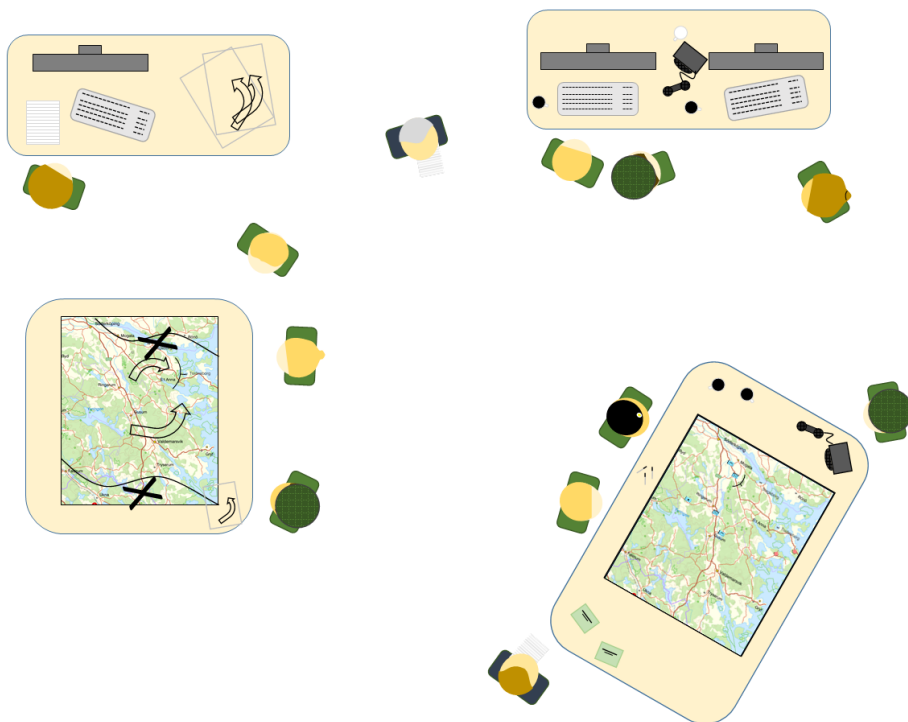




FOI:s forskning inom ledningsteknologi 2021–2023

Litteraturoversikt av publikationer från FOI
inom forskningsområdet Ledningsteknologi

JONAS HERMELIN



Jonas Hermelin

FOI:s forskning inom ledningsteknologi 2021–2023

Litteraturöversikt av publikationer från FOI inom
forskningsområdet Ledningsteknologi

Titel	FOI:s forskning inom ledningsteknologi 2021–2023 – Litteraturoversikt av publikationer från FOI inom forskningsområdet Ledningsteknologi
Title	Research by FOI regarding Command, Control and Communications (C3) 2021–2023 – A literature review of publications by FOI within the research area C3 and Human Factors
Rapportnr/Report no	FOI-R--5739--SE
Månad/Month	Juni
Utgivningsår/Year	2025
Antal sidor/Pages	47
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare/Client	FMV
Forskningsområde	Ledningsteknologi
Projektnr/Project no	E3800906
Godkänd av/Approved by	Linda Sjödin
Ansvarig avdelning	Cyberförsvar och ledningsteknik

Bild/Cover: Illustration av Jonas Hermelin

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

FOI bedriver forskning inom ett flertal forskningsområden relevanta för Försvarsmaktens tekniska och metodmässiga utveckling. Forskning inom respektive område sker i separata projekt och av projektgrupper med varierande kontakt med varandra. Det kan därmed vara utmanande att få en översiktlig bild över den forskning som bedrivs.

Målet med denna rapport är att ge en översikt av FOI:s öppet publicerad forskning inom forskningsområdet Ledningsteknologi mellan åren 2021 och 2023. Syftet är att stödja identifiering av synergier mellan relaterade projekt, publikationer och forskare, samt ge en ökad förståelse för teknikutvecklingens mognad som stöd till utvecklingen av framtidens ledningsstödssystem.

Översikten är skapad genom en litteraturstudie av öppna FOI-rapporter och FOI-memon. Publikationerna har sammanställts och grupperats utifrån forskningsdelområdena: *Intelligent informationssystem för försvar och säkerhet*, *Människa Teknik Organisation* och *Robust radiokommunikation*. Utöver denna indelning har publikationerna även kategoriserats baserat på faktiskt innehåll för att hitta synergier mellan delområdena. Baserat på sammanställningen har fyra utvecklingsspår identifierats som bedöms intressanta för framtida generationer av LSS Mark.

Nyckelord:

Ledningsteknologi, litteraturstudie, forskningssammanställning, ledningsstödssystem

Summary

FOI conducts research in several research areas relevant for the technical and methodological development of the Swedish Armed Forces. One such research area is *C3 and Human Factors*. The research in the area is conducted in separate projects and often by separate groups of people. This makes it a challenge to have a broad overview of the current research.

The goal of this report is to provide a broad overview of the projects and research published during 2021–2023 within the area of *C3 and Human Factors*. The purpose is to support the identification of relevant synergies between projects, publications, and researchers, together with a better understanding of technical maturation to support future C2 support systems.

The overview is based on a literature review of open FOI reports and FOI memos. The publications are collated and grouped by the three research subareas: *Decision Support Systems*, *Man-Technology-Organisation*, and *Robust radio communication*. Additional grouping has been done based on the content of each publication to identify synergies between subareas. Based on the overview, four areas of development have been identified as relevant for future generations of LSS Mark.

Keywords:

C3 and Human Factors, C2, command and control, literature review

Innehållsförteckning

1	Inledning	6
1.1	Disposition	7
2	Metod.....	8
3	Resultat.....	10
3.1	Intelligenta informationssystem för försvar och säkerhet.....	10
3.1.1	AI-baserat stöd för planering och taktiserande	10
3.1.2	Automatiserad kunskaps- och informationshantering	11
3.1.3	Internet of things (IoT) och smarta sensorer	16
3.1.4	Systemutveckling för trovärdig AI	17
3.2	Människa Teknik Organisation	20
3.2.1	Människa-system interaktion och fysiologi	20
3.2.2	Framtidens ledning och ledningssystem	22
3.2.3	Metoder för systemutveckling och –värdering.....	25
3.2.4	Kompetensförsörjning.....	27
3.3	Robust radiokommunikation	29
3.3.1	Frekvenshantering och vågformer.....	29
3.3.2	Modellering och simulering av radiosamband och vågutbredning.....	32
3.3.3	Framtida sambandslösningar	33
4	Diskussion	36
4.1	Datahantering och påverkan från AI.....	36
4.2	Kortare utvecklingscykler.....	37
4.3	Förändring av arbetsuppgifter och kompetensbehov.....	39
4.4	Heterogen och adaptiv transmission	40
5	Referenser	41

1 Inledning

Ledningsstödsystem för ledning av militära förband är en komplex typ av system med ett stort antal beroenden och tätt kopplade delsystem. De grundläggande behoven för ledningsförmåga är troligen desamma nu som i framtiden. Behov som att: sammanställa beslutsunderlag, fatta beslut, kommunicera aktuellt läge, förmedla en inriktning och målbild samt samordna vad ett stort antal personer jobbar mot på geografiskt spridda platser. Hur dessa uppgifter utförs och i vilken takt det måste ske beror däremot på vilka tekniska hjälpmedel som finns tillgängliga och i vilken takt motståndaren arbetar. En snabb teknisk utveckling avseende kommunikation, beslutsstöd och verkanssystem innebär nya möjligheter och nya krav på utformningen av framtida ledningsstödsystem.

FOI bedriver forskning inom ett antal områden för att utveckla och vidmakthålla kunskap om tekniska och metodmässiga möjligheter relevanta för framtidens ledning. Detta sker både genom en större samlingsbeställning från Försvarsmakten benämnd Forskning och teknikutveckling (FoT), ofta i form av treåriga projekt, och genom direktbeställningar från Försvarsmakten och FMV. FOI delar in sin forskning i forskningsområden. Mellan 2019 och 2023 var forskningsverksamhet vid FOI indelad i följande tolv områden: CBRN-frågor, Flygsystem och rymdförmågor, Försvarsekonomi, Informationssäkerhet, Krisberedskap och civilt försvar, Ledningsteknologi, Operationsanalys och strategisk planering, Sensorer och signaturanpassning, Säkerhetspolitik, Telekrig, Undervattensforskning, samt Vapen, skydd och säkerhet.

Fokus i denna rapport är forskningsområdet Ledningsteknologi, vilket innefattar den forskning som sker inom Försvarsmaktens FoT-område *Ledning och MSI*, men även studier som bedrivs inom andra typ av uppdrag. Inom FOI är området Ledningsteknologi indelat i tre forskningsdelområden:

- Intelligent informationssystem för försvar och säkerhet
- Människa Teknik Organisation
- Robust radiokommunikation

Det finns relevant forskning med påverkan på framtidens ledningssystem inom övriga forskningsområden, inte minst inom Informationssäkerhet, Sensorer och signaturanpassning, Telekrig, samt Flygsystem och rymdförmågor, men som är utanför omfattningen för denna översikt.

Resultat från enskilda projekt redovisas både i publikationer utgivna av FOI, såsom, FOI-rapporter och FOI-memon, och i publikationer utgivna av andra, så som vetenskapliga tidskrifter och konferenser. Det publiceras däremot vanligen ingen övergripande översikt över den forskning som bedrivs inom hela forskningsområdet. Målet med denna rapport är att ge en översikt av FOI:s öppet

publicerad forskning inom området Ledningsteknologi mellan åren 2021 och 2023.

Syftet med denna översikt är att stödja identifiering av trender, hitta synergier mellan projekt och ge en ökad förståelse för teknikutvecklingens mognad som stöd till utvecklingen av framtidens ledningsstödssystem.

Sammanställningen kommer användas som underlag för FOI:s stöd till Försvarsmakten och FMV gällande utvecklingen av framtidens LSS Mark¹.

1.1 Disposition

Kapitel 2 ger en beskrivning av metod för identifiering och urval av ingående publikationer.

Kapitel 3 innehåller en översiktlig beskrivning av den forskning som bedrivits och kategoriserats som relevant inom respektive delforskningsområde Intelligent informationssystem för försvar och säkerhet, Människa Teknik Organisation och Robust radiokommunikation.

Kapitel 4 innehåller en diskussion och syntes som identifierar några forskningsinriktningar som kan vara relevanta att fortsätta bevaka för framtidens LSS Mark.

¹ LSS Mark är Försvarsmaktens ledningssystem för förband inom markdomänen.

2 Metod

Studien genomfördes i form av en litteraturstudie i följande faser: (1) identifiering av publikationer, (2) urval av publikationer, (3) bedömning av relevans, samt (4) sammanfattning och syntes.

Identifiering av publikationer. Identifieringen av publikationer skedde primärt med FOI:s interna sökverktyg för rapporter och memon. Fokus för sökningen var öppna FOI-rapporter och FOI-memon, klassificerade till området Ledningsteknologi och utgivna mellan 2021 – 2023. Via dessa publikationer identifierades projekt aktiva inom området. Baserat på dessa projekt identifierades ytterligare publikationer, även sådana som inte kategoriserats tillhörande forskningsområdet Ledningsteknologi. Detta gällde främst FOI-memon, där det varierar huruvida de klassificeras i ett forskningsområde eller inte. En utmaning med identifieringen är att publikationer ofta klassificeras utifrån projektens organisatoriska tillhörighet, snarare än rapportens innehåll.

Urval av publikationer. Publikationer inkluderades oavsett om de producerats inom ramen för Försvarmaktens FoT-beställning eller inom beställningar för direktuppdrag. Urvalet av publikationer har begränsats till FOI-rapporter och FOI-memon, vilket exkluderar externt utgivna publikationer, t.ex. vetenskapliga artiklar och konferensbidrag. Ett antagande i studien har varit att FOI:s egna publikationer, som syftar till att rapportera till uppdragsställarna, har varit tillräckliga för att ge en övergripande bild över genomförd forskning. Det finns därmed en risk att forskningsresultat som endast redovisats i externa publikationer saknas i denna översikt.

Bedömning av relevans. Efter urvalet av publikationer genomfördes en bedömning av relevans för varje publikation. Relevansen bedömdes utifrån forskningens koppling till framtida ledningssystem. Urvalet har exkluderat publikationer av ren teknisk karaktär, som har varit svåra att generalisera till påverkan på framtida ledningssystem, samt publikationer av administrativ eller avrapporterande karaktär. Inom forskningsdelområdet Robust radiokommunikation finns publikationer från ett projekt med fokus på robust positionering, navigering och tid (PNT). Detta har inte inkluderats, då fokus har varit på obemannade plattformar med autonoma förmågor. Forskning har dock på ett tekniskt plan en inverkan på robustheten hos ledningsstödsystem som nyttjar positionsdata.

Sammanfattning och syntes. Inkluderade publikationer lästes i sin helhet och summerades. Baserat på summeringarna identifierades tematiska indelningar inom varje forskningsdelområde. Information relaterat till ledningsstödsystem i respektive publikation summerades vidare under tillbörligt tema. Vissa publikationer omfattar information som berör flera teman och forskningsdelområden. För att skapa en syntes mellan områden förekommer dessa publikationer på flera ställen i översikten där de innehållsmässigt är relevanta.

Sammanställningen strävar därmed efter att ge kopplingar mellan publikationer som innehållsmässigt är nära och relevanta för varandra, men som administrativt kategoriserats i olika forskningsdelområden.

3 Resultat

I detta kapitel sammanfattas de rapporter och memon som inkluderats i översikten. FOI:s indelning av forskningsdelområden har använts som övergripande kategorisering, även för de publikationer som inte producerats inom FoT-projekt. De publikationer som inte administrativt kategoriserats i ett forskningsdelområde har av författaren till föreliggande rapport kategoriserats inom det delforskningsområden som ämnesmässigt ligger närmst till.

3.1 Intelligent informationssystem för försvar och säkerhet

Inom forskningsdelområdet *Intelligent informationssystem för försvar och säkerhet* redovisas publikationer i följande fyra teman:

- (1) AI-baserat stöd för planering och taktiserande,
- (2) Automatiserad kunskaps- och informationshantering,
- (3) IoT och smarta sensorer,
- (4) Systemutveckling för trovärdig AI.

3.1.1 AI-baserat stöd för planering och taktiserande

Detta tema omfattar de studier som diskuterat hur AI-baserade system kan användas för att stödja beslutsfattare i att utveckla planer eller agera stöd vid taktisering. Översikt av projekt och publikationer inom temat visas i Tabell 1.

Tabell 1 Projekt och publikationer gällande *AI-baserat stöd för planering och taktiserande*

År	Projektnamn	FoT	Referenser
2021–2022	Artificiell Intelligens för Beslutsstöd och Kognitiva System (AIBKS)	•	Luotsinen m.fl. (2021) Kamrani m.fl. (2023)
2021–2023	Framtida gränssnitt	•	Levin m.fl. (2023)
2022	AI-stöd för taktik- och strategiutveckling		Brynielsson m.fl. (2022)
2022	Förstudie: AI-baserade beslutsstöd		Brynielsson och Cohen (2022)
2022–	Avskanning, värdering, och utveckling av AI-metoder (Athena)		R. Johansson, Hammar m.fl. (2023)
2023–	AI för beslutsstöd i ledningssystem	•	Brynielsson m.fl. (2023)

Att nyttja AI-baserade system för att stödja planering är en form av så kallad preskriptiv dataanalys, vilket innebär att baserat på tillgänglig data kunna göra förutsägelser eller ge förslag på ett optimalt agerande givet en viss situation och

skulle därmed kunna användas som planeringsstöd. Enligt R. Johansson, Hammar, m.fl. (2023) är detta nästa tekniska steg att mogna inom dataanalys, som påbyggnad på deskriptiv dataanalys.

Brynielsson m.fl. (2022) beskriver hur en AI-modell, ursprungligen tänkt för att spela poker, kan användas i marin planering för att öka oförutsägbarheten hos egna enheters rörelsemönster. Denna typ av modeller skulle kunna användas för att generera avsökningsmönster för patrullering av områden som är systematiskt oförutsägbara. Brynielsson och Cohen (2022) föreslår i en förstudie fortsatta studier för hur algoritmer, likt AlphaZero, kan användas för taktikutveckling och utbildning, samt planering. Syftet var att utvärdera möjligheten för att tillämpa AI-modeller för att spelteoretiskt analysera dels ubåtsjakt och dels markstrid. Genom att utveckla prototyper av beslutsstöd för ubåtsjakt går det studera hur det går att designa beslutsstöd som inte är exploaterbara för motståndaren (Brynielsson m.fl., 2023). I situationer som ubåtsjakt, som inkluderar adaptiva och kreativa aktörer som aktivt bedriver vilseledande beteende, uppstår en speciell utmaning. En antagonist som kan förutse vad en prediktiv modell skulle föreslå kan välja att agera på ett annat sätt. En möjlig lösning på detta är att nyttja självspelade förstärkningsinlärning för att skapa oförutsägbarhet hos modellerna. Brynielsson m.fl. (2023) föreslår därför utvecklingen av prototyperna baserade på självspelade förstärkningsinlärning för att bli oförutsägbara.

Införandet av nya former av avancerade AI-baserade stödsystem innebär att även interaktionen mellan stödsystem och beslutsfattare behöver studeras. För att studera interaktionen och acceptansen hos användaren har Levin m.fl. (2023) utvecklat ett koncept där den svenska metoden för *planering under tidspress* (PUT) genomförs med stöd av en generativ AI-språkmodell. Genom att ge ett AI-system information och förutsättningar kring ett scenario är målet att en beslutsfattare kan ställa frågor och be systemet om olika uppslag på taktiska avvägningar. I Levin m.fl. (2023) beskrivs hur ett PUT-stöd kan implementeras i en språkmodell med hjälp av så kallad priming och prompt engineering. Initiala tester visar på vikten av att vägleda användare i hur den textbaserade interaktionen med stödverktyget kan gå till, då det kan finnas en ovana av att interagera med system genom att ställa textuella frågor. Målet med konceptutvecklingen var att ge inspiration till hur generativ AI kan användas, utveckla förmåga att bedriva användarstudier på denna typ av interaktion och börja studera vad tekniken medger utifrån ett användarcentrerat perspektiv.

3.1.2 Automatiserad kunskaps- och informationshantering

Detta tema omfattar de studier som diskuterat hur AI-baserade system kan användas för att automatisera sammanställning, bearbetning och presentation av information för olika syften. Översikt av projekt och publikationer inom temat visas i Tabell 2.

Tabell 2 Projekt och publikationer gällande *Automatiserad kunskaps- och informationshantering*

År	Projektnamn	FoT	Referenser
2019–2021	Metoder och teknik för informationshantering och analys (MIA)	•	F. Johansson, Horndahl m.fl. (2021) Rosell m.fl. (2022)
2021–2023	AI i underrättelseflödet		Oskarsson m.fl. (2023)
2021–2023	AI-baserad textbehandling för stabsstöd		Bethdavid och Hellman (2023) Hellman och Gustavi (2021) Hellman, Bethdavid och Gustavi (2023a) Hellman, Bethdavid, och Gustavi (2023b)
2022–2023	Kunskaps- och informationshantering för analys (KIA)	•	Sabel m.fl. (2022)
2022–2023	Informationshantering i Försvarsmakten		Mojtahed m.fl. (2023)
2022–	Avskanning, värdering, och utveckling av AI-metoder (Athena)		R. Johansson och Söderberg (2023) R. Johansson, Hammar, m.fl. (2023) R. Johansson, Hörling m.fl. (2023) R. Johansson, Tjörnhammar m.fl. (2022) Rydström och Johansson (2023) Schubert m.fl. (2023) Schubert (2023)

Maskininlärning används inom flera former av automatiserad kunskaps- och informationshantering, som inkluderar textanalyser, tal till text, bildanalys, detektion av syntetiskt skapat material och informationsfusion. Inom flera projekt har analys av textuell information studerats, för att se hur modeller kan tränas och nyttjas i ändamål relevanta för Försvarsmakten. Fokuserade områden har varit att studera maskininlärningsmodeller som bland annat automatiskt kan identifiera namngivna entiteter som platser, personer eller objekt i text (Hellman, Bethdavid och Gustavi, 2023a), hur stora språkmodeller och så kallad chattrobotar² som kan användas för textanalyser och kunskapsextraktion i en militär kontext (Hellman, Bethdavid och Gustavi, 2023b) samt hur analys av ostrukturerad data kan göras för att bedöma partiskhet och trovärdighet i utsagor (Rosell m.fl., 2022). I det senare fallet har en prototyp utvecklats för *semi-automatisk datadriven webbanalys* som samlar in, lagrar, analyserar och tillgängliggör informationen från Twitter för en användare (Rosell m.fl., 2022). Analysen möjliggör sätt att filtrera fram information baserat

² En chattrobot definieras av Hellman, Bethdavid och Gustavi (2023) som ”en språkmodell som finjusterats för att följa instruktioner och hålla konversationer”.

på både textuellt- och bildinnehåll. Ett flertal metoder har dessutom utvärderats, med syfte att analysera partiskhet, trovärdighet samt identifiera text skapad med generativa språkmodeller.

Tidigare identifierade utmaningar med att utveckla stöd för textanalys, så som automatisk sammanställning av rapporter, är bristen på träningsdata (Hellman och Gustavi, 2021). För att kompensera för bristen av stora dataset har Bethdavid och Hellman (2023) utvärderat en metod som nyttjar flera mindre dataset från andra domäner än måldomänen. Författarna menar att deras resultat visar att det är möjligt med bibehållen prestanda för entitetsdetektion att på detta sätt nyttja flera mindre datamängder, istället för en större datamängd. Detta innebär att modeller kan tränas med tillgängliga icke-militära och öppna datamängder, men ändå prestera väl i specifikt militära sammanhang. Användning av befintliga stora språkmodeller som ChatGPT har också föreslagits då de redan är tränade på stora mängder data (Bethdavid och Hellman, 2023). Dessa språkmodeller kan dock ha en lägre pålitlighet. Det finns dock ett antal metoder som kan användas för att öka tillförlitligheten hos chatbotar (Hellman, Bethdavid och Gustavi, 2023b). Fortsatt utveckling av dessa system för militära syften kräver dock tillgång till lämplig träningsdata i form av order och rapporter på svenska (Hellman, Bethdavid och Gustavi, 2023a). Sådana träningsdata behöver vara strukturerade och annoterade för att möjliggöra datoriserad textbehandling. Ett steg som pekas ut för detta är ett påbörjat arbete med att förbättra rutiner inom Försvarsmakten för att strukturerat tillvarata denna typ av data från övningar, så att den kan användas för utvecklings-syfte (Hellman, Bethdavid och Gustavi, 2023b).

Det finns numera färdigtränade, tillgängliga maskininlärningsmodeller med god förmåga att transkribera tal till text (Oskarsson m.fl., 2023). Att nyttja dessa typer av modeller i miljöer med sämre ljudkvalitet och på tal med domänspecifik jargong och fackspråk innebär dock större utmaningar. Oskarsson m.fl. (2023) har utvärderat hur färdigtränade modeller presterar i denna typ av mer utmanande situationer, som polisiär underrättelseinhämtning och transkribering av förhör. Utvärderingen visar att modellerna är tillräckligt robusta för att prestera både i bullriga miljöer och hantera tal med speciell jargong och fackspråk.

Maskininlärningsmodeller som tränats för bildanalys för att till exempel identifiera närvaron av vissa objekt i en bild har tidigare främst varit domänspecifik och enbart utgått från bilder vid träning. Med denna typ av träning lär sig dock modellerna inget konceptuellt om objekten som identifierats, vilket innebär att de har svårare att generalisera kunskapen samt måste tränas om ifall nya typer av klassificeringar införs. En metod som på senare tid introducerats är den så kallade multimodalmodellen, där en maskininlärningsmodell tränas exempelvis på bilder med tillhörande textuella beskrivningar (Sabel m.fl., 2022). Multimodal inlärning kan på så sätt skapa en modell som antingen kan annotera nya bilder med beskrivande text eller söka efter bilder baserat på text. Sabel m.fl. (2022) har studerat förmågan hos en specifik multimodal modell, CLIP, för att antingen göra

bildsökningar baserat på textbeskrivningar samt att göra så kallad finkornig bildklassificering. Finkornig bildklassificering innebär att modellen har förmåga att särskilja på objekt som är mycket lika varandra, som att kunna särskilja olika fågelarter. Resultaten i studien visar att modellen fungerar för såväl bildsökning via textbeskrivningar som finkornig bildklassificering utan speciell träning. Författarna finner att denna typ av modeller är mycket känsliga gällande hur texten som används vid bildsökningar formuleras. I en studie av Lif m.fl. (2021) jämfördes i vilken grad bilder av fordon korrekt klassificerades av antingen mänskliga bedömare eller av en algoritm. Resultatet visade att för vissa fordon var mänskliga bedömare bättre, medan algoritmen presterade bättre än människor på andra fordon.

Utvecklingen inom generativ AI har inneburit att det nu, utöver textuellt innehåll, dessutom går att skapa trovärdiga syntetiska bilder av personer, syntetiska videofilmer och syntetiska röster, som är svåra för människor att skilja från äkta (F. Johansson, Horndahl m.fl., 2021). F. Johansson, Horndahl m.fl. (2021) utvärderar olika metoder för att automatisk detektera syntetiskt material. Rosell m.fl. (2022) utvärderar ytterligare modeller med fokus på att identifiera syntetiska fotografier. Resultaten från båda studierna visar att det går att identifiera syntetiskt material, men att dessa metoder inte är tillräckliga eller tillförlitliga. En orsak till att det inte säkert går att identifiera syntetiskt material är att detektionen är beroende av kunskap om modellen som använts för att skapa bilderna och hur den tränats (Rosell m.fl., 2022). Detektion av syntetiskt material kan därför förhindras genom att medvetet tillföra brus för att förvilla detektionsalgoritmer eller att nyttja generativa modeller som tränats med icke-publik träningsdata (F. Johansson, Horndahl m.fl., 2021).

Inom området informationsfusion studeras metoder för att sammanställa information från flera oberoende källor för att skapa bättre underlag för bedömningar om sannolikhet eller hypotesbedömningar (Schubert m.fl., 2023). Informationsfusion är relevant för ett antal områden, som målföljning med radarsensorer, diagnostisering inom sjukvård och underrättelseanalys. I Schubert m.fl. (2023) rapporteras om en uppdaterad avskanning av forskningsfronten inom informationsfusion. Författarna lyfter fram exempel som de anser är relevanta för ledningsstödsystem: (1) *system för text- och bildanalys för underrättelseanalys*, (2) *metoder för att skapa lägesbilder* och (3) *system för hotigenkänning*. Med text- och bildanalys kan information från nyhets- och sociala media-källor automatisk analyseras i underrättelsesyfte. För skapande av lägesbilder diskuteras bland annat hur fusion av osäker data gällande lägesbilder kan sammanställas och hur analyser kan prediktera rörelsemönster och upptäcka avvikande beteenden hos entiteter, inom exempelvis kommersiell sjötrafik. Systemet för hotigenkänning baseras på att matcha rörelsemönster hos enheter till sedan tidigare definierade hotfulla ageranden, för att på så sätt identifiera pågående anfallsmönster. Fler exempel på informationsfusion relevant för ledningssystem ges i forskningsöversikten av R.

Johansson, Tjörnhammar m.fl. (2022), exempelvis bedömning av luftstrids-situationer, planering av rutter för UAV:er, detektion av fientliga UAV:er, taktiskt beslutsstöd i form av mobilapplikation som kan stödja planering och visualisera information med förstärkt verklighet (eng. *augmented reality*, AR), system som kan stödja vid minröjning genom att stödja identifiering av misstänkt farliga områden, samt system för att extrahera ut information från texter.

Schubert (2023) redovisar en översikt över ett antal områden och hur aktiv forskningen har varit inom respektive område mellan 2008–2022. De områden som Schubert (2023) beskriver kan kategoriseras som metoder för att höja förmågan hos AI att resonera symboliskt och hantera kausalitet, metoder för hur AI-beräkningar kan distribueras, olika metoder för att träna AI, olika syften med AI (prediktiv eller generativ), samt metoder för hur autonoma agents beteende kan beskrivas. R. Johansson, Tjörnhammar m.fl. (2022) beskriver också utvecklingen inom AI-forskning av *neurosymboliskt lärande och resonerande* (NSR). Med NSR eftersträvas att kombinera olika typer av AI som bygger på olika typer av teknik, symbolisk och konnektionistisk AI. Symbolisk AI har förmåga att skapa interna representationer för expertkunskap och använda detta till logiska resonemang. Denna teknik har dock svårt att hantera osäker och komplex data. Konnektionistisk AI bygger istället på artificiella neuronnät (ANN) vilka är bra på att hantera större mängder data och extrahera kopplingar och samband i datamängden. ANN saknar däremot symbolisk representation av information och kan inte föra logiska resonemang. Hybridmetoder som NSR, strävar efter att nyttja fördelarna med symbolisk representerad kunskap med fördelningarna i hur ANN kan tränas på nya data. Ett exempel är ett system där IBM och MIT utvecklat ett NSR-system kallat NS-VQA (*Neuro-symbolic visual querying and answering*). Detta system kombinerar ett flertal maskininlärningskomponenter för både bild- och textanalys tillsammans med en resonerande funktion för att bättre kunna svara på frågor om bilder, samt att systemet kan förklara hur dess analys gick till (se R. Johansson, Tjörnhammar m.fl., 2022).

Det finns en önskan i Försvarsmakten att utvecklas mot att bli en mer datadriven organisation, vilket innebär att organisationen strävar efter att ta faktabaserade beslut grundade i högkvalitativ data som samlas in löpande (Mojtahed m.fl., 2023). Ett datadrivet arbetssätt beskrivs ske med tre analysnivåer: *deskriptiv analys* för att identifiera aktuellt läge och vad som hänt, *prediktiv analys* som kan förutse förlopp baserat på mönster i data och *preskriptiv analys* som identifierar handlingsalternativ. Mojtahed m.fl. (2023) beskriver hur en datadriven ansats kan nyttjas av Operationsledningens funktion för civil-militär samverkan (J9). Projektet utvecklade ett verktygsstöd för att samla in och analysera mediabevakning av Försvarsmakten med ett chatbot-baserat gränssnitt för att låta operatörer via frågor utforska datamängden. Mojtahed m.fl. (2023) har även studerat vilka strategier försvarsorganisationer i andra länder har för digitalisering och hur de utvecklas mot att bli mer datadrivna. Gemensamt för dessa verkar vara

målet att öka möjligheten för att dela data inom organisationen och att vara öppna för att anamma molnlösningar.

3.1.3 Internet of things (IoT) och smarta sensorer

Internet of Things (IoT) är ett samlingsbegrepp för hur enskilda tekniska enheter, t.ex. sensorer, kan kopplas upp till internet eller motsvarande molnlösningar. Detta tema omfattar de studier som diskuterat hur denna typ av teknik kan användas i eller påverkar ledningsstödsystem. Översikt av projekt och publikationer inom temat visas i Tabell 3.

Tabell 3 Projekt och publikationer gällande *IoT och smarta sensorer*.

År	Projektnamn	FoT	Referenser
2018–2021	Bevakningsansvariga myndigheter i samverkan (BEViS)		Andersson (2021)
2021	Värdering av intelligenta sensorsystem		Lif m.fl. (2021)
2021–2022	Samverkande IoT-system och avskanning		R. Johansson, Tjörnhammar m.fl. (2022) R. Johansson, Hörling m.fl. (2023) R. Johansson och Hörling (2022) R. Johansson, Hörling och Kamrani (2021)
2022	Telekonflikter och EMC		Wiklundh, Linder och Bergström (2022)
2022–	Avskanning, värdering, och utveckling av AI-metoder (Athena)		R. Johansson och Söderberg (2023)

R. Johansson, Hörling och Kamrani (2021) beskriver ett flertal tekniker och koncept för hur IoT-enheter kan länkas samman och nyttjas för att bygga datadrivna lägesbilder. R. Johansson, Hörling m.fl. (2023) sammanfattar det arbete som skett gällande myndighetssamverkan kring IoT under åren 2018 till 2023. Syftet med projektet var att studera förutsättningarna för IoT-samverkan mellan svenska myndigheter, t.ex. avseende förväntad nytta av samverkan, teknik som kan möjliggöra samverkan av databehandling och informationsutbyte, samt möjlig plattform för tänkt samverkan. R. Johansson och Hörling (2022) föreslår att Försvarsmakten kan dra nytta av IoT-system, exempelvis genom att realtidsinformation om omvärlden kan tillgängliggöras för ledningssystemen, vilket kan användas för att komplettera en militär lägesbild. R. Johansson och Söderberg (2023) redovisar en översikt av IoT-området och resultat från intervjuer med representanter från Försvarsmakten. Områden av intresse som lyfts är övervakning av skyddsobjekt där avvikelser från en normalbild kan detekteras med bättre tillgång till andra myndigheters sensorinformation. Det beskrivs också som intressant att kunna nyttja befintlig IoT-infrastruktur för att tillföra ”tillfälliga förmågor”. Detta exemplifieras med möjligheten att temporärt kunna ansluta till

civila trafiksensorer för att göra framkomlighetsanalyser eller analys av fordonsrörelser. Andersson (2021) beskriver ett system som används av nederländsk militärpolis som består av ett rikstäckande nätverk med videokameror (fasta och mobila), tillsammans med system för videodistribution och visualisering i kontrollrum och mobila enheter. R. Johansson och Söderberg (2023) menar att mer kunskap behövs inom Försvarmakten gällande IoT, både gällande möjligheter men också de risker det innebär och hur IoT-informationsflöden kan hårdas för att erhålla bättre tillförlitlighet. Inom projektet har en forskningsplattform utvecklats för att kunna studera och forska på funktioner som kan realiserats via IoT-samverkan. Till denna plattform är det tänkt att koppla sensorer och bedriva experiment kring hur information kan fusioneras och nyttjas på ledningscentraler.

Den ökade närvaron av IoT-utrustning och andra former av elektrisk och trådlös civil utrustning innebär också utmaningar för Försvarmakten. Utbyggnaden av solcellsanläggningar, trådlös laddning av elfordon och elvägar är exempel på utrustning som innebär en mer utmanande miljö för militära system på grund av telekonflikter, där elektrisk utrustning stör militära sambandssystem (Wiklundh, Linder och Bergström, 2022). Författarna konstaterar att en bidragande orsak till dessa konflikter är att det i flera fall saknas regler eller kontroll avseende elektromagnetisk strålning (EMC).

3.1.4 Systemutveckling för trovärdig AI

Detta tema omfattar de studier som diskuterat hur systemutveckling av AI-baserade system behöver hantera dessa systems speciella egenskaper och hur utvecklingen av dessa system ska ske för att uppnå så kallad trovärdig AI. Översikt av projekt och publikationer inom temat visas i Tabell 4.

Tabell 4 Projekt och publikationer gällande systemutveckling för trovärdig AI

År	Projektnamn	FoT	Referenser
2019–2021	IPT Meaningful Human Control of AI-based Systems		Woltjer m.fl. (2021)
2021–2022	Artificiell Intelligens för Beslutsstöd och Kognitiva System (AIBKS)	•	Luotsinen m.fl. (2021) Kamrani, m.fl. 2023
2021–2022	AI i radiokommunikationssystem		Axell, Eliardsson m.fl. (2022)
2021–2023	Framtida gränssnitt	•	Alenljung och Lindholm (2022)
2022–	Avskanning, värdering, och utveckling av AI-metoder (Athena)		Rydström och Johansson (2023). R. Johansson, Hammar, m.fl. (2023)
2022 –2023	Kunskaps- och informationshantering för analys (KIA)	•	Sabel m.fl. (2022)
2021–2023	AI-baserad textbehandling för stabsstöd		Hellman och Gustavi (2021) Bethdavid och Hellman (2023) Hellman, Bethdavid och Gustavi (2023a)

Utvecklingen av AI-baserade system skiljer sig principiellt från mer traditionella mjukvarusystem då AI-komponenter är icke-deterministiska och att funktionalitet hos systemen implementeras indirekt (R. Johansson, Hammar m.fl., 2023). Traditionellt implementeras funktionalitet på ett direkt sätt via explicit programmerade funktioner, medan motsvarande funktion i AI-system tas fram genom att modellen tränas på data och lär sig approximerar lämplig utdata. Likt traditionellt utvecklade mjukvaror finns det också ett behov av att kunna utvärdera, testa och verifiera AI-baserade system. Den ofta höga komplexiteten och de icke-deterministiska egenskaperna ställer dock andra krav på metoder och verktyg som används för utvärdering. Exempel på sådana metoder och verktyg som används idag redovisas av Rydström och Johansson (2023).

R. Johansson, Hammar m.fl. (2023) framhåller fyra områden som utmaningar för AI-system avseende systemutveckling: underhåll, kontinuerligt lärande, databearbetning och användaraspekter. En snabb utveckling inom AI och en vanlig metod för att distribuera AI-modeller har inneburit att det finns en så kallad teknisk skuld i utvecklade system. Denna skuld kan bestå av att utvecklarna tagit genvägar i implementationen, att koden är oöverskådlig eller dåligt dokumenterad. På sikt byggs det upp ett växande behov av underhåll och uppdateringar. Då AI-modellernas beteende är baserat på träningsdata kan modellen bli utdaterad om använd träningsdata inte längre återspeglar aktuella behov. Det finnas ett behov av att upptäcka när så är fallet och sätt för att uppdatera AI-modeller genom ett kontinuerligt lärande. Databearbetning är viktigt för att paketera data så att AI-modeller ska lära sig korrekt och ge högre kvalitet i bedömningar. Bearbetning kan också behöva göras för att minska komplexiteten hos modeller för att göra dem mindre hårdvarukrävande. Utmaningar kring användningen av AI-system gäller bland annat hur användare ska hantera att det finns risk för felaktiga prediktioner och hur användare ska förstå eventuella osäkerheten i prediktioner.

För att generalisera inläring hos AI-modeller från träningsdata till verkliga situationer krävs stora datamängder. Tillgång till tillräcklig träningsdata är en återkommande utmaning vid utveckling av AI-baserade system när träning av ANN-komponenten ska ske (Hellman och Gustavi, 2021; Bethdavid och Hellman, 2023; Hellman, Bethdavid och Gustavi, 2023a; Hellman, Bethdavid och Gustavi, 2023b). Luotsinen m.fl. (2021) beskriver olika tekniker för hur syntetisk data kan nyttjas för att ersätta eller förändra data från verkliga situationer för att kompensera för brist på tillgång till träningsdata. Syntetisk data, exempelvis genererad av generativa AI-modeller, kan användas för träning med goda resultat, men det ger inte samma effekt som verklig data. I Luotsinen m.fl. (2021) hänvisas till en studie där en modell med begränsad verklig träningsdata kompletterad med syntetisk data nådde 73 % noggrannhet, jämfört med 99 % om enbart verklig träningsdata

användes. Det krävs därmed fortsatt forskning för att överbrygga gapet mellan syntetisk data och faktisk data för att ge fullgod träningseffekt.

I takt med att maskininlärning baserat på tränade artificiella neurala nät (ANN) börjat användas har området för Adversial Machine Learning (AML) öppnats upp, vilket utforskar svagheter hos dessa modeller och sätt att angripa dem. Tre exempel på typer av sådana angrepp är *förgiftning av träningsdata*, vilket innebär att modellen lär sig felaktigt, *extraktion av information* från modellen som kan avslöja hemlig information som används vid träning och *fientlig policy* där en angripare betar sig på ett sätt som vilseleder modellen (Kamrani m.fl., 2023). Dessa typer av angrepp mot modeller beskrivs som fortfarande primärt akademiska för att demonstrera att de teoretiskt är möjliga, även om det finns faktiska exempel när metoder använts för att extrahera information eller vilseleda modeller. Axell, Eliardsson m.fl. (2022) rapporterar om studier gällande AML inom trådlös kommunikation. Ett användningsområde inom detta område är vid signalklassificering. För att försvåra klassificeringen kan små avvikelser medvetet planteras i den egna signalen i syfte att vilseleda försök att klassificera signalen.

Införande av AI-baserade beslutsstödsystem innebär en del speciella utmaningar som en följd av hur datadrivna AI-modeller fungerar, där transparens i hur och varför en modell gjort en viss tolkning är viktig. Alenljung och Lindholm (2022) diskuterar vilka aspekter som är viktiga i utformningen av dessa typer av system för att möjliggöra och förbättra hur människor kan använda dessa system i en militär kontext. Användarna behöver ges rimliga förväntningar genom en bättre förståelse för styrkor och svagheter hos AI-tekniken. Detta kan uppnås bland annat genom ökad transparens hos modellerna och inte minst genom att börja nyttja systemen vid övningar för att skapa erfarenhet. Regelbunden användning föreslås som ett sätt för användare att utveckla en korrekt nivå av förtroende för systemet. Relaterat till vad Sabel m.fl. (2022) noterat om modellernas känslighet för hur en sökfråga formulerats kan det vara ett exempel på att det krävs en viss vana hos användare för att formulera sig för att modellen ska ge användbara resultat. Vikten av erfarenhet och kompetens av nyttjande av AI-baserade system är också något som poängteras av Woltjer m.fl. (2021), som en förutsättning för att upprätthålla vad som kallas *meningsfull mänsklig kontroll* (eng. Meaningful Human Control, MHC). Meningsfull mänsklig kontroll har i Nato-gruppen HFM-ET-178 definierats i översättning som ”Människor har förmågan att göra informerade val i tillräckligt god tid för att påverka AI-baserade system i syfte att möjliggöra en önskad effekt eller förhindra en oönskad omedelbar eller framtida effekt på omgivningen” (Woltjer m.fl., 2021). Det huvudsakliga målet med Nato-gruppen HFM-330 är att utveckla riktlinjer för hur människa-system interaktionen till AI-baserade system bör utformas. Ett närliggande begrepp för att öka operatörernas förståelse för och förtroende till AI-baserade system är systemens *förklarbarhet* (eng. eXplainable AI, XAI). Systemets förklarbarhet är i vilken grad det går att förklara hur eller varför en AI-modell har kommit fram till en viss tolkning. XAI

beskrivs av R. Johansson, Hammar m.fl. (2023) som en fortfarande underutvecklad aspekt hos AI-system, men viktigt för militära tillämpningar.

3.2 Människa Teknik Organisation

Inom forskningsdelområdet *Människa Teknik Organisation* redovisas publikationer i följande teman:

- (1) Människa-system interaktion och fysiologi,
- (2) Framtidens ledning och ledningssystem,
- (3) Metoder för systemutveckling och värdering,
- (4) Kompetensförsörjning.

3.2.1 Människa-system interaktion och fysiologi

Detta tema omfattar de studier som diskuterat gränssnittet mellan människa och tekniska system samt fysiologisk mätning av människor. Översikt av projekt och publikationer inom temat visas i Tabell 5.

Tabell 5 Projekt och publikationer gällande Människa-system interaktion och fysiologi

År	Projektnamn	FoT	Referenser
2020–2023	Human Performance Enhancement	•	Levin, Oskarsson m.fl. (2022)
2021	Huvudstudie Ledningskoncept för Försvarsmakten 2045		M. Granåsen, Hallberg m.fl. (2021)
2021–2022	Stöd med utvärdering av bärbar C2-lösning		J. Svensson (2022)
2021–2023	Framtida gränssnitt	•	Alenljung och Lindholm (2022) Levin m.fl. (2023) Levin m.fl. (2021)
2022	Virtuella ledningsplatser		Levin, Nilsson m.fl. (2022)

Den förväntade utvecklingen inom ledningsområdet pekar mot en framtid med mer distribuerade arbetssätt och ett ökat behov av att utbyta information. En drivande orsak till detta är behovet av att öka skyddet hos framtidens ledningsplatser genom att dela upp ledningspersonal i mindre delar som är geografiskt utspridda (M. Granåsen, Hallberg m.fl., 2021). Sådana förändringar i metod och införandet av nya former av teknisk utrustning kommer förändra behoven hos och förväntningarna från framtida användare. En framtida ledningsplats som karaktäriseras av högre rörlighet och mer geografiskt distribuerad staber kan behöva dra nytta av teknisk utveckling avseende hur information presenteras, hur information hanteras och hur interaktionen med systemet kan ske på nya innovativa sätt. I Levin m.fl (2021) ges en översikt av gränssnitt mellan människa

och teknik med framtida potential i militära tillämpningar. De tekniker och interaktionsformer som lyfts fram är *immersiva displayer* (VR-displayer), *visuell förstärkning av verkligheten* (AR-displayer), *gestbaserade gränssnitt* och *neurala gränssnitt*. I flera fall har den tekniska mognaden för dessa tekniker blivit tillräcklig för att nå en kommersiell marknad vilket möjliggör en ökad utvecklingstakt. Försök med gestbaserade gränssnitt baserad på kommersiellt tillgänglig teknik redovisas av Karlsson m.fl. (2022), som utvärderat dels möjligheterna till att styra en UGV med gester och dels klassificering av handrörelser. I Levin m.fl. (2023) utforskas ytterligare fall av gestbaserad interaktion, som identifiering av militära handtecken och initiala försök på aktivitetsidentifiering baserat på burna sensorer. Tänka användningsfall för dessa system kan innefatta att tekniskt förmedla gestbaserad kommunikation mellan människor, stödja interaktionen med autonoma system och bidra till situationsanpassade gränssnitt.

Både immersiva displayer och visuell förstärkning har lyfts fram som ett sätt att realisera konceptet med virtuella ledningsplatser, vilket innebär att lednings- och stabsarbete sker med hjälp av tekniska hjälpmedel för distribuerad kommunikation och samarbete och visualisering av information. E. Svensson (2021) redovisar en initial studie där olika tekniska lösningar i form av huvudburna och handhållna displayer testades för VR. Konceptet med virtuella ledningsplatser utforskas vidare av Levin, Nilsson m.fl. (2022), som studerar hur fysiska möten, t.ex. ordergenomgångar, med tekniskt stöd istället kan genomföras distribuerat. Författarna beskriver faktorer som är viktiga att beakta vid teknikutveckling på individuell, team och organisatorisk nivå för att olika former av distansarbete ska fungera effektivt. Levin, Oskarsson m.fl. (2022) beskriver visuell förstärkning av verkligheten (AR) som att sömlöst sammanföra virtuell information med verkligheten. Det kan innebära att information om verkliga objekt i omgivningen överlagras med virtuell information, men även att helt virtuella objekt visualiseras som om de vore verkliga objekt. Formfaktorn för AR-system kan variera från huvudburna displayer till handhållna enheter. Utmaningar som finns med dagens kommersiella teknik är att uppnå tillräcklig ljusstyrka i dagsljus, att robust positionera virtuella objekt i förhållande till verkligheten och att det saknas etablerade sätt för hur interaktionen med virtuella objekt ska ske (Levin, Oskarsson m.fl, 2022).

Både VR och AR beskrivs av Levin, Oskarsson m.fl. (2022) som tekniker som kan användas för *mänsklig förstärkning*. Området *mänsklig förstärkning* (eng. human enhancement) innefattar tekniker och metoder för att förbättra människans förutsättningar att verka och möjligheten till att lösa uppgifter. Utöver system för att presentera information innefattar detta även system för fysiologisk monitorering av enskilda soldater. Levin, Oskarsson m.fl. (2022) har inventerat marknaden av burna system för att mäta fysisk och kognitiv prestation, vilka system som finns tillgängliga och deras fältmässighet. Information som lyfts fram som intressant är huruvida omgivningen, t.ex. kyla, påverkar underlag för att

bedöma stridsvärde och hur soldatens aktivitet påverkar stridsvärde. Det konstateras att det behövs mer utveckling inom området för att stödja behov vid antingen fältmässigt bruk eller vid träning, inte minst i hur mätdata korrekt kan analyseras och tolkas till något användbart. Levin, Oskarsson m.fl. (2022) menar att navigeringsstöd med AR kan minska den kognitiva belastningen för operatörer. I Levin m.fl. (2023) presenteras ett koncept för virtuell ledningsplats, vilket nyttjar huvudburna XR-headset. Konceptet beskriver en interaktiv karta som uppdateras i realtid, med möjligheten att visa strömmad video samt hur digitala dokument kan placeras i rummet

3.2.2 Framtidens ledning och ledningssystem

Detta tema omfattar de studier som diskuterat koncept för hur ledning i framtiden kan te sig och hur den tekniska utveckling och införande av ny teknik kan påverka både ledning och ledningsstödsystemen. Översikt av projekt och publikationer inom temat visas i Tabell 6.

Tabell 6 Projekt och publikationer gällande Framtidens ledning och ledningsstödsystem

År	Projektnamn	FoT	Referenser
2019–	Expertstöd inom Teknisk bevakning		Lindquist m.fl. (2022)
2020	Huvudstudie Ledningskoncept för Försvarsmakten 2045		M. Granåsen m.fl. (2021)
2020–2022	Virtuella Ledningsplatser		E. Svensson (2021) Levin, Nilsson m.fl. (2022)
2021	Förstudie: Informationshantering i Försvarsmakten		Mojtahed (2021)
2021	Utvecklingsplan Ledningsstödsystem Indirekt eld		D. Granåsen (2021a)
2021–2022	Stöd med utvärdering av bärbar C2-lösning		J. Svensson (2021) J. Svensson (2022)
2021–2023	Framtida gränssnitt	●	Levin m.fl. (2023)
2021–2023	Framtida ledning och ledningsplatser	●	B. Johansson, Luotsinen m.fl. (2021)
2021–2023	Konsekvenser för Ledning av Autonoma Samverkande System (KLASS)	●	Bengtsson m.fl. (2022) Melbi m.fl. (2023)
2022–	Utveckling av stöd för avsutten ledning		D. Granåsen (2022)
2022–	AI för beslutsstöd i ledningssystem		Brynielsson m.fl. (2023)

Inom ramen för Försvarsmaktens Huvudstudie Ledning beskriver M. Granåsen, Hallberg m.fl. (2021) hur framtida ledning kan utformas genom förslag på framtida ledningskoncept för 2045. Konceptet beskriver ”ett gemensamt, integrerat och interoperabelt synsätt för genomförande av nationella och internationella operationer”. Ledningskonceptets bärande idé är en ”effektfokuserad, agil och resilient ledning, som ger förutsättningar för att agera enskilt och tillsammans med andra”. För att uppnå detta föreslås åtta ledningsprinciper:

1. ledning över domän- och stridskraftsgränser,
2. uppdragsstyrning som ledningsform,
3. anpassning av ledningsförmåga,
4. anpassning av ledningsorganisation,
5. anpassning av ledningsmobilitet,
6. anpassning ledningsplatsers geografiska spridning,
7. interoperabilitet,
8. kontinuerlig utveckling.

M. Granåsen, Hallberg m.fl. (2021) listar ett flertal olika tänkbara tekniska lösningar som kan konkretisera den framtida ledningen och ledningsplatsen. Bland annat inkluderas ökad användning av virtuella ledningsrum (inklusive VR/AR), datorstöd för simuleringar av krigsspel samt tillförsel av autonoma och fjärrstyrda enheter för många olika ändamål.

Ett flertal teknikområden för framtida ledning har utforskats i olika FoT-projekt eller studier, så som virtuella ledningsplatser (E. Svensson, 2021; Levin, Nilsson m.fl., 2022), visualisering med XR (Levin m.fl., 2023), ledning av autonoma och samverkande enheter (Bengtsson m.fl., 2022; Melbi m.fl., 2023), nyttjande av simuleringar i beslutstöd (Brynielsson m.fl., 2023). Närliggande forskning är också studier kring burna ledningsstödsystem (J. Svensson, 2022) och förberedelser för att införa nya ledningsstödsystem för indirekt bekämpning (D. Granåsen, 2021a).

Det finns ett intresse för nyttjande av autonoma obemannade farkoster för militära ändamål. B. Johansson, Luotsinen m.fl. (2021) gör tolkningen att autonoma system i perspektivet 2045 kommer att vara relevanta för spaning, övervakning och informationsinhämtning, samt att det möjliggör att ett fåtal operatörer kan hantera ett flertal system. Författarna uttrycker däremot viss skepsis till att autonoma system i aktuellt tidsspänn skulle bli överlägsna vad gäller situationsförståelse och beslutsfattande i dynamiska stridssituationer, eller att det kommer realiseras större samverkande drönarsvärmar. Införandet av autonoma system innebär nya möjligheter på taktisk nivå gällande resursfördelning, men den tekniska utvecklingen gällande till exempel hastighet och förmåga till autonomt beteende är fortsatt en begränsande faktor, speciellt för markgående enheter (Bengtsson m.fl., 2022). En fortsatt relevant forskningsfråga är hur denna typ av enheter ska ledas, för vilka uppgifter de är lämpliga att användas och hur de påverkar det taktiska uppträdandet hos mekaniserade förband. För att denna typ av system inte ska bli alltför personalkrävande att leda, ställs det högre krav på graden av autonomi som dessa system behöver uppnå (Bengtsson m.fl., 2022). Tillförsel av autonoma samverkande system till förband bedöms ha en påverkan på hur striden bedrivs och innebära nya taktiska överväganden för att nyttja enheter

effektivt. För att studera effekten av tillförsel av autonoma samverkande system på mekaniserade kompanier innan dessa system faktiskt finns att tillgå, har Melbi m.fl. (2023) genomfört krigsspel med Markstridsskolan. Syftet med spelen var att identifiera möjliga användningsområden för UGV:er och UAV:er, samt vilka taktikförändringar som möjliggörs med tillgång till dessa system. Krigsspelen genomfördes med hjälp av ett speciellt utvecklat brädspele, som används för att driva ett visst scenario och definiera vilka förmågor som det spelade förbandet har att tillgå.

Under tidsperioden för denna litteraturstudie pågick införandet av en ny version av Försvarmaktens ledningsstödsystem för markförband (LSS Mark)³ som innebär en ökad digitalisering av arméns ledningsmiljö, främst avseende ledningsplatser och fordon inom brigads ram. Under samma period har FOI genomfört studier i form av användarutvärderingar av olika hårdvaruplattformar för burna ledningsstödsystem (J. Svensson, 2021; J. Svensson, 2022; D. Granåsen, 2022). I studierna har skytteplutoner och skyttekompaniledning utrustats på försök med ett buret ledningssystem för att utvärdera användbarheten och identifiera nytta och utmaningar med digitala ledningsstödsystem inom skyttekompanier. Testerna på pluton- och kompaninivå har nyttjat förbandets befintliga gruppradio som databärare, men tillfört hårdvara för att köra applikationerna SitaWare Frontline och SitaWare Edge. Utvärderingarna påvisar en hög upplevd nytta och samordningsvinster, med minskat behov av talkommunikation. Under försöken identifierades problem med transmissionen med det testade systemet. Uppföljande tekniska tester genomfördes för att utvärdera hur det på applikationsnivå går att förbättrad prestandan hos befintlig radio (RA1570) som databärare i ett taktiskt transmissionsnät (D. Granåsen, 2022).

Ledningskoncept 2045 berör den framtida ledningsplatsen och dess utformning, både fasta och rörliga ledningsplatser. Konceptet innebär nya tekniska utmaningar, inte minst för rörlig ledning, med ett ökat behov av telepresence (att närvara på distans) och så kallad ”reachback”, där ledningsfunktionen kan tillföras kompetens och kapacitet på distans (M. Granåsen, Hallberg m.fl., 2021). En närliggande studie har genomförts inom ramen för projektet *Teknisk bevakning*, där en genomgång har gjorts för att identifiera centrala kvaliteter och principer som är viktiga för att utforma bevakningscentraler så att de fungerar effektivt (Lindquist m.fl., 2022). Eftersom bevakningscentraler delvis överlappar ledningsplatser i behov, aktiviteter och tekniska system, är dessa principer troligen även relevanta för ledningsplatser och ledningsstödsystem generellt.

B. Johansson, Luotsinen m.fl. (2021) trycker på att utvecklingen inom teknik för inhämtning och bearbetning av militärgeografisk information kommer innebära stora förändringar i tillgången på geodata. Dels sker inhämtning med satellit, med god upplösning både spatialt och tidsmässigt, och dels med obemannade system i

³ <https://www.fmv.se/projekt/ledningsstodsystem-mark/>

form av UAV:er, som kan skapa högupplösta terrängmodeller som är fotorealistiska. En begränsande faktor för nyttjande är dock att det innebär överföring av stora datamängder. Hantering och distribution av information är centralt och information spås framöver vara en strategisk resurs (Mojtahed, 2021), vilket sätter fokus på informationshantering i sig som ett centralt område. Mojtahed (2021) skriver att Försvarsmakten vill gå från att vara ”applikations-centrerad” till att vara ”data-/informationscentrerad” vilket kräver ett ”datadrivet mindset”. Mojtahed (2021) menar att den största utmaningen inte är teknisk, utan handlar om att skapa en kulturell förändring i organisationen.

3.2.3 Metoder för systemutveckling och –värdering

Detta tema omfattar de studier som diskuterat metoder för systemutveckling och för värdering av ledningsstödsystem. Översikt av projekt och publikationer inom temat visas i Tabell 7.

Tabell 7 Projekt och publikationer gällande Metoder för systemutveckling och -värdering

År	Projektnamn	FoT	Referenser
2016–2021	Koncept och metoder för stärkt erfarenhetshantering via tvärssektoriella övningar (KOMET)		M. Granåsen, Oskarsson m.fl. (2021) Eriksson och Olsén (2021) Hallberg m.fl. (2021) Mattson (2021)
2020–2021	Stöd till utvärdering av LSS Mark		D. Granåsen (2021b) Thorstensson och Sköld (2021) Thorstensson, m.fl. (2021)
2021–2023	Framtida ledning och ledningsplatser	•	B. Johansson, Herkevall m.fl. (2022)
2022–2024	Värdering av ledningssystem	•	Stenius m.fl. (2022) Alenjung och Källén (2023)
2023	Stöd och utvärdering av initiativ för effektiv mottagning och integration		Nordström m.fl. (2023)

Det saknas inte visioner för hur framtida ledningen kan ske, men det saknas en gemensam vision inom Försvarsmakten, samt konkreta färdplaner avseende utvecklingsmål som kan inrikta kommande forsknings- och utvecklingsarbete för att realisera visionerna (B. Johansson, Herkevall m.fl., 2022). Det finns därmed ett behov av att klargöra hur Försvarsmakten ska realisera målen och göra information och gemensam datahantering till en strategisk resurs. B. Johansson, Herkevall m.fl. (2022) förordar vad de kallar scenariobaserade diskussioner och spelverksamhet för att tydliggöra vilka antaganden som finns gällande ledningssystem och ledningsplatser med blicken mot 2045. Genom en spelbaserad metod föreslår de hur det går att utveckla och nyttja spelkort för att från visioner

skapa konkretiserade målsättningar som kan vägleda utvecklingen av framtidens ledningssystem.

Även om ledningsstödsystem som sådana syftar till att stödja militär ledning finns också behovet av att leda själva ledningsstödsystemen, vid anskaffning, integration, utvärdering och vidmakthållande. Anskaffning och integration av ledningsstödsystem är en komplex uppgift där det är vanligt förekommande med problem. Systemen blir ofta försenade, dyrare, uppfyller inte faktiska behov eller har en bristfällig kompatibilitet med andra system (Nordström m.fl., 2023). För att förbättra och snabba på utvecklingen av Försvarmaktens ledningsstödsystem behöver det ske på andra sätt än som det görs i dagsläget. Nordström m.fl. (2023) beskriver anskaffning av ledningsstödsystem som ett *komplex, lömskt och öppet problem*, och att en bidragande orsak till att projekt fallerar beror på att man betraktar anskaffning som enbart ett *kompllicerat* problem. Författarna föreslår att anskaffning ska genomföras enligt liknande principer som för uppdragstaktik och presenterar åtta förhållningssätt att anamma. De föreslår att en tillitsbasad ledning och styrning används och att fokus behöver bibehållas på själva syftet som ska uppnås med anskaffning, inte på att strikt följa sedan tidigare fastslagna planer.

En stor utmaning i forskning gällande ledningssystem och den teknik som används i ledning är att kunna utvärdera hur väl ledningen fungerar och vilken effekt en förändring av teknik eller metoder faktiskt innebär för systemet. I FoT-projektet *Värdering av ledningssystem* har metoder för värdering kartlagts (Stenius m.fl., 2022). Dessa metoder inkluderar värdering av olika aspekter hos ledningssystem, till exempel arbetsbelastning, gränssnitt, situationsmedvetenhet och teamarbete. Enligt en intervjustudie av Alenljung och Källén (2023), med sex representanter med god insyn i Försvarmaktens ledningssystem, saknas en systematisk och tydlig värdering av Försvarmaktens ledningssystem i stort. Enskilda tekniska system värderas, men det görs inte i tillräcklig omfattning. Författarna menar att det inte går att utvärdera hela ledningssystemet, vilket leder till behovet av att kunna dra slutsatser baserat på värdering av delar. Kriterier och mått för värderingen behöver utvecklas samt metodik för att kunna generalisera en värdering till fler delar av systemet. Studien pekar också på behovet av kvalitativa metoder i värdering och hur de bör komplettera kvantitativa mått.

För forskning och värdering av nutida och framtida ledningsstödsystem behövs det teknisk infrastruktur som möjliggör olika former av simuleringar och labbtester (Stenius m.fl., 2022). Detta inkluderar förmågan till simuleringar av en omvärld, av tekniska system som sambandssystem och av ledningsstödsapplikationer. FOI har utvecklat denna typ av infrastruktur i form av utvärderingsmiljöer- och verktyg för att genomföra labbtester av både applikationer och sambandssystem (D. Granåsen, 2021b; Thorstensson och Sköld, 2021, Thorstensson, m.fl., 2021).

M. Granåsen, Oskarsson m.fl. (2021) redovisar en litteraturoversikt gällande värdering av ledningssystem och dess förmåga, specifikt vid så kallad tvärsektoriell krishantering. Tvärsektoriell krishantering kan beskrivas som

verksamhet där krisberedskapsaktörer från olika samhällssektorer, alternativt från organisationer med skilda uppdrag, agerar tillsammans. Författarna har i vetenskaplig litteratur identifierat nio olika teman som de föreslår kan användas som bas för att specificera och definiera mått för att mäta den specifika krishanteringsförmågan. Detta utvecklas av Hallberg m.fl. (2021) i en modell över fjorton nödvändiga förmågor för aktörsgemensam krishantering, indelade i kärnförmågor, stödjande förmågor och förutsättningsskapande förmågor. Syftet med modellen över dessa förmågor är enligt Hallberg m.fl. (2021) att vara ett stöd för utformning och utvärdering av samverkansövningar. Hur samverkansövningar ska utformas för att ge en ökad krishanteringsförmåga beskrivs som en komplex fråga av Eriksson och Olsén (2021). För att stödja inriktning och utformning av samverkansövningar presenterar de därför ett verktyg baserat på metod morfologisk analys för att stödja planeringen. Ytterligare stöd inför denna typ av övningar ges av Mattsson (2021) som sammanställt sexton principer att användas som konkreta råd i samband med planering av samverkansövningar.

3.2.4 Kompetensförsörjning

Detta tema omfattar de studier som diskuterat hur den tekniska utvecklingen och införande av nya typer av system förändrar vilken typ av kompetens som behövs och synen på kompetens inom militära ledningssystem. Översikt av projekt och publikationer inom temat visas i Tabell 8.

Tabell 8 Projekt och publikationer gällande Kompetensförsörjning

År	Projektnamn	FoT	Referenser
2020–2021	Sammanställning av metoder för värdering och bedömning vid särskilda händelser		Svenmarck (2021)
2021	Förstudie: Informationshantering i Försvarsmakten		Mojtahed (2021)
2021	MSB Stöd – GD-utbildning Cybersäkerhet		Gustafsson (2021)
2022–2023	Informationshantering i Försvarsmakten		Mojtahed m.fl. (2023)
2022	Teknikutvecklingen och förändrade kompetensbehov	● ⁴	M. Johansson (2022)
2022	Framtagande av Cybertest för värnpliktiga soldater	● ⁵	Lif m.fl (2022)
2019–2021	IPT Meaningful Human Control of AI-based Systems		Woltjer m.fl. (2021)
2021–2023	Framtida gränssnitt	●	Alenljung & Lindholm (2022)

⁴ Från FoT-område Militära professionen

⁵ Från FoT-område Cyber

Införandet av ny teknik innebär inte bara nya förmågor, utan påverkar vilka kompetenser som krävs av personalen. Det förutsätter en förståelse på flera organisatoriska nivåer för hur tekniken bäst kan nyttjas. M. Johansson (2022) presenterar ett ramverk för hur förändrade kompetensbehov inom Försvarsmakten som följd av teknikutveckling kan analyseras. M. Johanssons (2022) fallstudier av systemen UAV01 och UAV03 uppdagade en konflikt avseende vad som är grunden för militär verksamhet, när verksamheten utvecklas mot ett ökat handhavande av tekniska system, samtidigt som uppgifter kopplade till den nya tekniska utrustningen blir nedprioriterad. M. Johansson (2022) teoretiserar att utmaningarna är särskilt stora vid tre omständigheter: (1) vid införande av en ny teknologi eller förmåga, (2) när teknologin snarare ersätter än kompletterar en befintlig funktion och (3) när teknologin eller förmågan har påverkan på många delar av organisationen. Ny teknologi innebär ökande utmaningar då det är svårare att värdera de långsiktiga effekterna, samt att införandet i en ramstyrd organisation sker på bekostnad av annan verksamhet. Teknologi med potential att ersätta befintlig teknik eller förmågor innebär utmaningar om det uppfattas som ett hot av den egna organisationen. Detta exemplifieras av M. Johansson (2022) med amerikanska flygvapnets ovilja att anamma obemannade flygfarkoster då det av piloter uppfattas som ett hot mot professionen. Slutligen, för teknik som påverkar flera delar av organisationen är utmaningen att anpassningar behöver ske på flera områden samtidigt.

Digitaliseringen av Försvarsmakten och de organisatoriska målen att göra organisationen mer datadriven innebär nya kompetenskrav avseende informationssystem och informationshantering på alla ledningsnivåer (Mojtahed, 2021). Enligt Mojtahed m.fl. (2023) är det utmanande för försvarsorganisationer att konkurrera med den privata sektorn för att rekrytera rätt personal för att genomföra digitalisering. Utöver nya behov av kompetens innebär en digitalisering med målbilden att bli mer datadriven även en stor kulturell förändring för Försvarsmaktens anställda som behöver hanteras med genomtänkt förändringsledning (Mojtahed, 2021; Mojtahed m.fl., 2023). Relaterat till utmaningen att korrekt rekrytera till nya kompetensbehov kan nämnas utvecklingen av nya test för urval av soldater och officerare inom cyberområdet (Lif m.fl., 2022). Förståelse för cybersäkerhet är viktig inte bara för specifika yrkesroller, utan även hos till exempel chefer. Gustafsson (2021) beskriver ett kortspel, utvecklat åt MSB, vars syfte är att höja kunskapen om cybersäkerhet. Spelet kretsar kring begreppen *tillgångar*, *skyddsåtgärder* och *incidenter* och är utformat för att stödja diskussioner om cybersäkerhet i samband med utbildningar för myndighetschefer. Införandet av AI-baserade system introducerar också behovet av en organisatorisk förståelse och erfarenhet av denna typ av tekniska system (Woltjer m.fl., 2021; Alenljung och Lindholm, 2022). För att uppnå en meningsfull mänsklig kontroll av AI-system hävdar Woltjer m.fl. (2021) att organisationer behöver försäkra sig om att de individer som arbetar med denna typ

av system både har korrekt kompetens och erfarenhet. Det krävs dessutom tydliga beslut om hur arbetsfördelningen mellan individer och AI-system ska vara.

Svenmarck (2021) har sammanställt en metodkarta över så kallade *strukturerade analytiska metoder*. Detta är metoder som kan användas för att strukturerat analysera ett problem eller händelse som ska hanteras. Metodkartan delar in metoderna i fem kategorier: (1) explorativa, (2) diagnostiska, (3) omvärderande, (4) predicerande metoder samt (5) beslutsstödsmetoder. Metodkartan är tänkt som ett stöd vid utbildning av polisanställda för att öka deras ledningsförmåga vid det som Polismyndigheten benämner som särskilda händelser då polisen organiserar sin ledningsstruktur i en stab med funktionsroller med fokus på en avgränsad uppgift eller händelse.

3.3 Robust radiokommunikation

Inom forskningsdelområdet för *Robust radiokommunikation* redovisas publikationerna i följande teman:

- (1) frekvenshantering och vågformer,
- (2) modellering och simulering av radiosamband och vågutbredning,
- (3) framtida sambandslösningar.

3.3.1 Frekvenshantering och vågformer

Detta tema omfattar de studier som diskuterat hur hantering av frekvenser och vågformer inom Försvarsmakten sker och bör utvecklas, samt hur ny teknik kan förändra detta. Översikt av projekt och publikationer inom temat visas i Tabell 9.

Tabell 9 Projekt och publikationer gällande *Frekvenshantering och vågformer*

År	Projektnamn	FoT	Referenser
2020–2023	Effektivare frekvensutnyttjande för förbättrad samexistens	•	Eliardsson, Axell, Hägglund m.fl. (2022) Eliardsson, Axell, Asp m.fl. (2022) Eliardsson, Axell m.fl. (2021) Eliardsson, Asp m.fl. (2021)
2022–2023	FMV FoT Ledning & MSI Telekom 2022	•	Hansson, Nilsson, Eriksson (2023)
2023	Radionät för markförband	•	Uppman (2023) Grönkvist m.fl. (2023)
2022	Telekonflikter och EMC		Wiklundh, Linder och Bergström (2022)

Tillgång till elektromagnetiska spektrum för trådlös kommunikation är eftertraktat och det finns begränsningar i hur stor del och vilka delar av spektrumet som är tillgängligt för militär användning. Arméns tillväxt med organisering i större

förbandsstrukturer, samt införandet av nya sensorer och ett högre stridstempo innebär ökande krav på kapacitet hos taktiska radionät (Grönkvist m.fl., 2023).

Att säkerställa att militära förband har tillgång till frekvenser för trådlös kommunikation utan att det uppstår störningar mellan olika system eller mellan olika förband är utmanande (Eliasson, Axell, Hägglund m.fl., 2022). Det finns en rad internationella och nationella regelverk och processer som styr frekvenshanteringen hos Försvarmakten, vilka beskrivs av Eliardsson, Asp m.fl. (2021). Författarna anser att Försvarmakten haft för låg prioritet gällande att säkerställa tillgång till frekvenser långsiktigt. Hantering av Försvarmaktens frekvensutrymme leds av *Försvarmaktens frekvensarbetsgrupp* (FAG), i samverkan med andra Förvarsmyndigheter, vilka bereder underlag för planering, nyttjande, tilldelning av militära frekvenser och uppföljning av Försvarmaktens frekvensanvändning. Tilldelning av frekvenser inom Försvarmakten hanteras av *Försvarmaktens frekvenskontor*. Idag delas frekvensutrymmet i stuprör, först per försvarsgren och sen för enskilda förband och slutligen enskilda radiosystem. Det innebär att utrymmet blir mycket begränsat per förband. Ett sätt att öka tillgången är med så kallad överplanering, där förband som är geografiskt åtskilda använder samma frekvens. Detta kan dock skapa problem om dessa förband behöver verka i närheten av varandra. Uppman (2023) har studerat påverkan från fall där flera bataljonsnät använder samma frekvensuppsättning. Samutnyttjande av samma frekvenser mellan två bataljoner skapar interferenser, men simuleringar av radionäten visar att om antalet tillgängliga frekvenser är tillräcklig blir påverkan låg. Studien indikerar därmed att det är en möjlig väg för frekvensplaneringen (se även Grönkvist m.fl., 2023).

För att undvika konflikter av frekvenstilldelning föreslår Eliardsson, Axell, Hägglund m.fl. (2022) att frekvensfördelning och distribution av kommunikationsplaner ingår i planering inför militära operationer. Tilldelning av frekvenser skulle behöva kopplas till när förband antingen sätts in i strider eller dras tillbaka för återhämtning. Det är även tänkbart, enligt författarna, med tilldelning baserat på geografisk uppdelning, men detta ställer krav på möjligheten att kunna omfördela frekvenser med kort varsel när omgrupperingar av förband sker. Radiosystemens störskydd innebär en viss ökad förmåga till samexistens trots frekvenskonflikter, men det innebär samtidigt att förmågan att skydda mot antagonistiska störningar minskar. Utöver antagonistiska störningar förväntas även interferens som följd av ökad elektrifieringen av samhället, i form av solcellsanläggningar, trådlösladdning av elfordon, mobiltelefoni och IoT-utrustning (Wiklundh, Linder och Bergström, 2022).

En teknisk förmåga som skulle underlätta samexistens inom eller mellan radiosystem är att använda dynamisk frekvensanvändning (Eliardsson, Asp m.fl., 2021). Istället för att ha en fix frekvenstilldelning skulle en dynamisk tilldelning innebära att valet av frekvenser anpassas utifrån en given situation. Vid ett givet tillfälle och plats är det inte säkert att en frekvens används även om den är tilldelad

någon annan. Med en dynamisk tilldelning skulle då ett radiosystem kunna använda de frekvenser som inte används för tillfället (Eliardsson, Asp m.fl., 2021). Idag krävs det generellt manuella åtgärder för att ändra frekvenser och hantering av konflikter blir därmed utmanande att klara av. För att hantera detta bättre föreslår Eliardsson, Asp m.fl. (2021) att framtida sambandssystem behöver krävställas med funktionalitet för automatiskt hantera frekvenskonflikter, både mellan och inom nya radiosystem, men även mot arvsystem. Fortsatt behöver det också vara möjligt för användarna att manuellt ändra frekvenser vid behov. Införandet av LSS Mark innebär att data om positioner av enskilda enheter blir tillgängligt. Om information om frekvensplanen finns i systemet skulle det möjliggöra för automatiska varningar om potentiella frekvenskollisioner (Eliardsson, Asp m.fl., 2021). I internationella sammanhang kan dynamisk frekvenstilldelning vara extra utmanande då detta inte säkert tillåts av en världation. Kortvågssystemet HF2000 använder ett självlärandesystem för att välja den frekvens som fungerar bäst, vilket internationellt inte alltid accepteras då en världation kan ställa krav på att veta exakt vilka frekvenser som kommer att användas (Eliardsson, Asp m.fl., 2021).

En variant på dynamisk frekvenstilldelning är ett koncept som kallas *opportunistisk spektrumaccess*. Detta skulle innebära att Försvarsmakten samutnyttjar frekvensspektrum som är tilldelade för helt andra ändamål, utan att de primära användarna påverkas negativt (Eliardsson, Axell, Asp m.fl., 2022). Ett sådant frekvensutrymme som utvärderats för detta koncept är frekvenserna för marksänd TV. I norra Sverige skulle opportunistisk spektrumaccess teoretiskt kunna öka kapaciteten i Försvarsmaktens taktiska radiosystem med ytterligare 40 bredbandiga kanaler. För att tekniskt kunna realisera detta skulle radiosystemen behöva ha möjlighet att frekvenshoppa i frekvensområdet 470-694 MHz, vilket nuvarande taktiska system inte klarar av. Ra570, som är under införande, har potential att använda en liten del av området (470 – 512 MHz), men begränsas av tillhörande antenner, vilket är gränssättande till under 450 MHz. Eliardsson, Axell m.fl. (2021) diskuterar tekniker och metoder för hur ett begränsat frekvensutrymme effektivt kan användas för att minska konflikter mellan olika radiosystem. Exempel på sådana tekniker är att använda adaptiva mottagare som bättre kan hantera interferens eller metoder som att nyttja andra frekvenser än Försvarsmaktens egna. Det finns flera alternativ som skulle medge att Försvarsmakten nyttjar 5G-nät med varierande grad av kontroll över tillgänglighet och data.

Ett sätt att öka prestandan hos smalbandiga radionät som redovisas i Grönkvist m.fl. (2023), är med så kallad synkroniserad kooperativ broadcast (SKB), vilket innebär att olika sändare samtidigt sänder samma data. Studierna pekar på möjligheten att implementera SKB i smalbandiga radionät för ökad kapacitet och robusthet för både tal och data i flerhoppsnät. Detta kan även innebära att den nödvändiga uteffekten för enskilda sändare kan sänkas.

Hansson, Nilsson och Eriksson (2023) har jämfört två modulationsformer (CPM och QAM) för att mäta relationen mellan datatakt och räckvidd för frekvenshoppande radiosystem. Med flerhoppsnät kan en ökad datatakt eventuellt kompensera en minskad räckvidd, eftersom räckvidden kan hanteras via flerhopp. Hansson, Nilsson och Eriksson (2023) menar att CPM i testerna har gett lovande resultat, men att det finns behov av fortsatta studier.

3.3.2 **Modellering och simulering av radiosamband och vågutbredning**

Detta tema omfattar de studier som diskuterat simulering och utvärdering av radiosystem och räckvidd genom modellering av radiosamband och vågutbredning. Översikt av projekt och publikationer inom temat visas i Tabell 10.

Tabell 10 Projekt och publikationer gällande *Modellering och simulering av radiosamband*

År	Projektnamn	FoT	Referenser
2022	FMV FoT Ledning & MSI Telekom 2022		Corrigan, Holst m.fl. (2023) Olsson och Uppman (2022)
2022	Förstudie: Radiokanalmodeller för framtida militära system	•	Axell, Eriksson m.fl. (2022)
2022–2023	Telekonflikter och EMC		Holm och Eriksson (2023)
2023–	Radiokanalmodeller för framtida militära system	•	Corrigan, Holm m.fl. (2023)

För att göra teoretiska beräkningar av radionät finns det behov av modeller och simuleringsmöjlighet av sambandssystem. Axell, Eriksson m.fl. (2022) menar att civila matematiska modeller för radiokanaler och vågutbredning inte är tillämpliga för militära scenarion, då militära sambandssystem skiljer sig från kommersiella system tekniskt såväl som användningsmässigt. I internationell forskning avseende radiokanalmodeller för militära system är dessutom fokus på tillämpningar för mobilindustrin och radar, snarare än för taktiska radio (Corrigan, Holm m.fl., 2023). Axell, Eriksson m.fl. (2022) menar att det finns ett behov av att säkerställa en generell kunskap på FOI för militärt relevant radiokanalmodellering och vågutbredningsberäkningar. Kunskap om och tillgång till dessa modeller är nödvändig för att bibehålla en förmåga att bedriva forskning om och utvärdering av radiosystem. Axell, Eriksson m.fl. (2022) redovisar i en förstudie mer detaljerat vilka typer av forskningsfrågor som är relevanta att utforska för att stärka radiokanalmodellering och vågutbredningsberäkningar.

Vågutbredningsmodeller beräknar hur radiovågor sprider sig över ett geografiskt område och kan då användas för att beräkna signalstyrkan mellan två punkter. De vågutbredningsmodeller som vanligen använts är utvecklade baserat på en tvådimensionell beskrivning av geografiska områden. Det finns idag tillgång till

högupplöst terrängdata, men det är oklart hur väl vågutbredningsmodellerna kan hanterat detta. Utvärderingen av modellerna försvåras av att det i dagsläget saknas uppdaterade mätningar i den faktiska miljön som kan användas som referens mot prediktionen (Holm och Eriksson, 2023). Tillgång till detaljerat kartunderlag med höjddata möjliggör och kommer eventuellt kräva tredimensionella vågutbredningsmodeller, men dessa är mer beräkningstunga (Corrigan, Holm m.fl., 2023; Holm och Eriksson, 2023). Det krävs forskning för hur lämpliga approximationer av dessa modeller kan göras för att minska beräkningstiden, samtidigt som tillräckligt god noggrannhet bibehålls, t.ex. med stöd av maskininläring (Corrigan, Holm m.fl., 2023).

Det finns även en del beräkningsmodeller för vågutbredning tillgängliga publikt med öppen källkod där Corrigan, Holst m.fl. (2023) har utvärderat en modell för rymdvågsberäkning för kortvåg. En detaljerad jämförelse av författarna mellan fastställda rekommendationer för hur sådana beräkningar ska göras och hur beräkningen faktiskt har implementeras i modellen visar på ett flertal avvikelser. Detta påvisar behovet av att möjligheten och kunskapen att granska den faktiska implementationen av modeller för att korrekt kunna bedöma deras värde.

För att möjliggöra mer realistisk utvärdering av och träning med radiosystem under telestörda förhållanden har ett koncept utvecklats av Olsson och Uppman (2022). Systemet som benämns RETT (Radio Evaluation and Training Tool) är en utrustning som monteras mellan en radio och befintlig plattformsantenn. Genom att manipulera signalen som tas emot från antennen kan olika former av telestörning simuleras utan att behöva nyttja externa störsändare.

3.3.3 Framtida sambandslösningar

Detta tema omfattar de studier som diskuterar hur införandet av ny teknik både ställer nya krav på sambandssystemen, men också erbjuder potentiellt nya möjligheter för att förbättra sambandet inom ledningsstödsystemen. Översikt av projekt och publikationer inom temat visas i Tabell 11 Projekt och publikationer gällande *Framtida sambandslösningar*.

Tabell 11 Projekt och publikationer gällande *Framtida sambandslösningar*

År	Projektnamn	FoT	Referenser
2021–2022	AI i radiokommunikationssystem		Axell m.fl. (2021) Axell, Eliardsson m.fl. (2022)
2021–	Radionät för markförband	•	Bark m.fl. (2021) Grönkvist m.fl. (2023) Komulainen (2022) Nilsson och Hansson (2023)
2021–2022	Samverkande IOT-system och avskanning		R. Johansson, Tjörnhammar m.fl. (2022)

2021–2023	Framtida Ledning och Ledningsplatser	•	B. Johansson, Luotsinen m.fl. (2021)
2022	FMV FoT Ledning & MSI Telekom 2022		Nilsson (2023)
2022–2023	Avskanning, värdering, och utveckling av AI-metoder (ATHENA)		R. Johansson (2023)
2023–	Flexibel frekvensanvändning för Försvarsmaktens radiosystem (F4R)	•	Axell m.fl. (2023)

Relaterat till samband och kommunikation är också hantering av de informationsmängder som behöver överföras. Digitalisering av ledningssystem innebär krav på att kunna överföra ökade mängder digital information, något som begränsas av den tillgängliga datatakten i sambandssystemen. Exempel på sådan information är överföring av positionsdata för egna enheter. I Grönkvist m.fl. (2023) redovisas två tekniska koncept för hur positionsdata kan spridas inom en brigad, vilka utvärderats avseende uppdateringstakt och datalast. R. Johansson, Tjörnhammar m.fl. (2022) ger en mer generell forskningsöversikt av området för datakomprimering. Bild- och ljudoptimering är det som primärt är drivande i den nuvarande utvecklingen. Författarna menar att en pågående trend är att förbättra metoder för komprimering med maskininlärning och att det kan förväntas komma liknande forskning om talkodning med låga datatacter, som är relevant för militärt standarder.

Civilt är molntechnologi en mogen och brett nyttjad teknik för att tillhandahålla gemensam, skalbar, och robust beräknings- och lagringskapacitet (B. Johansson, Luotsinen m.fl., 2021). Vanligen tillhandahålls dess tjänster via publika moln, som är öppet tillgängliga via internet, men det finns upplägg med privata moln (för enskilda organisationer) eller gemensamma moln (begränsade till vissa organisationer). Det förväntas av B. Johansson, Luotsinen m.fl. (2021) att molnlösningar kommer ingå som en del av Försvarsmaktens ledningsstödsystem för att distribuera alltmer avancerade tjänster. I en avskanning av forskningsläget om nyttjande av specifikt militära molnlösningar, *combat cloud*, menar R. Johansson (2023) att det finns begränsat med öppet publicerad forskning. Det är dock känt att amerikanska försvaret investerar stort i området med hjälp av ett flertal stora kommersiella molnleverantörer.

Nilsson och Hansson (2023) avrapporterar resultatet från NATO-gruppen *NATO-STO IST-161(COM) Efficient Group and Information Centric Communications in Mobile Military Heterogeneous Networks*. Gruppen har fokuserat på protokoll för gruppkommunikation där två protokoll pekas ut som särskilt intressanta, Generic Data Exchange Mechanism (GDEM) och Dissemination Service (DisServ). Tillämpningar av protokollen sägs ligga ett antal år bort då det krävs förändringar på applikationsnivå för att dra nytta av protokollens fördelar. FOI har deltagit i NATO-gruppen *NATO-STO IST-194 (RTG) Adaptive networking at the Tactical Edge* (Nilsson, 2023), som bland annat studerar möjligheterna att öka kapaciteten i militär kommunikation med heterogena nät som använder 5G-teknologi.

Givet den terräng och geografiska utsträckning som markgående förband agerar i är kapaciteten hos taktiska radionät relativt låg. Ett koncept för att öka datatakten i taktiska radionät är att använda UAV-baserade relänoder (Bark m.fl., 2021). Medan konceptet är realiserbart innebär det med dagens teknik väsentliga begränsningar, inte minst att hanteringen blir personalintensiv som en följd av att de flygande enheternas batteritid är under en timme. Kapaciteten i ett mobilt marknät skulle enligt Grönkvist m.fl. (2023) kunna ökas tiofaldigt om UAV-baserade relänoder realiserades. Att nyttja flygande relänoder väcker dock frågan hur detta påverkar upptäcktsavstånd för markbaserade signalspanare. Enligt Komulainen (2022) visar beräkningar att relänoder på lågt flygande UAV:er inte innebär längre upptäcktsavstånd än markbundna UHF-nät, så länge UAV:erna kan hålla en höjd under 30 m.

Likt flera andra teknikområden kommer maskininläring i allt högre utsträckning nyttjas som del i trådlösa kommunikationssystem. Omfattning av publicerad forskning har enligt Axell m.fl. (2021) ökat kraftigt och nyttjandet av maskininläring spås erbjuda nya möjligheter, exempelvis metoder för att minska beräkningskomplexitet, effektivare resursallokering, frekvenshantering och positionering av sändtagare. Maskininläring introducerar dock nya sårbarheter för angrepp riktade mot denna typ av tränande system (Axell m.fl., 2021; Axell, Eliardsson m.fl., 2022). Maskininläring kan exempelvis användas för att signalklassificering för att identifiera typer av sändare, men det är också möjligt att utveckla specifika motmedel mot denna typ av algoritmer (Axell, Eliardsson m.fl., 2022). Det återstår dock mycket utveckling för att göra teknikerna robusta och pålitliga, för analys och som motmedel. Axell m.fl (2023) beskriver hur maskininläring kan användas för att förbättra radiokommunikationssystem så att de bland annat blir mer robusta mot interferens och störningar. Framtida forskning inom området innefattar att nyttja ML för att effektivisera resursallokering i tidluckeindelade radionät.

4 Diskussion

Under den tidsperiod som denna rapport omfattar har ett flertal händelser skett som inneburit stor potentiell påverkan på ledningssystemområdet. Försvarsmakten var i en övergångsfas som en följd av Sveriges beslut att påbörja vägen mot medlemskap i NATO, med allt större behov av interoperabilitet och en förändring av Försvarsmaktens uppgift till att inkludera ett gemensamt försvar. Rysslands fullskaliga invasion av Ukraina påvisade behov av snabbare och större förmågeutveckling. Försvarsmakten utökade luftvärnsförmågan i med införandet av Luftvärnssystem 103 Patriot. Digitaliseringen inom Försvarsmakten kan exemplifieras med att Flygvapnet införde ett nytt ledningsstödsystem i form av Taktik H, medan Armén arbetade med införande av nya versioner av LSS Mark, i form av nya radiosystem och ledningsstödsapplikationer. Perioden omfattar också starten av det strategiska vägvalsprogrammet avseende framtida stridsflyg. I samhället i stort innebar pandemin med COVID-19 en stor förändring inom arbetslivet med krav på distansarbete, vilket forcerade utvecklingen av tekniska och organisatoriska möjligheter för digitala möten.

Denna rapport har som mål att ge en översiktlig ingång till publikationer från FOI som under 2021 till 2023 rapporterat forskning som gjorts inom forskningsområdet Ledningsteknologi. En stor andel av publikationerna producerades i projekt som startade inom tidsperioden, även om dessa projekt kan ha varit fortsättningar på sedan tidigare pågående FoT-projekt.

Medan sammanställningen kan vara till stöd för olika intressenter har utgångspunkten varit att identifiera arbete relevanta för FOI:s stöd avseende framtida generationer av LSS Mark. Även inom ett enskilt forskningsområde som Ledningsteknologi är spannet av FOI:s forskning stort, vilket inkluderar simuleringsmodeller för radiosamband, datorkluster för storskaliga simuleringar av ledningsstödsystem, utvärdering av och utveckling av AI-system, systemutvecklingsmetodik, människa-maskin-interaktion och studier om framtidens ledningskoncept. Baserat på den forskning som bedrivits inom forskningsområdet och utvecklingen i omvärlden har nedan ett antal utvecklingsspår identifierats som intressanta med tanke på deras potentiella påverkan på framtidens ledningssystem.

4.1 Datahantering och påverkan från AI

Under tidsperioden har det skett en stark utveckling inom AI-området, inte minst inom generativ AI. Tydliga exempel på detta är introduktionen till allmänheten av DALL-E för bildgenerering, introduktionen av ChatGPT under 2022 vilket skapade ett omfattande intresse för stora språkmodeller och även Whisper för tal-till-text transkribering har fått uppmärksamhet. Forskningen hos FOI inom området har haft ett fokus på hantering av text och bilder, i form av funktioner för att extrahera ut viktig information från text, bilder och ljud. Till följd av detta har

det också blivit relevant att studera hur det går att vilseleda AI-modeller, samt vad för typ av informationsläckage de kan innebära. I vissa studier har initiala steg tagits för att studera hur AI kan användas som stöd vid planering. Utöver planeringsstöd visar annan forskning att tal-till-text för ljudupptagning i brusiga miljöer är möjlig. Detta skulle för framtida ledningssystem kunna nyttjas för löpande transkribering av radiokommunikation. Detta skulle minska behovet av radiopassning, men också erbjuda nya innovativa gränssnitt där information som sker via talradio även kan presenteras visuellt för mottagarna i text eller visuellt på kartan.

En utmaning för att träna AI-modeller är tillgången till relevant träningsdata. Försök görs avseende att kunna nyttja syntetisk data eller träningsdata från andra domäner, men det finns behov av att skapa träningsdata för militära ändamål. Stöd för detta är något som tänkbart kan komma att krävas av framtida ledningssystem, så att insamling och hantering av data sker ett strukturerat för att kunna nyttjas för träning av modeller. Data som är aktuell för träning är till exempel sensordata för att förbättra klassificering, men också lägesinformation, orders och information om fattade beslut. Det är tänkbart att det finns behov av metoder och data för att löpande träna AI-modeller att hantera nya typer av klassificeringar och frågeställningar efterhand som de blir aktuella. Stöd i de tekniska systemen kommer behövas för att möjliggöra sammanställning, klassificering och distribution av tillgänglig information på ett strukturerat sätt. Införandet av digitala system möjliggör i flera fall utökad loggning och datainsamling, som geografisk spårning av enskilda plattformar. Vilka data som faktiskt är högvärdig och relevant att spara kommer troligen vara ett avvägande som behöver göras.

En ökad hantering och beroende av stora mängder information kommer att ställa stora krav på den infrastruktur som krävs för att upprätthålla sambandet mellan ledningsplatser och enheter. Inte bara AI ställer högre krav på informationsutbyte, utan också en utveckling mot mer distribuerad ledning från flera och rörliga platser. Den ökade informationshanteringen har lyft frågor gällande var beräkningar och bearbetningen ska ske. Ska beräkningar ske långt ut nära sensorer och nyttjas för att minska transmissionen och fördröjningar eller bör det centraliseras för att skydda algoritmer och data från att bli tagna?

4.2 Kortare utvecklingscykler

Utveckling av ledningsstödsystem är komplext och utmanande, med återkommande utmaningar som att systemen tar för lång tid att utveckla, de överskrider budget och matchar inte verksamhetens behov (Nordström m.fl., 2023). Utvecklingen i omvärlden och Sveriges politiska situation med inträdet i Nato har under tidsperioden förändrat Försvarmaktens fokus och behov av förmågor som ledningsstödsystemen behöver hantera. Representanter för arméstaben uttrycker i en inlägga hos Kungliga Krigsvetenskapsakademien att det behövs ett synsätt där ”krigsförband aldrig kan utvecklas färdigt. De bör istället

alltid befinna sig i någon form av transformation där ny metod och teknik implementeras, vilket i sin tur inverkar på organisationen. /---/ Denna metod tar fasta på att utveckling av krigsförband baseras på ett evigt lärande och ett kontinuerligt strävande efter att förbättra, teknik, taktik och organisation, vilket också måste ske parallellt snarare än sekventiellt. /---/ Armén behöver under det rådande läget både vara under utveckling och samtidigt vara stridsberedd”⁶.

Ett sådant synsätt innebär utmanande krav på utvecklingen och införande av ledningsstödsystem avseenden till exempel avvägning mellan införande av nya förmågor och bakåtkompabilitet, organisationens förmåga att parallellt hantera flera systemversioner och konfigurationer, samt upprätthållen tillgänglighet och utbildning. För att stödja kontinuerlig utveckling och utvärdering av ledningsstödsystem behövs det teknisk infrastruktur och metoder för att tidigt testa systemen i representativ skala och förhållande, både simulerat och faktiskt. Detta har visat sig viktigt i den löpande verifikationen av LSS Mark som pågått under tidsperioden.

Den tekniska utvecklingen i Ukraina har visat sig gå mycket fort. Drönare har under tidsperioden gått från att ses som en exklusiv förmåga med begränsad tilldelning och baserad på dyr hårdvara, till att vara en förbrukningsvara. En fråga som kan bli aktuellt framgent är om en liknande syn kan bli aktuell inom ledningsstödsystemsområdet. Hårdvara för ledningsstödsystem är vanligen strikt kravställd, men kan denna typ av hårdvara komma att ses som förbrukningsvaror? Kan standardutrustning ersätta specialiserad utrustning för att till exempel möjliggöra hastig tillväxt och tilldelning, utan behov av stora lager av specialiserad hårdvara som blir daterad innan den kommer i bruk? Billigare utrustningen kan bytas ut vid behov och ledningsstödsystemet hanterar att hårdvaran kan variera.

Begreppet *prototyp warfare* innebär ett kontinuerligt experimenterade med ny teknik och tidigt införande i kontrollerade miljöer⁷. För ledningsstödsystem innebär detta utmaningar att säkerställa interoperabilitet och informationsflöden mellan olika system. Det medför också utmaningar gällande utbildning och systemens användbarhet, så att operatörer och teknisk personal har förmåga att hantera system i förändring. En inbyggd och förhoppningsvis medveten flexibilitet i ledningsstödsystemet kan erbjuda operatörerna att utveckla eller merutnyttja funktioner i systemet för flera och uppkomna behov. Systemutvecklingskoncept som low-code kan vara intressanta att studera för att se om och i så fall hur det går att nyttja dessa i ledningsstödsystem. Är det möjligt att ge slutanvändarna, eller

⁶ Lindfors, J., Peterson, H., Collin, N., Lundberg, J., Scheynius, F. (2024). Förmågeutveckling av Arméns krigsförband – hur ska det gå till? <https://kkrrva.se/formageutveckling-av-armens-krigsforband-hur-ska-det-ga-till/>

⁷ Lindfors, J., Scheynius, F., Lundberg, J., (2024). Preparing for the next war: An analysis of the Swedish army's needs for transformation <https://kkrrva.se/en/preparing-for-the-next-war-an-analysis-of-the-swedish-armys-needs-for-transformation/>

driftpersonal i direkt anslutning till dem, möjligheter att forma de tekniska stöden löpande och därmed skapa korta och lokala utvecklingscykler?

4.3 Förändring av arbetsuppgifter och kompetensbehov

Digitalisering av ledningssystem och införandet av nya former av ledningsstödsystem påverkar hur ledning, planering och uppföljning kan göras och hur den genomförs. M. Johansson (2022) visar hur införande av tekniska system kan utmana bilden av vad som är militär verksamhet. Det ter sig därmed naturligt att det finns behov av att studera hur den militära professionen förändras i och med en digitalisering av ledningsstödsystem och vilken förståelse och kompetens som behövs på olika nivåer för att nya ledningsstödsystem ska nyttjas på effektiva sätt. Vilken typ av ledning som systemet kan stödja påverkar inte bara chefer, utan även de som leds och personalen som ska underhålla systemet. Blickar man bortom de ledningsstödsystem som är under införande just nu ställer koncept som virtuella ledningsplatser flera nya frågor. Med teknik som möjliggör än mer distribuerad ledning och bättre informationsutbyten mellan geografiskt separerade platser lyfts frågor gällande lokalisering och samansättning av framtidens staber. I koncept som virtuella ledningsplatser behöver en enskild stab inte ha all expertis samgrupperad, utan expertis kan i högre utsträckning finnas som en "reachback" funktion, som stödjer ett flertal staber. Tillgänglighet i system och sambandssystem blir i sådana scenarion avgörande, speciellt om arbetet har förändrats för att dra nytta av de tekniska möjligheterna. Givet att enskilda operatörers och stabers arbete kommer anpassas efter tillgången till nya former av tekniska stöd uppstår frågan hur detta arbete kan hantera intermittent tillgång till tekniskt stöd eller samband.

Ett införande av AI-baserade planeringsstöd har potential att förändra chefens och stabens profession bort från att generera planer till att bedöma förslag genererade av stödsystemen. Om den tekniska utvecklingen fortsätter mot en ökad användning av tekniska stödsystem med AI-baserade funktioner, innebär det förändringar i arbetet som sker av enskilda operatörer och gemensamt i staber. Det har då en påverkan på kompetenskraven hos personal, vilket medför förändrade utbildningsbehov. Det kan idag finnas en uppfattning om att utbildning och kompetens att skickligt hantera tekniska system har lägre prioritet än det som uppfattas som riktig militär kompetens. Detta är därmed en fråga som behöver undersökas för att följa både hur organisationen och ledningen förändras, men också hur denna förändring återspeglas i förändringar hos enskilda beslutsfattare och soldater.

4.4 Heterogen och adaptiv transmission

Digitalisering inom armén och införande av digitala ledningsstödsystem ner till enskild plattform innebär ett förändrat transmissionsmönster jämfört med tidigare, då förmågor i systemen som införs kräver en kontinuerlig transmission, dels för att sända egen position och dels för att upprätthålla en synkroniserad lägesbild.

Transmissionen hos den version av LSS Mark som är under införande vilar primärt på radiolänkar och taktisk radio. Utmaningen för transmission är tillgången och hanteringen av tillgängliga frekvenser. I dag hanteras detta genom i förväg bestämda och fördelade frekvenser, vilket innebär en avvägning mellan frekvenskonflikter och underutnyttjad användning. Ett framtida ledningsstödsystem skulle bli mer adaptivt och opportunistiskt i hur sambandet realiserar. Alternativ till radiolänk och taktisk radio diskuteras och transmissionssystem som bygger på 5G-teknik föreslås som möjliga lösningar för att dessutom kunna nyttja befintlig civil infrastruktur.

En utmaning som kan behöva beaktas framöver är hur ledningen påverkas av intermittent samband och växlande tillgång till de nya avancerade ledningsstödsystemen. En ledningsorganisation som anpassas efter tillgången till dessa system kommer att uppleva en större störning vid bortfall av tekniskt samband än tidigare. Även om det finns reservmetoder för ordinarie samband kan det uppstå nya utmaningar i möjligheten att växla fram och tillbaka mellan ordinarie och reservmetod. Genom att nyttja informationen från ledningsstödsystemen, som position och rörelse, tillsammans med AI-modeller kan transmissionssystem konfigureras mer flexibelt och anpassas efter situation och uppgift och på sätt för att minska risken för upptäckt eller klassificering.

5 Referenser

- Alenljung, Z., Källén, I. (2023). *Försvarsmaktens nuläge och behov avseende värdering av ledningssystem - En intervjustudie* (FOI-R--5493--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Alenljung, Z., Lindholm, V. (2022). *Samverkan mellan Människa och AI i militärkontext* (FOI Memo 8035). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Andersson, M. (2021). *Bevakningssystem och digitala gränssytor* (FOI Memo 7654). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Axell, E., Hägglund, K., Eliardsson, P., Andersson, A., Komulainen, A., Karlsson, M. (2023). *Intelligent robust radiokommunikation* (FOI-R--5540--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Axell, E., Eliardsson, P., Hägglund, K., Brännström, P., Svensson, C. (2022). *Adversarial Machine Learning in Wireless Communications Basics and two examples* (FOI-R--5427--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Axell, E., Eliardsson, P., Hägglund, K., Brännström, P., Svensson, C. (2021). *Overview of Machine Learning in Communication Systems* (FOI-R--5275--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Axell, E., Eriksson, G., Holm, P. (2022). *Radiokanalmodeller för framtida militära system – Utvecklingsbehov och forskningsinriktning* (FOI Memo 7878). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Bark, G., Grönkvist, J., Hansson, A., Hägglund, K., Komulainen, A., Rydell, J. (2021). *Autonoma UAV:er för kraftigt ökad kapacitet i mobila taktiska nät* (FOI-R--5196--SE) Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Bengtsson, K., Svenmarck, P., Oskarsson, P-A., Johansson, B.J.E, Pestrea, A. Melbi, A. (2022). *Lednings av autonoma samverkande system – Inledande studier* (FOI-R--5301--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Bethdavid och Hellman (2023). *Utvärdering av metod för entitetsdetektion* (FOI Memo 8382). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Brynielsson, J. och Cohen, M. (2022). *Taktikutveckling och planering med AI-drivna krigsspel* (FOI Memo 8050). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Brynielsson, J., Cohen, M., Kamrani, F., Oskaersson, D.I. (2022). *Patrullering med poker-AI. Systematiskt oförutsägbar patrullering i sjö, mark*

- och cyberrymd* (FOI-R--5291--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Brynielsson, J., Cohen, M., Limér, C., Kamrani, F. (2023). *Ubåtsjakt, vilseledning och beslutsstöd: Hur vattentäta är beslutsstöd för ubåtsjakt?* (FOI Memo 8339). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Corrigan, E., Holm, P., Eriksson, G., Axell, E. (2023). *Radiokanalmodeller för framtida militära system. Omvärldsbevakning* (FOI-R--5492--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Corrigan, E., Holst, D., Frisberg, O., Linder, S. (2023). *Modell för rymdvågsberäkningar på HF* (FOI Memo 8150). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Eliardsson, P., Asp, B., Axell, E., Johansson, P. (2021). *Förutsättningar för frekvenshantering inom Försvarmakten: Specifikt för radiosamband* (FOI-R--5158--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Eliardsson, P., Axell, E., Asp, B., Johansson, P. (2022). *Opportunistisk användning av TV-frekvensband för taktiskt radiosamband.* (FOI-R--5385--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Eliardsson, P., Axell, E., Hägglund, K., Johansson, P., Nilsson, J., Bark, G. (2021). *Effektiva frekvensanvändning för Försvarmaktens radiokommunikationssystem: Tekniker och metoder* (FOI-R--5166--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Eliardsson, P., Axell, E., Hägglund, K., Johansson, P., Eriksson, G., Nilsson, J. (2022). *Effektiva frekvensutnyttjande för förbättrad samexistens: Slutrapport.* (FOI-R--5384--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Eriksson, P., Olsén, M. (2021). *Verktyg till stöd för inriktning och utformning av samverkansövningar* (FOI Memo 7586). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Granåsen, D. (2021a). *IS IE Framdrivningsplan 21* (FOI-R--5278--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Granåsen, D. (2021b). *Indirekt bekämpning med PC-Dart över Ra570* (FOI Memo 7758). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Granåsen, D. (2022). *Avsett ledningsstödsystem inom LSS MARK: slutsatser från kommunikationsförsök* (FOI Memo 8211). Totalförsvarets forskningsinstitut.

- Granåsen, M., Hallberg, N., Josefsson, A., Ivari, J. (2021). *Ledningskoncept 2045: Resultat av 2020 års konceptutveckling* (FOI-R--5128--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Granåsen, M., Oskarsson, P-A, Olsén, M., Hallberg, N. (2021). *Tvärsektoriell krishantering: Värdering av förmåga och modellering av system: En systematisk litteraturöversikt* (FOI-R-5022--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Grönkvist, J., Hansson, A., Komulainen, A., Sköld, M., Sterner, U., Uppman, U. (2023) Radionät för markförband: Slutrapport. (FOI-R--5531--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Gustafsson, T. (2021). *Spelregler <CMD & <CTRL>* (FOI Memo 7473). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Hallberg, N., Olsén, M., Oskarsson, P-A., Nordström, J., Granåsen, M., (2021). *Förmågemodell för aktörsgemensam krishantering* (FOI Memo 7571). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Hansson, A., Nilsson, J., Eriksson, G. (2023). *Smalbandiga radiosystem med snabbt frekvenshopp och hög datatakt* (FOI-R--5459--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Hellman, S. och Gustavi, T. (2021). *AI-baserad textbehandling i stabsstöd. Delrapportering år 1* (FOI Memo 7742). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Hellman, S., Bethdavid, S., Gustavi, T. (2023a). *AI-baserad textbehandling i stabsstöd Delrapportering år 2* (FOI Memo 8125). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Hellman, S., Bethdavid, S., Gustavi, T. (2023b). *AI-baserad textbehandling i stabsstöd: Slutrapportering* (FOI Memo 8390). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Holm, P., Eriksson, G. (2023). *Vågutbredningsberäkningar med högupplösta geodata* (FOI Memo 8161). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Johansson, B., Herkevall, J., Granåsen, M., Tolt, G. Axell, E. (2022). *Spel som verktyg för studier av framtida ledning: Årsrapport Framtida ledning och ledningsplatser 2022* (FOI-R--5401--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Johansson, B., Luotsinen, L., Herkevall, J., Axell, E., Tolt, G., Granåsen, M., (2021). *Årsrapport Framtida Ledning och Ledningsplatser 2021* (FOI-R--5243--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.

- Johansson, F., Horndahl, A., Lilja, H., García Lozano, M., Lundmark, L., Rosell, M., Stiff, H. (2021). *Detection of Fabricated Media*. (FOI-R--5132--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Johansson, M. (2022). *Teknikutvecklingen och förändrade kompetensbehov* (FOI Memo 7803). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Johansson, R., Hörling, P. (2022). *IoT-samverkan. Uppföljning 2021* (FOI-R--5258--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Johansson, R., Söderberg, J. (2023). *IoT-samverkan – uppföljning 2023* (FOI Memo 8135). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Johansson, R., (2023). *Avskanning av forskningsfronten inom combat cloud* (FOI Memo 8142). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Johansson, R., Hammar, P., Karlsson, A., Rydström, S. (2023). *Avskanning av dataanalys och AI Rapport år 2023* (FOI-R--5483--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Johansson, R., Hörling, P., Kamrani, F. (2021). *Samverkande IoT-system och lägesbild* (FOI-R--5029--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Johansson, R., Hörling, P., Kamrani, F., Söderberg, J. (2023). *Sammanfattning av arbete om IoT-samverkan 2018-2023* (FOI Memo 8394). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Johansson, R., Tjörnhammar, E., Schubert, J., Eriksson, G. (2022). *Forskningsöversikt: datakomprimering, informationsfusion och dataanalys* (FOI-R--5237--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Kamrani, F., Kanestad, L., Luotsinen, L., Pelzer, B., Sabel, J., Sandström, V., Tegen, A. (2023). *Attacking and Deceiving Military AI Systems* (FOI-R--5396--SE).
- Karlsson, J., Hermelin, J., Levin, B., Nilsson, S. (2022). *Att styra med gester - Kunskapsöversikt och utvärdering av gester som gränssnitt* (FOI-R--5381--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Komulainen, A. (2022). *Upptäcktsavstånd för lågtflygande UAV-nät* (FOI-R--5339--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Levin, B., Alenljung, Z., Hermelin, J., Karlsson, J., Lindholm, V., Tegen, A., Nilsson, S. (2023). *Framtida gränssnitt. Statusrapport 2021-2023* (FOI-R--5568--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Levin, B., Nilsson, S., Herkevall, J., Alenljung, Z., Granåsen, M. (2022). *Virtuella ledningsplatser. Slutrapport 2022* (FOI-R--5406--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.

- Levin, B., Nilsson, S., Hermelin, J., Svensson, E., Stenius, C. (2021). *Teknisk utveckling inom människa-maskininteraktion - Applikationer för framtida gränssnitt* (FOI-R--5245--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Levin, B., Oskarsson, P-A., Nilsson, S., (2022). *Mänsklig förstärkning: Statusrapport 2022* (FOI-R--5409--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Lif, P., Näsström, F., Karlholm, J., Allvar, J. (2021). *Värdering av AI-algoritm för luftburen termisk sensor* (FOI-R--5200--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Lif, P., Saleh, D., Herkevall, J., Albinsson, P-A, Sommestad, T., (2022) *Validering av CyberTest 2022: CyberTest Framtida Soldater & CyberTest Framtida Officerare* (FOI-R--5335--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Lindquist, S., Nilsson, P., Nilsson, S., (2022). *Koncept för framtida bevakningscentraler* (FOI Memo 8006). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Luotsinen, L., Kamrani, F., Lundmark, L., Sabel, J., Stiff, H., Sandström, V. (2021). *Deep learning with limited data: A synthetic approach* (FOI-R--5215--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Mattsson, K.D. (2021). *Principer för planering av samverkansövningar* (FOI Memo 7712). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Melbi, Al, Saleh, D., Oskarsson, P-A, Svenmarck, P., Pestrea, A., Bengtsson, K. (2023). *Ledning av kompanistrid med autonoma samverkande system: En bräddspelsstudie* (FOI-R--5489--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Mojtahed, V. (2021). *Förstudie om informationshantering i Försvarsmakten – med fokus på information som strategisk resurs* (FOI-R--5112--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Mojtahed, V., Wickenberg Bolin, U., Svenonius, O, Pierrau, M. (2023). *Mot en datadriven Försvarsmakt – Slutrapport för Studien Informationshantering i Försvarsmakten* (FOI-R--5525--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Nilsson, J. (2023). *Deltagande i NATO-gruppen IST-194: "Adaptive networking at the Tactical Edge"* (FOI Memo 8154). Totalförsvarets forskningsinstitut.

- Nilsson, J., Hansson, A. (2023). *Erfarenheter och slutsatser av arbetet i NATO-gruppen STO IST-161* (FOI Memo 8259). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Nordström, J., Nilsson, S., Olsén, M. (2023). *Förhållningssätt för effektivare anskaffning och integration av ledningsstödsystem* (FOI Memo 8169). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Olsson, S., Uppman, U. (2022). *Radio Evaluation and Training Tool - RETT - Koncept och designförslag* (FOI-R--5416--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Oskarsson, D., Lilja, H., Bethdavid, S. (2023). *Domänanpassning för brusig taligenkänning: Metoder för anpassning av förtränade talbehandlingsmodeller till polisiära tillämpningar* (FOI-R--5523--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Rosell, M., Bay, S., Bolin, U., Lozano, M.G., Gustafsson, D., Johansson, F., Valldor, E. (2022). *Semi-automatisk datadriven webbanalys: detektion av fabricerad media, trovärdighetsbedömning och cyberhotsbevakning* (FOI-R--5262--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Rydström, S., Johansson, R. (2023). *Utredning av stödverktyg och metodik för utvärdering av AI-metoder* (FOI-R--5453--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Sabel, J., Lilja, H., Gustafsson, D. (2022). *Automatisk bildanalys med multimodala modeller* (FOI Memo 8012). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Schubert, J., Johansson, R., Hörling, P., Gustavi, T. (2023) *Forskningsfronten inom informationsfusion* (FOI-R--5438--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Schubert, J. (2023). *Förslag på AI teknikutveckling* (FOI Memo 8386). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Stenius, C., Oskarsson, P-A., Melbi, A. (2022). *Kartläggning av metoder för värdering av ledningssystem. En litteraturstudie* (FOI-R--5345--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Stenius, C., Svenmarck, P., Pestrea, A., Johansson, B., Bengtsson, K. (2021). *Infrastruktur för forskning om militär ledning - Förslag för uppbyggnad och vidmakthållande* (FOI-R--5235--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Svenmarck, P. (2021). *Metodkarta för bedömande och värdering vid särskilda händelser* (FOI-R--5116--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.

- Svensson, E., (2021). *Virtuella ledningsplatser: delrapport 2021* (FOI Memo 7747). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Svensson, J. (2021). *Buret C2-system. Tester med motoriserad skyttepluton* (FOI-R--5248--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Svensson, J. (2022). *Buret C2-system. Fortsatta tester med motoriserat skyttekompani* (FOI-R--5344--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Thorstensson, M., Sköld, M. (2021). *Utvärdering av C2-lösningar och Ra570 inom LSS Mark – översikt 2021* (FOI Memo 7766). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Thorstensson, M., Sköld, M., Albinsson, P-A, Granåsen, D., Grönkvist, J., Hermelin, J., Uppman, U. (2021). *Demonstration av uppsättning av C2 Mark med Ra570 i brigadstruktur* (FOI Memo 7765). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Uppman, U. (2023). *Samutnyttjande av frekvenser mellan flera bredbandiga bataljonsnät: Simulering och analys av SKB-baserade radionät* (FOI-R--5520--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Wiklundh, K., Linder, S., Bergström, S. (2022). *Telekonflikter och EMC. Resultatredovisning 2022* (FOI-R--5426--SE). Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Woltjer, R., Oskarsson, P-A., Melbi, A., Aronsson, S. (2021). *Verksamhetsredovisning IPT Meaningful Human Control, slutrapport 2021* (FOI Memo 7782). Totalförsvarets forskningsinstitut.



FOI
Swedish Defence Research Agency
SE-164 90 Stockholm

Phone: +46 8 555 030 00
Fax: +46 8 555 031 00vv

www.foi.se