

MIRKO THORSTENSSON, MATTIAS SKÖLD,
PÅR-ANDERS ALBINSSON, DENNIS GRANÅSEN,
JIMMI GRÖNKVIST, ULRICA UPPMAN



Mirko Thorstensson, Mattias Sköld,
Pär-Anders Albinsson, Dennis Granåsen,
Jimmi Grönkvist, Ulrika Uppman

Analys av BMS

Översikt och sammanfattning av försök 2018-2019

Titel	Analys av BMS – Översikt och sammanfattning av försök 2018-2019
Title	BMS analyses – Overview of field trials 2018-2019
Rapportnr/Report no	FOI-R--4931--SE
Månad/Month	Februari/February
Utgivningsår/Year	2020
Antal sidor/Pages	39
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten/SwAF
Forskningsområde	Ledningsteknologi
FoT-område	Ledning och MSI
Projektnr/Project no	E72509
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Ledningssystem
Exportkontroll	Innehållet är granskat och omfattar ingen information som är underställd exportkontrollagstiftningen.

Bild/Cover: Fotograf: Mirko Thorstensson, FOI

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 har fått i uppdrag från Försvarmakten att stödja Försvarmaktens utvärdering av ledningsstödsystemet för markförbanden, BMS (Battlefield Management System), som är under införande. Syftet med studien är att ge Försvarmakten ett underlag för prioritering och vidare utveckling av BMS. Stödet har inneburit att planera, förbereda och genomföra försök i labbmiljö och i fält. Huvudfokus har varit att studera hur Försvarmaktens nya radio, Radio 570, fungerar tillsammans med övriga delsystem i BMS, och specifikt på de två C2-applikationerna SitaWare Frontline och SLB SW.

Försökserien har avslutats med fältförsök i större skala baserat på en mekaniserad bataljons utgångsgruppering och framryckning till ett samlat koordinerat anfall.

En stor mängd data har samlats in under dessa försök och endast en delmängd av dessa har kunnat analyseras hittills. Slutsatserna visar på ett stort värde i att göra den här typen av försök av BMS i sin helhet som ett komplement till verifieringen av de ingående delsystemen.

Summary

FOI was by the Swedish Armed Forces (SwAF) given an assignment to support their evaluation of the Battlefield Management System (BMS) that the ground forces are introducing. The purpose is to give the SwAF better information for prioritization of further development of the BMS. The assignment have included planning, preparation, and execution of a series of laboratory and field trials. The main focus have been the study of how the SwAF's new radio system, Radio 570, function together with the other BMS subsystems, specifically the two C2-applications, SitaWare Frontline and SLB SW.

The trial campaign concluded with a major field trial based on the conditions for a mechanized infantry battalion, covering tactical advancement and coordinated assault.

A considerable amount of data have been collected during the trials and only a part of these have so far been analyzed. The conclusions from such analysis shows how important it is to make these types of major field trials with a complete BMS as a complement to the verification studies of its' components.

Innehållsförteckning

1	Inledning	8
1.1	Läsanvisning	8
1.2	Bakgrund.....	8
1.3	Använda system	9
1.3.1	C2 SLB	9
1.3.2	Radiosystem	10
1.3.3	Andra BMS-systemkomponenter	11
1.4	Simuleringsmiljö i datorkluster	11
1.4.1	Systeminstallation	12
1.4.2	Fordonssystem, tid och positionering	12
1.4.3	Spelmotor	13
1.4.4	Simulering av förband och ledningsstöd.....	14
1.4.5	Simulering av radiokommunikation.....	14
2	Metod	15
2.1	Analyser	15
2.2	Kontrollerbara betingelser	16
2.3	Scenarier.....	16
2.4	Förbandsorganisation	18
2.5	Försöksinstallationer BMS	19
2.5.1	Försöksinstallation i radionätslabb.....	20
2.5.2	Försöksinstallation i personbil.....	21
2.5.3	Försöksinstallation i Bandvagn 206	21
2.5.4	Försöksinstallation i simuleringsmiljö och ledningslabb	22
2.6	Konfiguration av SLB SW	22
2.7	Konfiguration av Frontline och STC.....	22
2.8	Försökspersonal	23
2.9	Mätutrustning och försöksprogramvaror.....	23
2.9.1	Radiodator.....	23
2.9.2	Ramogram	24
2.9.3	Loggvakten.....	24
2.9.4	Positionsloggar.....	24
2.9.5	Radionätverk	25
2.9.6	Nätverkskommunikation.....	26
2.9.7	Talkommunikation över radio.....	26
2.9.8	SLB-databassynkronisering	26
2.9.9	Frontline / STC	26
2.9.10	Användarinteraktion	26
2.9.11	Loggning av radioparametrar med SNMP-Logger	26
2.9.12	Försöksledningskommunikation	26

2.9.13	Observationer	27
2.9.14	Fotografier	27
2.9.15	Användarsynpunkter	27
2.10	Datainsamling	27
2.11	Särskilda analysverktyg	28
2.11.1	Analys av radiokonnektivitet.....	29
2.11.2	Datalogisk analys av talöverföring	29
2.12	Begränsningar vid mätningar av Ra570	29
2.12.1	Utrustning vid mätningar av talkvalitet	29
2.12.2	Antennsystem.....	30
2.13	Begränsningar i genomförda utvärderingar	30
2.14	Genomförande	32
3	Resultat.....	34
3.1	Insamlad data från försök	34
3.2	Projektgenomförande.....	34
3.2.1	Försöksmetodik	35
3.2.2	Kompetens	35
3.2.3	Säkerhet	35
3.2.4	Leveranstider.....	35
4	Slutsatser	36
	Referenser	37
	Bilaga A. VHF-mätning av dual-band antenn.....	38
	Fordon: Personbil med lastbågar	38
	Fordon: Släpvagn med glasfiberkåpa	39

1 Inledning

Försvarmakten är under införande av ett nytt ledningssystem för markförband (BMS – Battlefield Management System). FOI har fått i uppdrag från Försvarmakten att stödja Försvarmaktens utvärdering av funktionaliteten i nuvarande version av BMS för att ge Försvarmakten underlag för framtida prioritering av utveckling av de olika ingående systemkomponenterna. Denna rapport belyser delar av erhållna resultat.

1.1 Läsanvisning

Denna rapport är omfattande och innehåller olika avsnitt som beskriver olika delar av BMS. Här ges en översiktlig beskrivning av vilka delar som är intressanta ur olika aspekter.

Kapitel 1 innehåller en beskrivning de förutsättningar projektet haft och vilka olika system som använts.

Kapitel 2 beskriver de metoder som tillämpats inom projektet, Scenarion som använts, hur systemkomponenter varit konfigurerade, beskrivning av mätutrustning och datainsamling, samt översiktligt hur försöken genomförts.

Kapitel 3 innehåller resultat, främst angående projektgenomförande. Tekniska resultat från de utförda försöken återfinnes ej i denna rapport på grund av dess sekretessnivå.

Kapitel 4 ger sammanfattande slutsatser kring värdet av försöken i helhet.

1.2 Bakgrund

Under 2016 inledde Försvarmakten dialog med FOI om att kunna stödja med analys och utvärdering av vilken förmåga det planerade systemet faktiskt har vilket resulterade i ett projektförslag som redovisades i [1]. Det ursprungliga förslaget var att inleda ett uppdrag under 2017 och att slutföra uppdraget under 2019 samt att redovisa erhållna resultat under början av 2020. Starten av projektet försenades och ett uppdrag påbörjades 2018.

Inom projektet Metod- och teknikstöd MSS har FOI under 2018 och 2019 stöttat Försvarmakten med analys av funktionalitet inom planerat ledningsstödsystem för markförband (BMS). Stödet har inneburit att planera, förbereda och genomföra försök i labbmiljö och i fält. Huvudfokus för detta projekt har varit att studera hur Försvarmaktens nya radio, Ra570, fungerar tillsammans med övriga delsystem i BMS. Ett antal försök har genomförts i labb, i fältnmiljö i mindre skala, samt i fältnmiljö i större skala. Alla försök har genomförts i nära samarbete med Försvarmaktens markstridsskola (MSS) och planering, genomförande och resultat har diskuterats regelbundet. Försvarmakten har med detta upplägg på arbetet styrt FOI till att inte skriva rapporter på delförsök eller delresultat. Fokus har varit att skapa underlag för att genomföra större försök i fält och att redovisa sammanfattande resultat för hela projektiden, vilket görs till del i denna rapport. Vissa delar av projektet ska redovisas i öppna rapporter för att möjliggöra att fler kan ta del av erhållna resultat, men vissa resultat kommer att redovisas i rapporter med olika grad av sekretessklassning, beroende på resultatens art och omfattning.

Ett viktigt mål för projektet har varit att tillämpa försöksmetoder för att uppnå mätbara och kontrollerbara betingelser i syfte att möjliggöra upprepning av försök och att kunna jämföra resultat och slutsatser mellan olika versioner av olika systemkomponenter. Projektet inleddes med att anpassa vid FOI befintliga metoder och teknik för försök för att användas inom projektet vilket redovisades i [2]. Utveckling av metoder och teknik har sedan fortgått igenom hela projektiden och redovisas ytterligare i denna rapport. Försöksplanering kopplad till krav Försvarmakten har ställt på olika delar av systemet genomfördes parallellt och redovisades i [3]. Vid genomförandet av de storskaliga fältförsöken under slutet av 2018 gjordes erfarenheter som dels redovisades i [4] och dels föranledde en omplanering av

genomförandet av de kommande storskaliga fältförsöken. Den anpassade försöksplanen redovisas i [5].

FOI:s bakgrund i arbetet med utveckling, utvärdering och analys av radiosystem och ledningssystem sträcker sig över flera år och redovisas mer ingående i metodbeskrivningen [2] där ett trettiotal rapporter från 1998 till 2017 refereras för att beskriva den omfattning och det djup FOI byggt upp kring dessa frågeställningar.

1.3 Använda system

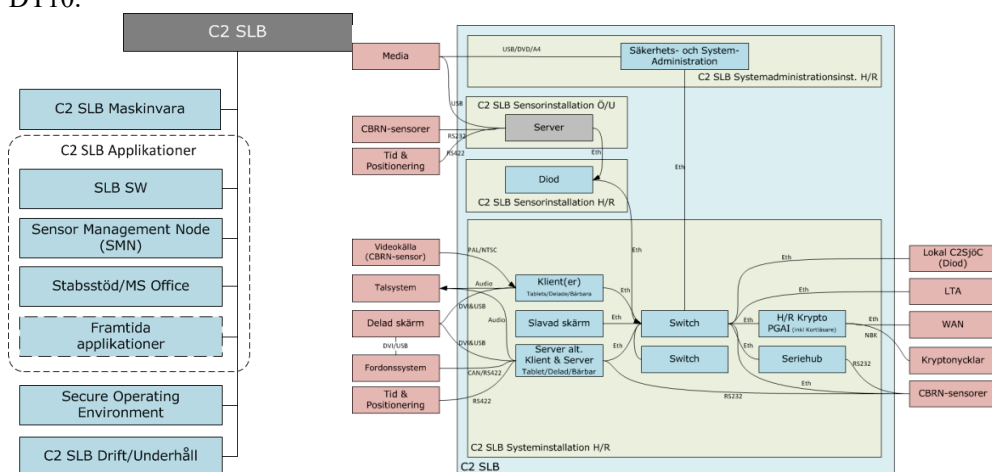
Försvarmakten har under flera år bedrivit utvecklingen av ett Battlefield Management System (BMS) i syfte att införa ett digitalt ledningsstödsystem för markförband. Ett sådant införande är tänkt att öka ledningsförmågan inom bataljoner och mellan ledningsnivåer genom att möjliggöra bättre informationsutbyte för lägesbild och uppföljning, samt att ge tillgång till ett planeringsstöd. Det utvecklade systemet består av ett flertal komponenter, som datorhårdvara, radiosystem, kryptoutrustning och programvara. Grundtanken i uppdraget från Försvarmakten var att FOI skulle tillhandahållas den slutliga, fastställda och till Försvarmakten levererade versionen av BMS 3.0, men på grund av förseningar blev så inte fallet. FOI har satt samman en version av BMS med de komponenter Försvarmakten kunde tillhandahålla.

FOI har i huvudsak använt en konfiguration av BMS med fältdator DATOR BB FÄLT GPS (M3193-501710, härnå kallad DT10), Radio 572, krypto PGAI/PGCI samt KomNod enligt följande kapitel. Under försök som genomfördes 2018 användes till viss del även radio Ra460, vilket inte berörs mer i denna rapport då detta redovisats separat tidigare.

Några av de delsystem som tillsammans utgör ett BMS är C2 SLB (*Stridsledningssystem bataljon*, hård- och mjukvara för ett datorstött ledningsstödsystem), transmissionssystem (antenn- och radiosystem), KomNod och GPS-mottagare.

1.3.1 C2 SLB

Plattformen C2 SLB består av maskinvara, operativsystem och användarapplikationer (Figur 1 t.v.). I sin allra enklaste form utgörs C2 SLB endast av en dator med ett antal användarapplikationer. I realiteten behövs ytterligare utrustning för att mjukvarorna i SLB kunna kommunicera, både internt på systemplattformen och externt med andra systeminstallationer (Figur 1 t.h.). BMS version 3.0 stödjer ett flertal datortyper, däribland DT10.



Figur 1. Ingående delsystem i C2 SLB (vänster) samt dess komponenter och gränssytor mot andra system (höger) (FMV, 2015).

Den dator Försvarmakten fastställt för användning inom detta projekt är fältdator DT10 som är en av flera datorplattformar som BMS ska kunna fungera på. Operativsystemet på en C2 SLB-dator är en härdad version av Windows 7, kallad *Secure Operating*

Environment (SOE). Denna miljö är designad för att ge ökad säkerhet, bland annat genom att begränsa användarens rättigheter. Under FOIs försök har SOE ej använts, då de begränsningar som SOE-plattformen medför bedömdes försvåra den undersökande aspekten av försöksverksamheten. Istället användes en motsvarande version av Windows 7 utan hårdning, men med anpassningar gjorda av FOI för att kunna genomföra erforderliga mätningar. Systemets uppträdande under försök påverkas inte av denna justering.

Användarapplikationerna i C2 SLB v2.3.3 består bland annat av SLB SW (benämningen SLB SW används ibland för att tydliggöra att mjukvaran SLB är skild från plattformen C2 SLB), PC-Dart (Datarapporteringsterminal), Microsoft Office, Sensor Management Node (SMN), SitaWare Headquarters (HQ) och logistikledningsstödet RSF (Resursledningsstöd främre insatsledning). Under projektets gång har ett antal iterationer av mjukvaran till C2 SLB levererats. Under försökens gång har därför olika versioner använts, från version 2.2.1 i projektets början till 2.3.3 vid de sista försöken. Under 2019 har Försvarsmakten valt att inkludera SitaWare Frontline (FL) under vissa BMS-försök, som ett alternativ till SLB SW. FOI tilldelades uppgiften att utvärdera de två olika C2-applikationerna varför SitaWare Frontline (FL) också har testats som ett alternativ till SLB SW i kontexten C2 SLB. FL är den del i SitaWare-sviten som är utvecklad för fordonsplattformar vilket gör den lämplig för bataljon och nedåt, medan SitaWare Headquarters (HQ) främst används i staber och därmed lämpar sig primärt för bataljon och uppåt, medan systemkomponenten för buret och enskild soldat i huvudsak är SitaWare Edge. Alla applikationerna i SitaWare-sviten kommunicerar med hjälp av kärnmodulen SitaWare tactical communication (STC) som lite grovt motsvarar serverdelen av SLB SW. Uppdraget till FOI har varit att särskilt studera FL som ett alternativ till SLB. Frontline spänner dock inte över samma funktionsrymd som SLB: Frontline har (i sitt standardutförande) färre funktioner än SLB och tillåter generellt mindre utsvävningar i de funktioner som finns. Utförligare beskrivningar av de båda C2-applikationerna redovisas tillsammans med resultat från användarförsök i [6]. Tabell 1 redovisar de olika ledningsstödsapplikationerna som har ingått i FOI:s försöksuppsättning av C2 SLB.

Tabell 1. Versionsnummer av använda användarapplikationer

Mjukvara	Version	Kommentar
SLB SW	2.2.1-2.3.3	Geodatapaket 3.0.0.6
SitaWare Frontline	2.2-SP1-HF1	Eget geodata
SitaWare Headquarters	2.2-SP1-HF1	Eget geodata
Microsoft Office	2010	
PC-Dart	9.0.3	

1.3.2 Radiosystem

Fokus för uppdraget har varit Radio 570 (Ra570), och dess två vågformer: en smalbandig (NB) och en bredbandig (WB). NB-vågformen är i första hand avsedd för tal, men kan också hantera data såsom PC-Dart och positioneringsdata (BFT, eng.: Blue Force Tracking). WB-vågformen är främst tänkt att hantera C2-applikationernas data, men kan även användas för annan data samt taltrafik.

NB kommer att användas i truppradiobandet (30-88 MHz) med en momentan bandbredd på 25 eller 50 kHz. Den sistnämnda är den som i huvudsak är tänkt att användas och varje NB-radio kan då hantera upp till 4 samtidiga talgrupper.

WB-vågformen kan främst användas i 225-400 MHz bandet med momentan bandbredd på 1 MHz. Den är en ad hoc-vågform vilket innebär att data som ska till noder som inte direkt kan nås vid en sändning återsänds av mellanliggande noder automatiskt utan att användarna behöver vara involverade.

Båda vågformerna använder frekvenshopp för störskydd.

Den antenninstallation som har använts var en dual-band antenn av Försvarsmakten benämnd STAVANTENN VHF/UHF (M1922-693010-1) monterad i antennfot ANTFAST VHF/UHF EMP (M1922-690328-3) fastskruvad i en rund jordplansplåt med diameter 120

em tillverkats särskilt för projektets behov. Samma antenninstallation har använts vid de olika försök i fält som gjorts och då monterats på olika fordon och släpkärror (Figur 2).



Figur 2. Antenninstallationen monterad på Bv206, på takräcke till personbil, samt på släpkärra med glasfiberkåpa.

1.3.3 Andra BMS-systemkomponenter

KomNod är den systemkomponent som utgör gränssnittet mellan datorn och radiosystemet och används i första hand då det finns flera olika kommunikationssystem att hantera, antingen flera radiosystem eller om det finns system för internkommunikation. De flesta stridsfordon kommer att ha en KomNod installerad. KomNoden är väsentligen en router som väljer vilket radiosystem som kommunikationen från C2-applikationerna eller tal skall använda. KomNod har dessutom möjlighet att brygga tal mellan olika talnät och möjlighet för operatörer att välja vilka talnät som ska vara aktiva. FOI har i detta uppdrag använt två stycken KomNoder med tillhörande kringutrustning. Ambitionen från Försvarsmakten var att 5 stycken skulle användas, men förseningar i leverans och andra problem med den systemkomponenten medgav inte fler än 2.

Kryptolösningen till BMS som använts av FOI i detta uppdrag har varit PGCI. I anslutning till det storskaliga fältförsöket i december 2018 levererades först en modell av PGAI som inte följer militära specifikationer. Denna lösning fungerade aldrig i systemet, varvid PGCI modell A400, vilken även den är en civil version som strömsätts via USB-kabel lånades ut under försöken 2018. Under 2019 tillhandahölls senare PGCI av samma modell, vilka använts under resten av verksamheten.

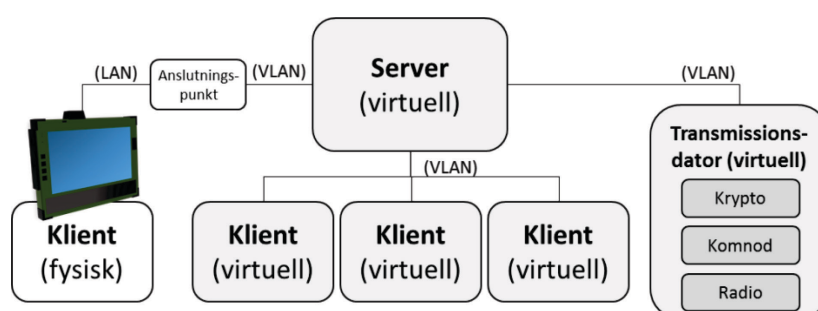
1.4 Simuleringsmiljö i datorkluster

Tester av BMS i nätstrukturer motsvarande typförbandet mekaniserad bataljon kräver ett stort antal systeminstallationer och har inte varit möjligt att genomföra i fält under projektets gång, både på grund av avsaknad av materiel och på grund av ekonomiska förutsättningar. För att ändå kunna studera BMS uppträdande i stora nättopologier har en simuleringsmiljö byggts upp i FOI:s datorkluster (CRATE, Cyber range and testing environment).

Simuleringsmiljön består av en kombination av virtuella och fysiska datorer sammankopplade i både logiska och fysiska strukturer. All taktisk datakommunikation som normalt går över radio, överförs i simuleringsmiljön istället via nätverkskabel men anpassades genom en transmissionsmodell som till del imiterar beteendet hos Radio 570. Det innebär att simuleringsmiljön kan emulera en approximativ uppskattning av detta radiosystems transmissionsegenskaper bland annat avseende dataöverföringskapacitet, länkbildning och fördröjning, samt dess gränssnitt gentemot applikationerna i C2 SLB.

1.4.1 Systeminstallation

Varje C2 SLB systeminstallation (SI, se Figur 1) representeras i simuleringsmiljön av en fysisk nod i ett datorkluster, där servrar och klienter implementerades som virtuella maskiner med hjälp av virtualiseringsmotorn Oracle VirtualBox. Till varje C2 SLB SI har också en virtuell maskin kopplats för att hantera allt som hör till transmission, dvs. radio, krypto och KomNod. Internt kommunicerar dessa via ett virtuellt lokalt nätverk (VLAN). På så sätt kan varje simulerad C2 SLB SI (Figur 3) sägas motsvara en fordonsinstallation. Simuleringsmiljön tillåter användarinteraktion via de virtuella klienterna men under användarförsöken användes representativ hårdvara för att skapa en mer verklighetsnära interaktion med applikationerna. I samtliga försök användes Försvarmaktens bärbara fältdatorer DATOR BB FÄLT GPS (M3193-501710, hädanefter kallad DT10) som hade konfigurerats som klienter kopplade mot de virtuella serverna i simuleringsmiljön (Figur 4).



Figur 3 Översikt av en simulerad C2 SLB systeminstallation



Figur 4 Ett foto på en av de fältdatorer som användes under användarförsöken.

1.4.2 Fordonssystem, tid och positionering

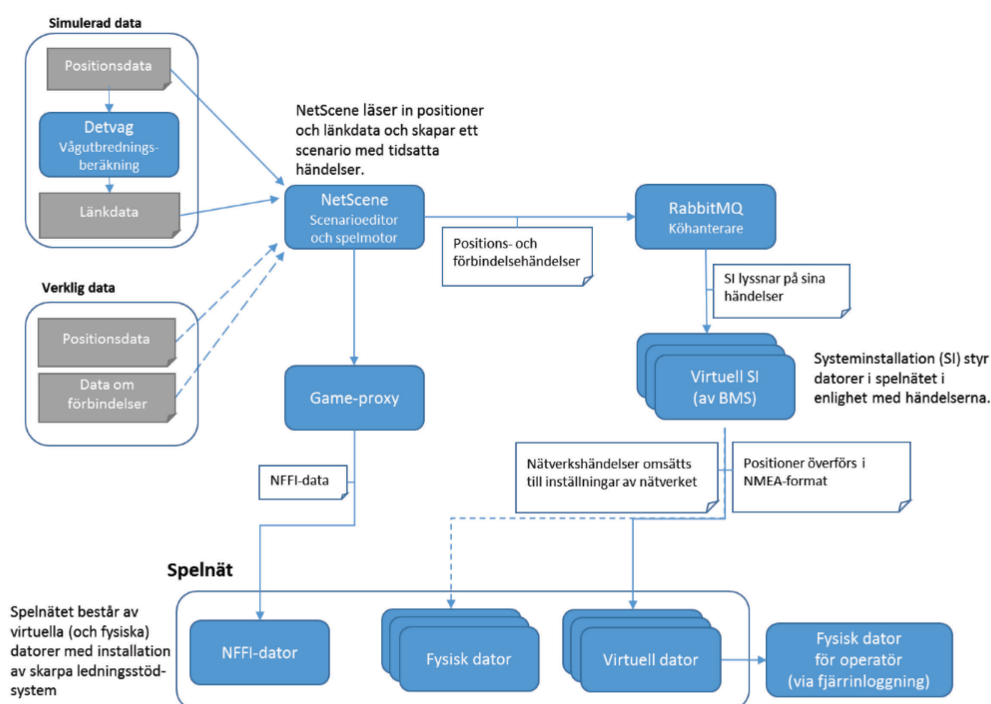
I varje reell C2 SLB SI agerar servern gränssyta mot fordonssystem och sensorer för tid och positionering. Fordonsintegrationen sker primärt mot en särskild fordonsdator, bland annat med hjälp av en CAN-buss (*Controller Area Network*, ett standardiserat datautbytesprotokoll vanlig bland annat inom fordons- och verkstadsindustrin) [7]. Under användarförsöken användes inte denna integration alls, men möjligheten noterades att i framtida simuleringar nyttja CAN-simulering för att integrera simulerad fordonsdata, t.ex. målinmättningsdata, torn- och periskopvinklar.

I fordonsintegrationen ingår normalt även tid och positionsdata via satellitnavigation (*Global Navigation Satellite System, GNSS*). Denna typ av data är central för den typ av ledningsstödsystem som SLB och Frontline representerar. Satellitnavigationen simuleras med hjälp av en för ändamålet utvecklad GPS-simulator som kunde förse de olika systeminstallationerna med positionsdata givet ett fördefinierat scenario. På detta sätt kunde alla plattformar i hela simuleringen styras från en central nod, *spelmotorn*, genom att styra deras positionsdata och transmissionsförutsättningar baserat på önskat scenario. Till skillnad från de verkliga installationerna används inte tidsinformation i GNSS-simuleringen eftersom simuleringsmiljön redan är tidssynkroniserad via värddatorernas NTP-tjänst (*Network Time Protocol*). För att möjliggöra tidssynkronisering även av fysiska klienter som kopplas till simulatorn behövs en NTP-tjänst inom den simulerade fordonsplattformen som exponeras mot de externa gränssnitten, denna tjänst tillhandahålls av den virtuella transmissionsdatorn (Figur 5).

1.4.3 Spelmotor

Den övergripande styrningen av simuleringsmiljö skedde genom scenarioeditorn och spelmotorn Netscene [8]. Netscene är utvecklat av FOI i syfte att hantera distribuerade simuleringar av just detta slag. Med hjälp av Netscene går det länka samman olika typer av simuleringar till en sammanhållen simuleringsmiljö och på så sätt simulera hur en mekaniserad bataljon med ett stort antal enskilda systeminstallationer rör sig genom terrängen, samtidigt som de utbyter datatrafik via olika typer av radiokopplingar. I de genomförda användarförsöken utnyttjades inte möjligheten att simulera samtliga systeminstallationer i en mekaniserad bataljon, utan endast de systeminstallationer som är av direkt relevans för de agerande rollerna inkluderades.

Spelmotorn styr sensor-, positions- och transmissionsdata i simuleringsmiljön, vilket ger möjlighet att definiera scenarion utifrån taktiska uppträdanden och koppla dessa till särskilda terrängmodeller. Genom att förse spelmotorn med en terrängmodell och vågutbredningsalgoritmer kan länkkonnektivitet estimeras givet de simulerade positionerna. På så sätt kan systemets uppträdande i särskilt relevanta scenarion undersökas, med den precision och de begränsningar som nyttjade modeller och algoritmer erbjuder.



Figur 5 Översikt över arkitekturen i simuleringsmiljön. I försöket användes simulerad data.

Spelmotorn kan också kontrollera enskilda fordonsinstallationer, t.ex. skifta radiotystnadsläge eller slå på/av systemen. Detta möjliggör att i simuleringen undersöka vad som händer i det totala systemet när enheter ansluter till eller kopplas ifrån nätverket, till exempel för att simulera fenomen som täckningsbortfall, återsamling, radiotystnad, teknik haveri och förlust av fordonsplattform.

1.4.4 Simulering av förband och ledningsstöd

En utgångspunkt i simuleringen är att det egentligen inte är förbanden i sig som simuleras, utan snarare förbandens systeminstallationer, det vill säga de tekniska dator- och transmissionssystemen. För att uttala sig om ett förbands ledningsförmåga med respektive ledningsstödsystem behöver dessa tekniska system en organisatorisk kontext. Simuleringsmiljön kan därför knyta enskilda systeminstallationer till enheter i en förbandsstruktur.

De ledningsstödsystem som nyttjas i simuleringen är SLB SW, SitaWare Frontline, SitaWare Headquarters och Microsoft Office. Utöver dessa är simuleringsmiljön förberedd för att kunna köra meddelandehanteringssystemet PC-Dart (*Datarapporteringsterminal*), smalbandsversionen av SLB SW: SLB T/R (*SLB Tracking and reporting*) samt resurs- och logistikledningsapplikationen RSF (*Resursledningsstöd främre insatsledning*).

1.4.5 Simulering av radiokommunikation

Simuleringsmiljön stödjer configuration av dataakt, fördröjning, länk-konnektivitet samt paketförluster för att efterlikna radiosystemen. Genom att konfigurera en virtuell transmissionsdator att separera olika typer av trafik och samtidigt emulera radiosystemens transmissionsparametrar kan många olika plattformars konfigurationer simuleras, oavsett om plattformen har en KomNod och oavsett hur många radiosystem som den verkliga plattformen använder.

För att utröna om två systeminstallationer kan kommunicera med varandra eller inte används en konnektivitetsmatris baserad på systeminstallationernas positioner vid varje diskret tidpunkt i simuleringen. Denna beräkning är baserad på en validerad vågutbredningsmodell som tillsammans med terrängdata över det område där simuleringen utspelar sig kan ge ett estimat över sannolikheten att få konnektivitet mellan två punkter. Vågutbredningsberäkning är uträknad i förväg för att ge tillräckligt snabb återkoppling till simuleringen, med förbehållet att med förberäknade värden finns inget utrymme för att interagera med transmissionsförutsättningarna under simuleringen, till exempel att justera för förändrade förhållanden avseende väder, antennutformning, elektromagnetisk interferens, etc. Av samma anledning är möjligheten att under körning justera en flerhopsradios konnektivitet begränsad. Användarna har således inte tillåtits att ta beslut under försöken som kan påverka fordonsinstallationernas inbördes konnektivitet.

2 Metod

Inom projektet tillämpas av FOI tidigare framtagna metoder för genomförande av fältförsök och försök i labb, samtidigt som nya metoder har utvecklats inom projektet. Grunden för all verksamhet i projektet kommer ur naturvetenskaplig försöksmetodik och tillämpningen av densamma i ett militärt sammanhang. En förutsättning för uppdraget är att alla försök skall vara *mätbara och repeterbara*. Detta för att möjliggöra jämförelse mellan tidigare och kommande försök. Nya versioner av till exempel radiosystem, vågformer och programvaror måste kunna jämföras och utvärderas mot tidigare versioner och tidigare genomförd verksamhet, även om bara delar av försöken återupprepas. Detta ställer stora krav på dokumentation och hantering av ingående variabler som miljö, väder, uppträdande och mätningar. De metoder som tillämpas i projektet har redovisats i tidigare rapport 2018 till Försvarmakten [2] men sammanfattas och fördjupas till del i följande kapitel.

Uppdraget bygger på försök genomförda i fält eller i labb. Under 2018 levererades en rapport i vilken en detaljerad beskrivning för genomförande av de större försöken i fält finns redogjord [3]. Syftet med att genomföra större fältförsök är att skapa ett underlag för analys under så realistiska förhållanden som möjligt, men ändå med ett stort mått av kontroll av betingelser och dokumentation av yttre faktorer. Fokus för projektet har varit de större försök som genomförts i slutet av respektive år, emedan övriga försök har genomförts för att undersöka och studera olika faktorer som kan komma att påverka utfallet i de större försöken.

En grundtanke i projektet har varit att alltid inleda en funktionsanalys med försök i labbmiljö, för att sedan gå vidare med fältförsök i närområdet och att slutligen genomföra storskaliga försök i fält. Tanken var att kunna välja antal system till de olika försöken med en variation beroende på vad som skulle analyseras, allt mellan ett fåtal enheter till upp till 20 enheter i en kaderorganiserad bataljon. Grunden var att allt som ska utföras under det storskaliga fältförsöket ska vara noga genomtestat i förväg. På grund av försenade leveranser har detta inte varit möjligt. Projektet fick under mitten av 2018 tillgång till 6 st Ra570 och motsvarande antal fältdatorer med programvara för att inleda försöken. Resterande Ra570 levererades så sent att uppdatering av mjukvaran upptog nästintill all tid fram till packning och lastning inför de slutliga storskaliga fältförsöken 2019. Grunden i alla försök som genomförts har ändå varit kopplade till de funktioner som belyses i det utvecklade scenariot som beskrivs nedan i kapitel 2.3, även om de genomförts med ett begränsat antal system.

2.1 Analyser

Vad som är viktigt att analysera ur ett funktionellt perspektiv i ett BMS kan variera beroende på vilket system som är i fokus för uppdraget. I detta projekt har fokus varit att studera och analysera hur de olika BMS-delarna fungerar tillsammans och hur delkomponenterna samverkar för att uppnå olika funktionalitet. Huvudfokus har varit att analysera hur framförallt radiosystemet fungerar i BMS-sammanhang och tillsammans med C2-applikation genomför datasamband för ledning samt hur trafikbilderna ser ut i olika taktiska situationer. Krypto och KomNod är andra delsystem som påverkar detta och har därför också inkluderats i analysen i den omfattning som varit möjlig och krävts för lösandet av huvuduppgiften.

Bland de funktioner som studerats kan nämnas funktionalitet i Radio 570, nätbildning i båda vågformer NB och WB, där själva hanteringen av radionät är av intresse. Särskilt uppstart och etablering av radionät och datakommunikation, delning av radionät och C2-nät och sammanslagning av delnät är intressanta funktioner. En radiofunktion som alltid är intressant är räckvidd vilket studeras på olika sätt och till viss del kopplad till detta är talkvalitet i förhållande till räckvidd. Andra funktioner som rör andra delar av BMS som kan nämnas är överföringsmängder för olika C2-applikationer i olika taktiska sammanhang och C2-applikationers funktionalitet under olika transmissionsförhållanden.

Olika fenomen som berör dels de här nämnda, men även sådana som har upptäckts efterhand har studerats varav vissa beskrivs under resultat.

2.2 Kontrollerbara betingelser

En viktig del i projektet har varit att genomföra försök under så kontrollerbara betingelser som möjligt, samtidigt som försöken har innehållit tillräcklig relevans och realism för ett militärt uppträdande. En viktig yttre faktor att beakta är radiovågutbredning, vilken kan variera stort på grund av olika miljö och väder. En iakttagelse från Försvarmakten är att väderpåverkan är mindre påtaglig under vinterförhållanden med tjäle och träd utan löv, vilket minskar påverkan av variation i fuktbeholdning mark och vegetation. De större försöken planerades därför att vara sent på året i en miljö för att ge yttre fysikaliska förutsättningar som är likvärdiga ur ett radiovågsperspektiv – det vill säga vintermiljö med tjäle och avlöjade träd. Försvarmakten valde en plats i Sverige för att uppnå detta.

Ytterligare en faktor för att upprätthålla högre grad av kontroll under försöken har varit att konstruera scenarier för ett förband att uppträda i. Scenarierna har konstruerats för att efterlikna situationer som är vanliga för militära förband och som ett BMS måste kunna hantera, samtidigt som de varit väldigt styrda och inneburit begränsad handlingsfrihet för förbandet.

Huvudsyftet med att säkerställa hög grad av kontroll har varit att skapa förutsättningar för att kunna repetera försöken med hög jämförbarhet, med till exempel en ny version av programvara i radio eller C2 eller med en annan typ av yttre påverkan.

Ytterligare en betingelse som har beaktats och kontrollerats är hur systemet installerats i olika typer av fordon och lokaler under olika försök, vilket beskrivs i kapitlet försökutrustning.

2.3 Scenarier

Försvarmaktens grundsyn för uppdraget har varit att systemet (BMS) ska analyseras i för Försvarmakten relevanta situationer vad avser scenario och bemanning. För att kunna analysera hur ett BMS uppträder i olika taktiska situationer har ett antal olika scenarier utvecklats med delmoment som ska belysa olika funktionalitet. Grundscenariot Försvarmakten styrde FOI att tillämpa i uppdraget bygger på mekaniserad bataljons utgångsgruppering och framryckning till ett samlat koordinerat anfall, i enlighet med Handbok Markstrid Bataljon [9]. På grund av rådande tillgång på materiel vad avser BMS genomfördes försöken med en begränsad kaderorganisation om totalt 20 enheter, vilket beskrivs i kapitel 2.4 nedan. De större fältförsöken har genomförts uppdelade i två olika separata försöksveckor där den första veckan haft fokus på de tekniska systemen och genomförts utan kaderbemanning, och den andra veckan haft fokus på taktiskt uppträdande och genomförts med en bemannad kaderorganisation. De tekniska försöken har genomförts inom samma grundscenario och i samma terräng, men försöksmomenten har haft fokus på olika tekniska aspekter hos framförallt radiosystemet, men även delar av C2-systemen.

En detaljerad plan med utvecklade scenarier och försöksmoment kopplade till olika ställda krav på dels radiosystem och dels på C2-programvara utvecklades under uppdragets första år och redovisades i en rapport [3]. Denna plan låg till grund för de försök som genomfördes i december 2018 som sedan legat till grund för en revidering av dessa planer. Grundtanken var att alla försök i projektet skulle genomföras enligt exakt samma plan, men de erfarenheter som gjordes 2018 medförde behov av revision av denna plan. En reviderad plan med samma grundscenario och grundmoment togs fram för försöken 2019 och redovisas i detalj i en separat rapport [5], men en övergripande beskrivning följer här. Grundscenariot är som nämnts ovan en mekaniserad bataljons utgångsgruppering, framryckning och genomförande av ett samordnat bataljonsanfall på en reglementerad anfallsbredd, se Figur 6.



Figur 6. Det övergripande scenariot med mekaniserad bataljons anfall efter framryckning på tre tåter.

Inledningsvis samlas bataljonen i en kolonnbildningspunkt (KP) efter en fingerad övergång av en älv, för att därefter framrycka på tre tåter till kompanivisa utgångslägen för anfall (UFA) för att slutligen genomföra att bataljonsanfall med hög grad av samordning mellan de tre anfallskompanierna som finns i förbandet. Följande delmoment har ingått i det övergripande scenariot:

- Etablering av tal- och datasamband vid uppstart av systemet, har genomförts varje morgon innan övriga moment påbörjats.
- Utveckling av orderunderlag under framryckning, har genomförts av respektive förbandschef i kadern under framryckning till startpunkten för anfallsrörelsen (KP).
- Ordergivning i utspridd gruppering över radio med tal och data, har genomförts när förbandet kommit fram till respektive delningspunkt (DP).
- Rapportering och kommunikation under kompanivis framryckning på tre tåter inom bataljons ram med reglementerade avstånd i sida och djup.
- Slutlig distribuerad ordergivning för anfall i kompanivisa UFA.
- Kommunikation vid bataljonsanfall med hög grad av samordning inom bataljonen samt med hög grad av understöd av indirekt eld.

För att studera hur de olika BMS komponenterna uppträder i ytterligare sammanhang har olika delförsök genomförts med syfte att efterlikna vissa specifika taktiska situationer. Följande delmoment har därför genomförts:

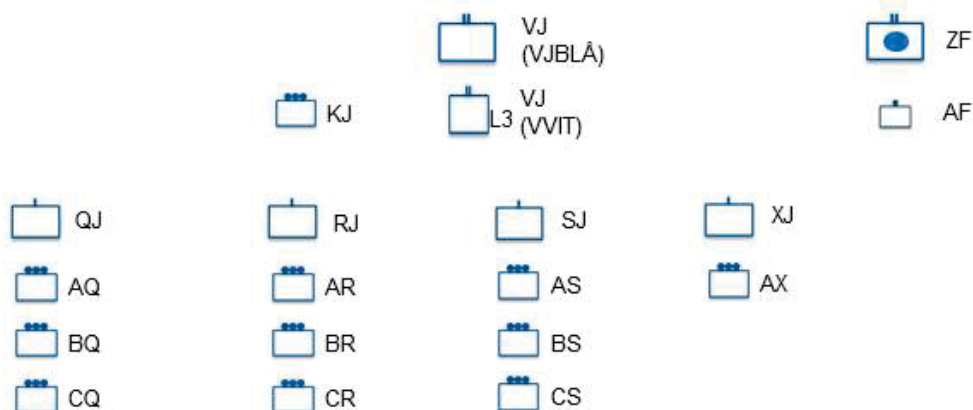
- Förflyttning i långa marschkolonner, för att studera hur kommunikationen ser ut i långa ad-hoc nät med flera hopp. Momentet har genomförts under förflyttning från en plats till utgångsgrupperingen för start av nytt moment.
- Uppstart av enstaka nod till befintligt nät, för att se hur en enskild enhet ansluter till ett befintligt radionät och till ett befintligt C2-nät med viss mängd data. Momentet har genomförts i anslutning till att förbandet kommit fram till KP.

- Delning av nät, för att studera hur nätbildning, kommunikation och återtagande ser ut dels i radionätet och dels i C2-nätet när delar av ett förband går ur radiotäckning och senare kommer åter. Momentet har genomförts som del i den framryckning på flera täter som förbandet gjort.
- Framryckning med ett kompani under radiotystnad inom bataljons ram, för att studera nätbildning, kommunikation och återtagande dels när kompaniet är radiotyst och dels när det åter sätter radion i sändning. Momentet har genomförts under förflyttning tillbaka till utgångspunkten efter ett anfall.
- Anslutning av ett kompani till ett befintligt bataljonsnät, för att studera hur nätbildning och kommunikation ser ut när ett kompani som finns i en bataljonsstruktur men har varit avstängt en tid på nytt ansluter. Momentet har genomförts efter återmarsch till utgångspunkten för att genomföra en ny anfallsrörelse.

Ambitionen inom projektet har varit att samtliga ovanstående delmoment skulle undersökas i labb och vid fältförsök i närområdet kring FOI. Vid dessa försök har oftast 6 enheter använts, eftersom leverans av systemdelar varit försenade. Vid fältförsök i närområdet och i labbet har delar av ovanstående funktioner belysts genom olika typer av delförsök. Ett stort antal försök har gjorts i labbet, nästan kontinuerligt genom hela projektet och ett flertal fältförsök har gjorts i närområdet. På grund av förseningar i leverans av Ra570 var det inte möjligt att genomföra försök med alla delmoment före de storskaliga fältförsöken.

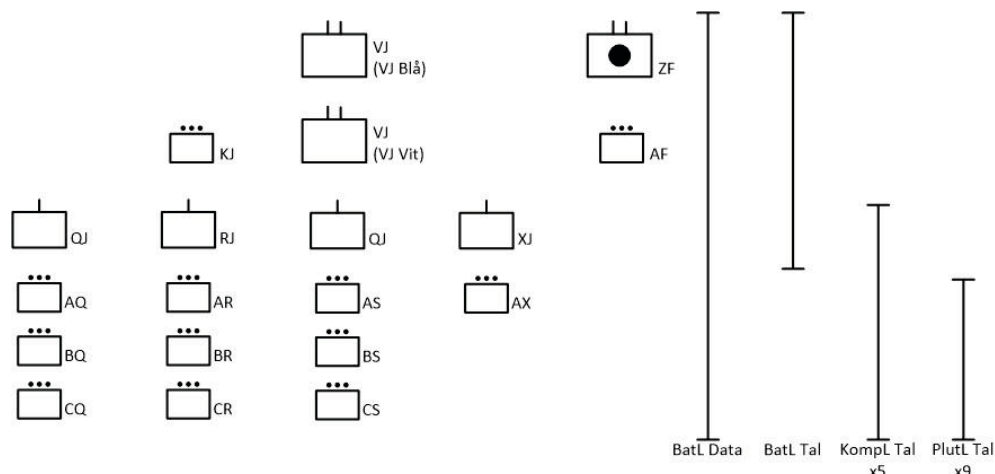
2.4 Förbandsorganisation

Fokus för projektet har varit en mekaniserad bataljon (Försvarmakten, 2020) med datanät på bredbandig vågform (WB) samt tal och PC-Dart på smalbandig vågform (NB). Valet av typförband har gjorts av Försvarmakten för att dels erhålla ett representativt underlag för ett generiskt förband med full installation av BMS, men också för att denna förbandstyp är dimensionerande då de deras kravbild bedöms som mest krävande. En organisationsbild för förbandet finns i Figur 7.



Figur 7. Förbandet VJ, en bataljon med tre stridande kompanier (QJ, RJ, SJ) och ett trosskompani (XJ). En bataljonsspaningspluton (KJ) ingår i stabskompaniet. VJ understöds av en artilleribataljon (ZF) med en eldledningsgrupp (AF).

Sambandet inom förbandet beskrivs i Figur 8. Nätbildningen avviker från ett verkligt upplägg med att ZF och AF ingår i samma radionät som VJ vilket inte är det sätt sambandet skulle vara organiserat i ordinarie strukturer. Däremot är den gruppering och plats i nätet som ZF hade motsvarande den som sambandet till ZF (RAP, motsvarande) skulle haft varför påverkan på testerna mest är av ordningskaraktär.



Figur 8. Sambandet inom VJ är ett platt datanät som går över bredbandig vågform (WB), samt olika talnät som använder smalbandig vågform (NB).

I de olika försök som genomförts inom projektet har försöksorganisationen implementerat hela eller delar av det beskrivna förbandet. Vid de större försöken under slutet av 2019 användes 20 system monterade i bandvagn Bv206. Vid försök i labb har upp till 20 system använts sammankopplade med RF-kabel och dämpningsmatris (se kap 2.5.1). Vid försök i personbil har upp till sex system använts. Hur förbandet fördelats över respektive försökssystem kan ses i Tabell 2.

Tabell 2. Orbat vid försök v950. Kolumnen fordon anger vad som skulle varit i en skarp organisation. I kolumnen *Annan utr.* anges om fordonet var utrustat med KomNod samt huruvida applikationen PC-Dart (PCD) användes på plattformen under försöken.

Nod	FAL	Funktion	Fordon	Annan utr.	Talgrupper	Anmärkning
1	QJ	Mekskkomp L1	Strf 9040	KomNod	BatL QJ	
2	DR	Stab & trossplut	Strf 9040		- -	Reserv. Utgår
3	VJ Vit	Bat L3	Strfbv 90	KomNod/PCD	BatL XJ	
4	KJ	Spanplut	Strf 9040	PCD	BatL QJ	
5	VJ Blå	Batch L1	Strfbv 90		BatL XJ	Datorhaveri
6	AQ	Plutch	Strf 9040		QJ AQ	
7	BQ	Plutch	Strf 9040		QJ BQ	
8	CQ	Plutch	Strf 9040		QJ CQ	
9	RJ	Mekskkomp L1	Strf 9040		BatL RJ	
10	AR	Plutch	Strf 9040		RJ AR	
11	BR	Plutch	Strf 9040		RJ BR	Fordonshaveri
12	CR	Plutch	Strf 9040		RJ CR	
13	SJ	Strvkom L1	Strv 122		BatL SJ	
14	AS	Plutch	Strv 122		SJ AS	
15	BS	Plutch	Strv 122		SJ BS	
16	CS	Plutch	Strv 122		SJ CS	
17	XJ	Trosskomp L1	Ptgb		BatL XJ	
18	AX	Stab & trossplut	Ptgb		XJ AX	
19	ZF	Artbat L3	Epbv 90	PCD	BatL ZF	
20	AZ	Artplut	Archer	PCD	BatL ZF	

Under försöken var fordonstilldelningen sådan att en enhet inte kunde ingå från början, varför Nod 2 (DR) inte fanns med alls i försöken. Under slutet av första försöksveckan havererade en vagn vilket medförde att Nod 11 (BR) inte fanns med under försöksvecka 2 med kadern. Således genomfördes försöken under vecka 2 med 18 enheter.

2.5 Försöksinstallationer BMS

Installationen av BMS och dess delkomponenter påverkar till viss del hur systemet uppträder och fungerar. Olika fordon ger olika antennbilder och olika påverkan på andra

typer av signaler som kan påverka funktionalitet i radiosystem. För att öka kontrollerbarhet och spårbarhet valde projektet att skapa enhetliga standardiserade BMS-installationer i lådor som används vid alla försök och flyttas mellan olika lokaler och fordon. Samma antenner och kablage har använts för olika fordon för att begränsa variation i funktionalitet. Samma utrustning används således vid försök i lab, vid försök i personbilar och vid försök med militära fordon i terräng. Installation i lådor har således inte inneburit några begränsningar för genomförande eller kvalité, utan har säkerställt kontrollerbarhet, spårbarhet och jämförbarhet.

Strömförsörjning av BMS har lösts genom en batterilåda som kan laddas med hjälp av ström ur vägguttag eller från fordonsuttag där så funnits. På så sätt har stabil avbrottsfri kraft kunnat säkerställas vid alla försök.

2.5.1 Försöksinstallation i radionätslabb

För att kunna göra kontrollerade försök byggde projektet upp ett radionätslabb där de anskaffade lådorna med BMS-installationerna kunde ställas upp och kopplas ihop på olika sätt. I labbet har en infrastruktur byggts upp som medger uppkoppling av 20 noder med strömsättning samt inkoppling av datorer för C2 SLB och radioövervakning. För konfiguration och styrning av både radio, C2-datorer och övervakningsdatorer finns nätverkskablage och routrar installerade. I labbet finns även en GPS-repeater samt möjlighet att sända ut simulerad GPS-signal. Möjlighet finns också att koppla ihop enheter i radionätslabbet med simuleringsmiljön CRATE. Labbet ger även möjlighet att sätta riktig antenn på valfritt antal noder och på så sätt via radio ansluta till enheter som rör sig utanför labbet men inom radiotäckning.

Två avgörande skillnader i försöksuppsättningen i radionätslabbet gentemot verkliga fordonsinstallationer är 1) strömförsörjningen, där labbmiljön har inneburit möjlighet att förse alla delsystem med en stabil 240V-matning och 2) etern, där labbmiljön har inneburit att transmissionen mellan de olika radiosystemen har gått via RF-kabel istället för antenn. För att lättare kunna simulera olika transmissionsförhållanden i labbmiljö har radionätslabbet utrustats med en RF-matrisväxel från JFW Industries Inc. (JWF MODEL 50PMA-074). Matrisen möjliggör sammankoppling av 6 radioapparater i ett nät och med hjälp av medföljande mjukvara kan dämpningen styras på alla kombinatoriska länkar mellan dessa noder. Detta möjliggör labbuppställningar där flera radionoder kan sammankopplas i olika nättopologier med full kontroll över dess länkdämning. Framförallt möjliggör RF-matrisen att vid givna tidpunkter förändra nätets topologi, exempelvis mellan enhoppsnät, flerhoppsnät, delade nät, etc. En bild från labbet kan ses i Figur 9.



Figur 9. Fotografi som visar BMS-installationer uppställda i radionätslabbet. Bilden visar ena väggen där 10 radioenheter är uppställda. Längst ner står batterilådor och ovan på dessa två rader av radiolådor. Notera särskilt de två övre vänstra lådorna med KomNod. I utdragslådan på de övre lådorna har ställts fältdatorer som hör till respektive radioenhet.

2.5.2 Försöksinstallation i personbil

I fältförsök nära FOI har personbilar utrustats med komponenter motsvarande en BMS-installation enligt Figur 10. Lådorna har lastats i bagageutrymmet och lastföranstrats. Antenner har monterats enligt Figur 2 och utrustning för talkommunikation och datorer har kopplats in. Vid installation i personbil har ström tagits endast ut strömlådan vilken räcker för en dags körning. Under nätterna har lådornas laddare kopplats in och batterierna har varit fulladdade för nästa dags körning. För att säkerställa positionsloggning har alltid en separat GPS-mottagare också använts, utöver den positionsloggning som görs i BMS.

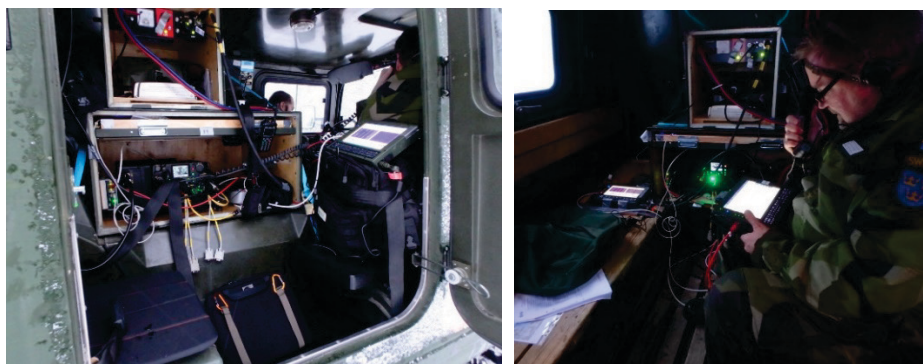


Figur 10. Försöksinstallationerna i två olika modeller av personbil. Beroende på storleken på utrymmet måste lådorna lastas olika för att medge lastföranstring.

2.5.3 Försöksinstallation i Bandvagn 206

I de större fältförsöken har egna BMS-installationer gjorts i bandvagn 206. Installationen liknar i stora drag den försöksinstallation som använts i personbilar. Bland skillnaderna märks att i bandvagnarna har det varit möjligt att strömförsörja installationerna under drift med hjälp av fordonens interna strömförsörjningssystem. Därtill har det i olika fordon

använts olika utrustning för tal, dvs. handmikrotelefoner, hörtelefoner, förlängningskablage och förgreningsdosor beroende på var användaren av systemets olika funktioner har varit placerad. I Figur 11 finns bilder på placering dels i framvagn och del i bakvagn.



Figur 11. Försöksinstallationerna monterade i Bv206. Till vänster ses monteringen i framvagn och till höger ses monteringen i bakvagn.

2.5.4 Försöksinstallation i simuleringsmiljö och ledningslabb

I simuleringsmiljön representeras varje systeminstallation av ett antal virtuella maskiner sammankopplade i ett virtuellt fordonsnätverk (vxLAN, Virtual extensible local area network). De delsystem som i en verklig installation skulle svara för kommunikation och kryptering har i den virtuella miljön ersatts av en virtuell transmissionsdator. Denna transmissionsdator kan kontrolleras utifrån med hjälp av en spelmotor för att med hög noggrannhet styra vilka installationer som varje systeminstallation för närvarande kan kommunicera med. Därtill matar spelmotorn simulerad GPS-data till alla systeminstallationer för att simulera fordonsförflyttningar i systemen.

Vid behov kan de enskilda vxLAN patchas ut till FOI:s ledningslabb för att på så sätt kunna ansluta en klientdator, t.ex. motsvarande en operatörsdator i ett stridsfordon. Detta medför att operatörer kan agera i den simulerade miljön på verkliga C2-datorer samtidigt som det ger en möjlighet att på rätt plattformar studera vissa prestandaparametrar kopplat till C2-applikationernas skalbarhet.

2.6 Konfiguration av SLB SW

Konfigurationen av SLB SW har varit baserad på de spelkort som Försvarmakten tagit fram för mekaniserad bataljon [10]. Grunddatat är framtaget inom TVM P4 och beskriver en mekaniserad bataljon. De avsteg som har gjorts inkluderar att den egna förbandsorganisationen i konfigurationen har utökats med artilleriförband från en sidoordnad artilleribataljon, samt att fordonsinstallationer som inte har haft någon motsvarighet i försökets har plockats bort från topologin.

Parameteruppsättningen för datautbyte sattes i topologin enligt FMV:s baskonfigurationsrapport för BMS 2.1 [11]. Topologin sattes helt platt, det vill säga enbart ett logiskt nätverk. I topologin har även ett antal nätverksinställningar justerats för att passa försöksplattformen.

2.7 Konfiguration av Frontline och STC

Frontline och STC version 2.2-SP1-HF1 användes under försöken. Inga av Systematics kommersiellt tillgängliga tilläggs paket eller utökningar användes. Installationen gjordes som separata Frontline- och STC-installationer på samma dator. Systematic bidrog med ett

specialskrivet tillägg som installerades för att kunna köra enbart multicast på radio. Ursprungsvarianten av radiodrivrutinen krävde nämligen att också unicast kunde användas. Tillägget är en generisk radiodrivrutin som bara används då ingen anpassad drivrutin för den specifika radion har tagits fram. Parametrarna för radionätet anges i Tabell 3. Valet att sätta både *own position min interval* och *own position max interval* till 1 s motiveras av att syftet var att efterlikna SLB:s snabbpositioneringsförmåga. Samtliga STC:er hade dessutom sin egen NTP-server påslagen för att låta Windows synka sin systemklocka mot den.

Tabell 3. Använda konfigurationsparametrar för STC i FOI:s försöksinstallationer.

Parameter	Värde	Kommentar
MTU	1400 bytes	Maximum Transmission Unit
Länkfördröjning	500 ms	
TTL	7 steg	Time-to-live
Burst interval	0	Enligt Systematic
Sync rate	15 s	Enligt Systematic
FFT latency	0	Enligt Systematic
Own position min interval	1 s	
Own position max interval	1 s	

En egenutvecklad loggningsmodul som använder sig av STC:s API användes för att logga alla tidpunkter för inkommande och utgående positioner, meddelanden och kartrapporter.

2.8 Försökspersonal

Under de större försöken i fält har förbandet bemannats av officerare från Försvarmakten. MSS har säkerställt att personal har kallats och sedan utbildats av FOI-personal inför respektive försök för att slutligen ingå i den kaderorganisation som bygger förbandet. Vid försöken i fält v950 har kadern bemannats av officerare med varierad, men adekvat erfarenhet och bakgrund från MSS, I19, Amfl och ArtSS. Kadern har kompletterats med fordonsförare från Hemvärnet.

2.9 Mätutrustning och försöksprogramvaror

En väsentlig del i försöksverksamheten är att samla in data och mäta på vad som händer i systemen, dels vad avser scenariohändelser och dels vad avser tekniska- och användarmässiga parametrar. På så sätt möjliggörs analyser och slutsatser baserade på fakta och saklig grund. Både tekniska och icke-tekniska data har samlats in för att kunna göra analyser av olika aspekter av BMS. Projektet har till del använt olika befintliga verktyg men också utvecklat kvalificerade verktyg för att kunna samla och analysera nödvändig data. Därtill har loggning skett på försöksinstallationernas C2-dator, bland annat rörande information kopplat till användandet av C2-applikationer. All loggning har skett lokalt på respektive försöksinstallation för att sedan sammanställas efter respektive försök. I detta delkapitel beskrivs vilken mätutrustning och vilka specifika försöksprogramvaror som använts.

2.9.1 Radiodator

För att möjliggöra loggning nära radion har en extra loggdator (hädanefter benämnd *radiodator*) anslutits i respektive försöksinstallation, kopplad direkt mot radion via det ena av radions två nätverksgränssnitt. Detta är ett medvetet avsteg från den typkonfiguration som legat till grund för försöksinstallationernas utförande i syfte att samla in data kring vad som faktiskt kommuniceras från radion samt viss intern data i radion. För att minimera risken för att radiodatorn påverkar försöksinstallationerna negativt användes DT10 även här.

2.9.2 Ramogram

För att kunna se radiotrafiken som sänds genom luften (eller i RF-kabel vid labbförsök) togs denna mätutrustning fram. Utrustningen består av en USRP RF-frontend för AD-omvandling och insamling av IQ-sampel, vilka sedan tas emot i en dator med ett mjukvaruprogram byggt i GNU Radio. Programmet liknar ett vattenfallsdiagram men istället för att visa spektrum så visas energi över tid. På så sätt möjliggörs övervakning av radionätets protokoll. Detta verktyg används med fördel i kombination med RF-matrisen i labb för att kunna titta på delar av ett nät eller enskilda noder. Verktöget har även varit användbart i fält. För att användas i fält krävs inkoppling till antenn inklusive extra komponenter som skyddsutrustning för att säkerställa att inte få för mycket effekt in i mätutrustningen. Antennen går även att samtidigt koppla till både ramogrammet och radion med hjälp av riktkopplare.

2.9.3 Loggvakten

Loggvakten (Figur 12) är en programvara som tagits fram av FOI som visar status för alla olika typer av loggningar hos nätets alla anslutna radioenheter. Fjärrstyrning är möjligt genom att starta och stoppa vissa typer av loggning hos enskilda eller samtliga nätets anslutna radionoder. "Tictoc"-funktionaliteten i Loggvakten (se radionätverk 2.9.5) skickar data för att kunna proba nätet och på så sätt både kunna övervaka samt logga hur radionätet såg ut under försöken. Denna funktion är mycket användbar i fält för att kunna övervaka radionätet och se direkt vad som händer och vilka radionoder som har kontakt med varandra i radionätet. Loggvakten kan schemalägga radioinställningar hos egna eller andra noder i radionätet samt övervaka radionätet vilket möjliggör en god överblick av alla sammankopplade radionoder via Loggvakten.



Figur 12. Loggvakten visar status på loggningsapplikationer för alla radionoder som den har förbindelse med, samt möjliggör fjärrstyrd av- och påslagning av respektive loggningsapplikationer (överst). Tre olika vyer, *tic-toc big-pack* (dold), *classic* resp. *fussball*, presenterar dessutom nuläge och historik avseende radioförbindelse på radions olika vågformer: NB och WB, observera att NB är blank i denna bild (mitten, till vänster) eftersom loggvakten var inställd att ej sända någon trafik över den vågformen vid tidpunkten för denna skärmdump. Längs ned finns möjlighet att plocka fram spårutskrift vid behov av fördjupad analys.

2.9.4 Positionsloggar

Att veta var varje enhet befinner sig över tiden är centralt för försöksverksamhet och olika applikationer och verktyg har använts för att logga positionen för varje enhet. Över tid har

förändrade behovsbilder lett till att nya metoder för att logga position har utvecklats. För ökad redundans användes flera olika datainsamlingskällor för position.

- *Serieportsloggning.* Den vanligaste metoden för en dator att kommunicera med GPS är över ett serieportsgränssnitt. En enkel metod att logga detta data är att läsa det som skrivs till serieporten och spara ner data på fil. För detta ändamål finns flera färdiga programvaror och FOI har använt serieportsterminalen PuTTY. Nackdelen med denna metod är att endast en applikation kan läsa från serieporten vilket betyder att till exempel C2-applikationer då inte skulle kunna använda GPS:ens information samtidigt. För att komma runt detta har en FOI tagit fram en egen programvara (*SerialPortTap*) som läser från serieporten, sparar ner till fil och skickar vidare informationen till en virtuell serieport. Denna applikation användes för att spara GPS-data från C2-datorer med SitaWare Frontline.
- *UDP-loggning.* På en C2 SLB-plattform kan det finnas fler applikationer som är i behov av att läsa information från en GPS, till exempel en NTP-server, SLB SW samt PC-Dart. För att möjliggöra det levereras C2 SLB med en programvara (*CommunicationProxy*) som kan läsa informationen från en serieport och vidarebefordra den till godtyckligt antal UDP-strömmar. För att detta ska fungera krävs att den nyttjande applikationen kan ta emot GPS-information via UDP. Detta fungerar med de program som levereras till C2 SLB, dock ej med den version av SitaWare Frontline som FOI har använt under försöken. För att logga GPS på C2-datorer med SLB SW har därför CommunicationProxy konfigurerats för att ge en extra UDP-ström för loggning, till vilken en egen programvara (*UdpTap*) har kopplats för att spara ner detta data.
- *C2-applikationsloggning.* Både SLB SW och Frontline loggar den egna systeminstallationens spår kontinuerligt så länge som applikationen är igång. Dessa loggar är möjliga att extrahera i efterhand för analys, dock har dessa använts med försiktighet då FOI inte har någon insyn i hur detta sparas ner av respektive applikation.
- *Nätverksloggning.* Både SLB SW och Frontline skickar position över radio till de andra noderna med jämna mellanrum. Detta data kan fångas med windump och att extrahera positionerna ur det är möjligt givet att kommunikationsprotokollet är känt. För SLB SW har FOI tagit fram en programvara som kan göra det för att fånga upp både vilka positioner som skickats ut över radion och vilka som tas emot från andra systeminstallationer. Motsvarande analys av Frontlines kommunikationsprotokoll har inte gjorts.
- *Extern GPS.* Som extra säkerhet för att logga position över tiden för varje enhet har en extern batteridrivna GPS också använts. Denna loggar position oberoende av om datorer är igång eller inte och ger dessutom en oberoende datakälla. Följande tre olika typer har använts: (1) Garmin eTrex Legend HCx – 10 st. (2) Garmin eTrex 30x – 2 st. (3) Garmin eTrex 32x – 8 st.

2.9.5 Radionätverk

FOI utvecklade initialt en konsolapplikation (*tictoc*) för att periodiskt skicka och ta emot små paket över en radio och logga detta till fil. I takt med att försöken växte i omfattning vidareutvecklades denna applikation till en grafisk applikation *Loggvakten* (*se ovan*) med diverse fjärrstyrnings- och övervakningsmekanismer. Tictoc-delen av Loggvakten kan konfigureras att sända små probpaket på givna intervaller över de av radions vågformer som anges. Paketerna taggas med sekvensnummer för att avgöra exakt vilka paket som tas emot samt vilka som ej tas emot. Varje utsänt samt mottaget paket loggas i Loggvakten. Dessa paket används både för att övervaka nätet under försöken i realtid, samt för att vid senare analyser kunna identifiera vilka av radionätets noder som haft kontakt med varandra för varje utsänt paket.

2.9.6 Nätverkskommunikation

En central funktion inom BMS är att kommunicera data mellan de olika ingående enheterna och för att logga datakommunikationen har ett standardverktyg för att logga nätverkskommunikation använts. Windowssniffern *Windump* har använts för att logga data mellan radio och krypto (på radiodatorn) och mellan krypto och C2 SLB (på C2 SLB-datorn). Vid de tekniska klusterförsöken har motsvarande Linuxprogram, *tcpdump*, fångat data som passerat respektive virtuell KomNod.

2.9.7 Talkommunikation över radio

Två olika metoder har använts för att logga taltrafik över radio. Dels har ljudinspelare anslutits till 10 radioenheter och där spelat in ljud direktkopplat mot radions ljudutgång, dels har ljudet fångats upp av de nätverksloggar som *Windump* har loggat, eftersom talkommunikation av radion omvandlas till RTP-strömmar som i sin tur fångas upp i nätverksloggningen enligt ovan. Den ljudinspelare som användes var Zoom H1n Handy Recorder, som har möjlighet att tidstämpla inspelade filer.

2.9.8 SLB-databassynkronisering

För att kunna analysera hur SLB uppdaterar databaser och hanterar mellansystemssynkronisering har FOI utvecklat ett verktyg för att med regelbundenhet ta ögonblicksbilder av applikationens databaser (*SLBDbBackup*). Applikationen är designad för att ta dessa ögonblicksbilder på särskilda klockslag för att säkerställa att någorlunda samtidiga ögonblicksbilder loggas (givet att de olika systeminstallationerna har tillräckligt synkroniserade klockor).

2.9.9 Frontline / STC

FOI har utvecklat ett verktyg som loggar all kommunikation som görs internt i Frontline/STC. Ett gränssnitt för programmering (API) från Systematic har använts för att utveckla en egen programvara som loggar utgående och inkommande kommunikation på respektive Frontline/STC-klient.

2.9.10 Användarinteraktion

För att kunna studera och analysera hur operatörerna har använt sina C2-applikationer har skärmdumpar tagits i respektive C2 SLB-dator med en specialskriven applikation för tidsstyrd skärmdumpning (*Screenshooter*). En motsvarande applikation för fjärrstyrd skärmdumpning och fjärrskådning i klustermiljö har utvecklats med hjälp av den underliggande arkitekturen för att inte påverka operatörernas nätverksmiljö (*Trapdoor.Screenshooter*). Den tidsstyrda mekanismen användes i fältförsöken för att möjliggöra analys i efterhand. I klustermiljön däremot finns en möjlighet att ta skärmdumpar med hjälp av den underliggande infrastrukturen och på så sätt kunna fjärrskåda under pågående försök, men skärmdumparna har även sparats.

2.9.11 Loggning av radioparametrar med SNMP-Logger

Ett eget verktyg (*SNMPlogger*) skrevs för att med konfigurerbart intervall logga ett antal parametrar från radion med hjälp av protokollet SNMP (*Simple Network Management Protocol*). Vi har valt att inte använda detta data till några djupare analyser av resultaten i detta projekt. Det har däremot varit till stor hjälp för att kunna övervaka alla radiosystem under fältförsök.

2.9.12 Försöksledningskommunikation

För att leda försöken i fält har FOI använt ett textverktyg på säkrad mobiltelefon och all kommunikation i det verktyget har loggats vad avser tidpunkt, användare och textinnehåll. På så sätt finns en tidstämplad logg på alla åtgärder som initierats via detta verktyg. Till exempel finns uppgifter om när försöksmoment startats och stoppats, när inställningar har ändrats samt när särskilda händelser inträffat. Flera olika textgrupper användes och samtliga har loggats.

2.9.13 Observationer

Samtliga deltagande forskare från FOI har kontinuerligt gjort observationer och dokumenterat dessa i skrift med tid och iakttagelse. På så sätt finns observationsrapporter till tid och plats dokumenterade för händelser som respektive observatör har funnit värdefullt att dokumentera. Dessa observationer är mycket viktiga för att ha bakgrundsinformation om det kontext i vilket övriga data uppträder.

2.9.14 Fotografier

FOI har använt kameror för att ta bilder på olika företeelser under försöken och dessa bilder är tidsstämplade och kan knytas till en specifik observatör vilket innebär att samtliga bilder har en tid och en position.

2.9.15 Användarsynpunkter

En del i att analysera funktionaliteten i BMS är att undersöka hur deltagande användare uppfattar olika situationer och hur de upplevt funktionalitet och det stöd de fått ur systemet samt vilka synpunkter de har på interaktionen med de olika systemdelarna. Huvuddelen av användarsynpunkterna som ingår i denna studie är inhämtade vid de genomförda användarförsöken [6]. Ytterligare synpunkter från fältförsök och egna erfarenheter från användande i labbmiljö har kompletterat studien. De primära metoderna som har använts för att inhämta användarsynpunkter återges nedan:

- *Enkätfrågor.* I försöken i simuleringsmiljö med fokus att utvärdera C2-applikationerna har enkäter använts i stor omfattning för att samla data kring synpunkter och åsikter från användare [6]. Vid de större fältförsöken med kader genomfördes inga enkäter.
- *Gruppdiskussioner.* Efter varje dags fältförsök genomfördes gruppdiskussioner med användarna för att samla in deras synpunkter och åsikter kring systemet vad avser systeminteraktion, erhållet stöd, förbättringsbehov och allmänna reflektioner. Diskussionerna leddes och dokumenterades av två forskare från FOI och genomfördes med all kaderspersonal samlat.
- *Observationer.* De observationer som varje deltagande forskare har gjort över tid har även dokumenterat de åsikter som följda operatörer har uttryckt på systemet över tid. Dokumentation av detta har gjorts på olika sätt, dels i pappersform, och dels i de verktyg som FOI använde för att leda försöket.

2.10 Datainsamling

Grunden för att kunna analysera genomförda försök är att det finns insamlad data som är kopplad till de analysparametrar som identifierats, så att analys på saklig grund blir möjlig att genomföra. Projektet har använt ett antal olika datakällor för att säkerställa att data i tillräcklig omfattning och med viss redundans har samlats in för att ligga till grund för de analyser som gjorts. En förteckning över förbandsorganisationen och de fysiska datainsamlingsapparater som kopplats till respektive enhet kan ses i Tabell 4.

Insamlingen av data har genererat stora mängder data distribuerat över många olika källor. Under de fältförsök som genomfördes v943, v948 och v950 samlades data från upp till 60 olika datorer per dygn, 20 GPS-mottagare och 10 ljudinspelare. Denna datamängd ligger till grund för huvuddelen av de analyserna som beskrivs i denna rapport. Totalt samlades under dessa försök 561,41 GB (522,85 GiB) data fördelat över 288 679 filer. All data från alla försök projektet genomfört finns sparad för framtida analyser. Vår bedömning är att det finns stora möjligheter att analysera delar ur detta material för att dra slutsatser kring funktionalitet och förbättringsmöjligheter för berörda system och applikationer.

Efter varje försöksdag har loggar samlats in och sparats till en nätverkskopplad hårddisk (*Network Attached Storage, NAS*) med speglade hårddiskar. Vid återsamling har samtliga

datorer i respektive fordon kopplats med nätverkskabel till en switch ansluten till en NAS, varefter loggar automatiskt sparats ner på NAS:en. Övriga loggar har samlats in för hand och sparats ner till den centrala NAS:en för backup. Vid slutet av varje genomförd försöksvecka har NAS:en speglats mot en likadan NAS för extra redundans. Innan hemresa plockades en hårddisk med samtlig data ur en NAS och låstes in på försöksplatsen, för att minimera risken för dataförlust. Vid hemkomst från försöken ersattes den urplockade disken och speglades mot övriga diskar för att åter ha fyra hårddiskar med komplett uppsättningar av insamlad data. Data sparades även ner på arkivbeständiga Blu-ray-skivor för fortsatt arkivering av försöksdata. Respektive forskare har sedan genomfört analyser på kopior av data.

Tabell 4. Förbandsorganisation och utrustning.

Org Nr	FAL	Fordon Bv nr	System		PC SLB	KomNod	Datainsamling		
			Ra	PC FL			PC Di	GPS	Ljud
1	QJ	261 594	1	1312	1166	4543	1078	303	Z1
2	DR*		2					304	
3	VJ Vit	264 532	3	1217	1234	4544	1285	305	Z2
4	KJ	261 457	4	1202	1189		1311	306	
5	VJ Blå	264 544	5	1315	1281		1294	307	Z3
6	AQ	262 123	6	1220	1316		1242	308	
7	BQ	261 563	7	1261	1163		1279	309	Z4
8	CQ	261 423	8	1280	1174		1190	310	
9	RJ	262 725	9	1178	1292		1235	311	Z5
10	AR	262 745	10	1173	1246		1236	312	
11	BR*	262 934	11	1322	1245		1328	321	
12	CR	262 495	12	1319	1244		1321	322	Z6
13	SJ	262 305	13	1318	1253		1310	331	Z7
14	AS	262 726	14	1104	1243		1142	332	
15	BS	261 514	15	1201	1247		1272	333	Z8
16	CS	265 060	16	1079	1203		1282	334	
17	XJ	261 597	17	1283	1286		1269	335	Z9
18	AX	261 555	18	1256	1255		1323	336	
19	ZF	262 113	19	1254	1308		1293	337	Z10
20	AZ	261 567	20	1309	1327		1205	338	

*) Enhet nummer 2 och 11: Nr 2 (DR) deltog aldrig i försöket på grund av att ett fordon mindre än planerat var tillgängligt. Nr 11 (BR) havererade under v948 och deltog inte under v950.

2.11 Särskilda analysverktyg

För att genomföra analyserna i detta uppdrag har FOI använt en uppsättning olika verktyg för olika analyser. En del är egenutvecklade medan andra är standardverktyg.

- Spotfire är ett verktyg för att visualisera tidsdistribuerad data för att kunna göra sekvensanalyser på olika sätt. Spotfire har i projektet använts för att analysera sändning och mottagning av positioner, samt att studera nätverkslaster över tid.
- F-REX. Ett verktyg för att visualisera distribuerade händelseförlopp genom att bygga en tidssynkroniserad, händelsedrivna uppspelningsbar multimediamodell av data från förloppet [12]. I F-REX kan data från olika typer av källor sammanställas och visualiseras med hjälp av olika vyer som till exempel för kartdata, bilder, video, text och ljud. Navigering i händelseförloppet görs genom att klicka på tidpunkter i en tidslinjal där databefintlighet också visas. Uppspelning och visualisering sker sedan tidssynkroniserat i de vyer som användaren lagt upp.

- Matlab samt det öppna källkodsramverket R har använts för statistiska och matematiska beräkningar av räckvidd, talsamband och länkanalys, radionätsanalyser, samt generering av diagram.

2.11.1 Analys av radiokonnektivitet

Data loggat från den probtrafik som tictoc-funktionen i Loggvakten genererat (se 2.9.3 samt 2.9.5) har analyserats för att se hur nätbildningen fungerat i de båda vågformerna i radionätet. Sänd respektive mottagen tictoc-data i alla nätets noder har gett ett mått på andelen mottagna paket per nod och över tid för varje nod i nätet. Detta i kombination med deras loggade positioner har analyserats för att se när och mellan vilka noder i nätet (på vilka positioner och avstånd) som trafik levereras över de olika vågformerna. Detta data är fristående från C2-applikationernas data och kan ses som en kontinuerlig probning av nätet. Under labbförsök, alla mindre fältförsök, samt försöken v948 har detta data legat till grund för de resultat och analyser som gjorts. Under v950 har denna analys främst varit till stöd för de analyser som gjorts för resultat kopplade till C2-applikationerna.

2.11.2 Datalogisk analys av talöverföring

Loggning av tal har gjorts både som inspelad taldata och från VoIP-data fångad med windump på radiodatorn. Inspelad taldata finns bara tillgängligt från v950 på ett fåtal talgrupper och noder så majoriteten av analyser har gjorts på inspelad VoIP-data. En av de analyser som gjorts av talkommunikation är att studera hur en förinspelad ljudsekvens av känd storlek tas emot i dataform hos olika mottagare. Denna analys har studerat talkommunikation utan att blanda in några audiokomponenter till radion, som till exempel A/D- och D/A-omvandlare, handmikrotelefoner, förlängningskablar och hörtelefoner. Det analyserade ljudet har överförts direkt från radiodatorn till radion i digital form som en RTP-ström (*eng.*: Real Time Transport Protocol). I de mottagande försöksinstallationerna har meddelandet loggats digitalt på den till radion anslutna radiodatorn. På så vis är det endast den digitala delen av ljudöverföringen som sparats. Denna metod eliminerar felkällor i form av ansluten periferiutrustning, detta för att kunna analysera kommunikationen avseende avstånd, terräng och yttre påverkan. Ytterligare fördelar med att använda en förinspelad sekvens är att den kunnat sändas kontinuerligt och att mer automatiserad analys av det mottagna ljudet sedan är möjlig.

Analysen av den mottagna informationen har gjorts genom att låta ett ljudanalysprogram dela upp den inkommande ljudströmmen baserat på identifierad tystnad. Därmed erhålls ett stort antal korta ljudklipp som idealt ska motsvara det ljudklipp som sändes ut. Analyserna är gjorda på de klippta ljudsekvensernas filstorlek (vilket är analogt med dess längd eftersom en kodning med konstant bithastighet har använts, G.711). Antagandet bakom denna metod är att avsaknad av data eller korrupt data kommer att resultera i att radions inbyggda ljudavkodare inte genererar något utgående ljud och därför kommer klippen att bli kortare än de skulle bli om allt data överförs korrekt. Denna metod har till exempel svårt att upptäcka när det fattas enstaka små paket mitt i en ljudsekvens eftersom de kommer att fyllas ut med kortare tystnad och brus av ljudavkodaren vilket betyder att det inte är säkert att de fångas upp av klippningsfunktionen.

2.12 Begränsningar vid mätningar av Ra570

Detta delkapitel beskriver ett antal metodmässiga och tekniska begränsningar som kan påverka tolkningen av resultat från genomförda mätningar på Ra570.

2.12.1 Utrustning vid mätningar av talkvalitet

Försvarmaktspersonal inom förband har vid flera diskussioner kring ledningssystem uppgett att talkommunikation över radio är viktigast för dem vid ledning av strid. Det är ett etablerat och centralt kommunikationsmedel med avgörande effekt. En viktig faktor är att kvaliteten i det överförda ljudet medger röstigenkänning och nyanser i talet hos avsändaren.

Man vill höra vem man pratar med och vilken sinnesstämning den personen är i, vilket är en viktig faktor för att kunna utöva ledarskap. I de försök som FOI genomfört inom detta projekt under 2018 och 2019 har talad radiotrafik inte varit i huvudfokus eftersom det vanligtvis brukar fungera bra, men när talkommunikation började studeras identifierades en del problem och större fokus har i senare del av projektet lagts vid detta.

Redan vid starten av projektet 2018 påtalades behovet av handmikrotelefoner, hörtelefoner och headset till radion för att kunna studera talkommunikation men den utrustningen har inte funnits tillgänglig. Till KomNod erhöles mjuka headset under mitten av 2019 och inför de slutliga sammansatta fältförsöken v948 och v950 erhöles bullerskyddande headset för KomNod. För Ra570 erhöles under 2019 endast handmikrotelefoner, men ingen annan ljudutrustning som förlängningskablar med grenuttag, hörtelefoner eller headset. Att i militära fordon göra analyser av kvalitet på talkommunikation utan denna utrustning medför begränsningar, vilket uppdragsgivaren har varit medveten om, men inte har kunnat åtgärda. Utrustningen fanns helt enkelt inte tillgänglig.

2.12.2 Antennsystem

Ett problem med radiomätningarna är beroendet av aspekter utanför Ra570, framför allt antennsystemet. Detta är framförallt relevant för VHF-bandet då den antennlösning vi använt i försöken kräver ett jordplan. För att få rimlig prestanda på de tillgängliga antennerna ihop med jordplanen har dessa mätts på några fordon, se Bilaga A. Resultaten av dessa mätningar visar att det bara är lämpligt att använda frekvenser från ca 69 MHz och uppåt. Detta har påverkat de möjliga frekvensvalen för NB-vågformen vilket i sin tur har haft påverkan på framför allt räckviddsmätningar för NB. Antennsystemets prestanda jämfört med motsvarande militära installationer har inte klarlagts.

Ett antal andra faktorer kan påverka räckvidden. Exempelvis så har det använda kryptot (A400) ej skärmat kablage och strömsätts med vanlig USB-kablage. Annan civil utrustning kan ha påverkat brusmiljön, till exempel civila mobiltelefoner och brusreducerande hörselkåpor. Ingen bakgrundsmätning av interferensmiljön har gjorts i de använda fordonen.

2.13 Begränsningar i genomförda utvärderingar

Projektets arbete innehåller en mängd begränsningar vilket påverkar de slutsatser som kan göras. Minst följande faktorer måste beaktas:

- *Begränsat antal enheter.* Projektet har endast haft tillgång till 20 st system varav 14 levererades mycket kort tid innan de slutliga försöken, vilket innebär begränsningar ur såväl radioperspektiv som C2-perspektiv. Ett nätverk med 20 noder är relativt sett litet för att utvärdera Ra570 gentemot kravbilderna på uppemot 140 radioapparater i samma nät. De eventuella problem som kan uppstå på grund av skalningseffekter med många noder har inte kunnat studeras. På samma sätt har inte effekterna på C2-applikationerna i stora nätstrukturer kunnat studeras i fält. För C2-applikationerna kommer simuleringar att kunna svara på vissa av dessa frågor, men för Ra570 finns ännu inte verifierade modeller att använda i simulering för motsvarande analyser.
- *Programvaruversioner.* För Ra570 har slutlig programvara ännu inte levererats och projektets försök är genomförda med olika icke-kompleta versioner. Programvaran Frontline är använd i en standardversion med en generell drivrutin för radiokommunikation utan någon särskild anpassning till Ra570 och Försvarsmaktens organisation och metoder. SLB SW har under detta projekt uppdaterats flera gånger för att matcha den version som för närvarande är aktuell för Försvarsmaktens införande. Då varje ny version medför ett antal förändringar är inte alla resultat helt jämförbara mellan försök gjorda tidigt under projektets gång och de som gjordes mot slutet.

- *Konfiguration.* Samtliga delsystem i BMS behöver konfigureras för att fungera på ett tillfredsställande sätt givet det scenario det ska användas i. För att inte riskera validitetsproblem var önskemålet att använda Försvarmaktens fastställda konfigurationer av respektive materiel. I realiteten har det dock varit omöjligt att luta sig mot sådana konfigurationer då de helt enkelt inte har varit färdiga eller anpassade för de mätningar som projektet har behövt göra. De delsystem där denna konfiguration har varit mest omfattande och också mest avgörande för projektets genomförande och resultatens validitet gäller grunddata och nodkonfiguration för SLB SW och SitaWare Frontline samt tal- och datagrupper för Ra570. KomNodens konfiguration har också varit en begränsning för projektet då det givet projektets budget inte har varit möjligt att göra några större anpassningar av densamma.
- *Försenad materiel.* Många av delkomponenterna till BMS levererades avsevärt senare än vad som var planerat och förväntat vilket inneburit stora problem för projektet. När viss materiel levererades var den även behäftad med brister i funktionalitet vilket var nödvändigt att utreda och åtgärda vilket krävt avsevärd tid av projektets medarbetare. Det gäller bland annat radiosystem, KomNod, krypto och SLB. En detalj som ofta förbises är kablage, men leveransen av kablage har varit en källa till långa väntetider.
- *Saknad materiel.* Viss materiel har aldrig levererats överhuvudtaget. Planen var att använda 5 st KomNoder, men endast 2 har levererats. Vidare har tillbehör för talkommunikation inte heller gått att få levererad så som till exempel headset, förlängningskablar och hörtelefoner.
- *Avvikande materiel.* Under försöken har viss utrustning inte varit av den typ som Försvarmakten har planerat att ingå i BMS. Till exempel har en version av krypto som inte följer militära specifikationer använts. Detta skulle kunna ha lett till högre bakgrundsbrus och egen interferens inom systemet, vilket skulle kunna påverka räckvidden för radion negativt. Kryptot (A400, har tex ej skärmat kablage och strömsätts med vanlig USB-kablage) och annan civil utrustning kan ha påverkat brusmiljön. Civila mobiltelefoner medfördes i fordonen, dock laddades de ej där. Hörselkåpor med Bluetooth, och Rakeltelefoner användes också av försöksledningen. Bakgrundsmätning av brus/interferensmiljö har inte gjorts.
- *Omfattning på scenarion.* Det scenario som använts som ramverk för försöken har omfattat mekaniserad bataljons anfall med understöd av indirekt eld, men flera olika scenarion vore önskvärt att prova. Flera olika förbandstyper med andra konfigurationer av BMS borde också provas. Scenariona borde även vara längre utsträcka i tid för att ge möjlighet att studera långtidseffekter i systemen.
- *Ekonomi.* Projektet har varit relativt omfattande ur ett FOI-perspektiv, men för att genomföra fler analyser och få svar på vissa frågeställningar hade fler försök varit nödvändiga, vilket inte varit möjligt med nuvarande ekonomiska ramar. Fler försök i labb och i fält i närområdet hade varit gynnsamt att kunna genomföra. Mer tid för att analysera insamlad data från försök genomförda mycket sent inom projektets utsträckning hade också varit önskvärt.
- *Kalendertid.* Projektet har haft en utsträckning över två år. Med avseende på alla friktioner som projektets medarbetare har fått hantera har detta varit mycket kort om tid. Fler försök i labb och fält hade krävt längre projekttid. Det ursprungsuppdrag som beskrevs 2016 innehöll tre år vilket hade varit en fördel.

Således finns ett antal faktorer som ger begränsningar i vad projektet har haft möjlighet att analysera och därmed dra slutsatser och uttala sig kring.

2.14 Genomförande

Projektet har genomfört en mängd olika försök i olika skala och här beskrivs vissa av dessa som utförts i särskild ordning.

- V820. Inledande försök i fält med system monterade i personbilar och en stationär del i lastbil. Totalt användes 6 st BMS-installationer. Genomfört i FOI närområde. Syfte att utveckla fältförsöksmetodik och genomföra initiala tester med radio och C2-system.
- V835. Fortsatta försök i fält med system monterade i personbilar och en stationär del i lastbil. Totalt 6 st BMS-installationer. Genomfört i FOI närområde. Syfte att prova verktyg för loggning av data samt att vidareutveckla fältförsöksmetodik och genomföra fortsatta tester med radio och C2-system.
- V844. Försök i fält med system monterade i personbilar och en stationär del i lastbil. Totalt 6 st BMS-installationer. Genomfört i FOI närområde. Syfte att säkerställa funktionalitet i verktyg för loggning av data samt att kontrollera att fältförsöksmetodik samt radio och C2-system fungerar inför kommande större försök i fält.
- V848-49. Större försök i fält med system monterade i militära bandvagnar. Totalt 6 st BMS-installationer. Försöken genomfördes i terräng på annan ort i vintermiljö enligt Försvarmakten önskemål. Syfte att prova systemet i terräng under kontrollerade betingelser, undersöka funktionalitet i aktuell terräng, utvärdera försöksmetoder och försöksorganisation inför kommande försök i större skala.
- Våren 2019. Stöd till olika Försvarsmaktsövningar, har i huvudsak genomförts av angränsande projekt men viss koppling finns till detta uppdrag. Under våren 2019 genomförde projektgruppen stöd till Försvarmakten vid 6 olika övningstillfällen då bland andra Livgardet övade med BMS-installationer i ordinarie fordon. Syftet med FOI medverkan var att studera radion i större näststrukturer (över 20 radionoder) och hur förbandet använde BMS som helhet. FOI deltog med ett eget fordon med en av projektets ordinarie BMS-installationer i låda, men där radiokonfiguration erhöles från förbandet. Projektet använde några av de mät- och loggverktyg som utvecklats för att studera det av Försvarmakten använda systemet.
- V917. Försök i fält med system monterade i personbilar där antennen monterades på glasfiberkåpan på ett släp samt två stationära system i lastbil. Totalt 4 st BMS-installationer. Genomfört i FOI närområde. Syfte att jämföra olika antenntyper samt jordplanet.
- V925. Försök i fält med system monterade i personbilar och en stationär del i lastbil. Totalt 6 st BMS-installationer. Genomfört i FOI närområde. Syfte att testa hela BMS med KomNod och C2-applikationer i fält, och även nya versioner av loggprogramvara.
- V943. Försök i fält med system monterade i personbilar och en stationär nod i lastbil [13]. Totalt 6 st BMS-installationer. Genomfört i FOI närområde. Syfte att genomföra räckviddsmätningar och att säkerställa funktionalitet i verktyg för fjärrstyrning och loggning av data med Loggvakten. Ny version av Ra570 och C2-system provades tillsammans med framtagna konfiguration för att undersöka funktionalitet inför kommande större försök i fält.
- V948-50. Större försök i fält med system monterade i militära bandvagnar [5]. Totalt 19 respektive 18 st BMS-installationer. Försöken genomfördes i terräng på annan ort i vintermiljö enligt Försvarmakten önskemål. Syfte att genomföra försök med systemet i terräng under kontrollerade betingelser. Under första

veckan genomföra tekniska mätningar med fokus på Ra570 i BMS-sammanhang, och under andra veckan undersöka BMS funktionalitet med bemannad kaderorganisation.

Utöver här beskrivna försök har projektet genomfört en mängd olika försök i labbmiljö för att prova olika delar av systemet. Olika typer av försök med radionät har genomförts och olika typer av försök med C2-applikationer har genomförts. Det av projektet uppbyggda radionätslabbet ger möjlighet att med upp till samtliga 20 enheter installerade i lådor koppla upp försök för att prova olika radionätseffekter. För utförligare beskrivning av radionätslabbet, se kapitel 2.5.1.

3 Resultat

Under projektet har FOI hela tiden haft en tät dialog med Försvarmakten kring upptäckter och iakttagelser. Återkoppling av resultat har gjorts kontinuerligt och har redan i vissa situationer varit till nytta för Försvarmakten och FMV. Tidigt identifierade brister har vid vissa avseenden redan åtgärdats av leverantörer av olika system.

Projektet har genererat stora mängder resultat varav vissa redan varit till nytta för Försvarmakten. En delrapport med erfarenheter och preliminära resultat redovisades 2018 [4]. Resultat från 2019 rapporteras ej i denna rapport då de omfattas av sekretess och återfinns i [14].

3.1 Insamlad data från försök

Under det större fältförsök som genomfördes v948 och v950 samlades en stor mängd data. All data från alla försök projektet genomfört finns sparad för framtida analyser. Vår bedömning är att det finns stora möjligheter att analysera delar ur detta material för att dra slutsatser kring funktionalitet och förbättringsmöjligheter för berörda system och applikationer. Innan Försvarmakten eller FMV planerar nya försök bör övervägas om befintliga data från redan genomförda försök kan svara på ställda försöksfrågor, eller kan utgöra ett underlag att utgå ifrån vid planering.

3.2 Projektgenomförande

Genomförande av detta projekt har inneburit mycket nära samarbete mellan flera olika enheter inom FOI samt ett nära samarbete med Markstridsskolan (MSS), vilket har fungerat mycket bra. Det interna samarbetet inom FOI har varit en förutsättning för att kunna belysa hur de olika delarna av BMS samverkar och fungerar i taktiska scenarion. Stödet från MSS har varit avgörande för att kunna genomföra försök i fält och få tillgång till nödvändig materiel.

FOI förmåga att genomföra stora sammansatta försök i fält med BMS har byggts upp genom utveckling av försöksmetoder och tekniska stödsystem för försök. FOI har under projektet även byggt upp en infrastruktur vilken har varit avgörande för att genomföra nödvändiga labbförsök vilket är en tillgång som ger möjligheter att genomföra nya försök med kort startsträcka.

Projektet har även blivit tvunget att hantera ett antal komplicerande faktorer jämfört med den ursprungliga projekttiden. Förseningar i leveranser av delsystem samt leverans av system som inte är helt klara har inneburit ett omfattande merarbete för projektet. Mycket tid har lagts på att utreda hur delsystem egentligen fungerar för att få delsystemen att fungera ihop. Medarbetarna i projektet har utvecklat en djup kunskap kring de olika delsystemen och dess funktionalitet.

Uppdraget har varit omfattande både till ekonomi och till tid, men ändå har arbetet behövt prioriteras hårt och tid har inte räckt till för alla uppgifter som har behövt lösas, varken kalendertid eller arbetstid.

Under de försök som genomförts har FOI byggt en omfattande kompetens kring BMS och samlat in mycket data kring funktionalitet under olika användningsformer. För framtida analyser bör Försvarmakten och FMV överväga möjligheten att utnyttja redan genomförd verksamhet för att besvara uppkomna frågeställningar, eller för att korta startsträckan att åstadkomma nya försök.

3.2.1 Försöksmetodik

Den metod att genomföra försök med BMS som utvecklats har medfört att FOI kunnat sätta upp försök i labb och i fält med hög grad av kontrollerbarhet, mätbarhet och repeterbarhet. Metoder och teknik har utvecklats för att kunna planera, leda, styra, logga och analysera försök med hög grad av detaljering, både i fältmiljö, i labb och i simuleringar. FOI har under projektet byggt vidare på de etablerade metoder och teknik för fältförsök som fanns och utvecklat specifika verktyg och metoder för att genomföra försök med radiosystem kombinerat med C2-system i ett BMS-sammanhang och provat dessa tillsammans med metoder och teknik för genomförande av försök.

För att genomföra försök i fält med stora förbandsstrukturer har FOI utvecklat särskilda verktyg för styrning och loggning av radiosystem som ligger utanför ordinarie BMS-installationer. Metoder och teknik för hantering av dataloggning i stora sammanhang i fält har också utvecklats.

3.2.2 Kompetens

Specialkompetens har varit kritisk för flera ingående komponenter. Förfarandet kring konfiguration av de ingående delsystemen i BMS är bitvis mycket komplext och har därför varit avsevärt mer tidskrävande än förväntat och därmed krävt omfattande resurser. Inga färdiga lösningar som passat FOI:s behov har funnits att tillgå från vare sig Försvarsmakten, FMV eller systemleverantörer. Den för FOI tillgängliga dokumentationen har varit bristfällig i vissa avseenden, varför mycket möda har lagts på att prova olika konfigurationslösningar. FOI har behövt bygga upp djup kompetens kring ingående delsystem vilket varit tidskrävande.

Grunddata till SLB SW som tillhandahållits FOI har varit bristfälligt och inte anpassat efter de behov som funnits kring projektets försök. Framtagning av grunddata till SLB SW är mycket komplext och påverkar till stor del den funktionalitet som finns i applikationen. FOI har fått avsätta omfattande resurser för att anpassa och korrigera erhållet grunddata för att kunna genomföra planerade försök, vilket medfört att FOI numera har djup kompetens på området.

3.2.3 Säkerhet

Uppdraget har varit behäftat med omfattande sekretess framförallt kring de genomförda fältförsöken. En omfattande säkerhetsskyddsplan utarbetades i samarbete mellan Markstridsskolan och FOI vilken förankrades i respektive organisation.

Säkerhetsorganisationen kring genomförda försök har varit omfattande och hanterats av Försvarsmakten, vilket fungerat utmärkt.

3.2.4 Leveranstider

Extremt lång leveranstid av kontaktdon och kablage har försenat projektet. För att undvika liknande situationer i framtiden, bör verksamhetskritiska system inhandlas med kablage och kontaktdon i tillräcklig omfattning för att kunna användas i olika sammanhang. För projektet har detta i synnerhet gällt Ra570 där kontaktdon och kablage inte funnits att tillgå och leveranstiden varit 18 veckor.

Försenad leverans av flera av de ingående delsystemen i BMS har begränsat FOIs tillgång till försöksutrustningen, både i tid och numerär. Detta har lett till omfattande omplanering av testverksamheten, sent i projektet. Vid planering av projekt som är beroende av ännu ej levererade system bör risker för försenad leverans tydligt framgå tillsammans med åtgärdsplaner.

4 Slutsatser

Ett antal försök har genomförts i labb samt i fältmiljö under 2018-2019 för att stödja Försvarmaktens utvärdering av BMS och dess delkomponenter. Försöken har avslutats med fältförsök i större skala, baserat på en mekaniserad bataljons utgångsgruppering och framryckning till ett samlat koordinerat anfall.

En stor mängd data har genererats under dessa försök och endast en delmängd av dessa har kunnat analyseras hittills. Slutsatserna från dessa resultat, med fokus på Ra570 och de tekniska aspekterna kring C2-applikationerna SitaWare Frontline och SLB SW, omfattas av sekretess och kan främst läsas i [14]. Slutsatserna visar på ett stort värde i att göra den här typen av försök av BMS i sin helhet, inkluderande alla delkomponenter samt under scenarier med taktiska rörelser i terräng. Antalet radioenheter och systeminstallationer är dessutom av stor vikt, då skalbarheten i systemen är en viktig aspekt. Att ha möjlighet att undersöka C2-applikationerna i stora radionät även i labbmiljö är också en mycket värdefull resurs då fältförsök är både resurs- och tidskrävande.

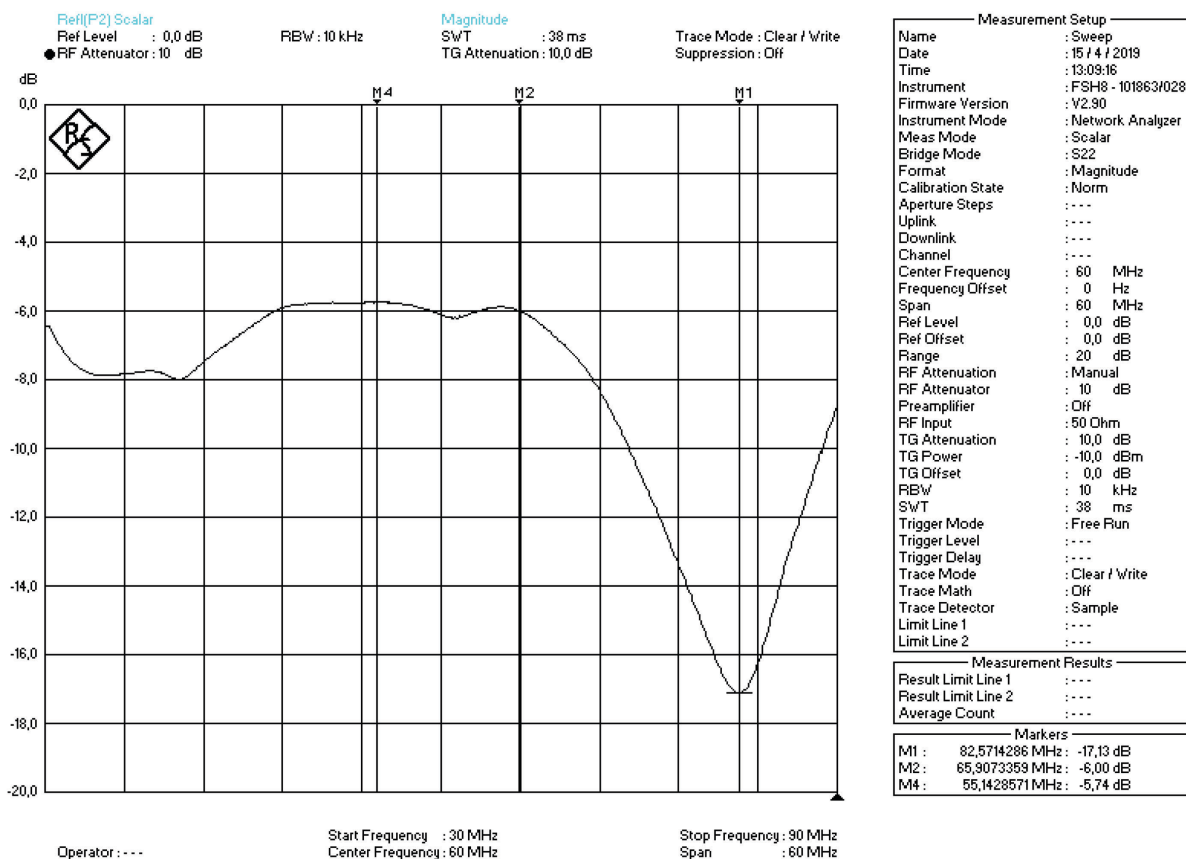
Referenser

- [1] M. Thorstensson, J. Bergfeldt, M. Sköld och J. Grönkvist, "Radio- och BMS-analys – Planering 2017-2019," Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo 5966, Linköping, 2016.
- [2] M. Thorstensson, J. Bergfeldt, D. Granåsen, P.-A. Albinsson, M. Sköld, J. Grönkvist och U. Uppman, "Beskrivning av metoder och teknik för övningar och försök," Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo H1961, Linköping, 2018.
- [3] J. Bergfeldt, M. Sköld, P.-A. Albinsson, D. Granåsen, J. Grönkvist och U. Uppman, "Underlag för planering av övning och försök," Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-RH--2020--SE, Linköping, 2018.
- [4] M. Sköld, "Metodstöd 2018 - Erfarenheter och sammanfattande preliminära resultat," Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo H2019, Linköping, 2019.
- [5] M. Sköld och M. Thorstensson, "Genomförandeplan vecka 48 och 50 - Fälttester radio och BMS," Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI--RH--2218--SE, Linköping, 2020.
- [6] M. Thorstensson, J. Hermelin, P.-A. Oskarsson, P. Nilsson, P.-A. Albinsson och D. Granåsen, "Stöd till Försvarsmaktens utvärdering av två C2-system för ledning inom bataljon," Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-R--4932--SE, Linköping, 2020.
- [7] FMV, "Grundinstallation för Ledningssystem i Stripbv90 D. Systembeskrivning," Försvarets Materielverk, Stockholm, 2019.
- [8] R. Forsgren, P. Brännström, H. Andersson och L. Tydén, "An architecture of distributed simulation control tools - NetScene," i *Proceedings of the 2011 Fall Simulation Interoperability Workshop*, Orlando, FL, 2011.
- [9] Försvarsmakten, "Handbok Markstrid - Bataljon," FM2016-6316:4, Stockholm, 2016.
- [10] Försvarsmakten, "Spelkort Mekaniserad bataljon 2020," Skövde.
- [11] FMV, "BMS 2.1 - Baskonfigurationsrapport integration," Stockholm, 2018.
- [12] D. Andersson, "F-REX: Event driven synchronized multimedia model visualization," i *Proceedings of the 15th International Conference on Distributed Multimedia Systems*, Redwood City, CA, 2009.
- [13] M. Sköld och M. Thorstensson, "Genomförandeplan vecka 43 – Räckviddsmätningar," Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI Memo H2127, Linköping, 2020.
- [14] M. Thorstensson, M. Sköld, P.-A. Albinsson, D. Granåsen, J. Grönkvist och U. Uppman, "Analys av BMS - Resultat och erfarenheter från fältförsök 2018-2019," Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI-RH--2220--SE, Linköping, 2020.

Bilaga A. VHF-mätning av dual-band antenn

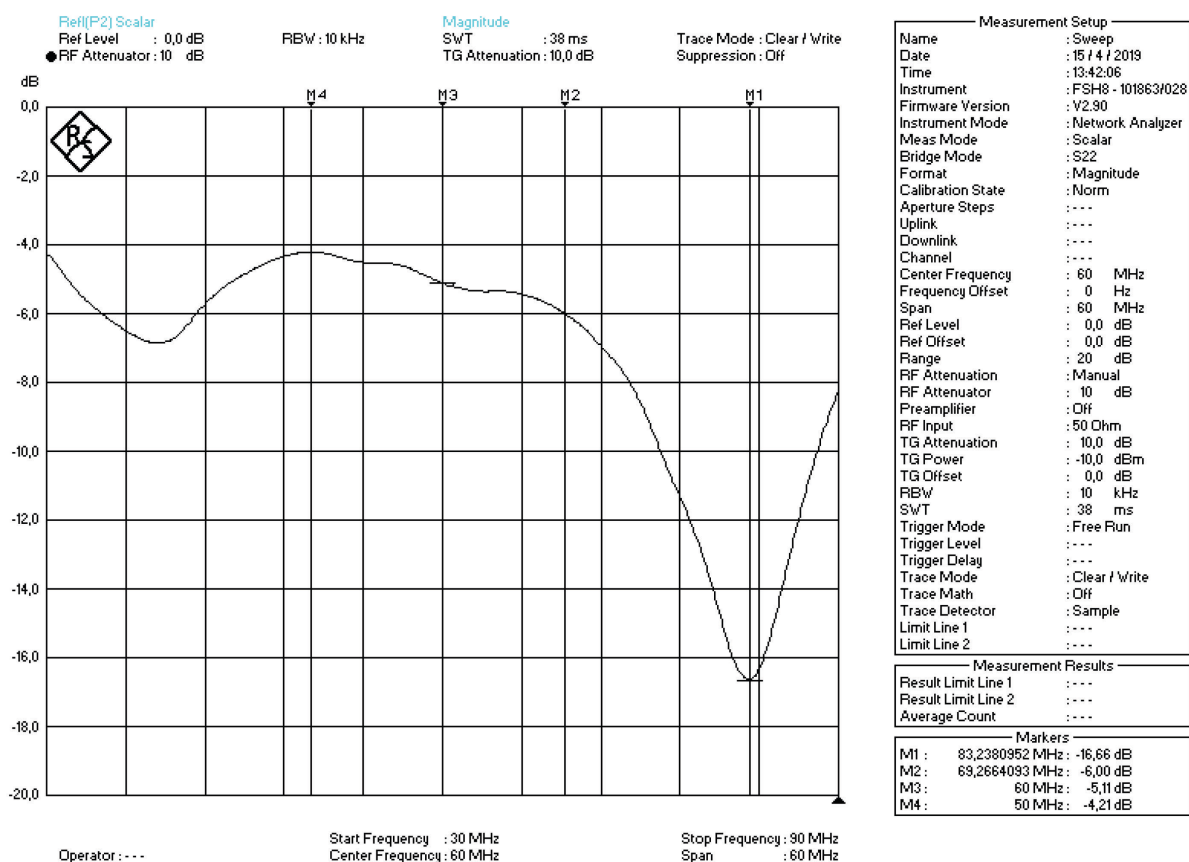
Mätningar av antenn med cirkulärt jordplan. Mätningar utförda med dual-band antenn från COMROD ("STAVANTENN VHF/UHF", M1922-693010-1, Prod Aug.11). Antennfäste från COMROD ("ANTFAST VHF/UHF EMP", 1922-693028-3, prod. Feb.16). Figureerna nedan visar antennen uppmätt för frekvensområdet 30-90 MHz på två olika fordon.

Fordon: Personbil med lastbågar



Figur A1: Mätning från personbil med plastöverdragna lastbågar. Lastbågarna är placerade ungefär på jordplanets halva radie.

Fordon: Släpvagn med glasfiberkåpa



Figur A2: Mätning från släp med glasfiberkåpa. Antennen är placerad på kåpans tak, stående på de tråklossar som är monterade på jordplanets undersida.

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



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

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

www.foi.se