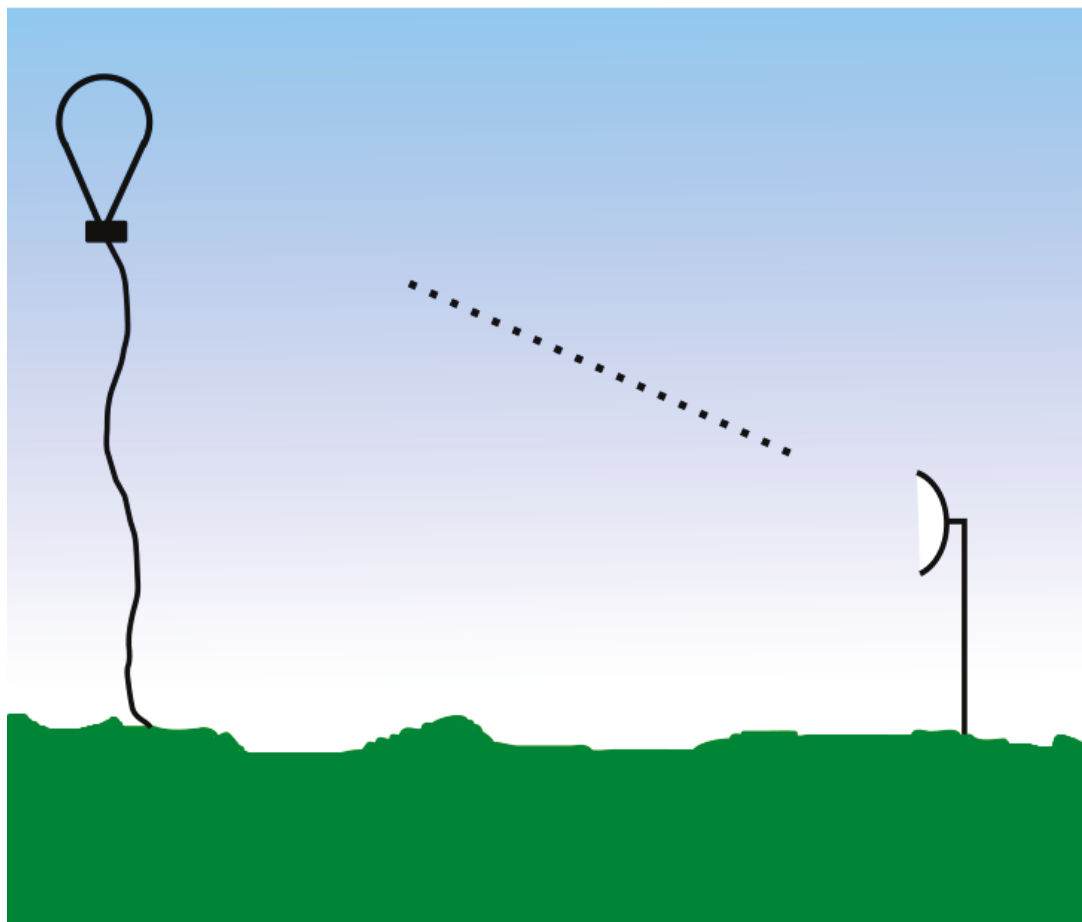


Räckvidd för radiolänkar till upphöjd nod

SARA ÖRN TENGSTRAND, ULF STERNER



Sara Örn Tengstrand, Ulf Sterner

Räckvidder för radio- länkar till upphöjd nod

Titel	Räckvidder för radio-länkar till upphöjd nod
Title	Communication ranges for radio links to elevated node
Rapportnr / Report No.	FOI-R--3951--SE
Månad / Month	Oktober / October
Utgivningsår / Year	2014
Antal sidor / Pages	25
ISSN	1650-1942
Kund / Customer	FM
Forskningsområde	4. Informationssäkerhet och kommunikation
FoT område	Ledning och MSI
Projektnr / Project No.	E36056
Godkänd av / Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Informations- och aerosystem

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

Det finns ett behov att ersätta radiolänkarna i det mobila kärnnätet. I denna rapport undersöks de radiotekniska möjligheterna att använda en upphöjd nod för att skapa yttäckande taktisk kommunikation. Ytan som behöver täckas är det område som en bataljon eller en brigad uppehåller sig i, ett område med ett djup på omkring 70-100 km. Inom detta område vill man täcka ytan utan att vara beroende av fast infrastruktur för kommunikation.

I denna rapport utvärderas fyra olika systemkoncept, A-D. Koncepten A-C bygger på att en aerostat på 300 m höjd förankras vid den bakre kanten av det område som ska täckas. I systemkoncept A kommunicerar aerostaten direkt med en låg mast. I koncept B tillförs en mobil marknod och i koncept C tillförs ytterligare låga master. Systemkonceptet D är ett referensfall baserat på dagens struktur. I rapporten beräknar vi vilka räckvidder systemkoncepten bör kunna ge för olika terrängtyper, datatakter, och frekvenser. De frekvenser som analyseras är 300 MHz, 1350 MHz samt 4400 MHz.

Räckviddsberäkningarna visar att koncept A inte uppfyller målbilden i det analyserade scenariot. Koncept B kan ge en räckvidd i närheten av den önskade på de två lägre frekvensbanden. Dock är frekvenstillgången begränsad på den lägsta frekvensen. Koncept C ger tillräcklig räckvidd, dock till kostnaden av ytterligare master. Antalet noder som behövs är liknande i koncept C och i referensfallet koncept D, men koncept C ger en mer mobil lösning tack vare de lägre masterna.

Nyckelord: Radiolänk, upphöjd nod, luftburen nod, kommunikation, mobilt kärnnät

Abstract

There is a need to replace the radio links in the mobile core net. The purpose of this report is to investigate whether it is possible or not, radio-technology-wise, to use an elevated node to enable tactical communication over an area. Coverage is desired over the area occupied by a battalion or brigade. This is an area with a depth of about 70-100 km. In this area, communication coverage is desired without being dependent on any fixed communication infrastructure.

In this report, we evaluate four different system concepts, A-D. In concepts A-C an aerostat at 300 m height is tethered at the rear edge of the area to be covered. In system concept A the aerostat communicates directly with a low mast. In concept B a mobile ground node is added and in concept C additional masts are added. Concept D is a reference case based on today's structure. In the report, we calculate the communication ranges that the concepts would provide, for different terrain types, data rates and frequencies. The analyzed frequencies are 300 MHz, 1350 MHz and 4400 MHz.

The range calculations show that concept A does not reach the desired range in the analyzed scenario. Concept B might give a communication range close to the desired if the two lower frequencies are used. Concept C gives sufficient communication range at the cost of additional masts. The number of needed nodes is similar in concept C and reference case D, but C gives a more mobile solution due to the lower masts.

Keywords: Radio link, elevated node, airborne node, communication, mobile core net

1 Inledning

För att länka samman de taktiska radionäten med Försvarmaktens fasta telenät, FTN, används ofta ett mobilt kärnnät. Det mobila kärnnätet byggs upp efter behov och består av radiolänkar monterade i flyttbara master. Det finns ett behov att ersätta radiolänkarna i det mobila kärnnätet. Krav på rörlighet och skydd på taktisk nivå gör dock att det inte är givet att dagens struktur hos den mobila kärnnätet ska behållas, utan alternativa lösningar behöver värderas.

Under hösten 2013 startade Försvarmakten en studie för att ta fram ett UTTEM för taktiska upphöjda relästationer. FOI deltog i studien genom FoT-projektet *Luftburna noder i marknät*. På grund av ominriktningar inom Försvarmakten sköts dock framtagandet av UTTEM:et på framtiden under vintern 2014. Inom studien diskuterades flera scenarier där en upphöjd relästation skulle kunna ersätta eller komplettera befintliga markbaserade radiolänksystem. I denna rapport fokuserar vi främst på ett av dessa scenarion där det mobila kärnnätet ska skapa yttäckande samband för en brigad eller en bataljon.

Oavsett om sambandet är för brigad eller bataljon handlar det om att täcka ett område med ett djup på omkring 70-100 km. Målsättningen är att erbjuda samband mellan olika stabsplaster och ledningsfordon, medan samband de sista kilometerna till enskilda stridsfordon och soldater antas ske med andra taktiska radiosystem. Systemet ska erbjuda samband över ytan utan någon anslutning till fast infrastruktur, exempelvis FTN, inom ytan. Mest önskvärt vore om systemet medgav enhopps-kommunikation mellan bakkanten på ytan och alla stabsplaster och ledningsfordon inom ytan. Vidare bör sambandssystemet klara sig utan master inom ytan som ska täckas. Om detta inte är möjligt bör masterna vara snabbt omgrupperbara. Detta krav gör att master med en höjd på över 15 m bör undvikas då dessa bedöms som svårare att resa alternativt ta ned tillräckligt snabbt. Några specifika krav rörande datatakt finns inte.

I det arbete som beskrivs i rapporten undersökte vi de radiotekniska möjligheterna att använda en upphöjd nod som ersättare eller komplement till ett mobilt kärnnät för det aktuella scenariot. Analysen genomförs för två terrängtyper, en relativt platt terräng i Närke och en mer kuperad i Norrbotten. Tre olika frekvensband studeras: 300 MHz, 1350 MHz och 4400 MHz. Det första frekvensbandet är inget normalt radiolänkband men är ett vanligt frekvensband för taktisk mobil kommunikation. Det kan även ses som referens för att illustrera effekten av olika frekvenser. Vidare studerar vi effekten av att använda olika principiella antennkonfigurationer samt hur olika datatakt påverkar systemets möjlighet att erbjuda yttäckande samband över den aktuella ytan. Slutligen analyserar vi effekten av olika masthöjder.

Fyra olika systemkoncept, A-D, studeras i rapporten. I de första tre systemkoncepten, A-C, förankras en aerostat vid den bakre kanten av det område som ska täckas. Noden placeras i bakkanten av området, eftersom den annars blir känslig för bekämpning. En upphöjd nod mitt i området kan också dra oönskad uppmärksamhet till de övriga förband som opererar i området. Placeringens påverkan på kommunikationsmöjligheterna har studerats i [1]. En aerostat har valts eftersom den vanligen har bättre uthållighet än fritt flygande farkoster som exempelvis UAV:er. Aerostatens flyghöjd har stor påverkan på både räckvidd och grupperingstid. I [2] studeras bland annat koncept

med aerostater på två olika höjder. Dessa koncept är framtagna för att vara rimliga utifrån försvarsmaktens förutsättningar. Vi har valt att använda den lägre av dessa två höjder, 300 m, eftersom den ger ett system som är lättare att gruppera och därmed stämmer bättre överens med målbilden.

För de olika systemkoncepten väljer vi att fixera många designparametrar, exempelvis masthöjd och antennkonfiguration för en viss nod. För fallet med ett enkelhopp från aerostaten, koncept A, analyserar vi dock fler parametrar, såsom masthöjd och möjlig antennförstärkning. För de olika systemkoncepten analyserar vi över vilka avstånd de kan erbjuda kommunikation. För att beräkna kommunikationsavståndet använder vi ett vågutbredningsprogram samt representativa systemparametrar hämtade från existerande system.

Rapporten är organiserad enligt följande. I Kapitel 2 beskriver vi koncepten samt terrängområdena som vi använder mer i detalj. Vidare beskriver den använda utvärderingsmetoden. I Kapitel 3 presenterar vi beräkningsresultaten samt analyserar dessa. Slutligen presenterar vi våra slutsatserna i Kapitel 4.

2 Systemkoncept och analysmetod

För att analysera möjligheterna att ersätta delar av det mobila kärnnätet med en upphöjd nod behöver vissa antagande göras rörande olika systemparametrar. I detta kapitel beskrivs dessa antaganden, samt den använda utvärderingsmetoden. Först beskrivs dock de fyra systemkoncepten i detalj samt antaganden rörande scenariot.

2.1 Utvärderade systemkoncept

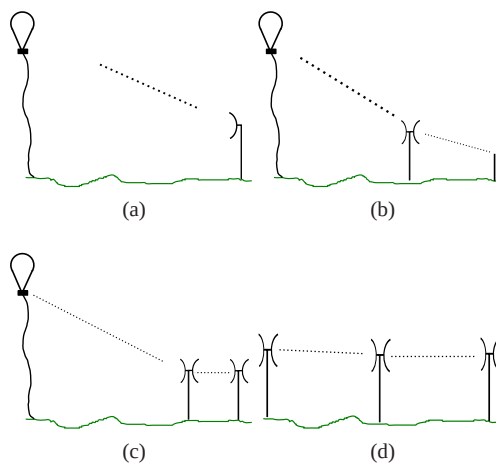
Fyra olika systemkoncept analyserades, A-D. De tre första, A-C, bygger på att en aerostat förankras vid bakre kanten av området som ska täckas medan det fjärde, D, är en koncept med enbart master.

I systemkoncept A antas aerostaten kommunicera direkt med en nod med sin antenn på en mast. Detta systemkoncept är således de koncept som ligger närmast kravbilderna i scenariot. I koncept B utökas systemets räckvidd genom att noden med mast reläer vidare till en marknod. En fördel med detta koncept är att marknoden helt saknar mast och således kan vara mera mobil. I koncept C har koncept B generaliserats genom att flera master har tillförts. I detta koncept är det således främst det första hoppet från aerostaten som blir extra långt jämfört med en helt mastbaserad lösning. Det fjärde konceptet, D, består enbart av master och är främst inkluderat som ett referensfall då detta koncept liknar dagens systemlösning. För en illustration av de fyra koncepten se Figur 2.1.

Vilken antennvinst som är möjlig att uppnå med en rimlig storlek på antennen beror på frekvensområdet, eftersom antennstorleken i princip ökar linjärt med våglängden givet en viss förstärkning. För masterna antas därför en riktantenn för de två högre frekvensbanden medan en sektorantenn antas på det lägre frekvensbandet. Aerostaten antas vara utrustad med en sektorantenn. Då denna antenntyp har relativt vida lobber bör eventuella problem med att aerostaten rör sig vara mindre tekniskt utmanande att hantera än om en riktantenn med smalare antennlob används. Marknoden antas vara utrustad med en rundstrålande antenn. En rundstrålande antenn har ingen antennvinst alls, det vill säga 0 dB. För 1350 MHz och 4400 MHz gäller att en sektorantenn typiskt kan ha 10 dB antennvinst, och med en riktantenn är det möjligt att uppnå en antennvinst på omkring 26 dB. En sammanfattning av antagna antennhöjder och antennförstärkningar finns i Tabell 2.1.

Flyghöjden för aerostaten antas vara 300 m, som nämnts i Kapitel 1. Eftersom en målsättning är att få ett relativt snabbgrupperbart system antas att masthöjden är begränsad till 15 m i koncept A-C. För referenskonceptet D antas dock en masthöjd på 25 m. De master som används i detta scenario är således inte snabbt grupperbara. Koncept A, fallet med ett hopp mellan aerostat och en mast, analyseras även ytterligare för att illustrera effekten av olika antenn- och mastval. De extra antennhöjder som analyseras sammanfattas i Tabell 2.2.

De använda värdena för mottagarens känslighet och uteffekt har tagits från ett exempelssystem för radiolänk [3]. Känsligheten beror på data-takten. Om kravet på data-takt sänks, sänks också kravet på mottagen signalstyrka. Vi väljer att använda data-takterna 2 Mbps och 16 Mbps. Detta ger mottagarkänsligheter på -91 dBm respektive



Figur 2.1: Illustration av de fyra systemkoncepten; grundkonceptet (A), reläande master (B-C) och referensfall (D).

Tabell 2.1: Antennhöjd, h , och antenntförstärkning, G , för koncepten A-D. *Vi antar 10 dB på 300 MHz och 26 dB på 1350 MHz och 4400 MHz.

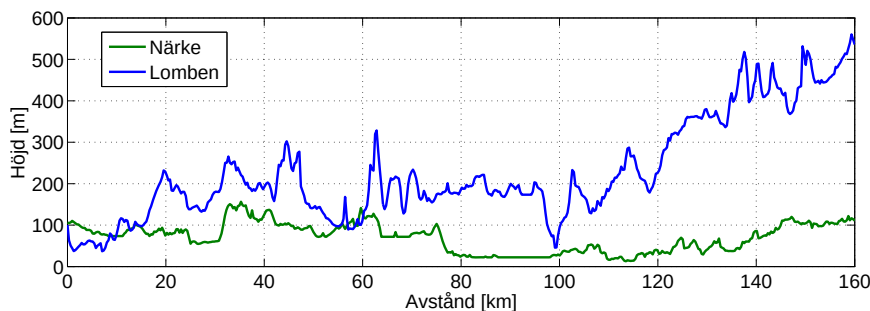
Parameter	Värde i koncept				Enhet
	A	B	C	D	
Antennhöjd aerostat	300	300	300	-	m
Antennhöjd mast	15	15	15	25	m
Antennhöjd marknod	-	3	-	-	m
Antenntförstärkning aerostat	10	10	10	-	dB
Antenntförstärkning mast	26/10*	26/10*	26/10*	26/10*	dB
Antenntförstärkning marknod	-	0	-	-	dB

Tabell 2.2: Antennhöjder och antenntförstärningar som analyseras för enhoppsfallet, koncept A.

	Sändare	Mottagare	Enhet
Antennhöjd	300	35, 25, 15, 8 och 3	m
Antennhöjd	25	25	m
Antennhöjd	15	15 och 3	m
Antenntförstärkning	0, 10, 26	0, 10, 26	dB

Tabell 2.3: Parametrar för beräkningarna.

Beskrivning	Parameter	Värde		Enhet
Datatakt	R	2048	16384	kbps
Känslighet mottagare	S	-91	-82	dBm
Frekvenser	f	300, 1350, 4400		MHz
Sändareffekt	P	5		W
Terränger	-	Plan, Kuperad		-



Figur 2.2: Exempel på terrängprofiler för Lomben och Örebro.

-82 dBm (vilket motsvarar -121 dBW respektive -112 dBW). Tabell 2.3 ger parametrar som använts för beräkningarna. För de tre studerade frekvensbanden påverkar inte skillnaden i bärvågsfrekvens mottagarens känslighet i någon nämnvärd grad.

2.2 Räckviddsberäkning

För att utvärdera hur väl de olika systemkoncepten uppfyller målbilden analyseras systemkoncepten för två olika terrängtyper, en plan och en kuperad. Som typexempel på en plan terräng användes ett område kring Närke medan området kring Lombens skjutfält i Norrbotten får representera en kuperad terräng. Figur 2.2 visar exempel på terrängprofiler från de två terrängerna.

För att avgöra om de olika systemkoncepten kan erbjuda samband över den önskade ytan uppskattas först kommunikationsavstånden för de delhoppen som ingår i ett koncept. Sedan sätts resultaten från delhoppen samman för att estimeras vilken täckning ett visst koncept kan ge. För att estimeras räckvidden för ett delhop placeras noder ut i terrängen, och länkdämpningen beräknas mellan dem.

Hur väl ett visst systemkoncept kan förväntas fungera beror mycket på hur de ingående noderna står placerade i terrängen. Vid etablering av en radiolänk grupperas därför normalt de ingående masterna på punkter som ger bra kommunikationsförhållanden. För att efterlikna detta i analysen placeras noderna på de lokalt högsta punk-

terna i terrängen. Detta görs genom att terrängen delas in i ett rutnät, där varje ruta har en sida på en kilometer. Sedan placerats en nod på den högsta positionen i varje ruta. Länkdämpningen beräknas från en nod till noderna i de rutor som ligger på en linje rakt bortåt i en riktning. För varje kombination av olika inparametrar estimerar vi kommunikationsavståndet för 960 olika startpositioner. Räckvidden för ett delhopp definieras här som det största avstånd där hälften av de 960 olika startnoderna fortfarande har kontakt med den nod som ligger på den avståndet. Att hälften av nodparen behöver ha kontakt ska motsvara att man väljer den bästa hälften av möjliga positioner, eftersom det är rimligt att man väljer de bästa positionerna för sina master när man sätter upp denna typ av länkar.

2.3 Länkbudget

Länkdämpningen används för att avgöra om två noder har kontakt. Den beräknas med vågutbredningsprogrammet DETVAG-90 [4]. Vi använder metoden *Geometric Theory of Diffraction* (GTD) samt approximerar terrängprofilen med 10 kilar. Denna modell tar hänsyn till storskalig fädning orsakad av terräng, men inte till småskalig fädning på grund av rörelser. För att ha förbindelse ska den mottagna effekten vara större än mottagarens känslighet S . Detta ger ett krav på maximal tillåten länkdämpning, L_b^{max} , för att ha förbindelse. Gränsen ges av länkbudgeten, och beror bland annat på sändareffekt och antennvinster på sändaren och mottagaren. Räknat i dB blir detta krav

$$L_b^{max} \leq P_t + G_t + G_r - S, \quad (2.1)$$

där P_t är sändareffekt och G_t och G_r är antennvinster för sändare respektive mottagare. Samma uteffekt har antagits på sändaren, 5 W (vilket är 7 dBW), oavsett vilken typ av nod det är. Med denna uteffekt, riktantenner på 26 dB på båda noderna och en känslighetströskel på -112 dBW fås exempelvis kravet

$$L_b \leq P_t + G_t + G_r - S = 7 + 26 + 26 - (-112) = 171 \text{ dB}. \quad (2.2)$$

Då masterna sätts upp i verkligheten väljs platserna vanligen så att det blir en god marginal i den beräknade länkbudgeten, för att vara säker på att länken fungerar och får god tillgänglighet. Vi har inte räknat med någon sådan marginal. Detta påverkar räckvidderna i absoluta tal, men bör inte göra någon större skillnad i jämförelsen mellan olika fall.

3 Resultat

I detta kapitel redovisas de beräknade räckvidderna. Det som studerats är räckvidden vid olika frekvenser, för olika höjder på masten, vid två olika datatakt och för två olika terrängtyper. Först ges räckvidderna för ett hopp, för att sedan jämföra de fyra olika systemkoncepten. Räckvidderna för ett hopp är redovisade för alla kombinationer av parametrar, utan diskussion om rimligheten i kombinationerna. I jämförelsen av koncepten däremot görs antaganden om vilka master och antenner som är rimliga, utgående från frekvens och kravet på snabb gruppering.

3.1 Räckvidd för ett hopp

Först beräknas räckvidden för kommunikation mellan en aerostat och en nod med antenner på en mast. Aerostaten befinner sig på 300 m höjd, medan masterna kan ha olika höjd. I Figur 3.1 - 3.3 visas räckvidden för de tre olika frekvensbanden som funktion av den totala antennvinsten för båda noderna. Kravet på 100 km räckvidd är markerat i figurerna. Datatakten är 16 Mbps. Vi kan se att terrängen påverkar räckvidden. Vanligen är räckvidden, rimligt nog, längre i den plana och öppna terrängen vid Örebro än i den kuperade Lomben-terrängen. I Lomben ökar dock räckvidden snabbare än i Örebroterrängen, när antennvinsten ökar. Troligen beror det på att det finns höjder i terrängen som man kan utnyttja för att få bättre räckvidd. Vid omkring 100 km räckvidd ökar räckvidden mycket snabbt i Lomben-terrängen. Det beror på att Lombenterrängen i snitt blir högre efter omkring 100 km, se terrängprofil i Figur 2.2.

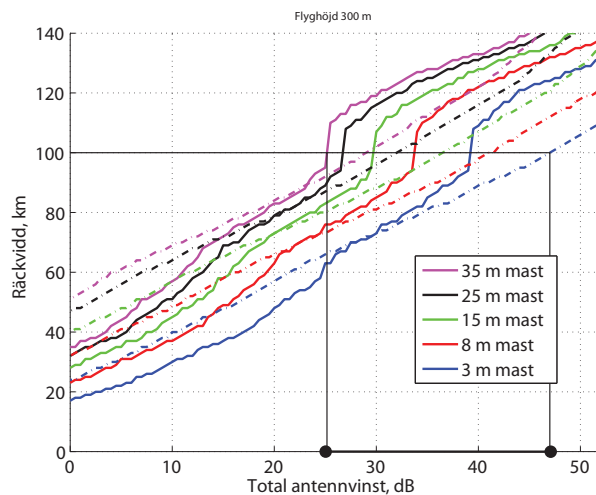
Tabellerna 3.1-3.3 ger räckvidden då en nod på 300 m höjd kommunicerar med nod med en mast, för frekvenserna 300 MHz, 1350 MHz respektive 4400 MHz. Datatakten är antingen 16 Mbps eller 2 Mbps. För alla tabeller gäller att de fall där räckvidden är minst 50 km är markerade med ljusgrått. De fall där räckvidden är minst 100 km är markerade i mörkare grått.

Båda datatakten och bärvågsfrekvensen har en tydlig påverkan på räckvidden. Med en högre datatakt eller frekvens blir räckvidden kortare. På 300 MHz är räckvidden över tio mil i båda terrängerna om den sammanlagda antennvinsten är minst 36 dB och man har en antenn på 25 m (16 Mbps) eller 8 m (2 Mbps). På 1350 MHz krävs 52 dB och 25 m respektive 8 m mast. På 4400 MHz är det svårt att nå så långt oavsett mast och antenn.

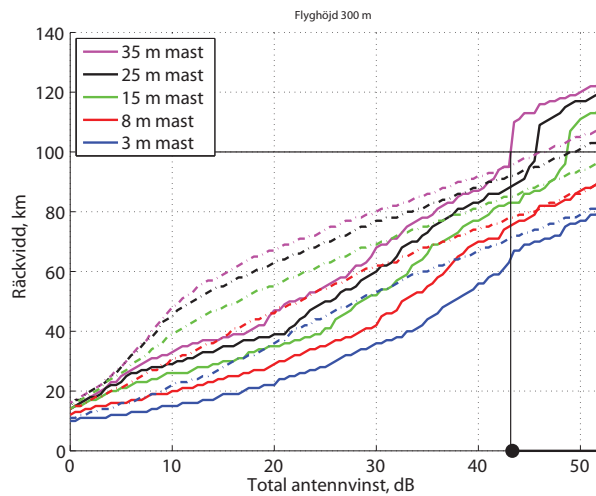
För att uppnå en räckvidd på 8-10 mil i ett hopp behövs en kombination av flera tekniker. Det räcker troligen inte med att ersätta en mast med en luftburen nod för att kunna nå 10 mil på ett hopp, om en rundstrålande markantenn används i andra änden. I stället krävs någon kombination av hög antennvinst, lägre datatakt, lägre frekvens och högre mast.

3.2 Räckvidd för ett hopp utan luftburen nod

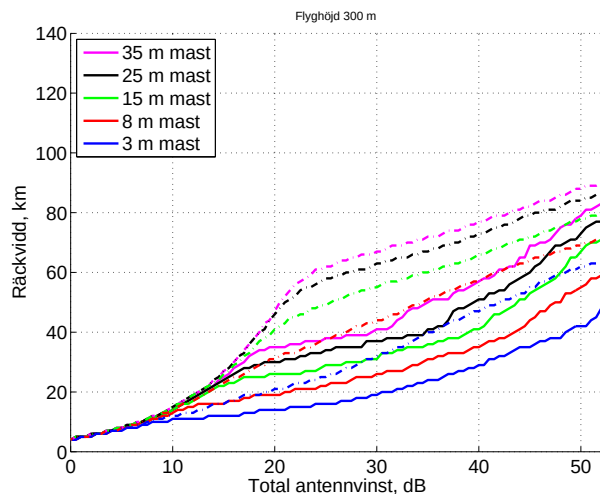
För att ytterligare analysera olika parametrars inverkan på räckvidden beräknas räckvidden för ytterligare några fall. Räckvidden beräknas för en sändarantennhöjd, $h_t = 15$ m,



Figur 3.1: Räckvidd i de båda terrängerna beroende på total antenntvinst på både marknod och luftburen nod, för 300 MHz. Heltäckande kurvor Lomben, streckade Örebro.



Figur 3.2: Räckvidd i de båda terrängerna beroende på total antenntvinst på både marknod och luftburen nod, för 1350 MHz. Heltäckande kurvor Lomben, streckade Örebro.



Figur 3.3: Räckvidd i de båda terrängerna beroende på total antennvinst på både marknod och luftburen nod, för 4400 MHz. Helt dragna kurvor Lomben, streckade Örebro.

Tabell 3.1: 300 MHz. Räckvidd mellan en upphöjd nod på 300 m höjd och master.

Område	Masthöjd [m]	Räckvidd [km] för total antennvinst				
		0 dB	10 dB	20 dB	36 dB	52 dB
Datatakt 16 Mbps						
Lomben	3	17	30	48	87	131
Lomben	8	23	37	63	114	138
Lomben	15	28	45	73	121	145
Lomben	25	32	51	79	126	148
Lomben	35	35	57	83	128	151
Örebro	3	24	40	57	82	110
Örebro	8	32	49	66	90	122
Örebro	15	40	57	73	99	135
Örebro	25	47	64	79	108	147
Örebro	35	51	69	84	115	154
Datatakt 2 Mbps						
Lomben	3	28	45	71	122	145
Lomben	8	36	59	82	129	153
Lomben	15	43	70	91	134	>160
Lomben	25	50	76	113	137	>160
Lomben	35	54	80	117	140	>160
Örebro	3	38	55	72	96	131
Örebro	8	47	65	80	108	147
Örebro	15	55	71	87	117	156
Örebro	25	63	77	94	127	>160
Örebro	35	67	82	100	136	>160

Tabell 3.2: 1350 MHz. Räckvidd mellan en upphöjd nod på 300 m höjd och master.

Område	Masthöjd [m]	Räckvidd [km] för total antennvinst				
		0 dB	10 dB	20 dB	36 dB	52 dB
Datatakt 16 Mbps						
Lomben	3	10	15	22	46	80
Lomben	8	12	20	29	58	91
Lomben	15	14	26	35	69	115
Lomben	25	14	29	39	76	119
Lomben	35	14	33	47	81	123
Örebro	3	11	22	36	62	82
Örebro	8	14	31	46	69	89
Örebro	15	15	39	55	77	96
Örebro	25	15	45	63	83	104
Örebro	35	16	48	67	87	108
Datatakt 2 Mbps						
Lomben	3	15	22	34	69	113
Lomben	8	19	27	41	78	122
Lomben	15	25	34	51	86	126
Lomben	25	28	38	58	95	130
Lomben	35	32	42	63	113	132
Örebro	3	20	34	52	73	94
Örebro	8	29	45	61	80	101
Örebro	15	36	54	68	88	108
Örebro	25	43	61	75	94	116
Örebro	35	44	66	79	98	120

Tabell 3.3: 4400 MHz. Räckvidd mellan en upphöjd nod på 300 m höjd och master.

Område	Masthöjd [m]	Räckvidd [km] för total antennvinst				
		0 dB	10 dB	20 dB	36 dB	52 dB
Datatakt 16 Mbps						
Lomben	3	4	11	14	24	48
Lomben	8	4	13	19	32	59
Lomben	15	4	14	26	37	71
Lomben	25	4	14	30	42	77
Lomben	35	4	14	35	51	83
Örebro	3	4	12	21	41	63
Örebro	8	4	14	31	52	71
Örebro	15	4	15	41	61	80
Örebro	25	4	15	46	68	86
Örebro	35	4	15	47	72	90
Datatakt 2 Mbps						
Lomben	3	10	14	18	35	69
Lomben	8	12	19	25	44	79
Lomben	15	12	25	31	53	86
Lomben	25	13	30	37	60	91
Lomben	35	13	34	39	69	113
Örebro	3	11	20	31	55	73
Örebro	8	13	29	43	64	81
Örebro	15	13	38	54	72	89
Örebro	25	13	41	61	79	95
Örebro	35	13	43	66	82	99

Tabell 3.4: Jämförelse av räckvidd i km för de olika frekvenserna då ett par av 25 m master används.

Område	Frekvens	$R = 2 \text{ Mbps}$		$R = 16 \text{ Mbps}$	
		G_{tot}		G_{tot}	
		10 dB	20 dB	10 dB	20 dB
Lomben	300 MHz	26	40	16	28
Örebro	300 MHz	36	49	24	38
		G_{tot}		G_{tot}	
		26 dB	52 dB	26 dB	52 dB
Lomben	1350 MHz	33	59	23	39
Lomben	4400 MHz	17	31	11	23
Örebro	1350 MHz	49	63	41	59
Örebro	4400 MHz	34	48	24	42

för olika mottagarantennhöjder, $h_r = \{3, 15\}$ m, för några olika värden på de totala antennförstärkningen $G_{tot} = G_t + G_r$ dB. Resultaten finns i Appendix A i Tabell A.1-A.2 för dataakterna 2 Mbps respektive 16 Mbps. För dessa fall är räckvidden aldrig över 100 km för de i koncepten antagna antennvinsterna. Speciellt för den högsta frekvensen och 3 m hög antenn blir räckvidderna genom skog korta, under 1 mil.

I tabell 3.4 visas räckvidderna mellan två noder med antennerna på 25 m master. Räckvidden är endast i några situationer längre än 50 km och aldrig i närheten av 100 km.

3.3 Räckvidd för systemkoncepten

Resultaten för ett hopp i Kapitel 3.1 tyder på att det i många scenarion kan vara tekniskt utmanande att nå 100 km i ett hopp från en aerostat på 300 m höjd. Detta gäller speciellt om vi beaktar kravet på ökad mobilitet som troligen gör det svårt att använda höga master. Vi går därför vidare med att jämföra de systemkoncept som introducerades i Kapitel 1. Noteras kan att vi antar att höjden för de master som tillförs i koncept A, B och C är begränsade till 15 m höjd då en sådan mast bör kunna göras relativt snabbt grupperbar. Vidare kräver vi att koncepten ska fungera för båda de undersökta terrängtyperna.

Koncept A En luftburen nod på 300 m höjd kommunicerar med en nod med antenner i en mast. Som beskrivet i Kapitel 2.1 antar vi här en riktantenn med 26 dB antennvinst på mastnoderna vid 1350 MHz och 4400 MHz och en sektorantenn på 10 dB vid 300 MHz. På den luftburna noden antar vi högst 10 dB oavsett frekvens. Med dessa antagnanden om master och antenner verkar det svårt att nå tio mil med detta koncept, i överensstämmelse med resultaten i Kapitel 3.1. Detta gäller oavsett val av frekvens och dataakt. Den möjliga räckvidden blir istället runt 7-8 mil. Tabell 3.5 sammanfattar räckvidderna i koncept A och B.

Tabell 3.5: Jämförelse av räckvidd i km för koncept A och B.

Område	Frekvens	$R = 2$ Mbps Koncept		$R = 16$ Mbps Koncept	
		A	B	A	B
Lomben	300 MHz	91	105	73	(87)
Lomben	1350 MHz	86	96	69	(79)
Lomben	4400 MHz	53	59	37	(43)
Örebro	300 MHz	87	102	73	(88)
Örebro	1350 MHz	88	105	77	(94)
Örebro	4400 MHz	72	80	61	(69)

Tabell 3.6: Jämförelse av antal noder, i koncept C inklusive aerostaten, som behövs för att nå 10 mil med koncept C och D.

Område	Frekvens	$R = 2$ Mbps Koncept		$R = 16$ Mbps Koncept	
		C	D	C	D
Lomben	300 MHz	3	4	4	5
Lomben	1350 MHz	3	3	3	4
Lomben	4400 MHz	6	5	6	6
Örebro	300 MHz	3	4	4	4
Örebro	1350 MHz	3	3	3	3
Örebro	4400 MHz	4	4	4	4

Koncept B Räckvidden utökas genom att lägga till ett hopp på marken, från en mast till en enkel markantenn. Här har vi antagit en antennvinst på 26+10 dB på länken mellan luftburen nod och mast, förutom på 300 MHz där vi antagit 10+10 dB. Mellan nod med mast och markantenn antar vi 26+0 dB respektive 10+0 dB. Eftersom en så enkel antenn används på marknoden antar vi också att datatakten är 2 Mbps i detta koncept.

Som visas i Tabell A.1 så blir räckvidderna för det sista hoppet, mellan mast och marknod, relativt korta, även på denna lägre datatakt. För de två lägre frekvenserna är det nästan möjligt att nå 100 km räckvidd. Däremot är det inte möjligt för den högsta frekvensen, som har en räckvidd på mindre än 60 km i den svårare terrängen.

Koncept C Räckvidden ökas genom att flera master läggs till. På samma sätt som i koncept B antar vi 10 dB antennvinst för aerostaten och 26 dB för mastnoderna, utom på den lägsta frekvensen där masterna har 10 dB. Räckvidden för kommunikation mellan två 15 m höga master med de bästa antagna antennerna är 23-32 km beroende på frekvens vid 2 Mbps, se Tabell A.1. På 1350 MHz kan man då nå tio mil med ett sådan markhopp mellan master. På 4400 MHz krävs ytterligare ett hopp, dvs totalt tre master. Tabell 3.6 sammanfattar antalet relämaster som behövs i koncept C och D. Noteras kan att det i vissa fall krävs färre noder vid 1350 MHz än vid 300 MHz, trots att man i allmänhet har längre räckvidder vid lägre frekvenser. Detta beror på den lägre antennvinsten som antagits på 300 MHz.

Koncept D Räckvidden då två noder med 25 m höga master kommunicerar med varandra visas i Tabell 3.4. Här har vi antagit riktantenn i båda masterna, det vill säga totalt 52 dB antennvinst på de högre frekvenserna. Räckvidden blir då för dessa två frekvenser 23-39 km för datatakten 16 Mbps, och 31-59 km vid 2 Mbps. På 300 MHz antar vi totalt 20 dB antennvinst och att den lägre datatakten används, och får då räckvidden 40 km. För att nå 100 km krävs det exempelvis 3-5 master vid 2 Mbps, beroende på frekvens, se Tabell 3.6.

En slutsats är att det är svårt att nå 100 km i ett enda hopp. Med en aerostat, mast, och marknod kan kravet nästan uppnås för de två lägre frekvenserna. Dock är det troligen svårt att få tillgång till nödvändigt frekvensutrymme på den lägsta frekvensen, 300 MHz, eftersom frekvenstillgången här är mer begränsad. En annan slutsats är att det krävs ungefär lika många noder i koncept C och D, med ibland någon extra mast i koncept D. C är dock ett mycket rörligare fall, med aerostat och mobila noder med lägre master. D är ett mer statiskt fall på grund av de högre masterna. Om samma rörlighet ska uppnås i fall D krävs de lägre masterna, och antalet master blir då högre.

Ett alternativ för att få längre räckvidd mellan den luftburna noden och masten är att höja upp noden ytterligare. Detta kan dock vara svårt, bland annat med hänsyn till hur aerostaten ska fjärras vid marken. Att höja effekten ger en viss räckviddsvinst men kan vara praktiskt svårt eller dyrt. Däremot sker utveckling inom området elektriskt styrbara antenner. Detta kan möjligtvis ge större vinst i antennen på aerostaten.

4 Slutsatser

I de systemkoncept vi analyserar gör vi vissa antaganden om möjliga masthöjder och antenner, eftersom önskemålet är att systemet ska gå snabbt att gruppera. Givet dessa antaganden verkar det inte möjligt att nå 10 mil i ett hopp, från luftburen nod till mark. Den möjliga räckvidden blir omkring 7-8 mil. Med en mast som reläer vidare till en marknod, koncept B, går det att nå när 10 mil på de två lägre frekvenserna. Dock är det troligen en utmaning att få tillgång till tillräcklig bandbredd på frekvensområdet 300 MHz. På den högsta av frekvenserna blir räckvidden omkring 6 mil för koncept B. I koncept C används en aerostat tillsammans med ett antal reläande master. På 1350 MHz krävs det totalt 3 noder för att nå 10 mil, inklusive den luftburna noden, medans det på 4400 MHz istället krävs 6 noder. Detta kan jämföras med referensfallet att använda 25 m master med riktantennor, koncept D. Mellan två sådana master fås en räckvidd på 20-60 km på de två högre frekvenserna. För att nå 10 mil krävs det ungefär lika många noder som i koncept C, men man får en mer statisk lösning eftersom de master som används i koncept D är högre och därmed tar längre tid att resa och ta ner.

Sammantaget innebär det att det är svårt att se en lösning som klarar kravet som ursprungligen ställdes - att med hjälp av en upphöjd nod nå 10 mil utan att behöva placera ut några ytterligare master som reläer.

A Räckvidder vid kommunikation mellan master

Här visas räckvidderna vid olika frekvenser och för olika sammanlagd antennvinst då noder med antennerna på 3 och 15 m höjd kommunicerar med noder med antennerna på 15 m höga master, för 2 Mbps och 16 Mbps, Tabell A.1-A.2. Räckvidderna blir sällan över 50 km. I Lomben på 300 MHz blir räckvidden 110 km för en total antennvinst på 52 dB vilken innebär två riktantenner. Tyvärr är riktantenner med den vinsten på 300 MHz inte praktiskt användbart.

Tabell A.1: Jämförelse av räckvidd i km för de olika frekvenserna då nod med antenn på 3 m / 15 m höjd kommunicerar med nod med antenn på 15 m höjd, vid 2 Mbps. Parantes markerar de fall där antennvinsten är högre än den vi tillåtit i koncepten.

Område	Frekvens	$h_{Rx} = 3 \text{ m}$			$h_{Rx} = 15 \text{ m}$		
		G_{tot}			G_{tot}		
		0 dB	10 dB	26 dB	20 dB	36 dB	52 dB
Lomben	300 MHz	7	14	(30)	32	(64)	(110)
Lomben	1350 MHz	3	5	10	13	25	48
Lomben	4400 MHz	1	2	6	6	13	23
Örebro	300 MHz	9	15	(29)	34	(55)	(79)
Örebro	1350 MHz	4	7	17	20	36	54
Örebro	4400 MHz	2	3	8	12	21	34

Tabell A.2: Jämförelse av räckvidd i km för de olika frekvenserna då nod med antenn på 3 m / 15 m höjd kommunicerar med nod med antenn på 15 m höjd, vid 16 Mbps. Parantes markerar de fall där antennvinsten är högre än den vi tillåtit i koncepten.

Område	Frekvens	$h_{Rx} = 3 \text{ m}$			$h_{Rx} = 15 \text{ m}$		
		G_{tot}			G_{tot}		
		0 dB	10 dB	26 dB	20 dB	36 dB	52 dB
Lomben	300 MHz	4	7	(19)	21	(45)	(75)
Lomben	1350 MHz	2	3	7	8	17	32
Lomben	4400 MHz	1	2	3	4	9	17
Örebro	300 MHz	5	9	(21)	24	(43)	(63)
Örebro	1350 MHz	2	5	11	14	26	44
Örebro	4400 MHz	1	2	5	7	16	26

Referenser

- [1] K. Fors, S. Linder och S. Örn Tengstrand. Utvärdering av prestanda för marknät med en upphöjd nod. Teknisk rapport, FOI, 2013.
- [2] L Allerd. Scenarioförutsättningar, scenarioansats och några utvalda typfall samt förslag på demonstratortillämpningar. Teknisk rapport, FMV, 2004.
- [3] RL532A - Tactical Radio Link. http://www.kongsberg.com/sitecore/shell/Controls/Rich%20Text%20Editor/~/_media/KDS/Files/Products/Defence%20Communication/RL532A_datasheet_rev_E6_34option.ashx, 2011. Tillgänglig 2013.02.04.
- [4] B. Asp, G. Eriksson och P. Holm. Detvag-90 final report. Teknisk rapport FOA-R-97-00566-504-SE, Försvarets Forskningsanstalt, september 1997.

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