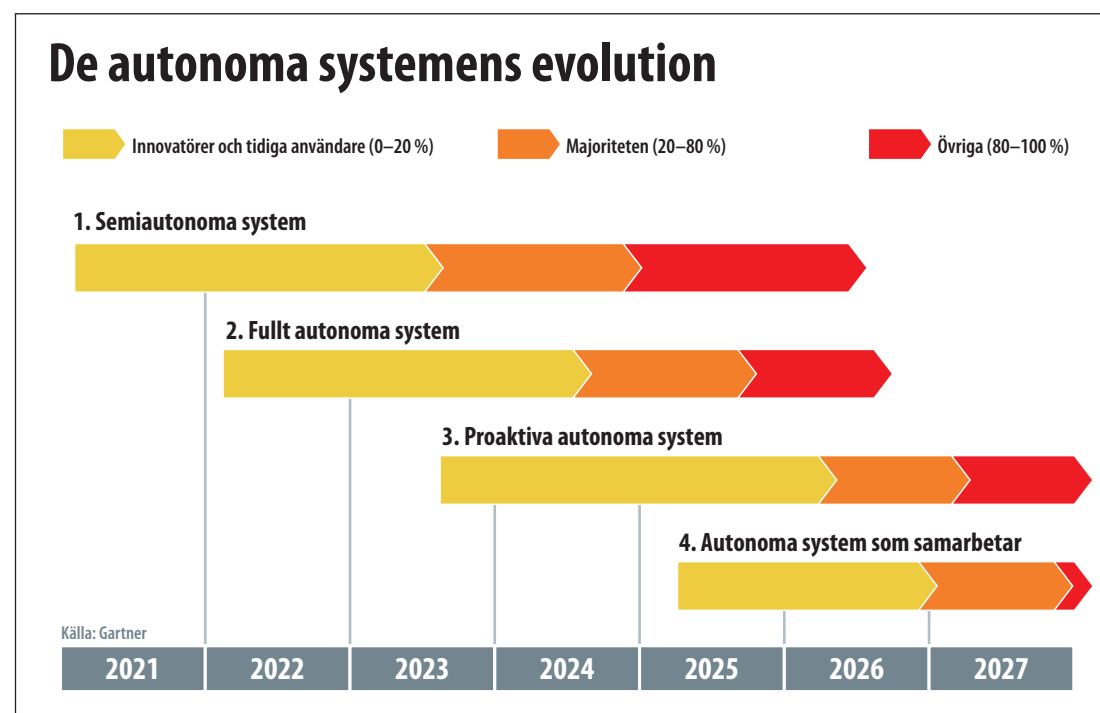
Disruptivitet är ett begrepp som ofta förekommer i samband med autonomi. Det finns en tro att det kanske finns något disruptivt i framtidens autonomi? Men när vet man om något är disruptivt? Det blir ofta i efterhand som man inser att något är eller blev disruptivt. Hur kan man identifiera något disruptivt innan det ens är det? Är det möjligt? För att något ska bli disruptivt krävs innovation, att man tänker något nytt, och gör något på ett helt nytt sätt. Det finns ett överraskningsmoment i begreppet. Forskarna skapar ny kunskap om de grundläggande fenomenen vilket skapar nya insikter. För att omvandla de nya insikterna till nya tillämpningar behövs personer som kan tänka fram hur den nya tekniken eller kunskapen kan användas. Vilka problem vill vi lösa och hur? ▷

FYRA NIVÅER AV AUTONOMI

Utvecklingen inom autonomi går snabbt i den civila sektorn. Samtal med analytiker och genomläsning av rapporter från Gartner på ämnet visar på en snabb utveckling som kan delas upp i fyra faser (se bild). Faserna utgår från olika nivåer av autonomi. Halvautonoma system har kapacitet till viss samexistens med människor och de måste få parametrarna för uppdraget tillförda från någon operatör. Systemen kräver olika typer av sensorer för att kunna orientera sig i sin omgivning, ofta optiska (exempelvis kameror) men även icke optiska sensorer som magnetometrar, accelerometrar och så vidare. Exempel på denna typ av system är olika typer av leveransdrönare. Exempel på bolag som nämns i sammanhanget är Starship i Storbritannien som utvecklar och underhåller leveransdrönare.

Fullt autonoma system har förmåga att tolka och förstå sitt uppdrag och kan på egen hand avgöra hur den på bästa sätt ska lösa sitt uppdrag. Den här typen av autonoma system kräver att systemet kan operera utan att operatören har direkt visuell kontakt med systemet. Existerande lagar i de flesta länder begränsar användningen av fullt autonoma system än så länge. Indien har dock godkänt för drönarflygningar utan visuell kontakt, och i USA så tror Gartner att när välgagen ändras så kommer tillämpningarna för autonoma drönare att explodera. Bättre AI och sensorer kommer att driva utvecklingen mot fullt autonoma

»Fullt autonoma system har förmåga att tolka och förstå sitt uppdrag och kan på egen hand avgöra hur den på bästa sätt ska lösa sitt uppdrag. Den här typen av autonoma system kräver dock att systemet kan operera utan att operatören har direkt visuell kontakt med systemet.«



system. Användningsområden som kommer att bli viktiga inom detta område är enligt Gartner framför allt inspektioner av infrastrukturer, till exempel inspektion av gasledningar eller andra installationer på avlägsna platser, eller platser som är för riskfyllda för människor att inspektera som höga master eller insidan på gasledningar.

PROAKTIVA SYSTEM

Proaktiva autonoma system. Dessa system kan utöka eller förändra sitt uppdrag under uppdragstiden, beroende på vilken information som systemet samlar in. Förmågan att själv kunna anpassa sitt uppdrag under uppdragets gång ökar värdet på denna typ av system. Instruktioner behöver vara mindre precisa och beroende på vad systemet upptäcker under uppdraget kan det själv fatta beslut om kompletterande handlingar som att fota eller filma ett särskilt område, eller kommunicera med ett annat system. Tekniskt så kommer denna typ av proaktiva system kräva än mer avancerade AI system och sensorer. I denna typ av system så bedömer Gartner att AI-system kommer att levereras som en service, även om själva drönaren (hårdvaran) är ett engångsköp. Leverantörer av AI-systemen samlar in information från systemen som opererar i olika miljöer och tränar algoritmerna och kommer med uppdateringar som förbättrar systemet kontinuerligt. Denna typ av proaktiva system leder till fler användningsområden som inte kunnat göras lönsamma tidigare. En konsekvens att beakta är den datainsamling som de autonoma systemen gör. Vad är det för data, var sparas den, vart tar den vägen? Ökad autonomi innebär också i förlängningen ett dataproblem som vi kanske inte alltid tänker på.

SAMVERKANDE SYSTEM

Kollaborativt autonoma system. Denna typ av system innebär att autonoma system samverkar för att lösa ett uppdrag. Det kräver att enheterna kan dela upp uppgiften och dela ut underuppgifter och samverka för att lösa uppgiften i sin helhet. Användningsområden kan vara drönare som utför mer avancerade inspektionsuppdrag eller där en större autonom lastbil delar ut uppgifter till mindre leveransdrönare som delar ut paketen den sista sträckan. Tankar om drönare som kan agera i svärm har funnits länge inom den militära sektorn men här handlar det om civila applikationer som Gartner bedömer kan bli verklighet runt 2030. Fram till 2030 så kommer alltså en snabb utveckling att ske inom autonomiområdet enligt Gartner. Områden som måste utvecklas för att det ska bli möjligt är bättre AI-mjukvara, snabbare processorer, snabbare kommunikation och gemensamma protokoll så att systemen från olika leverantörer kan samverka med varandra och slutligen måste även många lagar uppdateras.

MÅNGA HINDER PÅ VÄGEN

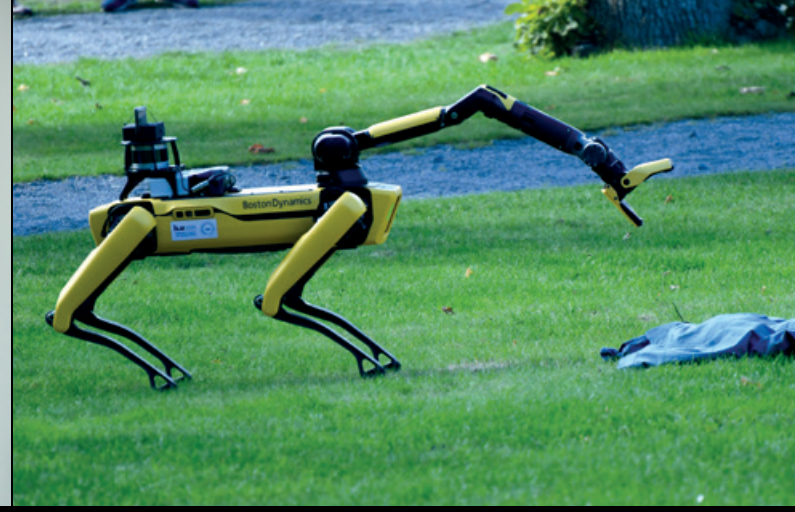
Framtidens gruvor och smarta städer kommer att kräva mycket mjukvara och systemintegration. Var går systemgränserna, vilka är gränssnitten mellan systemen och var finns ansvaret? I det större perspektivet kan begreppet autonomi delas upp för att beskriva olika nivåer av ett systems oberoende eller självständighet, precis som Gartner gör. En del system kommer att kräva mycket intelligens och vissa system mycket kommunikation och ibland kanske systemen måste agera helt autonomt för det finns inte möjlighet till varken kommunikation eller annan mänsklig inblandning. Under vissa tider av ett uppdrag kanske systemet måste uppnå full kollaborativ autonomi för att förhindra upptäckt och lösa uppgiften.

Det är många tekniska utmaningar som ska lösas på vägen och här blir forskarmiljöerna där lärosäten från olika länder och företag kan träffas och lära av varandra viktiga. Att skapa förutsättningar för olika kompetenser och bakgrunder att samverka och tänka nytt är avgörande. Utan skapandet av ny kunskap blir det heller inga system som löser framtidens behov. De grundläggande komponenterna för framtidens autonomi utvecklas i dessa forskarmiljöer som WASP.

FORSKNING NÄRA DET OKÄNDA

I ett tidigare nummer av teknisk prognos (19FMV2507-32:1) där den civila drönarutvecklingen studerades lyftes det fram att drönaren är en plattform för innovation och teknisk konvergens. Även till synes disparata teknologier och forskningsmiljöer som tas upp i detta nummer kan knytas till autonomi för att binda ihop det till en helhet. Genom att använda högentropi-keramer och maskininlärning inom materialforskningen kan vi utveckla nya material som är lättare och starkare för de autonoma systemen, genom säkrare maskininlärning blir de autonoma systemen säkrare och det finns en transparens i hur de faktiskt fungerar. De stora undervattensfarkosterna är ytterligare en tillämpning av många tekniker för att uppnå autonomi och de biologiska sensorerna kan integreras i autonoma system som ett komplement, eller användas som inspiration för hur man kan bygga svärmande system. Det finns till exempel forskning på hur fiskar i fiskstäm kan känna av hur stämets rör sig och var stämets börjar och slutar. Kan vi med syntetisk biologi ta kontrollen över biologiska system och skapa framtida bisvärmar som inte bara agerar som vanliga bin utan som en del i ny förmåga där tekniska system och biologiska system integreras? □

Mikael Schönström, fil.dr. FMV



ROBOTHUNDEN I GRÄNSÖ och undervattensroboten från SMaRC, här omgiven av Lysekils delikatesser, var några av huvudnumren när forskare visade upp vad robotarna kan göra i nätverk. Drönare är numer ett obligatoriskt inslag i dessa föreläsningar. Bakom scenen arbetas det hårt vid såväl skärmar som i den verkliga blöta miljön. Som synes går det åt mycket kabel i det trådlösa nätverket.

Utbildning och forskning hänger ihop. Utvecklingen drivs till stor del av unga forskare från hela världen som studerar vid de stora tekniska högskolorna i Sverige. Sommarens föreläsningar är inte bara en demonstration av teknologier utan också hur utbildningsmaskinen fungerar. Den drivs av forskning. □



AUTONOMI PÅ SCENEN

På sommaren visar forskarna vad de lärt sig på ett år. Autonomi var temat vid föreläsningar i Västervik och på Västkusten.

EN FARKOST GÅR AN TVÅ KAN GÅ BRA

Autonomi under vattenytan ställer frågan om autonomi på sin spets för farkosterna kan inte ropa på hjälp eftersom man saknar kommunikation med ytan. En svärm autonoma undervattensfarkoster blir som ett samverkande system i rymden.

Det är full fart till och med 2023 och sedan blir det en avrundning. Då har projektet hållit på i drygt sju år. Ivan Stenius, biträdande professor vid Kungliga tekniska högskolan, KTH håller i rodret och arbetar nu med att lägga ut kursen för en fortsättning. Skulle det inte bli av blir det enligt Ivan Stenius mycket dyrare att starta på nytt. Agnarna har hunnit spridas för vinden.

Projektet kallar sig SMaRC och det står för swedish maritime robotic centre och är landets största akademiska satsning på undervattensrobotik. Under några dagar i juni visade man upp sin forskning i form av seminarier och demonstrationer vid Kristinebergs center för marin forskning utanför Fiskebäckskil.

IVAN STENIUS SÄGER att det är strategiskt viktigt att ha kompetens som har en stark nod i ett lärosäte.

– Vi måste kunna arbeta i forskningsfronten och kunna lägga fram en femårsplan för annars kan vi inte ta emot doktorander. Myndigheter och företag behöver rekrytera, men alla måste utbildas någonsans och utan forskning blir det ingen utbildning och utan pengar blir det ingen forskning.

– Det gäller att skapa ett sug kring forskningen

och ett problem är det svaga intresset hos svenska ungdomar och hos kvinnor i allmänhet. Vi hade 70 sökande till doktorandtjänster. Av dessa var en eller två svenskar och bara sex av sjuttio var kvinnor. Vi i Sverige ligger efter och ska vi komma ifatt måste vi satsa. Event och demonstrationsdagar ska öka intresset, men det räcker inte. Det bästa sättet att locka ungdomar till forskningen är forskningen själv.

I demonstrationer visades olika typer av autonoma undervattensfarkoster. Men vad är autonomi för Ivan Stenius?

– En farkost går an. Två kan gå bra. Det svåraste är att bilda ett lag där farkosterna samverkar i till exempel ett sökmönster och där man bara delar en liten del av informationen. Det ger en viss precision i positioneringen. Det är svärmen, och inte de enskilda farkosterna, som håller ordning på var man är. Det ger en viss robusthet. Man har råd att tappa en farkost för de andra tar över. Autonomi under vattenytan ställer det hela på sin spets för farkosterna kan inte ropa på hjälp eftersom de saknar kommunikation med ytan. Det blir som samverkande system i rymden. Det innebär att man måste göra farkosterna smartare. Man måste göra saker på ett annat sätt. En viss draghjälp har vi av andra typer av drönare.

Autonomi vilar på några grundpelare som kom-

munikation, navigering och energiförsörjning.

– Man kan tänka sig olika energiuttag under ett uppdrag och en kombination av olika energikällor som till exempel batteri och bränsleceller. Energihantering över lag kan handla om att hushålla med energin, stänga av vissa funktioner och därmed se till att det finns kräm kvar till returresan. Målet med farkosten är att samla in data. Ju svårare det är, som till exempel i Arktis, desto mer kostar det och desto dyrare blir datan.

En demonstration i Kristineberg visade hur en liten farkost kunde "trampa vatten" och står på aktern.

– Den traditionella torpedliknande drönaren kräver fart för att styra och manövrera. En fjärrstyrd farkost, remotely operated vehicle, ROV är mer som en låda med propellrar i hörnen där varje propeller har sin egen drivkälla. Den lilla torpeden är snabb och har räckvidd, men begränsad manöverförmåga. Kan vi med smarta tricks få en strömlinjeformad AUV att manövrera som en ROV kan man göra ROV-jobb längre bort och dit en ROV inte når. Kan man sedan göra dessa som en svärm så har man skapat en svärm

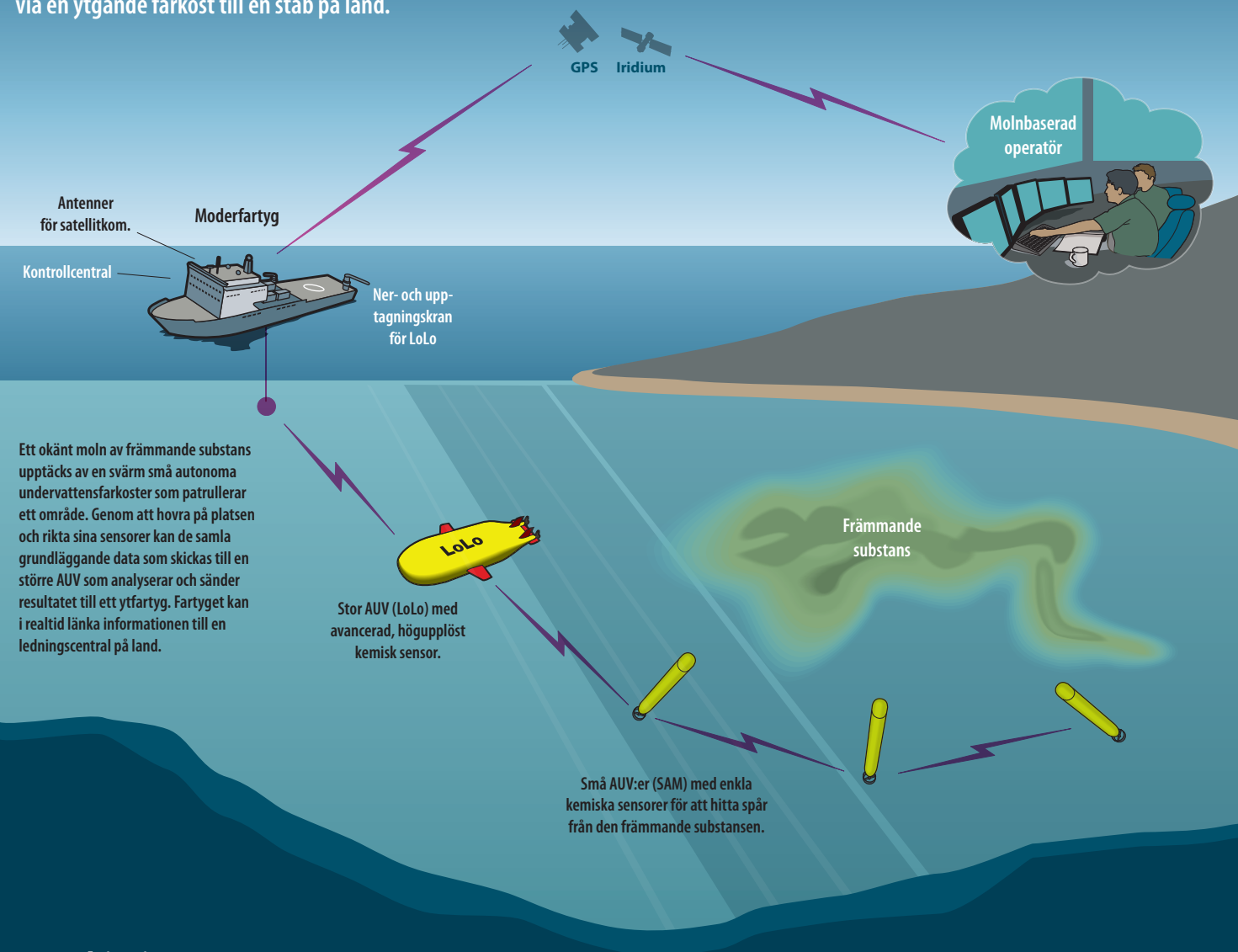


med en propeller i varje hörn och farkoster på land och luften och i sjön kan göra olika saker tillsammans, säger Ivan Stenius.

– Det märkvärdiga är inte att få den lilla farkosten att stå på aktern utan att vi kan visa att den kan rikta en sensor. Den skulle kunna peka ut en misstänkt mina med sin sensor och i en framtid kanske det kommer en svärm som spanar över ett större område. □

Autonoma uppdrag i svenska vatten

Att spana efter olagliga utsläpp eller att sköta om en algfarm, ett nätverk av små AUV:er (autonomous underwater vehicles) som tillsammans med en medelstor autonom undervattensfarkost, som till exempel SMarC-projektets LoLo och SAM, kan utföra flera självständiga uppgifter och länka värdefull data via en ytgående farkost till en stab på land.



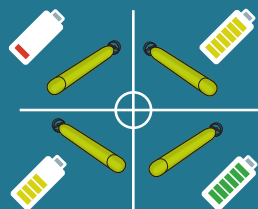
Ett okänt moln av främmande substans upptäcks av en svärm små autonoma undervattensfarkoster som patrullerar ett område. Genom att hovra på platsen och rikta sina sensorer kan de samla grundläggande data som skickas till en större AUV som analyserar och sänder resultatet till ett ytfartyg. Fartyget kan i realtid länka informationen till en ledningscentral på land.

Framdrivning

Den vanligaste framdrivningsformen för mindre UUV:er är batteridrivna elmotorer. Men det experimenteras också med bränsleceller. En teknik för att täcka stora områden under lång tid är undervattensglidare som drar minimalt med energi.

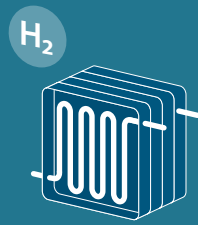
Batterier (litiumjon)

Den vanligaste framdrivningsformen för mindre AUV:er är batteridrivna elmotorer. Ett intelligent system i nätverket viktat hela tiden svärmens batteribudget. Det är dyrtast med kommunikation och framdrivning. Passiva sensorer drar inte lika mycket som aktiva.



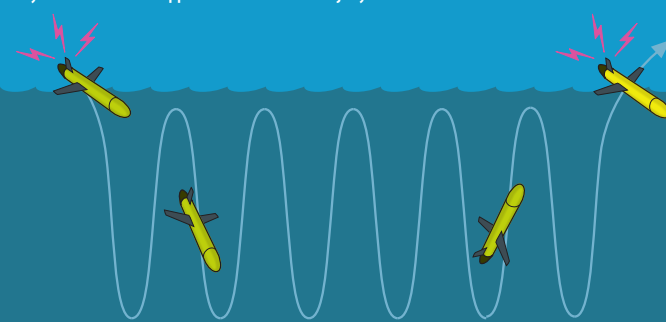
Bränsleceller

Bränslecellsteknologin har inte riktigt slagit igenom ännu och är fortfarande dyr och komplex. Fördelarna är lång drifttid. Bränslecellen tar relativt mycket plats men väger mindre än batterier vilket är gynnsamt för flytförmågan.



Undervattensglidare

En undervattensglidare har variabel lyftkraft och är utrustad med bärplan som gör att den kan glida framåt medan den pumpar ut vatten och sjunker. På ett visst djup byter farkosten till positiv lyftkraft och klättrar uppåt och framåt. Efter varje cykel kan radion sända och ta emot.



I OCEANERNAS DJUP FINNS MÅNGA SVAR

Drömmen om havet väcktes när jag kom till Bremen. Det har för Clemens Deutsch lett till en doktorsavhandling om undervattensrobotar. De är nödvändiga för att studera miljön, säger han.

Ivattnet vid Kristinebergs marina centrum demonstredes, inom projektet SMarC (Swedish Maritime Robotics Centre), vad autonoma undervattensfarkoster kan göra. Inne i föreläsningssalen lade Clemens Deutsch fram sin avhandling om hur man ska tackla de svåraste problemen med dessa farkoster – att öka räckvidden och uthålligheten.

Undervattensdrönare, på fackspråk Autonomous Underwater Vehicles, AUV får en allt större användning både civilt och militärt. En AUV är bättre än ett fartyg på att studera undervattensmiljön. Den kan nå de svåraste ställena som under Antarktis ismassa. Autonomi i detta sammanhang ska tolkas som att en AUV ska kunna fatta egna beslut och anpassa sig till en förändrad situation.

Räckvidd och uthållighet beror främst på framdrivning och energilagring. Hög fart gör att man kommer långt på kort tid, men till priset av att energin snabbt tar slut. Eller så håller man en lägre fart och ökar uthålligheten. Det blir ett val mellan räckvidd och uthållighet.

Det är i korthet dessa problem som Clemens Deutsch studerat inom ramen för SMarC-projektet.

Det vanligaste sättet att driva en AUV är med propeller. Det ger fart och en bra räckvidd på kortare tid. Men om uthålligheten är viktigare än farten finns alternativet att låta farkoster färdas i vattenvolymen ungefär som ett segelflygplan färdas i luften. En segelflygare letar efter uppvindar för att vinna höjd. En

AUV kan vara en glidare som pumpar ut vattnet, ökar flytförmågan, stiger, pumpar ut vatten, sjunker och färdas framåt. Glidarna kan färdas långt. Det går inte fort och de kan inte ta mycket last.

De flesta AUV:er drivs med batterier som till exempel uppladdningsbara litiumjonbatterier. Ett annat spår är bränsleceller där forskningen har pågått länge. Förmodligen väljs i framtiden en hybrid med både batterier och bränsleceller. Clemens Deutsch säger att de försök han gjort med bränsleceller visar att energitätheten ökar med 20 procent. Den typ av vätskebehållare som använts är dock inte gjord för undervattensbruk. En fördel med ett system med bränsleceller är att de är lättare än batterier. De tar visserligen mer plats, men ökar farkostens flytmånga jämfört med batterier.



CLEMENS DEUTSCHS KÄRLEK till havet väcktes när han kom till Bremen för att studera.

– Jag visste inte riktigt vad jag ville men fick smak för skepp. Skeppsbyggnad är dock numer en liten marknad. Vi bygger kryssningsfartyg och anläggningar till oljeindustrin och vindkraftverk. Skeppsbyggnadsstudier idag är allt som flyter och undervattensrobotar. Efter en tur till Indien, där jag träffade svenskar, lockade Sverige och jag hamnade här för mina fortsatta studier. Jag ville pröva något annat än Tyskland. Norge, Finland, Sverige, Storbritannien och Frankrike var länder som jag valde mellan. Det blev Sverige av olika anledningar. Det sociala nätverket, programmet och Sverige som land. Och nu är jag här.

Clemens Deutsch kom in på undervattensrobotar när han studerade hur is påverkar oljeanläggningar till havs i Norge. Nu säger han att robotarna är verktyget för det som intresserar honom mest – miljön, klimatförändringen och där svaret på många frågor finns i oceanernas djup. Och för att finna svaren behövs autonoma undervattensfarkoster. □



DET SKA VARA ORDNING PÅ DE OBEMANNADE FARKOSTERNA

I det gamla invasionsförsvaret spelade den så kallade begåvningsreserven en stor roll. Fältflygaren kunde bli general, plutonchefen överbefälhavare. Men fortfarande kan försvaret hitta begåvningar och utbilda dessa. Therese Tärholm började som värnpliktig ubåtsmaskinare. Nu har Therese Tärholm, som är trebarnsmor, kommit halvvägs på vägen till sin doktorsexamen.

Temat för avhandlingen är System of platform-centric warfare. Det handlar om sociotekniska system eller vad som händer med en organisation när det kommer ny teknologi.

– Jag började 1995 som värnpliktig maskinare på ubåten Uppland. På den tiden var värnpliktsutbildningen endast frivillig för kvinnor. Det finns inget bättre ställe att jobba på än i en ubåt. Den gemenskap som uppstår där liknar inget annat, säger Therese Tärholm som fortsatte i marinen efter värnplikten och var på Gotlandsubåtarna 1998–2001 och var bland annat med Halland i Medelhavet.

THERESE TÄRNHOLM LÄSTE till civilingenjör i maskinteknik, arbetade på ubåtsflottiljens stab och Försvarets materielverk, FMV med ubåtsfrågor. 2019 blev hon försvarsmaktsdoktorand och har Hans Liwång som mentor. Hans Liwång är knuten till Försvarshögskolan, FHS och är verksam vid Kungliga tekniska högskolan, KTH.

– Han tyckte att SMaRC-projektet skulle vara en bra plats för mig för att förstå tekniken och relatera den till hur en organisation som Försvarsmakten reagerar på ny teknik. Nu har jag kommit halvvägs i mina studier. 80 procent av min tid är jag på KTH för att gå kurser och söka material till artiklar. Resten av tiden är jag på marinstaben för att följa forskning och teknikutveckling. Jag har fått mycket input den senaste tiden och kanske vrider min vy lite grann mot etiska och legala aspekter för autonoma och obemannade system. Regelverken talar mycket om bemannade farkoster. Frågan är om dessa regler är giltiga även för obemannade farkoster. Hur klarar till exempel en obemannad farkost att följa sjöreglerna? Undervattenssidan är på ett sätt enklare. Där finns inte så mycket mänsklig närvaro som på ytan. På land och i luften har dessa diskussioner om autonomi kommit mycket längre. Men det finns redan nu mycket man kan göra med de ▷

»Regelverken talar mycket om bemannade farkoster. Frågan är om dessa regler är giltiga även för obemannade farkoster. Hur klarar till exempel en obemannad farkost att följa sjöreglerna?«

autonoma systemen fast exempelvis räckvidden är begränsad, om man tidigt börjar se till och förstår det taktiska användandet av systemet. Vi måste ha beredskap för att tekniken utvecklas och räckvidden ökar. Hur garanterar man att den obemannade farkosten inte kränker gränser? En av många frågor.

Therese Tärnholm studerar ubåtar och obemannade farkoster ur ett brett perspektiv.

– Vi måste hela tiden tänka i termer av förmågor. Vi bygger system för att bli så effektiva som möjligt. Behovet av förmågor ligger relativt fast vare sig det gäller till exempel spaning eller minröjning. Men verktygen ändras med ny teknik. Hur anpassar sig organisationen till denna förändring? Tekniken är en av flera förutsättningar för att skapa en förmåga. Men det behövs också personal, utbildning och doktrin. Olika organisationer, som till exempel Nato har sina egna sätt att se på dessa förutsättningar för förmåga, men grunderna är ofta desamma. Tyvärr kommer tekniken i regel först medan regelverk, lagar och taktik kommer i efterhand och det gör att alla delar inte spelar samma roll när förmågan utvecklas. Men man måste köra alla spår parallellt.

– Man måste förstå tekniken bakom undervattensfarkoster. Denna tekniska grundförståelse tar jag med mig i dialogen uppåt. De taktiska tankarna måste vara med från början. Liksom de legala aspekterna som behöver ingå i doktrinen. Vi kan inte utveckla något som bryter mot internationell lag. Vi måste få in ett medvetande om samarbeten tidigare i processen. Det kan gälla mellan försvarsgrenar, mellan det militära och civila försvaret och mellan Sverige och andra länder.

– Autonomi kan ibland upplevas som skrämmande. Tanken på mördarrobotar dyker upp. Målet med autonomi är att avlasta människan och då måste vi förstå vilka beslut farkosten kunna ta själv. Maskinen är generellt bättre än människan på att se mönster som förändras långsamt eller förlopp som går väldigt snabbt. Autonomi som beslutsstöd har funnits länge som till exempel i våra sjöbevakningscentraler och i lufvärnssystem.

FÖR ETT PAR decennier sedan handlade tankar om framtida ubåtar om modularitet, där enskilda system kan bytas ut beroende på uppgift eller vid behov av uppdaterade system för nya uppgifter.

För Therese Tärnholm är modularitet på ett högre plan, en del av ett större system och ingår i diskussionen om förmågor.

– Man måste utgå från förmågor och inte från plattformen, då plattformstänket kan begränsas av antalet enheter och vilka funktioner de besitter för tillfället. Allt behöver inte handla om modularitet i själva plattformen utan snarare så sitter flexibiliteten i hur man bygger nätverken runt ubåten. Ubåten skulle vara en informationsinhämtare som lägger ut och

»Autonomi kan ibland upplevas som skrämmande. Tanken på mördarrobotar dyker upp. Målet med autonomi är att avlasta människan och då måste vi förstå vilka beslut farkosten ska kunna ta själv.«

nyttjar nätverk av sensorer under ytan. Alla de här olika förmågorna kommer att ha olika behov av kontroll och kommunikation beroende på uppgift och vilka man ska verka tillsammans med.

När Therese Tärnholm försöker se in i framtiden säger hon att Försvarsmakten måste vänja sig vid att teknikutvecklingen driver upp tempot och då räcker inte de sedvanliga långsamma processerna vid upphandling av nya system. På det praktiska planet talar Therese Tärnholm om minröjning där man redan idag har kommit längst med tankar kring obemannade och delvis autonoma system, även om dagens obemannade minröjningssystem är i huvudsak fjärrstyrda.

– I framtiden tror jag att ett fartyg kan styra eller nyttja kanske tio obemannade farkoster som spanar efter och röjer minor. □

DATASPEL LÄR ROBOT FATTA RÄTT BESLUT UNDER HAVSYTAN

I dataspel används så kallade beteendeträd för att styra maskiner och människor. Beteendeträdet är modulärt. Man slipper ta hänsyn till ett otal möjligheter. Petter Ögren har använt metoden för att simulera luftstrid. Nu ger han sig på undervattensrobotar.

För drygt tio år sedan grubblade Petter Ögren över hur man kunde skapa AI för en luftstrid. Lösningen blev beteendeträd och nu har Petter Ögren planterat träden under vattenytan i SMaRC-projektet som leds av Kungliga Tekniska Högskolan, KTH där han är professor vid avdelningen för robotik, perception och lärande.

Efter att ha doktorerat på autonoma system arbetade Petter Ögren på Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI mellan åren 2003 och 2012.

– På FOI handlade det mest om obemannade farkoster. Runt 2010 kom en förfrågan från flygvapnets simuleringscenter för luftstrid (FLSC) som ligger i FOI:s anläggning i Kista. Problemet som skulle lösas var att göra utbildningen effektivare. Hälften av piloterna fick spela fiender i luftstriden, men tänk om man kunde skapa en AI för motståndaren? Jag som var teoretikern i gruppen grubblade över detta när praktikern, en duktig programmerare, frågade om jag prövat metoden beteendeträd som användes i dataspelsbranschen. Vad är beteendeträd för något undrade jag. Det skulle visa sig vara lösningen, och att den grunddesign som vi skapade då fortfarande används, om än med ett antal tillägg och anpassningar, är i dessa sammanhang ett bra betyg. ▷



»I luften har man tillgång till kraftiga radiolänkar, och därmed en möjlighet för människor att fjärrstyra autonoma farkoster vid behov. Med obemannade undervattensfarkoster, AUV:er, är det värre«

I DEN MODERNA luftstriden finns motståndaren på andra sidan horisonten. I luftstriden ingår många olika pilotförmågor som till exempel formationsflygning, målval och anflygning mot det valda målet, förberedelse inför och avfyran av robotskott, att flyga offensivt för att skydda kamrater, att flyga defensivt när man själv är hotad, och göra undanmanövrer man blir beskjuten, för att nämna de viktigaste.

– De här olika förmågorna kan vi kalla beteenden. Nu skulle dessa beteenden designas och sättas ihop på ett bra sätt. Det klassiska sättet att sätta ihop beteenden är med hjälp av en tillståndsmaskin, där varje beteende som körs ansvarar för att avgöra om det självt ska fortsätta, eller om ett annat beteende ska köras. Ett välkänt problem med tillståndsmaskiner är dock att det totala antalet möjliga övergångar mellan beteendena är väldigt stort, och helheten blir därför snabbt komplex och svåröverskådlig när antalet beteenden växer. Och det är detta problem som beteendeträdet kan lösa. Beteendeträdet är nämligen väldigt modulärt, och modularitet är ett klassiskt sätt att hantera komplexitet, i allt ifrån mjukvara med tusentals rader kod, till fordon med oräkneliga delsystem.

– Så blev det demonstration. Fyra blå flygplan skulle i en luftstrid möta fyra röda (fienden). Vi hade inte i förväg talat om vilken styrka som var riktig och vilken som var simulerad. De närvarande experterna kunde inte se skillnaden, vilket tolkades som att demonstrationen gått bra.

I LUFTEN HAR man tillgång till kraftiga radiolänkar, och därmed en möjlighet för människor att fjärrstyra autonoma farkoster vid behov. Med obemannade undervattensfarkoster, AUV:er, är det värre. Vatten dämpar elektromagnetiska signaler kraftigt, och vad som återstår för kommunikation är akustiska modem, med räckvidd och bandbredd som inte är i närheten av vad radiovågor kan erbjuda i luft. AUV:er har därför ingen möjlighet att begära hjälp från en mänsklig operatör om en svår situation uppstår. De måste lösa uppgiften själva, och sedan ta sig tillbaka till sin hemmabas, eller platsen där de ska plockas upp av en båt. Dessa krav gör att beteendeträd är en lösning som även passar AUV:er mycket bra, eftersom man enkelt kan lägga in både beteenden för att lösa nödsituationer, och alternativa strategier som används om de normala strategierna av någon anledning inte fungerar.

– Jag sa tidigare att beteendeträd är modulära, säger Petter Ögren. Nyckeln till detta är att varje beteende inte behöver bestämma vilket annat beteende det ska lämna över till, som i tillståndsmaskinen. Istället behöver varje beteende bara berätta hur det klarar sin egen uppgift just nu. Säg att en AUV håller på att docka med en laddstation, antingen lyckas den (Success), eller så misslyckas den (Failure), kanske på grund av att den inte hittar laddstationen, eller så försöker den fortfarande (Running), och det är för tidigt att avgöra om den kommer att lyckas eller inte.

Denna information (Success/Running/Failure) används sedan för att avgöra om ett annat beteende ska köras. Vissa beteenden kombineras i så kallade Sequence-noder (pil i figuren), där varje del måste returnera Success för att nästa ska startas, till exempel. Så måste man först lyckas med dockningen innan man börjar ladda batteriet. Andra beteenden kombineras i Fallback-noder (frågetecknet i figuren), där varje del måste returnera Failure för att nästa ska startas.

Dessa används för att lista alternativstrategier, till exempel så kan man börja söka i spiralmönster om man inte hittar laddstationen efter att ha åkt till positionen där man tror att den är. Genom att lägga in sådana alternativlösningar kan man göra en AUV mer robust och öka chanserna för att den lyckas genomföra sitt uppdrag, utan att komplexiteten i systemet blir alltför stor. Därmed har en teknik som skapades i dataspelsbranshen via luftstridssimuleringar nu även hittat ned i SMaRCs undervattensrobotar. □



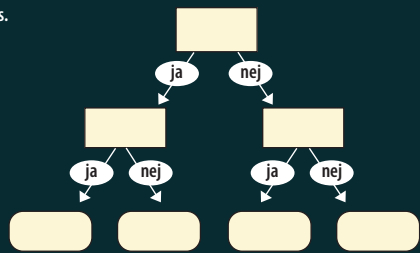
Vad händer härnäst? Det är frågan



Att få en robot eller agent att veta vad den ska göra härnäst är en ständigt pågående utmaning i den autonoma världen. Nedan visas fyra sätt att få en agent eller robot att uppvisa ett autonomt beteende. Alla har sina för- och nackdelar, och kan också kombineras genom att man låter ett system ta högnivåbeslut och ett annat sköta exekveringen av beslutet på lägre nivå.

Beslutsträd

Ett beslutsträd är en struktur där beteendena finns på understa raden och raderna ovanför innehåller ett antal frågor. Från varje fråge-ruta går en ja-pil och en nej-pil vidare till raden under. Efter att besvarat ett antal frågor kommer man så fram till vilket beteende som ska köras.



Fördelar

Lätt att implementera

Lätt att förstå hur det fungerar

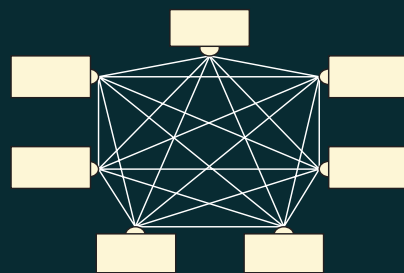
Nackdelar

Kan vara svårt att välja vilka frågor som ska ställas och i vilken ordning.

Till skillnad från beteendeträd finns ingen möjlighet att gå uppåt i trädet

Ändliga automater

Kallas på engelska Finite State Machines. Här ritas beteendena som rutor, och övergångarna mellan dem som pilar. När ett beteende körs är det samtidigt ansvarigt för att avgöra när och om ett annat beteende är mer lämpligt att köra.



Fördelar

Lätt att implementera

Lätt att förstå hur det fungerar

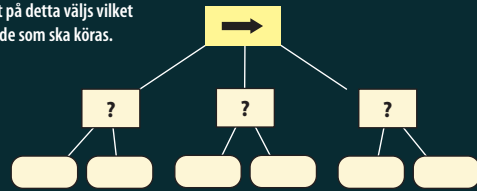
Nackdelar

När antalet beteenden växer så blir antalet möjliga övergångar väldigt stort och därmed svåröverblickbart.

Eftersom varje beteende ska avgöra om ett annat är mer lämpat måste alla beteenden ha full kunskap om alla andra, detta försämrar modulariteten.

Beteendeträd

Ett beteendeträd påminner om ett beslutsträd på så sätt att beteendena finns på understa raden. De övre raderna innehåller dock inte frågor, utan noder som skickar information både upp och ner. Uppifrån kommer frågan om noden vill köra, och nedifrån kommer statusinformation som visar om deluppgiften är avklarad, om den är pågående, eller om den inte går att genomföra. Baserat på detta väljs vilket beteende som ska köras.



Fördelar

Modulärt, eftersom beteenden inte behöver veta vad andra beteenden gör, utan kommunicerar i termer av huruvida de kan lösa sin uppgift eller inte.

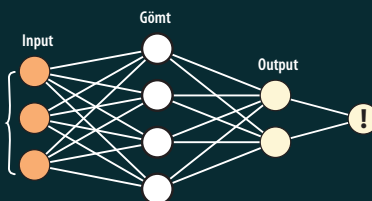
Transparent och läsbart, trädstrukturen och modulariteten gör det relativt lätt att förstå.

Nackdelar

Lite mer komplicerat än ändliga automater och beslutsträd, både att lära sig och att implementera.

Neurala nätverk och maskininlärning

I ett neuralt nätverk tas beslutet längst till höger i bilden (output) och sensordata matas in längst till vänster (input). Genom att välja parametrar i de inre noderna (som kan vara flera miljoner) kan i princip vilket beteende som helst skapas. Parametrarna ställs in genom en inlärningsalgoritm som ofta behöver stora mängder data och beräkningstid.



Fördelar

Med tillräckligt mycket data och beräkningskraft kan extremt hög prestanda nås, utan att mänsklig kunskap behövs.

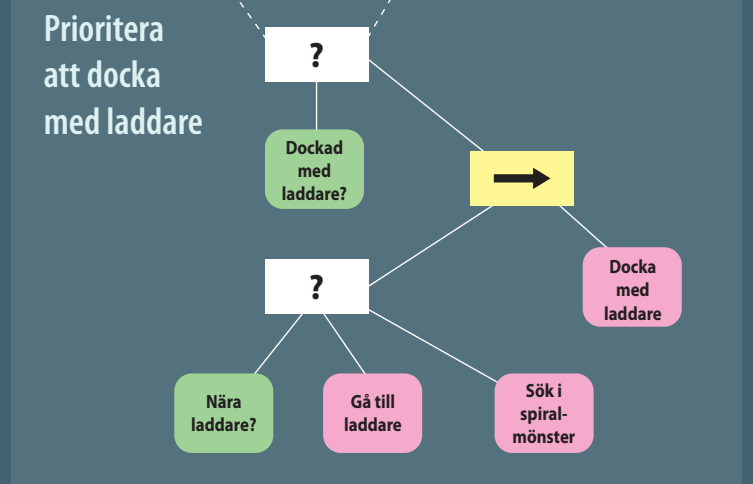
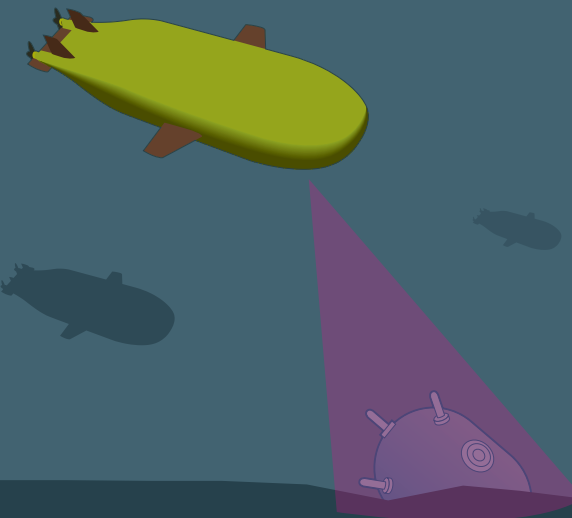
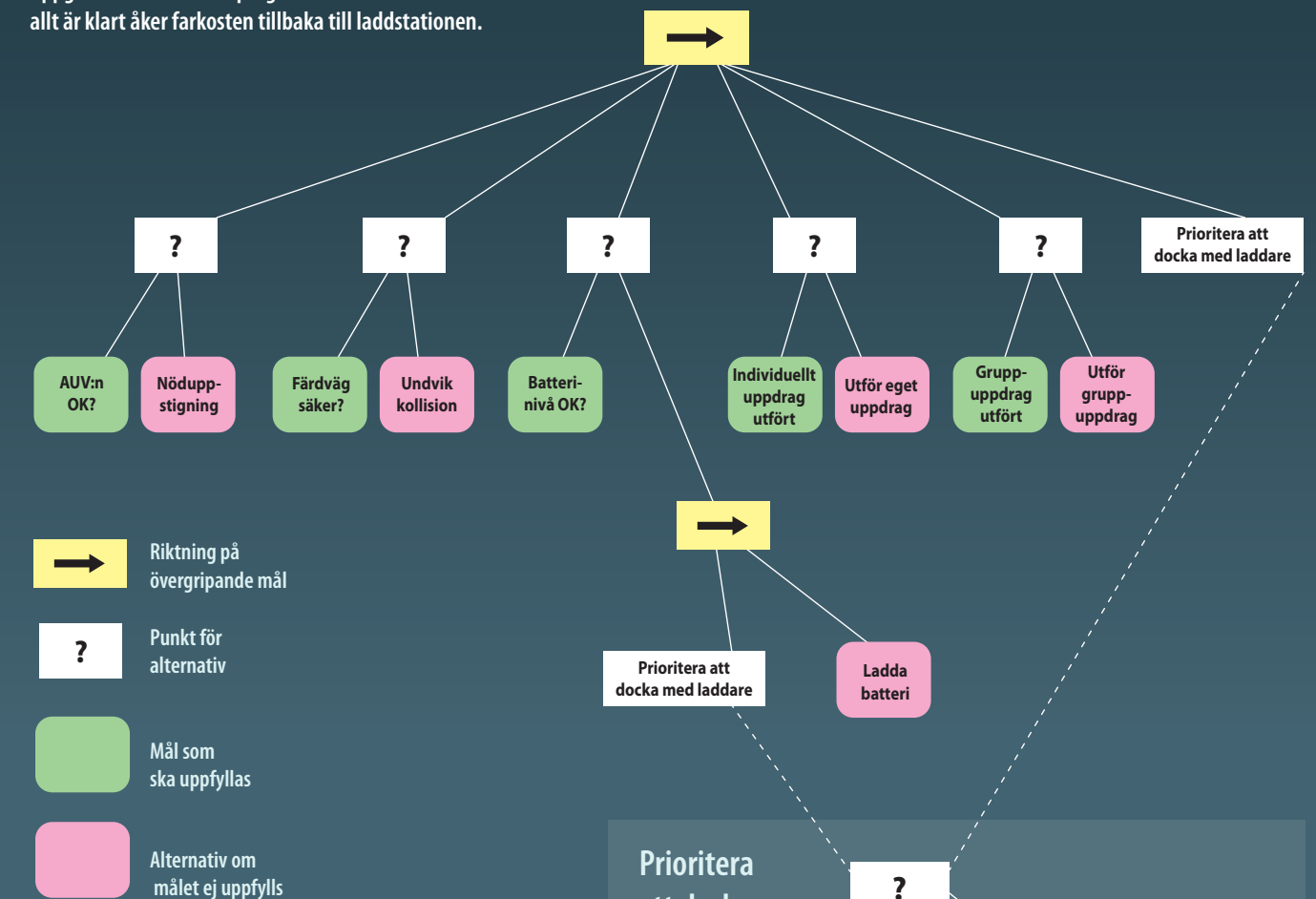
Nackdelar

Eftersom beslutet är en kombination av miljontals parametrar är det svårt att förstå i vilka situationer ett neuralt nätverk inte fungerar, och hur det beter sig då. Detta kan skapa problem i säkerhetskritiska tillämpningar där man vill kunna garantera ett visst uppträdande. Ibland är det svårt att få inlärningen att fungera som man tänkt sig.

Ett beteendeträd för att styra en AUV

Varje rosa ruta kan innehålla ett nytt beteendeträd för att lösa en deluppgift. De gröna rutorna är övergripande mål i prioritetsordning. Om farkosten inte fungerar stiger den upp till ytan. Vid risk för krock gör den en undanmanöver. Om batteriet sinar laddas det.

När farkostens grundbehov är tillgodosedda kan den gå vidare med de individuella uppgifterna och gruppuppgifterna som den är programmerad att utföra. När allt är klart åker farkosten tillbaka till laddstationen.



Delträdet för laddning finns på två ställen. När ett högre prioriterat mål inte uppfylls övergår farkosten till att lösa det. Om batteriet börjar ta slut, lägger farkosten för tillfället uppdraget åt sidan, laddar batteriet och återupptar uppdraget såvida inte andra farkoster har löst uppgiften.

UNGA FORSKARE OCH AUTONOMI

I vimlet bland alla skärmar, apparater, föredrag och demonstrationer under WASP-dagarna på Gränsö var två unga forskare från Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI med för första gången. Att bara gå runt och prata ger nya idéer. Diana Saleh och Victor Lindholm är i början av sina forskarbanor. Inte så överraskande arbetar de med autonomi som kan ses som ett övergripande tema för WASP-evenemanget.

Diana Saleh studerade civilingenjörsprogrammet inom design och produktutveckling vid Linköpings universitet. Hon är uppväxt i Linköping och när det var dags att göra examensarbetet fanns en intressant möjlighet att göra detta på FOI i Linköping.

– Mitt examensarbete handlade om samspelet mellan människa och maskin och hela kedjan från behov till koncept, säger Diana Saleh. Maskinen var en obemannad markfarkost, UGV och Diana Saleh fokuserade på interaktionsdesignen och undersökte hur man kan styra en UGV där hon utformade en prototyp som hon sedan testade med de tilltänkta användarna.

Hur styrs en UGV? Hur ska gränssnittet vara? Vilka funktioner ska styrdonet innehålla? Alternativen är många. Verkligheten sorterar bort en del. Ett exempel är förstärkt verklighet, augmented reality som fungerar bra i laboratoriet, men i verkligheten är det ljus och då bleknar den förstärkta verkligheten.

– Eftersom examensarbetet gjordes under pandemin hamnade en stor del av mitt fokus på hur jag utvecklar en metod för att testa användargränssnitt för UGV:er med användare på distans. Något som vi har kunnat utveckla vidare i projektet, säger Diana Saleh.

Victor Lindholms väg till att bli försvarsforskare har delvis gått via försvaret.

– Jag gjorde frivillig grundutbildning vid K 3 i Karlsborg och det ledde till att jag var anställd soldat i två år. 2015 började jag studera i Linköping och specialiserade mig på artificiell intelligens och maskininlärning. Det ledde fram till en civilingenjörsexamen och under somrarna läste jag vidare till reservofficer och blev fänrik, säger Victor Lindholm som gjorde sitt examensarbete inom samma övergripande projekt som Diana Saleh.

– Jag studerade vad en användare vill ha för funktioner i en UGV i urban miljö. Här hade jag nytta av mina militära kontakter och projektet kunde delvis göras som ett fältförsök vid Kvarn. Diana som var klar med sitt examensarbete var min handledare. Jag förberedde moment för övningen och gjorde olika scenarier, berättar Victor Lindholm.

SCENARIERNA VAR ATT spana längs gator, söka av byggnader inomhus och leverera ammunition till en grupp i en farlig miljö.

– Vi använde två typer av farkoster, en hjulgående och en som gick på fyra ben. Efter övningen gjorde vi gruppintervjuer där de medverkande fick dela med sig av sina erfarenheter. Resultaten är naturligtvis inte uppseendeväckande utan snarare vad man kunde väntat sig. Det vi tar med oss är metoden och scenarierna som kan användas igen.

Det militära intresset och läget i vår omvärld anger Victor Lindholm som skäl till varför han tackade ja när



Victor Lindholm och Diana Saleh

FOI erbjöd honom en anställning efter examensarbetet.

– Det är ett ganska vanligt sätt att komma in på FOI som söker ungdomar. Jag var nog en av cirka tjugo som började på FOI i Linköping via examensarbetet. Men det är inte många civilingenjörer som har militär erfarenhet och någonstans kände jag väl att det vore bra om min militära bakgrund kunde användas i forskningen.

För Diana Saleh var det möjligheten att få arbeta med obemannade markfarkoster som lockade till FOI.

– En militär UGV sätter frågorna på sin spets. Det handlar helt plötsligt inte om ett obemannat fordon som ska ta sig fram på en rak och enkel väg med en tydlig infrastruktur utan om ett fordon som ska ta sig fram i en svår och komplex terräng där vägar inte är en självklarhet och där insatserna kan handla om liv eller död. Det gjorde det intressant och framförallt viktigt. Nu jobbar jag med att använda mina designstudier till att utveckla metoder för att testa och undersöka framtidens autonoma farkoster.

Båda två arbetar på samma enhet människa–teknik–organisation. De arbetar med fältförsök och gör simuleringar i ett ledningslaboratorium. De säger att man kan göra mycket i labbet som att skapa en virtuell robot, stoppa in den i ett scenario och låta personer testa.

De unga forskarna är i början av sina yrkesliv och är medvetna om att det förmodligen till stor del kommer att präglas av autonoma system.

– Det är en snabb utveckling, men mycket släpar efter som till exempel moraliska och etiska aspekter, säger Victor Lindholm.

– Ju mer man arbetar med autonomi desto svårare blir det att förklara begreppen, menar Diana Saleh. Speciellt när det finns ett sånt stort spektrum på vad "autonomi" är som växer sig större i takt med att vi lär oss mer om tekniken och hur vi kan samarbeta med den. □

IDÉERNA VÄXER I REGNSKOGEN

Det är bättre för Saab att vi ser det disruptiva själva än att det kommer utifrån som en överraskning för Saab. Axel Båathe sitter i projektgruppen Regnskogen där det är tillåtet att misslyckas.

Ett modernt företag som Google. Eller ett traditionstyngt försvarsföretag. Hur ska Saab locka framtidens tekniker? I den nya världen kommer autonomin att spela en större roll. Disruptiva teknologier kan snabbt förändra spelplanen. Saab har insett att man inte kan komma ifrån dessa frågor. Det interna uppstarts företaget Regnskogen kan vara en del av svaret.

Axel Båathe, nyss fyllda 25 är full av entusiasm. Han började på Kungliga tekniska högskolan, KTH när han var femton år gammal. Bra stöttning från föräldrar och lärare, säger han och medger att han haft en viss fall-enhet för naturvetenskap. Tålmod och målinriktning kommer från ungdomsårens simträning. En bakgrund som han delar med Diana Saleh också en ung forskare i början av karriären och intervjuad på sidan 43.

SEDAN ETT DRYGT är arbetar han tillsammans med sju andra i Regnskogen som startade som en organisation för att utmana det konventionella och locka talanger till Saab. Mycket i Regnskogen handlar om disruptiva teknologier.

– Det är bättre att vi ser det disruptiva själva först än att det kommer utifrån som en överraskning för Saab, säger Axel Båathe.

»Regnskogen är ett försök att skapa ett utrymme för det disruptiva. Vi uppmanas att tänka i nya banor och det är tillåtet att misslyckas. Vi utvecklar inte produkter utan nya ingångar till att se hur produkter kan användas.«



– Det disruptiva är inte bara teknikutveckling utan ofta generering av nya beteenden. När vi gick från den vanliga vinylskivan till CD-skivan så var det ett stort tekniskt framsteg. Men i grunden ändrades inte beteendet. Vi gick till skivaffären och för att få tag på favoritlåten måste man köpa hela skivan. Så kom nätet och med detta strömningstjänster som Spotify. Du äger inte musiken utan prenumererar på den. Har du bara tillgång till nätet har du också tillgång till all världens musik. Steve Jobs insåg skillnaden mellan en ny sorts telefon och ett helt nytt att kommunicera. Nokia såg inte faran i tid. När iPhone kom sålde Nokia inte sämre direkt, men efter några år hade människors beteenden ändrats och iPhone sålde mycket bättre. Den egna försäljningen hos Nokia dolde den disruptiva kraften i Steve Jobs telefon.

– Men det är svårt att vara disruptiv i ett stort företag. Det sitter i väggarna att göra som man alltid har gjort. Regnskogen är ett försök att skapa ett utrymme för det disruptiva. Vi uppmanas att tänka i nya banor och det är tillåtet att misslyckas. Vi utvecklar inte produkter utan nya ingångar till att se hur produkter kan användas, säger Axel Båathe. Vi plockar resurser från hela Saab och sätter ihop det på ett nytt disruptivt sätt. Vi har annars en tendens

att hamna på en för låg nivå därför att kraven från kunderna inte är tillräckligt radikala. Man vill ha mer av samma sak, fast bara lite bättre.

– När talanggruppen skapades hade vi idéer om att sitta i det gamla berggrummet där man en gång tillverkade Flygande tunnan på nästan löpande band. Det ansågs dock inte vara en lämplig arbetsmiljö varför vi föreslog att man kunde göra det trevligare genom att göra en inomhus-regnskog. Det skulle dock bli alldeles för dyrt. Vi fick sitta i vanliga kontorslokaler. Men namnet Regnskogen lever kvar, nu i en symbolisk mening, förklarar Axel Båathe.

VÄRLDENS REGNSKOGAR UPPTAR bara en lite del av jordens yta, men har en stor betydelse för hela jordens klimat. Det är så vi tänker oss Regnskogen på Saab, en liten grupp som står för en stor del av företagets disruptiva innovation.

Jordens regnskogar förknippas ofta med hållbarhet. Det begreppet finns även i Regnskogen i Saab men ska tolkas som leveranssäkerhet.

– Sverige saknar naturresurser för att tillverka fossila bränslen, men vätgas kan vi göra hur mycket som helst av.

Axel Båathe menar att det bästa sättet att rekrytera är att visa att man har en intressant utveckling.

– Det är vårt syfte och våra visioner som ska locka. En hög grad av autonomi spelar en grundläggande roll. Det ger i sin tur möjlighet att använda svärmar av autonoma flygande farkoster. Med autonomi fungerar det inte på samma sätt om med bemannade flygplan. Dubbelt så många bemannade flygplan kräver dubbelt så många personer på marken. Men med obemannat blir det nästan oförändrat. Farkosterna ska vara så billiga att robustheten sitter i antalet. Fler sensorer i luften ger en bättre och snabbare lägesbild. Man har råd att några inte klarar sina uppdrag. Det gäller såväl civilt som militärt. Med en ökad grad av autonomi, följer fler tjänstebaserade lösningar som till exempel databehandling i molnet, cloud computing. Det blir som över i en app fast vassare.

Axel Båathe målar upp en bild av framtiden med massor av billiga och relativt långsamma drönare och några dyrare och jetdrivna.

Autonomin ställer frågan på sin spets hur ska Saab ställa om till detta. Det kanske är först nu som vi och marknaden är mogna att fundera på scenarier. Fler billiga än få dyra. Båda behövs i framtida luftförsvaret. □

SVÅRT ERSÄTTA SLUG UBÅTSCHEF

Även om havet fortfarande är ett bra gömställe blir det svårare för ubåtar att hålla sig dolda. Tanken på den stora obemannade ubåten lockar. Men då missar man människans överlägsna förmåga att vara listig och anpassa sig till nya lägen.

Havet är inte längre det gömställe det har varit. Smygteknik ska göra fartygen svårare att hitta och trenden går mot autonoma ytfartyg. I förlängningen finns tanken på den stora obemannade ubåten. Men vägen dit är nog både längre och svårare än för ytfartygen.

Johan Granholm är ingenjör och lärare på Försvvarshögskolan, FHS och har studerat rapporten large unmanned underwater vehicles från det tyska forskningsinstitutet Fraunhofer. Han menar att den militära nyttan är moderat.

– Det är beroende av att många olika teknikområden utvecklas, vilket de kommer att göra olika fort. När andra nationer använder sådana här system måste vi naturligtvis hänga med och när tekniken mognar så blir den militära nyttan större.

Jouni Rantakokko har arbetat på Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI i över tjugo år och är nu ansvarig för FOI:s projekt för obemannade farkoster. Fraunhofer utpekar artificiell intelligens AI som en av nyckelteknologierna bakom den obemannade ubåten..

– AI är svårare än vad många tror, säger han. Den obemannade ubåten kommer endast att kunna utföra en begränsad mängd uppdrag. Alla delar kräver en utvecklad autonomi som realiserar taktiska förmågor och det kommer att kosta. Det är en anledning till att jag tror att det dröjer innan den stora obemannade ubåten blir verklighet. Uppdragsautonomi är den största svårigheten, större än kommunikation, positionering, navigering och energiförsörjning. Det senare löser man till viss del genom att göra ubåten större. Hur ska en spanande obemannad ubåt veta att den är jagad? Den får information via sina sensorer och ska själv fatta beslut. Minutläggning är ett enklare uppdrag. Man åker till ett visst ställe och släpper minorna. Jag tror att de

här farkosterna utvecklas internationellt, inte i första hand för att användas, utan för att man ska lära sig mer om området. Det borde vi i Sverige göra också. Vi kan se potentialen, men vi vet inte vad ubåtarna klarar och inte klarar

Huvudargumentet för en obemannad ubåt är att det har blivit farligare samt att kostnaden minskar för man slipper besättningen. Johan Granholm säger att det ger andra fördelar som ökad räckvidd när man inte behöver medföra ett undervattenshotell. Det man förlorar är den bemannade ubåtens flexibilitet. En vanlig ubåt behöver inte gå i hamn för att byta uppgift. Den obemannade ubåten är skraddarsydd för ett uppdrag i taget. Antalet ersätter flexibiliteten. Hur många bemannade ubåtar behöver Sverige? Tidigare var ett vanligt mått att Sverige behöver minst tolv ubåtar. Det tror Johan Granholm inte att Sverige har råd med och då skulle obemannat vara ett sätt att få upp antalet.

– Fortfarande är havet ett bra gömställe, säger Johan Granholm. Det handlar mycket om hur väl karterad botten är. En bra kartering krävs för att göra taktiska kartor. Samma sak gäller för motståndaren som kartlägger sjöbotten. Det är svårare att gå in mot motståndarens baser om botten inte är karterad. I fredstid behöver främmande ubåtar bara att lägga sig under en färja för att inte upptäckas.

– Det krävs det inte mycket autonomi för. Det är vad de flesta torpeder har kunnat i fyrtio år. Vi glömmer gärna att AI har funnits ännu längre än så. En trådstyrd torped vet vad den ska göra om tråden bryts. Det är ett enkelt uppdrag, följ en Finlandsfärja. Vi tenderar ofta att tänka på krig. När det är fred och gråzon har motståndaren ett fredsbrus att gömma sig i.

– När man tar steget upp till de stora obemannade undervattensfarkosterna kan vi ha ett annat system

för energilagring och framdrivning, säger Jouni Rantakokko. Då får man en helt annan hastighet och uthållighet. Man talar om månader. Lastförmågan ökar radikalt. Det ger nya typer av uppdrag som vi inte kan lösa med dagens system. Det öppnas nya möjligheter och det är grunden för intresset för den här typen av farkoster. Nackdelar är som sagt ett begränsat antalet uppdragstyper. Det krävs en stödorganisation som inte är gratis, men som inte kostar lika mycket som för vanliga ubåtar.

Robusthet

Man kan inte bara plocka bort folk från en bemannad ubåt och göra den obemannad, säger Johan Granholm. Underhållsfrihet är en viktig faktor. En vanlig ubåt har utbildad personal som inte gör annat än att få den att funka. I en bil måste bilen sköta sig själv för föraren är okunnig. I ett fartyg kan man lägga mer på att det finns kunnig personal. Det är ett sociotekniskt system där man fattar val. Maskinen kan göras enklare och farligare och människan täpper luckorna.

Kommunikation

FOI har gjort ganska mycket vad gäller akustik i Östersjön. Det är en avvägning. Är det värt priset att få fram kommunikationen och riskera upptäckt? På längre avstånd är det ett stort problem och man får inte mycket sagt, säger Jouni Rantakokko. Det får kombineras med andra lösningar, som en uav som flyger hem med information istället för att vänta tills man är i hamn. På korta avstånd fungerar radio och laser. Ska man nå en uav måste den vara i närheten. Reläer är en annan möjlighet. Då krävs det på långa avstånd ett relä per mil. Därför måste en obemannad ubåt ha en bra autonomi för att kunna fatta egna beslut. Ubåten går inte att fjärrstyra som en uav. Den finns ingen generell lösning på kommunikationsproblemet.

Johan Granholm säger att val av kommunikation beror på uppdragen. Att sända till och från ubåten är två olika saker. Enkla meddelanden till ubåt ordnar man sedan länge på långväg. På en bemannad ubåt finns det folk som gör bedömningen om hur gammal informationen får vara. Är det värt risken att röja sig genom att själv sända? Det blir väldigt svårt för AI att lösa. Det krävs en komplett underrättelseanalys.

Energi och framdrivning

Det har tagit längre tid än vad man trott, menar Johan Granholm. På 1990-talet hoppades man på fungerande snabbbladdningsbara batterier för el-bilar inom tio år. Trots alla satsningar har man inte nått dit. Samma sak med bränsleceller – det går bra i lab men är svårare i verkligheten. Man vill ha celler som inte slits och vill undvika att medföra väte. Så man söker efter andra energikällor. Kärnkraft är en sådan. Den kan göras hur



En trådstyrd torped vet vad den ska göra om tråden bryts – följ en Finlandsfärja, säger Johan Granholm.

liten som helst och det kan gå år mellan laddning. Det är ganska enkelt med atomdrift.

Jouni Rantakokko betonar att säkerhetsaspekterna är avgörande för atomdrift. Kan vi göra en reaktor säker även om den träffas av en torped?

Navigering och positionering

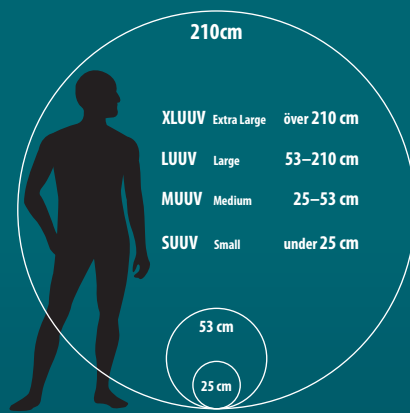
I dag klarar man sig under en begränsad tid med akustiska fyrar. Det blir något annat om man ska vara ute en längre tid, säger Jouni Rantakokko. Det går att göra egna kartor under gång vilket kräver att man har akustiska sensorer påslagna. Den heliga gralen inom positioneringsområdet är atominterferometri-baserade sensorer som har en fruktansvärd potential. Det är dock fortfarande en skrymmande utrustning som kanske bara rymmer i en stor farkost. Frågan är när tekniken är färdigutvecklad. Det satsas stort i USA och EU. Tekniken kommer att omfattas av hårda exportrestriktioner och det dröjer innan vi får tillgång till denna.

Kvantsensorer sägs ge mer prestanda på ett mindre utrymme, men det tar lång tid innan dessa sensorer är i bruk. Man kan tänka sig en kombination av djupkartor och magnetfält eller en boj som skickar en akustisk signal med avstånd och position. Har man tre bojar blir det nästan som ett undervatten-gps. Det har man börjat laborera med och det är lättare i större hav än i Östersjön. Gravitationsfältsmätningar är en annan möjlighet. I dag kombineras olika metoder och så blir det nog också i framtiden. För att få ut något av kvant krävs satsningar som nog är för stora för Sverige. Efterfrågan på bättre precision är stor, men några genombrutt på kort sikt är inte troliga.

FOI har inte mycket forskning på stora autonoma undervattensfarkoster. Forskningsprojektet Smarc, se sid 30, gör en del på mindre autonoma undervattensfarkoster. För att marinen ska kunna tänka långsiktigt behövs ett bättre kunskapsunderlag rörande de tekniska möjligheterna och svårigheterna, säger Jouni Rantakokko. □

Stora obemannade ubåtar

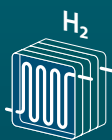
Unmanned underwater vehicles (obemannade undervatten-ubåtar) kommer i flera storlekar. I de största kan en människa stå raklång och dom minsta ryms i en handflata. Bilden visar hur en XLUUV (Extra Large Unmanned Underwater Vehicle) skulle kunna se ut. Den delar de flesta system med en vanlig ubåt frånsett utrymmen för personal.



Framdrivning

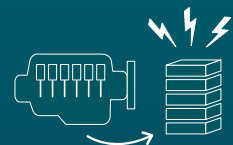
Bränslecell

Tekniken väntar fortfarande på sitt genombrott



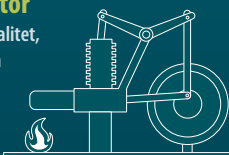
Diesel/elektrisk drift

Gammal beprövad teknik. Bullrig och kräver stundom ytläge



Stirlingmotor

En svensk specialitet, arbetar tyst och vibrationsfritt



Kärnkraft

Är inte svårt att bygga. Frågor kring säkerheten

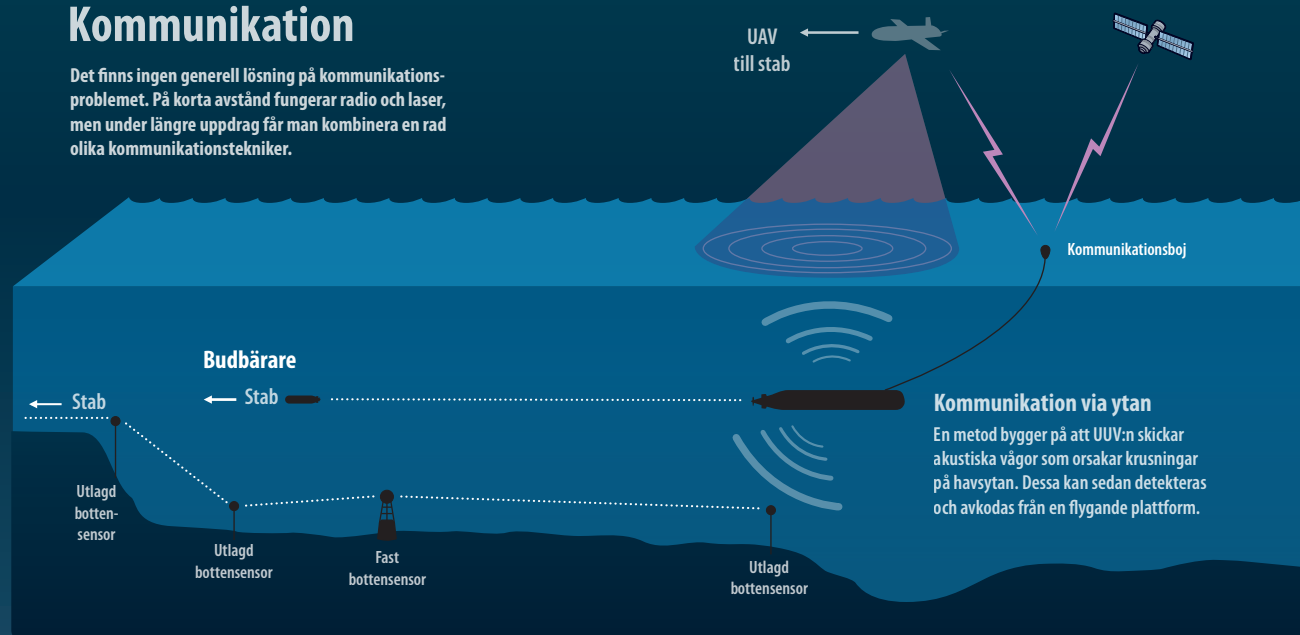


Uppfällbara master

- Underrättelser,
- Kommunikation
- Målsökning

Kommunikation

Det finns ingen generell lösning på kommunikationsproblemet. På korta avstånd fungerar radio och laser, men under längre uppdrag får man kombinera en rad olika kommunikationstekniker.



Navigering och position

Att veta sin position under vattnet utan att samtidigt röja sin position är ett ständigt problem. Fortfarande måste man upp till ytan ibland för att kalibrera sina instrument men med kvantteknologi kanske problemet minskar.

Tröghetsnavigering

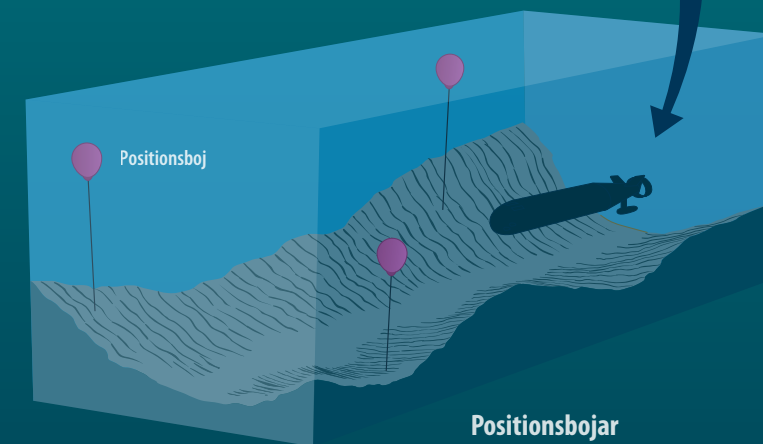
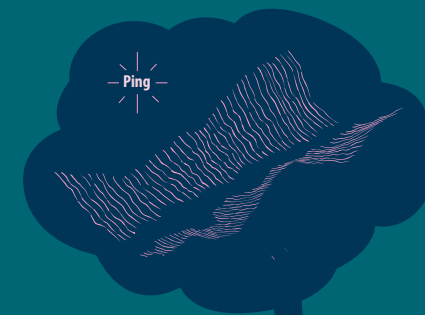
Tröghetsnavigering ger en position vars fel hela tiden växer. Tillslut kanske ubåten måste gå upp till ytan i förtid bara för att få en exakt position.

Kvantsensorer

Med kvantteknologi skulle man kunna bygga sensorer som motsvar traditionell tröghetsnavigering men med överlägsen precision. Gravitationsfältmätningar är en annan möjlighet.

Karterad sjöbotten

Genom en noggrann kartering kan en rad navigeringsområden erhållas. Dessa säkra områden lagras i UUV:ns databas. Med ett enda ping från UUV:ns aktiva sonar kan ubåten se sitt exakta läge och tröghetsnavigeringssystemet kan uppdateras.



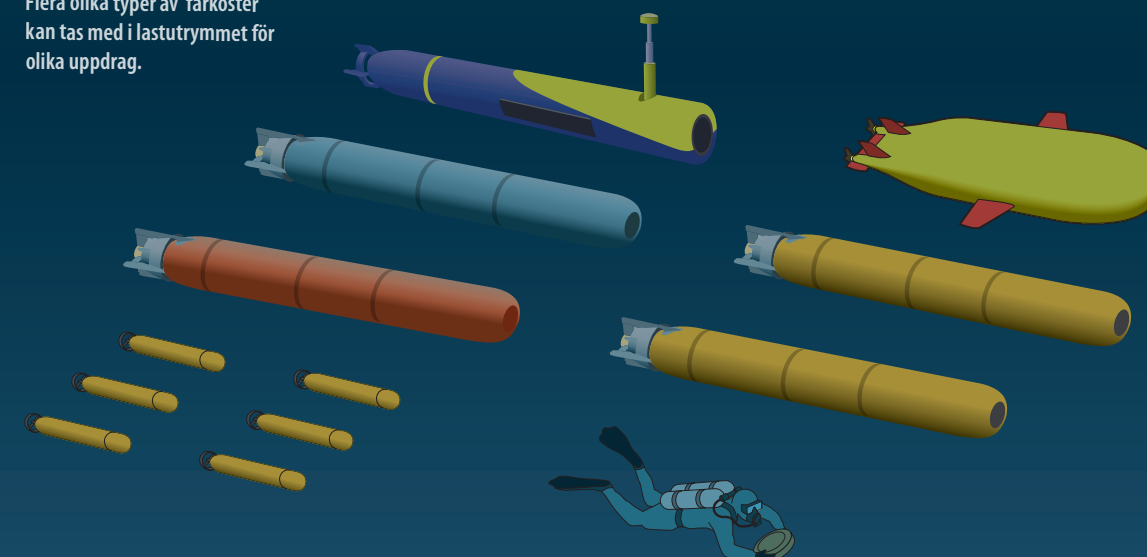
Positionsbojar

Positionsbojar (tre eller flera) skulle kunna fungera som ett slags GPS under vattnet.

Sensorer

Lastutrymme

Flera olika typer av farkoster kan tas med i lastutrymmet för olika uppdrag.



”VÄRRE KAN DET INTE BLI”

En ny typer av keramer kan vara den felande länk som behövs för att konstruera hypersoniska glidvapen. Dessa är som kärnvapen, man inte inte skydda sig mot dem. Den nya teknologin kan bli disruptiv och få stor militär betydelse och utgöra ett stort hot. Värre kan det inte bli, säger Kent Andersson vid Forsvarshögskolan.

Kärnan i arbetet med den tekniska prognosen är att hitta hotet i laboratorier. Nu har det kommit något nytt som kan bli disruptivt. Kent Andersson vid Forsvarshögskolan, FHS bedömer att denna teknologi kan ha en signifikant militär nytta vilket för Sverige i några fall kan innebära ett allvarligt hot.

Det går att jämföra med kärnvapen, något man inte kan försvara sig mot. Grunden i hotet är en ny typ av keramer, high entropy ceramics, HEC. Dessa keramer kan vara den felande länken i konstruktionen av hypersoniska glidvapen, säger Kent Andersson som värderat den militära nyttan i en rapport av det tyska forskningsinstitutet Fraunhofer.

Vanliga keramer är en blandning av pulver som ofta innehåller metallföreningar som pressas och bakas ihop. Keramer används ofta i skydd, de leder ström dåligt, är mycket hårda, men också spröda. Det fina med HEC är enligt Kent Andersson att man får ett ämne med valfri hårdhetsgrad som samtidigt har metalliska egenskaper. Och man slipper sprödheten. HEC-keramer går dessutom att tillverka med så kallad 3D-printing.

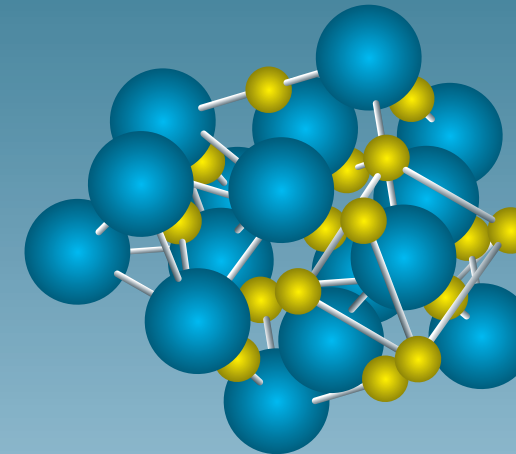
KENT ANDERSSON FÖRKLARAR att pulvret består av korn som ligger hur som helst. Däremot är varje korn en kristall bestående av minst fyra olika typer av atomer, till exempel ett antal olika typer av metallatomer och syre eller kol. Med rätt proportioner av dessa atomer i en blandning erhålls en fast, kristallin lösning. Nyckelordet är ordning, entropi. Ju mer ordning eller högre entropi, i en HEC, desto stabilare material. Det krävs mycket energi för att den ska ändra struktur. Materialet ändrar sig inte även om temperaturen stiger och någon slår på det. För att framställa detta material krävs artificiell intelligens, AI, närmare bestämt maskininläring, ML, därför att det finns oändliga möjligheter till kombinationer av atomblandningar. En del forskare menar att man i datorn kommer kunna modellera önskat material med rätt egenskaper. I princip är det bara att beställa egenskaper, trycka på knappen och gå till labbet med resultatet.

Hårt och segt med oordnade keramer

HEC (Högentropi-keramik) utgör en ny grupp av keramiska material. De innehåller minst fyra olika komponenter i ungefär lika stora proportioner och tillhör således multimaterialsystemen. När det gäller keramik är dessa komponenter kemiska föreningar såsom olika oxider eller nitrider. Hemligheten sitter i entropin – det vill säga ordningen och mängden kombinationer som komponenterna kan bilda.

Källa: Fraunhofer

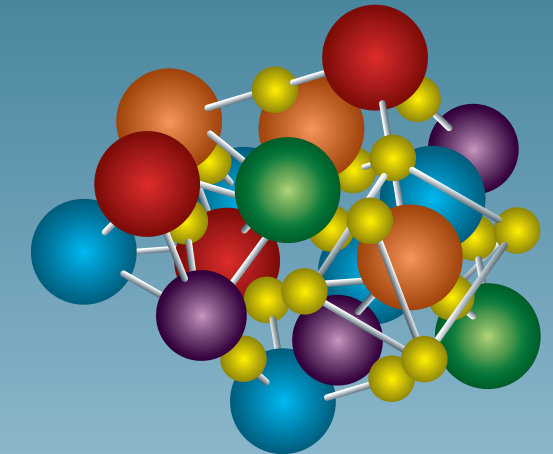
Enkomponentsnitrid



Ovan en enkomponentsnitrid, t.ex. LaN (Lantanitrid). Gult är kväve och blått lantan, ett grundämne som tillhör de sällsynta jordartsmetallerna.

Vanliga keramer består av sammanpressade små kristaller (materialet är sintrat) medan metaller har en regelbunden struktur utan markanta korngränser – och det är vanligtvis i korngränserna som brotten uppstår. Keramer är därför vanligtvis spröda medan metaller är sega.

Flerkomponentsmaterial (HEC)



Ovan en flerkomponentsmaterial bestående av fem halvmetaller på det metalliska undergittret. De många möjligheterna till kopplingar mellan ämnena gör att materialet blir både hårt, segt och kan utstå extrema temperaturer. Den metalliska regelbundna strukturen är kvar medan man ökar entropin genom att byta ut atomerna i strukturen.

HEC är en bättre keram både på grund av att den kan tåla högre temperaturer men också då den saknar de gamla keramernas svaghet, sprödheten.

Kent Andersson skrev sin doktorsavhandling på temat hur forskare ska kunna övertyga beslutsfattare. För att lyckas måste forskarna kunna visa på den militära nyttan med en viss teknologi.

– En disruptiv teknologi som möjliggör en förmåga det inte finns något försvar mot, kan anses ha stor militär nytta. Hypersoniska vapen kan vara ett sådant exempel. HEC är ett tekniskt genombrott som stödjer flera kritiska funktioner hos dessa vapen. Materialet är avgörande inte bara för framdrivningen i tio gånger ljudhastigheten utan för hela skrovkonstruktionen. Och därför studerar vi HEC och maskininläring. Vi försöker bedöma den militära nyttan av de här teknologierna som befinner sig på olika nivåer i värdekedjan. Vår slutsats är HEC i den här tillämpningen är disruptiv och nyttan signifikant och värre kan det inte bli enligt vårt sätt att bedöma hot och möjligheter.

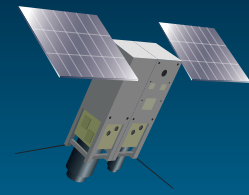
– Ett steg i disruptiv vapenutveckling är att någon befintlig förmåga, och dess företrädare i organisationen utmanas av det nya. Det betyder ofta ett betydande motstånd mot att erkänna hotet och att förbereda

»En disruptiv teknologi som möjliggör en förmåga det inte finns något försvar mot, kan anses ha stor militär nytta. Hypersoniska vapen kan vara ett sådant exempel.«

Hotet bakom horisonten

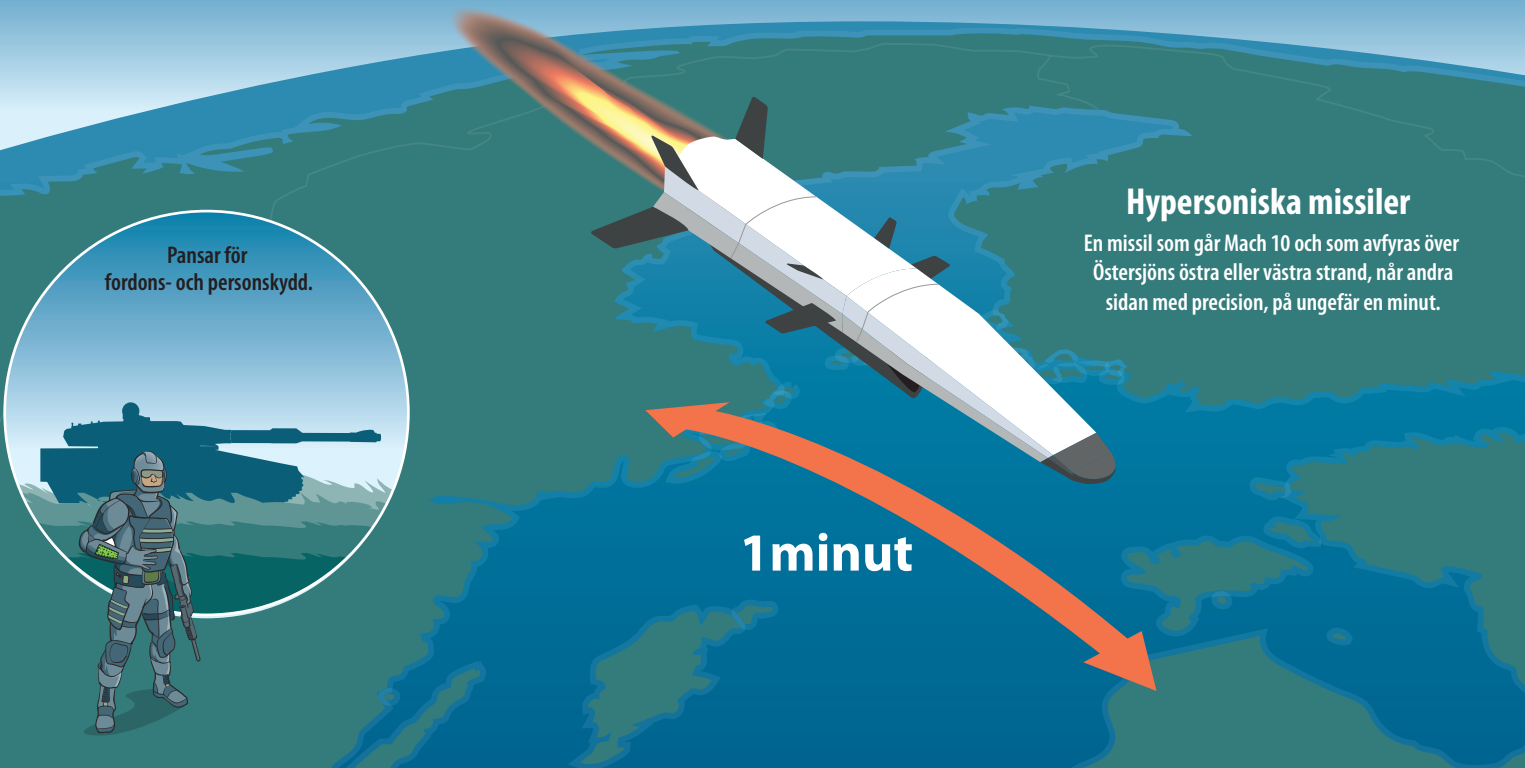
Hypersoniska glidvapen har några svaga länkar. Motorer och skrov utsätts för extrem värme och andra påfrestningar. Vanliga keramer kan skydda mot värme, men de är för spröda för att tåla den höga farten. En ny typ av keramer, så kallade högentropi-keramer – kan vara den felande länken. Därmed skapas ett vapen som i stort inte går att skydda sig mot.

Dessa keramer, high entropy ceramics, HEC är ett exempel på grundforskning som kan leda till en disruptiv teknologi.



Satelliter

Kommunikations- och sensorsatelliter i låg omloppsbanan är känsliga för kosmisk strålning, extrema temperaturer och skräppåverkan, något HEC skulle kunna skydda mot.



Pansar för fordon- och personskydd.

Hypersoniska missiler

En missil som går Mach 10 och som avfyras över Östersjöns östra eller västra strand, når andra sidan med precision, på ungefär en minut.

1 minut

sig att möta det. I det här fallet med hypersoniska glidvapen föreställer jag mig att till exempel den amerikanska flottans hangarfartyg hotas. Disruptiva teknologier är ofta väldigt omdiskuterade innan de visat sig fungera i krig.

Christina Åkerlind och Linda Karlsson studerar material vid institutionen för elektrooptiska system vid Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI i Linköping.

– AI växer inom alla områden, säger Linda Karlsson. Man måste ha en massa data att utgå från. Ofta kollar man på bilder, men här handlar det om mätvärden och det är annorlunda. Det är svårare än att titta på kattungar. Förr arbetade vi steg för steg. AI tar bort en del av förståelsen.

– Man har länge tittat på ordnade strukturer, men världen är oordnad, säger Christina Åkerlind. Det är en trend nu att pröva det oordnade. Det har tidigare varit för svårt. Det är lättare att förstå vad som händer om

man utgår från enkla rena material. Det är jättejobbigt att räkna på långa och slingriga molekyler i en fjärilsvinge. Forskare har i alla tider funderat på "vad händer om vi gör så här". Med datorer och beräkningskraft skapas nya möjligheter att forska om material.

– Ett misslyckande i AI-världen kan ha lika stort värde som ett lyckat experiment. I forskningsvärlden är det framgång som man kan söka anslag på. När jag disputerade 2016 började det här förändras. Det kommer att ta ett tag. Även en dålig forskare bidrar till forskningen. Det är ett värde att veta varför såsen skar sig. Framförallt blir material allt viktigare, inte minst militärt, säger Linda Karlsson.

Det svenska stålet biter. Flygkvalitet i ramen. Sverige har av tradition legat långt framme på materialforskning och tillverkning.

– Men vi har varit dåliga på att föra över detta till försvarssektorn. □

KAMPEN HAR BÖRJAT MELLAN MODELLERNA

Maskininlärning sorterar vår epost och finns i vår vardag. Militärt har det använts sedan länge. Nu kommer motmedlet. Ett par tejpbitar på en vägskylt lurar datorn. Vi ser början av en kamp mellan datormodeller, säger forskare vid Forsvarshögskolan och Totalförsvarets forskningsinstitut.

När vi fått maskinen att lära sig själv hittar någon på ett sätt att luras. Maskinen lär sig hur en vägskylt ser ut. Det fungerar bra ända tills någon sätter på ett par klisterlappar och maskinen tror att skylten är en katt. En stridsvagn med klisterlappar kan förvandlas till en buske och roboten missar sitt mål.

MASKININLÄRNING, ML ÄR den vanligaste formen av artificiell intelligens, AI. Maskininlärning finns i vår vardag sedan länge. Den hjälper oss att sortera epost, företag kan rikta reklam med utgångspunkt från tidigare köp och sökningar. Netflix ger förslag baserat på vad vi tittat på. Militärt har maskininlärning i dess enklaste form funnits länge. Ett robotsystem har lärt sig att känna igen mål.

Men nu har motmedlet kommit. I en rapport från det tyska forskningsinstitutet Fraunhofer, adversarial machine learning, redogörs för tekniken och experterna vid Forsvarshögskolan bedömer att den nya teknologin kan få en signifikant militär betydelse. Marcus Dansarie har skrivit rapporten. Linus Loutsinen, som då var vid Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI i Kista ser framför sig kamp mellan modeller. Det finns modeller för maskininlärning och modeller för hur man luras.

Linus Loutsinen säger att det för maskininlärning finns en modell som man skruvar på. Maskinen får se en bild på en bil och svarar katt. Då ger man maskinen massor av bilder på bilar och till slut har den lärt sig hur en bil ser ut. Maskinen får stöd i form av datapunkter och med träning förbättras modellen. Algoritmer sköter en del av programmeringen och trenden går mot att maskinen sköter mer av sig själv.

I FRAMTIDENS MILITÄRA miljö finns det hur många sensorer som helst. Maskininlärning krävs för beslutsunderlag, men även för att filtrera sensordata, säger Linus Loutsinen som menar att nästa steg är maskininlärning på analysnivå. I dag sitter bildanalytiker och tittar på drönbilder. Bli det många bildkällor kommer tolkningen att ske med hjälp av AI.

Det är skillnad på maskininlärning och ▷

Linus Loutsinen och Marcus Dansarie



Foto: Getty Images

djupinlärning. Det senare innebär att man tar en bild rakt av. Mobilen lär sig att hitta kanterna på ett papper för att göra en pdf. Maskininlärning är att ge maskinen hjälp på vägen genom att ge den en massa bilder.

– Rådata är det nya guldet, säger Linus Loutsinen. Det gör det möjligt att göra jättestora modeller med stora mängder parametrar som man kan justera. Det finns mycket data på normaltillstånd, men färre på de viktiga, motståndarens fordon. Då måste man ha en process för att få med sig svansen. Vi tittar nu mycket på modellering och simulering.

Hur skyddar man sig mot denna antimaskininlärning?

– Det finns inte många bra försvar, säger Linus Loutsinen. Det kanske inte är ett allvarligt hot idag men kan bli det i framtiden. Man angriper sin egen modell och lyfter in det i sina träningsdata och så tränar man igen för att få ett skydd.

Linus Loutsinen säger att man kan förbättra maskininlärningen genom att sätta in fler datapunkter.

– Man måste skydda sina modeller. Det blir en kamp mellan modeller. Man är ganska naiv vad gäller skydd av sina modeller.

Man kan återskapa modeller genom att ställa frågor. Då får man en uppsättning data som man kan träna sin egen modell på.

– Man kan stjäla modeller genom att komma över hela systemet, säger Marcus Dansarie. Modellen finns i själva systemet som till exempel ett luftvärnssystem.

Linus Loutsinen betonar att det finns en massa faktorer som en modell aldrig kan plocka in. Ballistik går bra, men ett samhälle är så komplext att man inte kan modellera hur det kommer att utvecklas. FOI gjorde en simulering av kritisk infrastruktur och stoppade in människor i det där. Det är svårt att modellera det civila läget.

– Det finns ett glapp mellan AI-forskare, it-säker-

hetsforskare och forskare som sysslar med dataanalys, säger Linus Loutsinen. Vi talar olika språk. Jag kan som AI-forskare hitta förklaringar som hjälper mig, men hjälper det en militär operatör? Förmodligen inte. FOI sätter samman human factor-forskare med dataforskare.

Marcus Dansarie pekar på att problemet nog handlar mycket om bristen på förklarbarhet.

– Ett exempel är att vi konstruerat en väldig bra målsökare till en robot. Vi vet att den funkar, men inte hur. Det går bra i Vidsel, men går det i strid? Då kan det bli svårt att föra in det här i organisationen. Vi litar på vår traditionella mjukvara. Vi vet hur den fungerar och kan i efterhand förstå hur den fungerar. Med djupinlärning kanske vi är räddare, för vi vet inte helt hur den fungerar. Men det går inte att garantera att en mjukvara är säker. En dator kan ha fler tillstånd än vad det finns partiklar i universum. Det är ett olösligt problem. □

»Man måste skydda sina modeller. Det blir en kamp mellan modeller. Man är ganska naiv vad gäller skydd av sina modeller.«

MASKININLÄRNING MED RESERVATIONER

Material blir allt viktigare och är grundstenen i mycket av den tekniska utvecklingen. Det tar lång tid att skapa ett nytt material och drömmen är att det ska finnas en genväg till ett material med önskade egenskaper. Maskininläring, ML som är den dominerande delen av artificiell intelligens, AI pekas nu ut som en möjlig väg.

DET TYSKA FORSKNINGSPROJEKTET Fraunhofer skriver i rapporten Machine learning in material developments att vi står inför en revolution och en ny paradigm. Den första paradigmen är att pröva och se vad som fungerar, den andra att utnyttja naturlagarna, den tredje är datakraft i form av superdatorer och den fjärde skulle då vara att skapa nya material med hjälp av maskininläring.

Men Peter Bull, som var vid Forsvarshögskolan när han bedömde den tyska rapporten och nu är verksam vid Totalförsvarets forskningsinstitut, är skeptisk.

– Maskininläring är fortfarande i sin linda så jag tycker att det är för tidigt att tala om en ny paradigm, säger han och hänvisar till begreppet den svarta lådan vilket innebär att vi har dålig kunskap om vad som händer i den inkapslade lådan som i detta fall är AI och ML. Det är dålig spårbarhet till hur lösningen har gått till. Det är svårt att göra en kvalificering i ett självlärande system. En AI-maskin behöver inte göra samma tolkning som en annan AI-maskin.

– Vari ligger det självlärande, frågar Peter Bull. Man måste på gott och ont ha något att lära sig från. I fallet material handlar det om en massa molekyler. Mitt problem med rapporten är att förstå AI i sig. Forskarna säger att ML är väldigt bra på att sortera omfattande data och presentera ett underlagsbeslut. Men det stoppar ungefär där och flera framstående ML-forskare säger att man inom överskådlig tid inte kommer så mycket längre.

– Det som gör mig osäker är att ML i detta sammanhang och som forskningsfält är en omogen teknologi. I många fall ser det enklare ut innan man kommit in i det. Därför är det här ämnet svårt att bedöma om det blir bra. Som bränslecellen som ska bli bra om fem år – och det har man sagt i hundra år. Därför är det väldigt svårt

att bedöma det militära värdet även om vi i vår rapport gett teknologin betydelse. Men det är med många reservationer.

FRAUNHOFER GER EXEMPEL på några användningsområden som explosivämnen, läkemedel och hårda material.

– Vad gäller explosivämnen vill man ha en molekyl som har ett bränsle och syre för att kunna förbränna sig själv. Ett problem är att bra sprängämnen ofta är farliga att hantera. Med AI skulle man kunna testa en massa ämnen i förväg och lyfta fram lämpliga kandidater som man kan forska vidare på. AI gör i sig inget färdigt ämne, vilken kanske en del tror. Det finns databaser med jättemånga olika kombinationer av molekyler och alla är inte provade. AI skulle kunna titta i dessa databaser och med rätt urvalskriterier plocka fram de intressantaste. För läkemedelsindustrin tror jag att det skulle kunna fungera, men även om man hittar en jättebra molekyl i en databas är det inte säkert att man kan tillverka den.

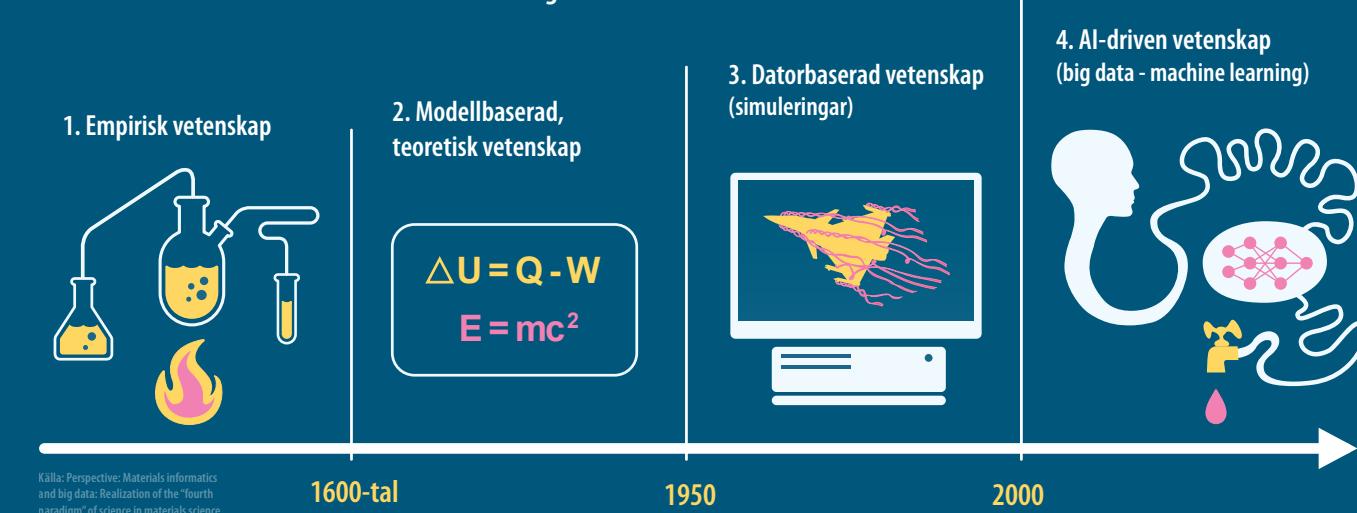
– Ska man göra riktiga saker som håller, som till exempel ett hårt material så är processtyrningen rätt viktig. Metall måste upphetas efteråt. I 3D-printing är en metod att lägga lager på lager och man kan skapa saker som till exempel ett fläktblad i en turbin som är mycket svårare att göra på annat sätt. Men det är inte säkert att fläktbladet som gjorts med 3D-printing kommer att hålla. Det måste hettas upp och avsvälva på ett visst sätt beroende på material. För att få till detta krävs utbildade tekniker och i en militär organisation är det inte säkert att man har tillgång till dessa på kort tid.

Därför valde Peter Bull i sitt exempel en trasig sprint. Den sitter i den rörliga kanonen Archer som är byggd på en dumper. Den består av två delar som vrider sig kring denna sprint. Utan sprinten förlorar Archer en stor del av sin rörlighet.

– Jag tänker mig att sprinten brister under en övning. Det uppstår ett akut problem som teoretiskt snabbt skulle kunna lösas. Längst ut i logistikkedjan kanske man inte har tillgång till de vassaste teknikerna och då skulle AI kunna kompensera för detta så att en vanlig tekniker kan lösa uppgiften. Jag valde medvetet ett arméexempel. Säkerhetskraven på en dumper ligger på en lägre nivå jämfört med ett flygplan. □

Nytt skede för att göra material

Man kan urskilja fyra stora skeden inom materialvetenskap. Det första bestod i empiriska försök och experiment, det andra skedet baserades på fysikaliska och kemiska lagar, det tredje på avancerade beräkningar och simuleringar. Vi är nu framme i ett fjärde där maskininläring används för att föreslå intressanta kombinationer för materialutveckling.



Militära tillämpningar

Utveckling av energimaterial för t.ex. explosiva varor.

Utveckling av superhårda material för t.ex. ballistiskt skydd.

Parameterkontroll för additiv tillverkning.
En kolvtapp till en av de hydrauliska kolvar styr den ledade dumpern på haubitsen Archer går sönder. Genom additiv tillverkning, svarvning samt värmebehandling kan en ny kolvtapp tillverkas på plats.
Tillverkningssystemet har maskininlärningsalgoritmer som säkerställer en tillräckligt hög kvalitet och styr både tillverkningsparametrarna och förutsäger exakt mängden deformation som orsakas av värmebehandlingen.

Kolvttapp

Möjligheter

- Material kan skraddarsys på molekylär nivå för att uppnå materialegenskaper som tidigare varit ouppnåeliga.
- Stora mängder materialdata kan samlas in, bearbetas och analyseras för att identifiera material med vissa egenskaper.

Begränsningar

- Det kan vara väldigt svårt att förstå hur och varför maskininlärningsalgoritmer får de resultat de gör. Att förstå detta är avgörande.
- Bara för att ett material med mycket intressanta egenskaper har identifierats behöver det inte betyda att det är möjligt att framställa materialet.

KONSTGJORD BAKTERIE KRÄVER TEKNIKSPRÅNG

Kanariefågeln i gruvan larmar när luften blir för farlig. Hunden hittar narkotika. Genmodifierade bakterier reagerar på giftiga ämnen. Framsteg inom området mikrobiologi har väckt tanken på ett nytt koncept för biosensorer. Men den militära nyttan är begränsad. Levande organismer

är en nödlösning i väntan på bättre teknik, menar Eva Lagg, psykolog vid Forsvarshögskolan, FHS.

Stefan Nord, mikrobiolog vid Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI i Umeå är också skeptisk. Han har studerat rapporten från det tyska forskningsinstitutet Fraunhofer, Living sensors – novel concepts for bio-based sensor systems och menar att det dröjer länge än.

– Potentialen är som alltid enorm, men tidsaspekten är avgörande. Nu har vi förstått att vi kan sätta ihop något, men där har vi varit förr och det har sällan lett till något.

MED SYNTETISK BIOLOGI ska förstås att det är en sammanbaktning av molekylärbiologi, bakteriologi, virologi och och biokemi, säger Stefan Nord. Man bör nog se nyktert på begreppet. Jag har lite svårt att förstå vad uttrycket innebär. Det finns många modeord som kommer och flyger och har sig.

– Vi har kunnat syntetisera arvs massa som vi inte kunnat göra förut och göra längre strängar. Virus har liten arvs massa vilket går att återskapa. Men det är världar mellan att göra ett syntetiskt virus och en syntetisk bakterie. Några få lab i världen håller på med det. Det är enormt dyrt och svårt. Man tar en bakterie, tarmbakterie, e-coli och tar bort så många gener som möjligt för att se hur många som behövs. Man plockar bort gener tills bakterien inte fungerar. Då är det syntetisk biologi för man skapar en varelse som inte har funnits förut. Man har ingen användning för denna varelse. Det handlar om forskning för att förstå grunderna. Sedan kan forskarna bygga baklänges och lägga till från andra organismer och få nya egenskaper. Men det dröjer länge innan man kan slänga in vilket genetiskt system i vilken organism som helst. Vilket en del kanske tror. En gen går bra, system består av flera gener och då blir det genast mer komplicerat.

Men kan det inte komma ett genombrott?

– Ingen har en kristallkula, det kan komma ett

tekniksprång som gensaxen. Den har verkligen gjort ett avtryck. Gensaxen är ett enzym som specifikt klipper DNA. Forskning går ut på att förstå grunderna. Ofta är det någon som gör en upptäckt inom ett fält som någon inom ett annat fält ser och så kopplar man ihop det och så kan man få ett tekniksprång.

ÄVEN OM TEKNIKSPRÅNGET kanske dröjer så menar Stefan Nord att mikrobiologi är framtiden.

– Det är svårt och dyrt, men det satsas mycket på detta. Forskarna frågar varför är vi som vi är, varför är bakterier som de är. Det är basnyfikenheten, hur fungerar saker. Den stora frågan är hur sjukdomar fungerar och vad kan vi göra åt dem. Det är basforskning som gör att ett och ett blir två. Vissa vill ha mer riktad forskning och då har man missförstått det hela. Grundforskningen är basen som den applicerade forskningen vilar på. Man kan inte hoppa på den direkt.

Vad gör att ett virus infekterar en vävnad och inte en annan? Varför drabbar en viss sjukdom människor, men inte djur och tvärtom? Varför ger ett virus lunginfektion, men inte hudinfektion? Varför infekterar ett virus en viss typ av celler men inte andra? Grundläggande frågor som ligger inom området tropism.

– Vi ligger på basnivån och snackar inte om sensorer. Visst är det coolt med en växt som reagerar på sprängämnen och det finns tankar på detta. Det vore jättehäftigt med kroppsburna sensorer som ett klistermärke med bakterier. Men för att nå dit krävs ett tekniksprång.

– Vad ligger bakom tropismen? Kunde man förstå det kunde man göra motmedel. Det är grundläggande mysterier. Men rätt som det är är det någon som snubblar på lösningen och då säger det pang och så är allt självklart. Det kan komma i morgon eller om 20 år. Oavsett krävs tillräckligt med folk och en satsning på kvalitet. Man måste tillåta många att få göra tokiga grejer och så får det tugga på. När genombrottet kommer inser alla att det var värt satsningen.

Eva Lagg bedömer att den militära nyttan är osäker.

– Det är i första hand civila framsteg som militären kan dra nytta. Jag är psykolog och ingen expert på biosensorer. Men man tyckte att jag var det närmaste man kunde komma. □

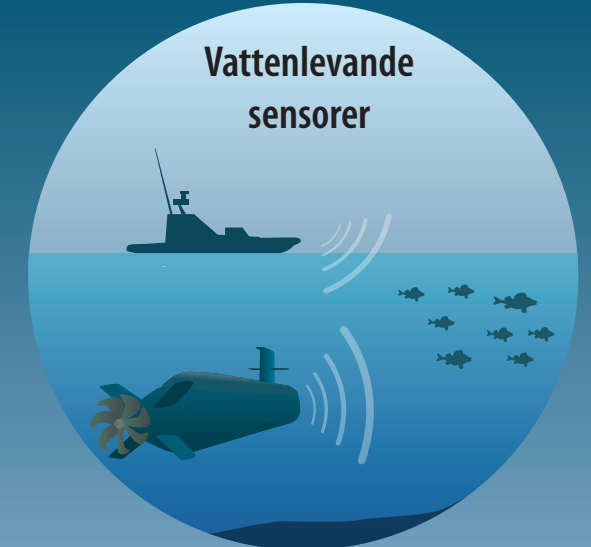
Naturen bäst på sensorer

Forskning om levande sensorteknologier bedrivs i hopp om att få snabba, känsliga, diskreta och billiga sensorlösningar. Levande sensorer (djur, växter och bakterier) kan kategoriseras efter graden av mänskligt ingripande som krävs för deras användning.



Kanariefågeln i gruvan

Ett tidigt exempel på biosensorer är de burade kanariefåglar som bars ner i gruvgångarna så sent som på 1980-talet. Om farliga gaser som kolmonoxid samlades i gruvan, skulle gaserna påverka kanariefågeln innan de drabbade människorna, vilket gav en varning att lämna tunnarna omedelbart.



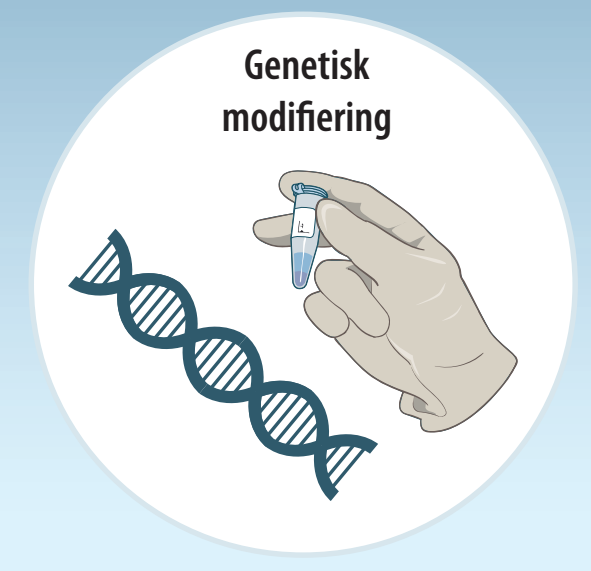
Vattenlevande sensorer

Det naturliga beteendet hos fiskar och andra vattenlevande organismer skulle kunna användas för att varna för intrång av eventuellt ovälkomna ytfartyg och undervattenfarkoster. Svårigheten är att skilja beteendeförändringar orsakade av fartyg från andra störningar.



Tränade djur

På mellanliggande nivå tränas organismer (djur eller insekt) att använda sina sensorer för att upptäcka vissa ämnen (som sprängämnen, narkotika eller sjukdomar). Användningen av snifferhundar är väletablerad och på senare tid har gnagare introducerats för att upptäcka landminor.



Genetisk modifiering

På högsta nivå av intervention modifieras och/eller förbättras organismens sensoriska egenskaper. Växter och bakterier reagerar på sin omgivning, och deras stimulus-responsmekanism kan modifieras genetiskt och skräddarsys för att reagera på specifika kemiska föreningar med detekterbara svar.



LJUSET I LUND VASSAST I VÄRLDEN

Kärnan i den nya anläggningen Max IV är synkrotronljus. Vi ligger i forskningsfronten, säger Emilie Hilner. Här gör vi det osynliga synligt.

Max IV ser ut som något som kommit från yttre rymden. Ett gigantiskt flygande tefat som landat i myllan utanför Lund. Den stora ringen är lika stor som Colosseum, en omkrets på över en halv kilometer. Här accelereras elektroner till en sådan hastighet att de omvandlas till strålning. Med röntgenstrålning kan man studera biologiska molekyler på atomnivå. Vi gör det osynliga synligt är devisen.

MAX IV ÄR NATIONELLT laboratorium för acceleratorfysik och forskning med hjälp av så kallat synkrotronljus.

– Vi har det bästa ljuset i världen, säger Emilie Hilner som har sin bakgrund som halvledarforskare och som nu är kommunikationsansvarig för anläggningen som stod klar 2016. Vi ligger i fronten med vad som kan göras med den här typen av anläggningar. Ljusets intensitet är högre hos oss vilket gör att vi bland annat kan koncentrera strålen bättre. Ljusstrålen gör att man kan se små detaljer, att göra det osynliga synligt.

– Vi har 16 experimentstationer och det går förmodligen att få plats med cirka tio till, säger hon. Det är en fråga om att få finansiering. Här arbetar företag, länder, forskare och myndigheter med sina experiment. Man kopplar in sin station på ringen och gör sin egen forskning. Alla har sin egen specialitet. Det kan handla om gaser, höga tryck och mycket annat. När Max IV är utbyggd 2026 beräknas den ha upp till 2 000 användare årligen från hela världen inom ämnen som fysik, kemi, biologi, medicin och materialvetenskaper.

KÄRNAN I MAX IV är synkrotronljuset som upptäcktes 1946.

– Så vi har nyss firat forskningens 75-årsdag, säger Emilie Hilner. Synkrotronstrålning är strålning som produceras av elektroner och färdas genom magnetfält som böjer dess bana. Detta sker naturligt i rymden när snabba elektroner rör sig i rymdens magnetiska fält. Eller så kan man göra det på konstgjord väg. För det krävs stora anläggningar. Strålningen skapas i en synkrotron. Strålningen är mycket stark och kan delas upp i olika våglängder som till exempel infrarött ljus, synligt ljus, ultraviolett och röntgenstrålning. Man kan skilja ut de våglängder man önskar och till exempel få mycket effektiv röntgenstrålning för att studera ämnens och materialens elektroniska och strukturella egenskaper på atomnivå.

Det första Max-labbet startade 1986 i Lund och har sedan dess byggts på. Max 2 hade en omkrets på 90 meter, Max 3 på 36 meter och den senaste anläggningen har en omkrets på 528 meter. Elektronerna skapas



och accelereras i en tunnel under marken och leds upp till lagringsringen. Det finns två lagringsringar. Den mindre har en omkrets på 96 meter.

Max IV-ringarna fylls på med elektroner kontinuerligt någon gång i minuten och hålls maximalt fyllda dygnet runt.

– Här produceras ljuset hela tiden året om. Fast på julafton stänger vi klockan åtta på morgonen, säger Emilie Hilner.

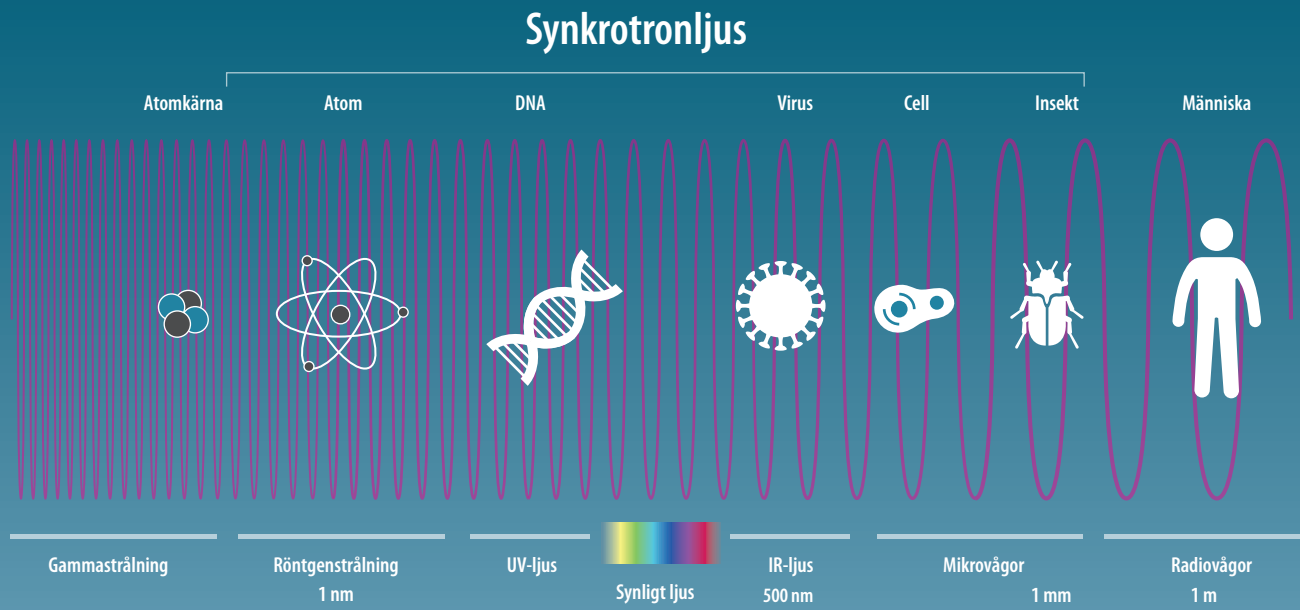
MAX IV INGÅR i ett världsomspännande nät av kanske 50–70 liknande anläggningar. Emilie Hilner vill inte tala om konkurrens utan betonar att man kompletterar varandra i en strävan att hela tiden bli bättre.

– Alla vill givetvis ha ledarflaggan och visa att vi är bäst. Vi visar vad vi har för de andra. Så kommer de att bli bättre och vi får en högre nivå att sträva efter. Max IV är den första i den fjärde generationens ljuskälla. När vi visade hur vi byggt Max IV blev det ett tekniksprång för hela området. Vad skulle en femtegeneration vara? Det talas här om en frielektronlaser som inte är en ring utan en rak accelerator i en 300 meter lång tunnel. Det är svårt att säga om det är en annan typ eller en ny generation.

Max IV kan användas till många olika forskningsområden. Företaget Cassius undersöker om man inte kan göra ost utan att blanda in kor i processen. Med mjölk skapas ostmassa när proteiner i mjölken reagerar med löpe. Dessa proteiner är svåra att efterlikna. Cassius undersöker hur dessa proteiner spontant bildar strukturer och om genetiskt framställda mikroorganismer kan göra samma jobb. Experimentet syftar inte bara till att tillverka en vegetarisk ost som till smak, form och konsistens liknar vanlig ost utan också till att det ska bli enklare att i allmänhet övergå till vegetarisk mat. □

Så fungerar MAX IV

MAX IV är en av världens bästa synkrotroner. Det speciella ljus som skapas i dessa anläggningar kan användas för forskning inom vitt skilda områden såsom fysik, kemi, biologi, medicin, arkeologi, och materialforskning.



Synkrotronljus

Synkrotronljuset täcker ett brett våglängdsområde från så kallad hårdröntgen vid cirka 0,1 nanometer upp till nära 1 millimeter. Det synliga ljuset utgör endast en liten del av denna spännvidd. De kortaste våglängderna är nödvändiga för att kunna betrakta exempelvis en atom eftersom synkrotronljusets våglängd måste vara kortare än föremålet som betraktas.

1 Elektronkanon

Här skjuts elektroner in i linjäracceleratorn

3 Liten lagringsring

Elektronerna i ringen har en energi på 1,5 GeV. Det finns plats för 10 strålrör för experiment med mjuk röntgen.

2 Linjäraccelerator

I den 300 meter långa linjäracceleratorn laddas elektronerna med energi och når nästan ljusets hastighet. Den mycket fokuserade elektronstrålen är en av de unika egenskaperna hos MAX IV.

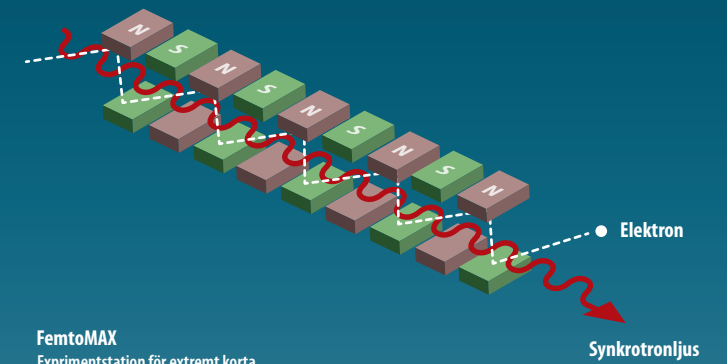
Akromater böjer elektronerna

Den stora lagringsringen i MAX IV är egentligen en flerhörning bestående av 20 så kallade akromater som med kraftfulla magneter böjer elektronerna.



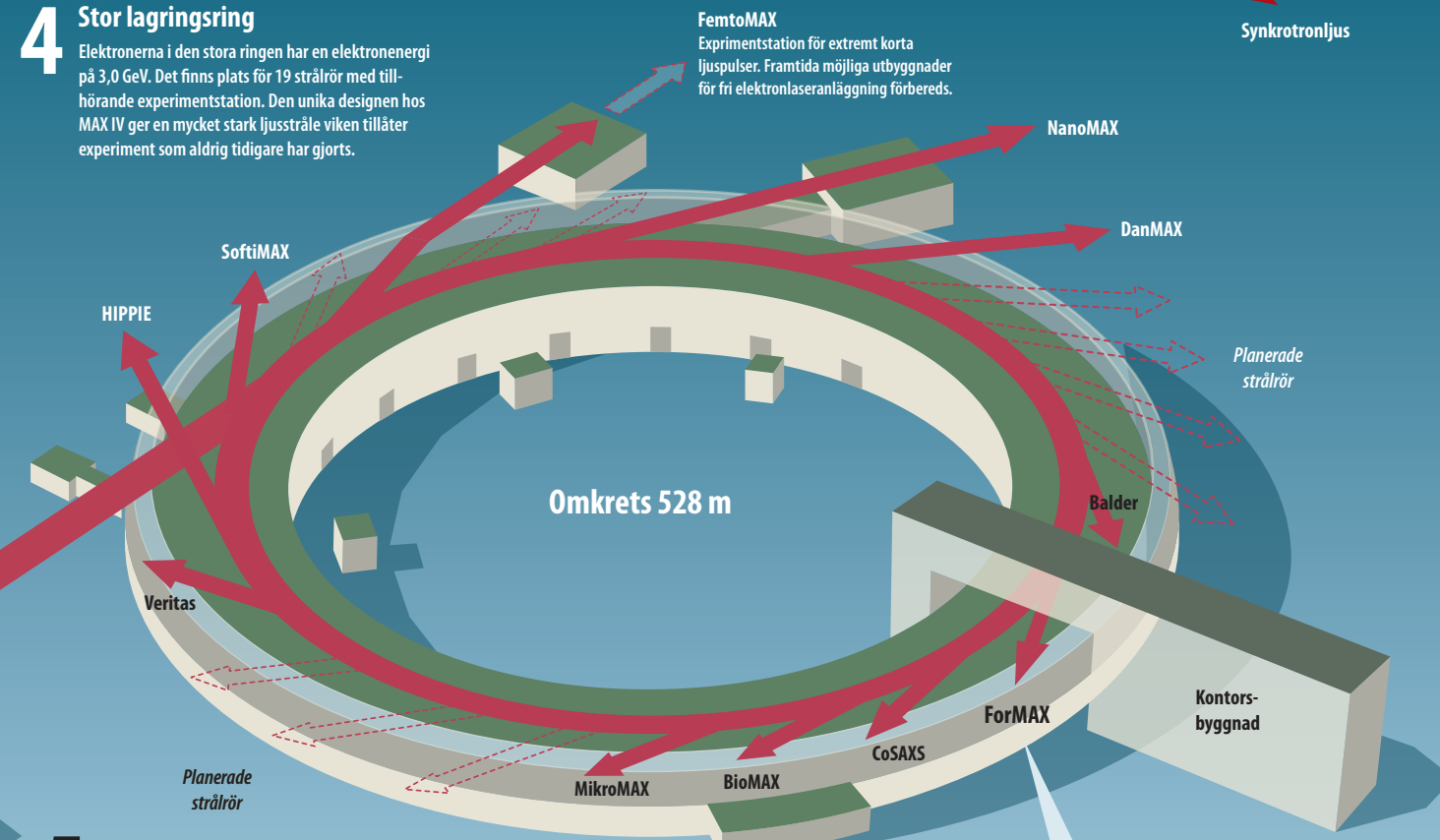
Undulatorer skapar synkrotront ljus

Vid varje strålrör med tillhörande experimentstation finns en uppsättning magneter som kallas endera "undulatorer" eller "wigglers", beroende på utformning. Här passerar elektronstrålen och magneternas olika poler får elektronerna att svänga. Då frigörs synkrotront ljus som skickas via ett strålrör till en experimentstation.



4 Stor lagringsring

Elektronerna i den stora ringen har en elektronenergi på 3,0 GeV. Det finns plats för 19 strålrör med tillhörande experimentstation. Den unika designen hos MAX IV ger en mycket stark ljusstråle viken tillåter experiment som aldrig tidigare har gjorts.

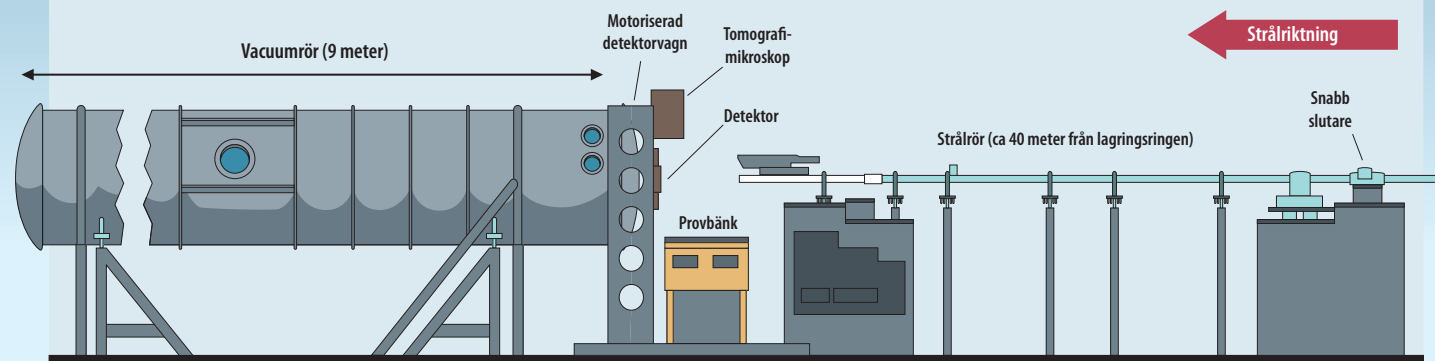


5

Strålrör och experimentstationer

MAX IV har idag 16 strålrör med tillhörande experimentstationer och planerar för 10-15 till. Experimentstationerna kan vara konstruerade på olika sätt beroende på vilken typ av experiment som ska utföras.

Bilden visar experimentstationen ForMAX som kan detektera strukturell karaktäristik för olika material från nanoskala upp till millimeterskala. Stationen är byggd för att snabbt ändra inställningar vilket gör det möjligt att kombinera flera kompletterande mätningar sekventiellt i samma experiment.



HAN ÄR SPINDELN I FORSKNINGENS STORA NÄT

Forskning är internationell. Europas stora forskningsanläggningar är förenade i ett nät. Vägen in till detta nät går via Big Science där Patrik Carlsson från Göteborg sitter som en spindel i nätet.



Försvarmakten vill ha en stärkt nationell forskning och samordning mellan civila och internationella aktörer. Ett sådant samarbete finns i Big Science Sweden och som en spindel i det svenska nätet sitter Patrik Carlsson.

– Big Science Sweden är ett samarbete som drivs av universitet, institut och teknikföretagen och syftar till att stärka Sveriges engagemang i utveckling, överföring och leveranser av teknik för stora forskningsanläggningar, som till exempel partikelfysiklaboratoriet CERN, fusionsreaktorn ITER och synkrotronlusanläggningen Max IV (se sid 60–63). Anläggningarna behöver utveckla ny teknik för att bryta ny vetenskaplig mark, säger Patrik Carlsson.

– I vårt uppdrag ingår att fånga upp teknologier från dessa anläggningar för att utveckla kompetens i Sverige. Ett företag kan till exempel vara med i ett projekt för att utveckla bättre förstärkare för ett radioteleskop därför att man är intresserad av att använda teknologin för andra ändamål. Ett radioteleskop skapar också enorma datamängder och då kan det vara intressant för ett företag som arbetar med stora datamängder att vara med i projektet.

Patrik Carlsson är materialforskare från början och har tvingats att bli generalist.

– Jag gillar teknologi och är bra på att hitta rätt människor som behövs för samarbetsprojekt för att utveckla teknologier. I min forskning använde jag neutroner för att studera polymerer och jag arbetade sedan många år med att utveckla och bygga neutronkällan European Spallation Source i Lund. Då fick jag kontakt med flera av de stora anläggningar som Big Science Sweden arbetar med idag.

BAKOM BIG SCIENCE Sweden står som finansierare Vetenskapsrådet och Vinnova. Big Science Sweden är länken mellan Sveriges industri, universitet och institut och de internationella forskningsanläggningarna.

Dessa anläggningar är ofta gigantiska som till exempel radioteleskopet The Square Kilometre Array, som nu byggs i Storbritannien, Australien och Sydafrika. För att driva dessa anläggningar och kontrollera processerna krävs massor av avancerade teknologier. Patrik Carlssons uppgift är bland annat att plocka ut godbitarna ur denna teknologikarta.

– Företagen som är med i nätverket deltar i teknikutveckling, tar hem teknologi och kunskap de är intresserade av och gör affärer med anläggningarna och Big Science Sweden hjälper dem med detta. Det kan gälla magneter, nya material och tillverkningsmetoder, elektriska styrsystem och krafttaggre-

» Jag gillar teknologi och är bra på att hitta rätt människor som behövs för samarbetsprojekt för att utveckla teknologier«

gat. De testar också sina egna system och teknologier på anläggningarna. En jätte som CERN har till exempel miljoner kontrollpunkter och det använder till exempel ABB för att utveckla sina driftssystem och även minska CERNs energiförbrukning.

– Anläggningarna är av många olika typer. En del studerar den yttre rymden och andra de minsta partiklarna. Gemensamt är att det är ungefär samma teknologier som behövs för att dessa anläggningar ska fungera och de driver utvecklingen av teknologier inom flera områden. Dessa teknologier kan även användas för andra områden, säger Patrik Carlsson. Det som vi gör för teleskoperna kan vara till nytta för telekombranschen och förmodligen även för försvaret. Tekniken för radioastronomi som utvecklades under 1960- och 70-talen har till exempel lagt grunden för mikrovågsteknologin på Chalmers. Ett annat exempel är utvecklingen av adaptiv optik. Den går ut på att man med laser kan studera atmosfärens turbulens och sedan justera formen på speglar i optiken för att kompensera för turbulensen och få skarpare bilder. Tekniken utvecklades från början för försvarsändamål under kalla kriget men utvecklades sedan vidare av bland annat Lunds universitet för teleskop. Den används nu i det nya optiska jätteleoskopet som byggs i Chile och väntas ge bilder som är långt bättre än Hubbleteleskopets. □



Big Science Sweden

En länk mellan svensk industri och tretton internationella forskningsorganisationer.

Synkrotronljusanläggningar

- MAX IV – Lund Sverige
- ESRF – Grenoble Frankrike
- DESY – Hamburg Tyskland
- XFEL – Hamburg Tyskland



Neutronkällor för materialforskning

- ESS – Lund Sverige
- ISIS – Harwell Storbrit.
- ILL – Grenoble Frankrike



Partikelacceleratorer

- CERN – Geneve, Schweiz
- FAIR – Darmstadt, Tyskland



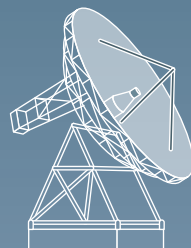
Fusion



- ITER – Cadarache, Frankrike
- F4E – Barcelona, Spanien

Markbaserad rymdforskning

EISCAT – Kiruna, Sverige



ESO – HQ i München, Tyskland

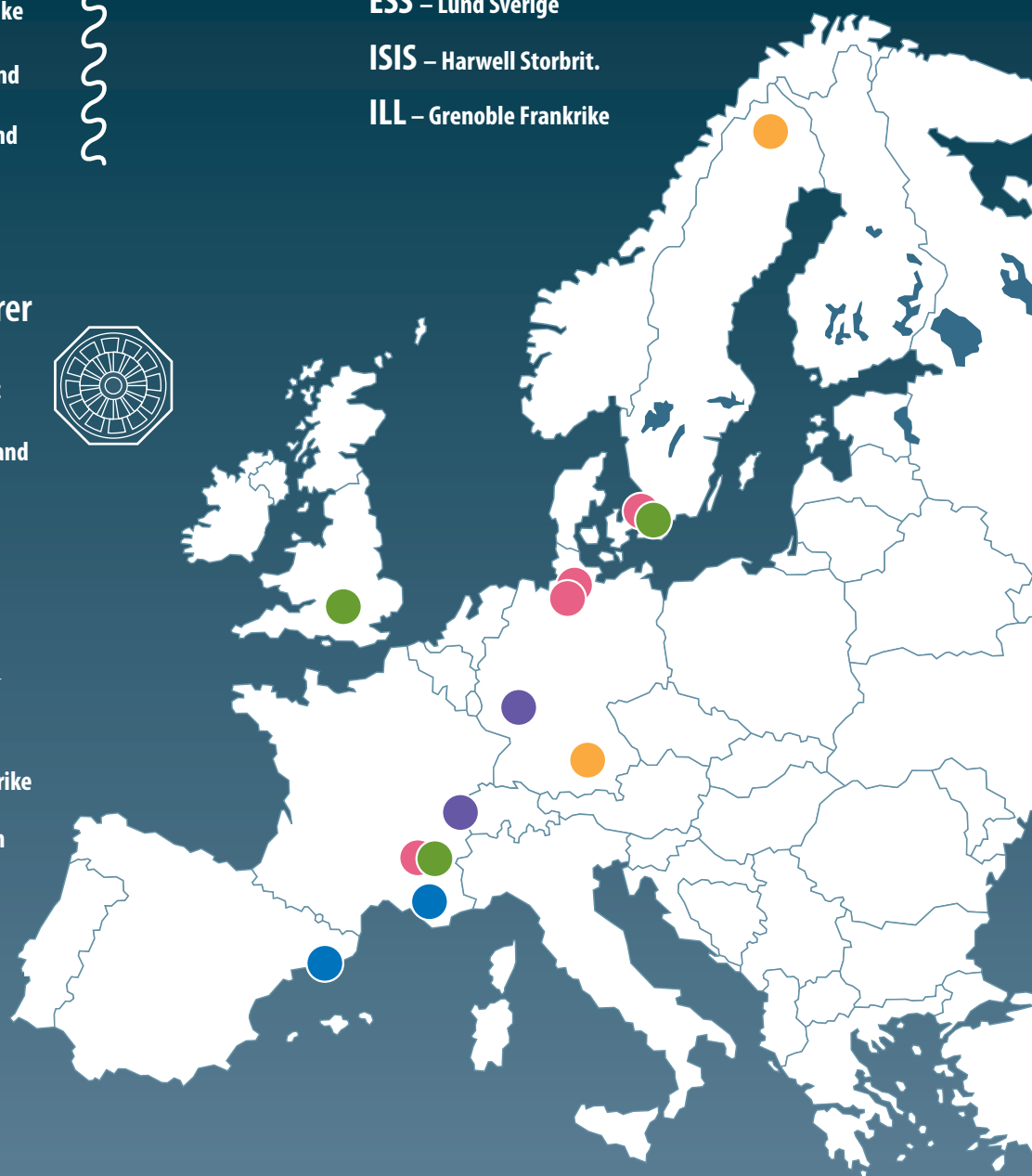


Teleskop i Chile

SKA – Square Kilometre Array



Teleskop i Sydafrika och Australien



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

TEXT OCH FOTO: Jan-Ivar Askelin om inget annat anges

GRAFIK: Martin Ek

GRAFISK FORM: Peter Ehrlin

TRYCK: FMLOG Försörjning Grafisk Produktion

ÖVRIGT FOTO: Getty Images

FMV dokumentbeteckning: 22FMV1402-12 ISBN: 978-91-87723-23-0