

# **FFI RAPPORT**

## **INNLEDENDE KARTLEGGING AV ALTERNATIVE PLATTFORMER FOR BRUK SOM ELEVERT KOMMUNIKASJONSRELE I NBF**

ARNESON Vegard, GJELLERUD Morten

**FFI/RAPPORT-2003/00458**



FFIE/869/044

Godkjent  
Kjeller 30. september 2003

Torleiv Maseng  
Forskningsjef

**INNLEDENDE KARTLEGGING AV  
ALTERNATIVE PLATTFORMER FOR BRUK SOM  
ELEVERT KOMMUNIKASJONSRELE I NBF**

ARNESON Vegard, GJELLERUD Morten

FFI/RAPPORT-2003/00458

**FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT**  
**Norwegian Defence Research Establishment**  
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge



**FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT (FFI)**  
**Norwegian Defence Research Establishment**

**UNCLASSIFIED**

P O BOX 25  
 NO-2027 KJELLER, NORWAY  
**REPORT DOCUMENTATION PAGE**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2003/00458	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 41
1a) PROJECT REFERENCE FFIE/869/044	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE INNLEDENDE KARTLEGGING AV ALTERNATIVE PLATTFORMER FOR BRUK SOM ELEVERT KOMMUNIKASJONSRELE I NBF  Introductory survey of alternative platforms for use as elevated communications relays in network centric defence		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) ARNESON Vegard, GJELLERUD Morten		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH:		
a) <u>Elevated platforms</u>		IN NORWEGIAN:
b) <u>Radio communications</u>		a) <u>Eleverte plattform</u>
c) <u>Antennas</u>		b) <u>Radiokommunikasjon</u>
d) <u>Coverage</u>		c) <u>Antenner</u>
e) <u>Range</u>		d) <u>Dekning</u>
		e) <u>Rekkevidde</u>
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT This report is a survey over elevated platforms with the purpose to carry communication relays in a network centric context. The report does not give any conclusions, but is meant to be a foundation for further work and studies. Examples of platforms are manned and unmanned aircrafts, helicopters, zeppeliner, balloons and satellites. The report also contains some examples of transmitters, receivers and transponders. Finally, some theoretical issues about range and coverage are considered.		
9) DATE 30. September 2003	AUTHORIZED BY This page only Torleiv Maseng	POSITION Director of Research

**UNCLASSIFIED**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)



**INNHOOLD**

	<b>Side</b>	
1	INNLEDNING	7
2	BAKGRUNN	7
3	OVERSIKT OVER MULIGE ELEVERTE PLATTFORMER	9
3.1	Luffartøy	10
3.1.1	Aerostater	11
3.1.2	Aerodyner	14
3.2	Satellittkommunikasjon	22
3.2.1	Geostasjonære baner (GEO – Geostationary Earth Orbit)	22
3.2.2	Asynkrone baner	22
3.2.3	Baner brukt til SATKOM	23
3.2.4	Militære SATKOM systemer	23
3.2.5	Sivile SATKOM systemer	24
3.2.6	Produsenter	24
3.3	To interessante amerikanske prosjekter	26
4	NYTTELASTER	27
4.1	L-3 Communications	27
4.1.1	Transmittere for luffartøy	27
4.1.2	Receiver for luffartøy	27
4.1.3	Transpondere for satellitter	27
4.2	Raytheon – Airborne Communications Node (ACN)	28
5	KOMMUNIKASJON	28
5.1	Antenner	28
5.1.1	Parabolantenner	29
5.1.2	Helix-antenner	30
5.2	Dekning	31
5.3	Linkbudsjettberegninger	33
5.3.1	Fri sikt mellom to eleverte plattformer	33
5.3.2	Områdedekkende elevert plattform	34
5.4	Frekvenser	36
5.5	Diskusjon	36
6	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	37
7	KONKLUSJON	37
8	FORKORTELSER	38

**APPENDIKS**

A	TEORI	39
A.1	Teoretisk rekkevidde begrenset av horisonten	39
A.2	Linkbudsjett	39
	Litteratur	41



## **INNLEDENDE KARTLEGGING AV ALTERNATIVE PLATTFORMER FOR BRUK SOM ELEVERT KOMMUNIKASJONSRELE I NBF**

### **1 INNLEDNING**

Forsvaret ønsker å utvikle et nettverksbasert forsvar (NBF) hvor man skal knytte sammen ulike elementer i et nettverk. I nettet vil det være behov for økt kapasitet, tilgjengelighet, rekkevidde og fleksibilitet enn det dagens løsninger kan tilby. Dette vil stille store krav til de fysiske løsningene i informasjonsinfrastrukturen. Behovet for kapasitet, tilgjengelighet, rekkevidde og fleksibilitet medfører ofte krav om trådløs radioforbindelse. For å kunne tilby tífredsstillende løsninger, vil man være nødt til å ha fri sikt kommunikasjon mellom elementene. En attraktiv løsning vil være å benytte eleverte plattformer for å skaffe fri sikt.

Denne rapporten vil se på alternative plattformer for eleverte releer som kan tenkes å gå inn som en del av kommunikasjonsinfrastrukturen i NBF. Rapporten er kun ment som en innledende kartlegging av mulige plattformer og vil danne et grunnlag for videre arbeid med aktuelle løsninger. Derfor er det nå gått bredt ut for ikke å ekskludere noen muligheter i utgangspunktet. Kapittel 2 i rapporten tar for seg litt om bakgrunnen om hvorfor man ønsker et NBF. Kapittel 3 gir en oversikt og beskrivelse av mulige plattformer for elevert relé. Kapittel 4 gir noen eksempler på kommunikasjonsnyttelaster og til slutt kommer noen teoretiske betraktninger rundt rekkevidde og dekningsområder i kapittel 5. En lignende rapport (8) berører hovedsakelig UAV som plattform, men den rapporten omhandler mest flytekniske emner.

I omtale og beskrivelse av de ulike plattformene er elementene delt inn i grupper avhengig av karakteristikk og operasjonsmåte. Det er gitt eksempler på enheter som er karakteristiske for sin "gruppe". Oversikten omfatter på ingen måte alle tilgjengelige produkter, men et representativt utvalg av aktører på markedet. Oversikten tar først for seg luftfartøy og deretter satellitter, fordi dette synes å være en fornuftig inndeling av plattformene med bakgrunn i kompleksitet i forbindelse med utplassering, vedlikehold og kostnader. Som en del av oversikten over mulige plattformer for elevert relé vises det også til 2 amerikanske prosjekter som kan tenkes å ha noen interessante elementer i seg i forbindelse med informasjonsinfrastrukturen i NBF.

### **2 BAKGRUNN**

Forsvarssjefens Militærfaglige Utredning 2003 (FSJ MFU 03) fastslår at Forsvaret skal tilføres konsepter basert på nettverkstenkning; nettverksbasert forsvar (NBF). Dette er en ide som bygger på å knytte sammen militære kapasiteter i nettverk ved bruk av informasjonsteknologi. Konseptet baserer seg på informasjonsoverlegenhet og utnyttelse av denne for å oppnå økt stridsevne gjennom økt felles situasjonsbevissthet, økt hastighet i utførelse av kommando, økt tempo i operasjonene, økt overlevelse og selvsynkronisering. Det ligger meget store krav til oppbyggingen av informasjonsinfrastrukturen for kunne oppnå denne

informasjonsoverlegenheten. Det vil være en forutsetning at de som har behov for det må kunne aksessere den nødvendige informasjonen som til enhver tid må være så oppdatert som mulig. Hovedpoenget er altså å oppnå høyest mulig grad av utnyttelse av tilgjengelig informasjon innen kortest mulig tid fra informasjonens opprinnelse.

NBF-tankegangen opererer med en 3-delning av stridskreftene, etter funksjon.

- Sensorkomponenter – som innhenter informasjon. Meget stor spennvidde, fra det menneskelige øyet, til avanserte overvåkingssatellitter.
- Effektorkomponenter – som har våpenvirkning eller annen stridsverdi som hovedfunksjon.
- Beslutningskomponenter – som har beslutning, allokering av ressurser og prioritering som hovedfunksjon.

Dersom informasjonsoverlegenhet skal oppnås må komponentene knyttes sammen i et nettverk med tilgang til et felles situasjonsbilde nærmest mulig i sann tid, samt at informasjon og beslutninger må kunne distribueres, også nærmest mulig i sann tid. Dette for å tilstrebe økt situasjonsforståelse i alle ledd, og dermed en funksjonell og effektiv utnyttelse av komponentene i den aktuelle situasjonen. Når disse mekanismene fungerer kan man distribuere sine beslutninger til mottakerene tilnærmet momentant. Fra et sanntids situasjonsbilde vil man med et forbehold om beslutningsprosesser og stabsrutiner, ha muligheten til å utføre kommando raskere enn sin motpart. Dette innebærer informasjonsteknologiske utfordringer av varierende størrelser, og en av de mest fundamentale i kommunikasjonssammenheng vil være at nettet er tilgjengelig til enhver tid der brukeren måtte finne seg, det være seg med fysisk kabel, radiobølger, optisk tilknytting m.m. for i det hele tatt å kunne kommunisere. All den tid kommunikasjonen ofte må foregå over relativt store avstander, og vi har en terrengprofil som Norges topografi gir, vil det være et gunstig alternativ å kunne bruke et elevert relé. Eleverte releer har den fordelen at de kan dekke store områder med fri sikt dersom de kommer høyt nok. I problemstillingen rundt eleverte releer benyttet i NBF ligger en rekke utfordringer hva gjelder det rent kommunikasjonsteknologiske. En av ulempene er at man blir mer utsatt for blant annet elektronisk krigføring.

Hovedproblemstillingen kan oppsummeres som følger: Hvilke brukere i hvilken geografisk posisjon skal tilordnes hvor stor båndbredde til hvilken tid for å få tilgang til og manipulere hvilken informasjon? Denne problemstillingen vil være gjenstand for senere studier.

Innledningsvis vil utfordringen være å finne en egnet plattform til dette formålet, og mulige alternativer for en slik plattform er det denne rapporten søker å gjennomgå ved å omtale enkelte eksempelsystemer som er karakteristiske for sin gruppe. Når det gjelder kommunikasjonsnyttelaster så er det interessant å se på kapasiteter, volum og vekt, som vil være de kritiske faktorene i forbindelse med denne type plattformer. Det å nytte enkelte av plattformtypene som noder (og releer) i et nettverk er enda relativt uprøvd i stor skala, med unntak av satellitter, ettersom plattformene i all hovedsak så langt har blitt nyttet som sensorer i

forbindelse med overvåking og rekognosering.

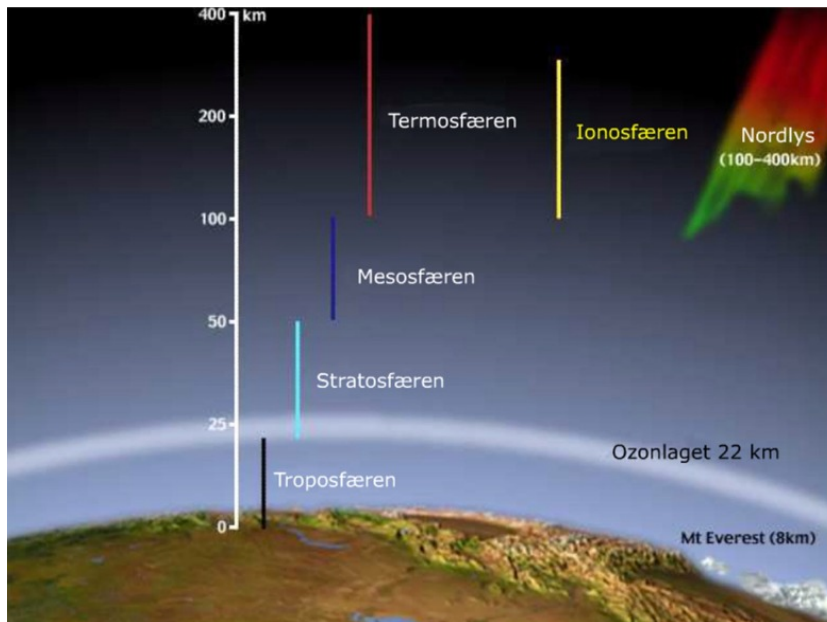
### 3 OVERSIKT OVER MULIGE ELEVERTE PLATTFORMER

Med elevert plattform menes her en plattform som ikke er fastmontert på bakken eller en bygningsstruktur, men likevel opererer over bakkenivået.

Denne typen plattformer deles normalt i 2 kategorier, avhengig av hvilken operasjonshøyde over bakken de nytter. Det praktiske skillet vil være om plattformen opererer i troposfæren eller stratosfæren (opp til ca 50 km), eller om den opererer over denne høyden.

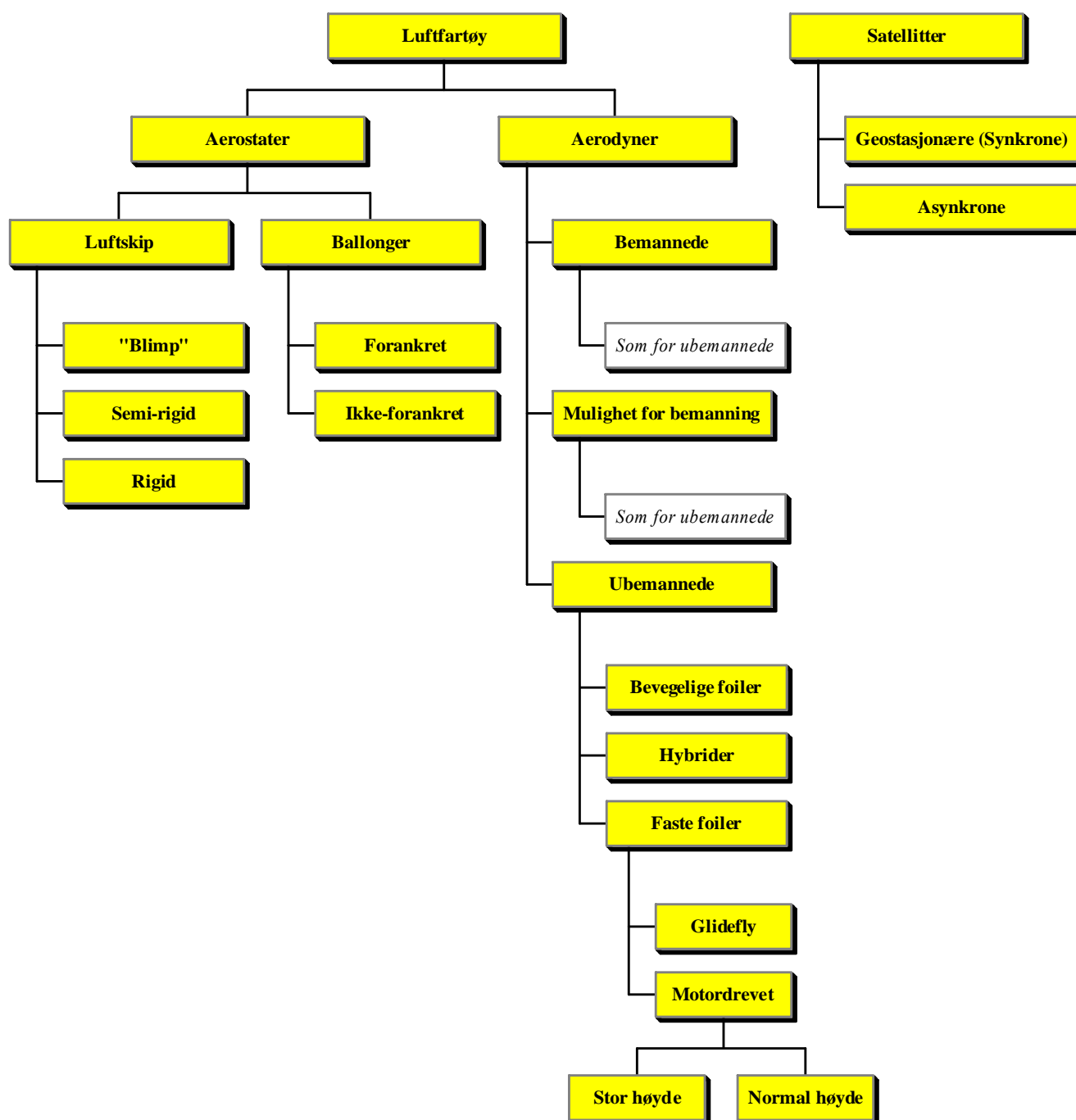
Disse 2 kategoriene kalles normalt henholdsvis:

- Luftfartøy
- Satellitter



Figur 3.1 Atmosfærens lagdeling (Kilde: Atlas of the solar system).

Nedenfor er en grafisk fremstilling av gruppeinndelingen av mulige eleverte plattformer, slik de er delt inn og vil bli gjennomgått i det følgende.



Figur 3.2 Eleverte plattformer – gruppeoversikt

### 3.1 Luftfartøy

Dette er fartøy som opererer opp til ca 50 km (i praksis opp til ca 40 km). Blant disse fartøyene går det et skille på om de selv har egenskaper som gir de oppdrift relativt i forhold til sine omgivelser, altså er lettere enn denne, eller om de er tyngre enn sine omgivelser og dermed må skape oppdriften på andre måter, normalt ved hjelp av foiler. Luftfartøyene kan altså deles inn i:

- Lettere-enn-luft fartøy; **Aerostater**
- Tyngre-enn-luft fartøy; **Aerodyner**

### 3.1.1 Aerostater

En aerostat er definert som et lettere-enn-luft fartøy som bruker enten varm luft eller en annen gass til å gi oppdrift. Det er vanlig å dele disse fartøyene inn i følgende 2 hovedkategorier;

- Luftskip
- Ballonger

#### 3.1.1.1 Luftskip

Et luftskip er en aerostat som har systemer for styring, både i horisontal- og i vertikalplanet. Dette er det som skiller de fra ballonger. Skipene er gjerne av en av følgende tre typer:

- "Blimps"; skipets hoveddel utgjøres av en duk som får sin form og størrelse av gassen som fyller den.
- Stivt (Rigid); skipets hoveddel utgjøres av en rammekonstruksjon som er trukket med en duk. Denne konstruksjonen fylles med gass, og vil således ha konstant størrelse/form/volum.
- Semi-stivt; en hybrid av de to ovennevnte. Typisk har skipet en rammekonstruksjon i deler av sin konstruksjon, som for eksempel en inn-/utvendig kjøl i skipets lengde eller lignende.

Karakteristikk for luftskip er at de kan løfte relativt store nyttelaster (opp mot 160.000 kg). Denne løftekapasiteten kommer med en pris i form av volumet og dimensjonene på luftskipet som for et typisk skip med ovennevnte nyttelast kan være et volum på ca 425.000 m<sup>3</sup>. Luftskipene kan oppnå en relativt lav hastighet til luftfartøy å være, opp mot 100 km/t.

Luftskipene hadde sin storhetstid på 1920 og –30 tallet, men etter ulykken med Hindenburg i 1937 har det vært en meget begrenset utvikling på dette området. I all hovedsak har luftskip blitt nytt til annonsering og display av logoer, i stedet for å bli et massetransportmiddel. I tillegg til å bli brukt i markedsføringsøyemed, pågår det for tiden utvikling av luftskip til bruk innen tunge løft. Luftskipets fordeler innen dette området går på at det kan løfte svært tunge gjenstander i "VTOL (Vertical Take Off and Landing) – modus", samt at et luftskip i drift er relativt billig ettersom det ikke har et stort energiforbruk for å gi oppdrift. Et godt eksempel på et slikt luftskip er CargoLifter's CL 160, med løftekapasitet på 160 tonn.

I det følgende er en oversikt over de mest signifikante luftskipsprosjektene som eksisterer i dag, og er planlagt / på ide-stadiet.

<i>Produkt</i>	<b>Produsent</b>	<b>Lengde (m)</b>	<b>Nyttelast (kg)</b>	<b>Maks flyhøyde (km)</b>	<b>Radius (km)</b>	<b>Utholdenhet (t)</b>
<i>SkyCat 1000</i>	Advanced Technologies Group	307	1000K	2,7	7400	-
<i>SkyCat 20</i>	Advanced Technologies Group	81,3	20K	2,7 Hi-alt: 5,5	2270	-
<i>SkyCat 200</i>	Advanced Technologies Group	18	200K	2,7	5970	-
<i>A-130</i>	American Blimp Corporation	48,2	9 pax <sup>1</sup> / 1180	?	1045	?
<i>A-150</i>	American Blimp Corporation	50,3	9 pax/ 1644	?	990	15
<i>A-170</i>	American Blimp Corporation	52,5	9 pax/ 2109	?	935	-
<i>A-60+</i>	American Blimp Corporation	39	5 pax/ 680	?	965	15
<i>CL 160</i>	CargoLifter	265	160K	?	5000	?
<i>CL 75 AC</i>	CargoLifter	61 diam	75K	?	250	?
<i>Sentinel 1000</i>	Global Skyship Industries	68	?	2,4	?	?
<i>Skyship 500 HL</i>	Global Skyship Industries	59,1	11 pax	2,1	643	?
<i>Skyship 600</i>	Global Skyship Industries	61	14 pax	2,1	643	?
<i>HA Airships</i>	ILC Dover	?	?	?	?	?
<i>AS-300</i>	Lindstrand	53	?	?	?	?
<i>HS-110</i>	Lindstrand	34	?	?	?	2-3

Tabell 3.1 *Luftskip*

<sup>1</sup> Pax = antall passasjerer og besetning

### 3.1.1.2 Ballonger

Ballonger er aerostater som ikke har systemer for aktiv styring. Dersom man har muligheten til å påvirke dens høyde kan den til en viss grad styres ved hjelp av vindsjiktene oppover i atmosfæren.

Ballongene kan enten sveve fritt, eller forankres til bakken med vaier/tau eller lignende.

Aerostatene kan nå svært store høyder, eksempelvis værballonger, som når opp til ca 38 km. Et eksempel på en slik ballong er ILC Dovers Superpressure Balloon.



Figur 3.3 ILC Dover Superpressure Balloon (Foto: ILC Dover, Inc).

Tunge nyttelaster vil også her ha følger for volumet av aerostaten. Dette kan illustreres med følgende eksempel; ILC Dover's aerostat 420K kan løfte en nyttelast på 907 kg til 4570 meter. 420K har et volum på ca  $11.900 \text{ m}^3$ , med lengde 63,4 meter og diameter 21 meter.



Figur 3.4 ILC Dover 420K (Foto: ILC Dover, Inc).

En Aerostat uten forankring har den åpenbare karakteristikken at dens posisjon i det horisontale planet påvirkes kun av værforholdene. I vertikalplanet vil den kunne oppnå en på forhånd beregnet og fastsatt høyde.

En forankret Aerostat vil ha en tilnærmet statisk posisjon i horisontalplanet, med unntak av den bevegelsesfriheten som følger av forankringens lengde. Ønskes posisjonen fiksert må forankringen resultere i vektorer som stabiliserer i 3 retninger i horisontalplanet.

I vertikalplanet vil aerostaten kunne flyttes etter ønske innefor lengden av forankringen.

Produkt	Produsent	Lengde (m)	Nyttelast (kg)	Maks flyhøyde (km)	Radius (km)	Utholdenhet
HAP	21 <sup>st</sup> Century Airships	79 dia 260K m <sup>3</sup>	?	20,7	-	?
StratSat	Advanced Technologies Group	200	1000	19,8	-	5 år
275K	ILC Dover	57	450	3,65	-	?
420K	ILC Dover	63	900	4,5	-	?
56K	ILC Dover	33,2	363	0,91	-	?
ULDB	ILC Dover	?	?	23,1	-	?
HALE	Lindstrand	?	1000	21,3	-	5 år
GeoShip	Quantum Aerostatics	500	100K	?	-	?
Au-17	ROS Aerosystems	17,8	80	1	-	60 døgn
PUMA	ROS Aerosystems	60,7	2200	5	-	25 døgn
JAGUAR	ROS Aerosystems	55,2	1700	4	-	30 døgn
15M	TCOM	?	70	0,3	-	5 døgn
32M	TCOM	?	350	0,9	-	14 døgn
71M	TCOM	?	1600	4,6	-	30 døgn

Tabell 3.2 Ballonger

### 3.1.2 Aerodyner

Denne typen fartøy kan deles inn i 3 hovedkategorier, atskilt på graden av fysisk menneskelig tilstedeværelse om bord.

- Bemannede fartøy
- Fartøy med mulighet for bemanning
- Ubemannede fartøy

#### 3.1.2.1 Bemannede fartøy

Samtlige av disse kan igjen deles i tre undergrupper. Det som skiller fartøyene ved denne delingen er hvordan de prinsipielt produserer oppdriften som holder de flygende.

Den første gruppen her er den vi kjenner som det mest konvensjonelle luftfartøyet, det med faste foiler, eller vinger. Denne gruppen har altså foiler som er faste på fartøyets kropp, og oppdriften kommer som et resultat av at fartøyet beveger seg med en relativ hastighet til luften omkring, produsert enten av et fremdriftssystem eller en glidebane i kombinasjon med værforhold (fly / seilfly).

Et eksempel på et fartøy med faste foiler og et fremdriftssystem:





Figur 3.5 Cessna Turbo Stationair (Foto: Cessna Aircraft Company).

Mens et eksempel på et fartøy med faste foiler men uten fremdriftssystem kan være et konvensjonelt seilfly:



Figur 3.6 ASW 27 (Foto: Alexander Schleicher GmbH & Co).

Den andre gruppen er de som har foiler som beveger seg, og får oppdriften sin fra den relative hastigheten som disse foilene har i forhold til luften omkring seg. Dette prinsippet er det vi normalt kjenner som helikoptre.



Figur 3.7 Bell 412 EP (Foto: Bell Helicopter Textron).

Den tredje gruppen er fartøy som kombinerer de to ovennevnte egenskapene. Dette kan være såkalte tiltrotorer. Dette er fartøy som kombinerer VTOL – egenskapene med egenskapene til et fly med faste foiler. Det vil si at fartøyet i praksis vil kunne ha hastighet og operasjonshøyde som et normalt fly, men at det i tillegg har VTOL – egenskapene. En slags ”det beste fra begge verdener”. Disse fartøyene har gjerne faste foiler av noe mindre areal enn normalt, da manglende oppdrift ved lave hastigheter kompenseres med en tilting av rotorene. Typisk konstruksjon er 2 rotorer, en ytterst på hver foil.



Figur 3.8 Bell Augusta BA 609 (Foto: Bell/Augusta Aerospace Company).

Et godt kjent VTOL-fartøy med svært gode egenskaper hva gjelder militær anvendelse er jagerflyet Harrier, som er et fullverdig jagerfly, med VTOL kapasitet.

Flyet har en topphastighet på 1080 km/t, og kan bære nyttelaster opp til 7000 kg



Figur 3.9 Boeing AV-8B Harrier II (Foto: Boeing Aircraft Company).

Karakteristisk for alle disse fartøyene, uavhengig av opp- og fremdriftssystemer, er at de bemannes av mennesker, med de fordeler og ulemper dette innebærer.

Fordeler er at man har menneskelig intelligens om bord i fartøyet, noe som vil ha innvirkning ved blant annet oppdragsendring underveis, handlemåter i unormale situasjoner samt tyding / vurdering av observasjoner og informasjon på stedet.

Ulemper er først og fremst at en del av nyttelasten går med til piloten(e)s vekt og ikke minst såkalte lifesupportsystemer. Dette er alle systemer et mannskap behøver for å operere fartøyet i en gitt tidsperiode. Ved stor høyde vil dette være blant annet trykksystemer, enten i form av en trykksatt kabin eller trykkdrakter, og oksygen. I forlengelsen av dette er det ofte menneskelige fysiske begrensninger som hindrer manøvrer som utsetter fartøy og mannskap for store fysiske påkjenninger.

Seilfly har den åpenbare fordelen at deres operasjonstid ikke begrenses av drivstoff, mens en typisk ulempe er at de ikke kan iverksette sitt oppdrag uten støtte. Seilflyene trenger en eller annen mekanisme for å ta av, det være seg et annet fly til sleping, katapult, vinsj eller et bakkebasert kjøretøy til sleping. Seilfly vil også ha et tak på sin praktiske flyhøyde som er lavere enn fartøy med fremdriftssystemer.

Det er en allmenn oppfatning å også dele flyene i kategorier avhengig av høyden de opererer i. High-Altitude-Platforms, eller HAP, brukes gjerne om fartøy som opererer over ca 18 km . Det vi refererer til som "været" befinner seg i troposfæren, og denne går opp til ca 10 km. Over troposfæren ligger stratosfæren, fra ca 10 km og opp til ca 50 km.

Det å operere i stratosfæren med et luftfartøy har den fordelen at det gjerne blåser en meget jevn og stabil vind, normalt er skyfritt, samt at det eventuelle drivstofforbruket til fartøyet går ned.

Temperaturen i stratosfæren stiger med høyden, etter at den har sunket med økende høyde i troposfæren, slik at den øverst kan komme opp i plussgrader.

Eksempler på bemannede fartøy som passer inn i denne kategorien er USA's SR-71 og U-2. Disse opererer i høyder på 24+ km.

På grunn av atmosfærens tetthet vil fartøy med roterende foiler normalt ikke kunne operere i stor høyde. Konvensjonelle helikoptre har i praksis et tak på ca 6 km, mens tiltrotorer klarer opp mot 9 km.

### 3.1.2.2 Fartøy med mulighet for bemanning

Denne kategorien fartøyer deles inn i de samme underkategorier som de bemannede fartøyene, nemlig faste foiler, roterende foiler og tiltrotorer, motordrevne eller glidere, samt HAP eller normal høyde.

Fartøyene vil i hovedsak inneha mange av de samme karakteristikkene som de bemannede fartøyene, men det vil være slik at systemene for drift er konstruert for et mulig fravær av menneskelig tilstedeværelse.

Typisk vil fartøyet være like sofistisert som et ubemannet fartøy hva gjelder det flytekniske for å kunne operere autonomt.

Samtidig må systemene for flyving ha kontrollere som trekkes til et sentralt sted i fartøyet for menneskelig interaksjon. Dette medfører ofte en komplisering av systemene i forhold til de ubemannede fartøyene, hvor systemene og kontrollene kan plasseres desentralisert, der de utfører sine funksjoner.

Med mulighet for bemanning vil man kunne oppnå en større grad av fleksibilitet enn de rene bemannede eller ubemannede fartøyene. Hovedfordelen er at man avhengig av situasjon og oppdrag kan gjøre vurderinger på hvorvidt man ønsker å fly ubemannet, med desto større lastekapasitet, eller bemannet, og har fordelene av å ha menneskelig intelligens om bord. Til tider vil det være ønskelig å risikere kun tap av fartøy og ikke mannskap.

Eksempel på et slikt fartøy er General Atomics "Pelican OPV (Optionally Piloted Vehicle)", som er en sterkt modifisert Cessna 337 Skymaster. Dette fartøyet gjennomførte sin første fjernstyrte flytur 10 des 1998.

Aurora Flight Sciences Corporation har også et slikt fartøy, basert på den samme plattformen, Cessna 337, som benevnes Chiron.



Figur 3.10 General Atomics Pelican OPV (Foto: General Atomics Aeronautical Systems, Inc).

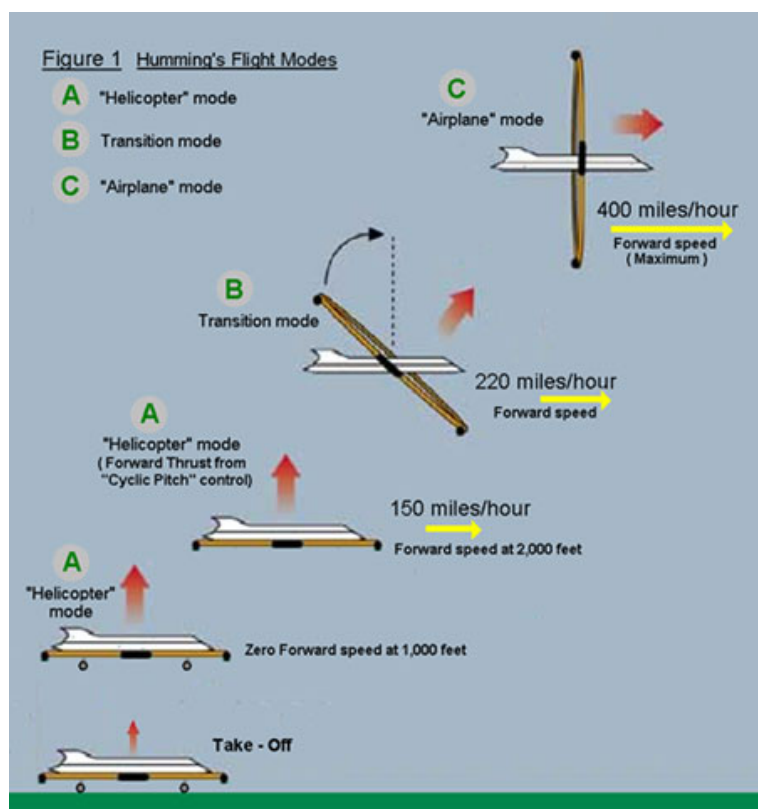
Et interessant fartøy i denne kategorien er AeroCopter's Humming, en konseptstudie på et luftfartøy med jetflyenes egenskaper, og VTOL – kapasitet.

Dette konseptstudiet har som ambisjon å bli en del av løsningene på utfordringene rundt massetransportmidlene i fremtiden. Fartøyet trenger mye mindre plass på bakken sammenlignet med ordinære flymaskiner, på grunn av sine VTOL-egenskaper.

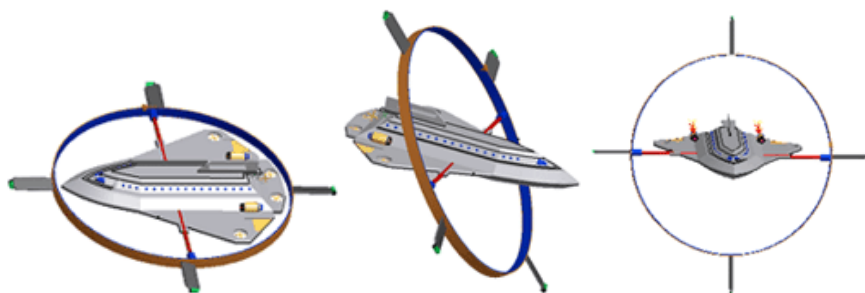
Fartøyet minner mest om en romslig utgave av dagens amerikanske romferger, omgitt av en stor sirkulær disk. Denne disken er ved opphold på bakken, take-off/landing og hovring plassert i vingeplanet, horisontal. Disken har fastmonterte foiler og jetmotorer slik at den drives rundt. Ved fravær av relativ hastighet fremover skapes løft ved rotasjon av disken, slik at fartøyet

minner om et slags helikopter i sin virkemåte. I denne fasen kan det oppnå en hastighet på ca 250 km/t ved bruk av pitch på rotoren.

Ved transisjon til "flygemodus" vris disken slik at den tilslutt står normalt både på vingeplanet og fartsretningen. Motorkraften går da gradvis over fra å drive disken rundt, til kun å gi selve fartøykroppen kraft fremover, og disken stanser opp sin rotasjon. Den forblir stående normalt på vingeplanet og fartsretningen under hele flygefasen. I dette stadiet bidrar den til stabilisering av fartøyet. Hastigheten kan nå komme opp i ca 650 km /t.



Figur 3.11 Humming modus (Figur: AeroCopter Incorporated).



Figur 3.12 Humming transisjon (Figur: AeroCopter Incorporated).

Humming kan tas frem som fartøy i alle 3 kategorier; bemannet, mulighet for bemanning og ubemannet, men i utgangspunktet er fartøyet tenkt bemannet.

I en militær rolle er den største ulempen med fartøyet dens store bevegelige deler, som vil gjøre fartøyet relativt lett detekterbart.

<b>Produkt</b>	<b>Produsent</b>	<b>Lengde (m)</b>	<b>Nyttelast (kg)</b>	<b>Maks flyhøyde (km)</b>	<b>Radius (km)</b>	<b>Utholdenhet (hrs)</b>	<b>VTOL</b>
<b>Humming</b>	AeroCopter, Inc	15?	5900	9,1?	1931	?	√
<b>Chiron (Cessna 337 Skymaster)</b>	Aurora Flight Sciences Corporation	9,1	612	6,1	?	?	-
<b>Pelican (Cessna 337 Skymaster)</b>	General Atomics	10,4	?	7,6	?	?	-

Tabell 3.3 Fartøy med mulighet for bemanning

### 3.1.2.3 Ubemannede luftfartøy (UAV)

UAV-ene deles også inn i de samme undergruppene som de bemannede fartøyene og brukes pr i dag mest som plattformer for sensorer i forbindelse med rekognosering. I nær fremtid vil fartøyene tilpasses og utrustes i retning av rene kampoppdrag, med bestykning som jager- og bombefly. Store fordeler er at de i sin operasjonsmåte ikke behøver å ta hensyn til pilotens fysiske begrensninger. Dette gjelder både ved krevende manøvrer kombinert med høy fart; G-krefter, og spesielt ved store høyder. EN UAV kan således, dersom det har et fremdriftssystem som er dimensjonert slik, operere i store høyder (>18 km) i lang tid; dager, uker og måneder. Samtidig vil all lastekapasitet kunne nyttes til bestykning, drivstoff eller andre oppdragsesifikke komponenter.

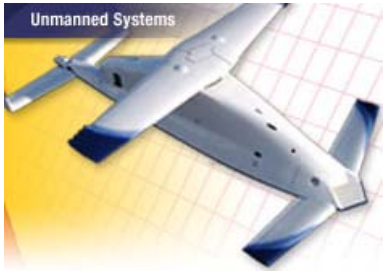
Vanligvis er en UAV fjernstyrt. Man ønsker å hele tiden ha kontroll over fartøyet. Dette resulterer ofte i problemer fordi det ofte vil bli brudd i forbindelsen med flyet. Det vil også være mulig med autonome UAV-er som vil kunne operere på egen hånd, og man slipper å tenke på kommunikasjonslinken mellom UAV-en og kontrollsenteret. I rollen som kommunikasjonsrelé kan man for eksempel forhåndsprogrammere UAV-en til å ligge fast over et område i en bestemt tid, før den skal returnere.

Det beste eksempelet på UAV-er som opererer i stor høyde er den amerikanske RQ/4 – Global Hawk. Den opererer i høyder på tilnærmet 20 km og kan fly nærmere 2000 km til et operasjonsområde og være operativt der i 24 timer. Global Hawk kan ha en nyttelast på opp til 860 kg, er 13,4 meter lang med et vingespenn på 35,4 meter. Disse UAV-ene vil være relativt kostbare både i innkjøp og drift. Pris pr fartøy i 2002 (uten sensorer); \$20M<sup>2</sup>.

En utradisjonell UAV er Boeings prosjekterte X-50 CRW. Dette fartøyet har en tilsynelatende fast vinge på taket. Sentralt i fartøyet sitter en jetmotor som gir VTOL – egenskaper ved å sende

<sup>2</sup> Kilde: US DoD "UAV Roadmap 2002-2007", Desember 2002

jetstrømmen gjennom vingen og til dyser ytterst på hver ende. Dette setter vingen i rotasjon, slik at fartøyet oppfører seg tilnærmet som et tradisjonelt helikopter. Ved en gitt høyde sendes jetstrømmen i økende grad bakover via mer tradisjonelle dyser, slik at når til slutt alt sendes bakover stanser vingen på taket sin rotasjon og går over til å fungere som en konvensjonell vinge. Fartøyet ser nå tilnærmet ut som et vanlig fly med høyt montert vinge. For vertikal landing reverseres prosessen, og fartøyet går fra å være ”fly” til å bli ”helikopter”.



Figur 3.13 Boeing X-50 CRW (Foto: Boeing).

Interessant i forbindelse med de plattformene som skal operere i store høyder er også NASA's HELIOS, et fartøy som nyttiggjør seg av solenergi til fremdrift, og skal kunne operere opp til 30,5 km i flere måneder i strekk. Fartøyet er saktegående, og har så langt begrensede muligheter for nyttelast. HELIOS er p.t. et tidlig stadie av et forskningsprosjekt, ikke et ferdig design, og fartøyet gikk tapt i et uhell 26 juni 2003.

<b>Produkt</b>	<b>Produsent</b>	<b>Lengde (m)</b>	<b>Nyttelast (kg)</b>	<b>Maks flyhøyde (km)</b>	<b>Radius (km)</b>	<b>Utholdenhet (timer)</b>	<b>VTOL</b>
<b>RQ-7 Shadow 200</b>	AAI	3,3	27	4,5	126	4	-
<b>Aerosonde</b>	Aerosonde Robotic Aircraft	1,8	5	6,4	∞	50+	-
<b>Black Widow</b>	AeroVironment	0,1	2,2 g	?	0,9	0,27	-
<b>Centurion</b>	AeroVironment	3,6	272	30,5	?	96	
<b>FQM-151 Pointer</b>	AeroVironment	1,8	0,9	0,3	5,6	1	-
<b>Pathfinder</b>	AeroVironment	3,6	15,9	21,8	124	15	-
<b>Helios</b>	Aurora Flight Sciences Corporation						-
<b>Perseus B</b>	Aurora Flight Sciences Corporation	9,5	118	18,2	?	6	-
<b>Theseus</b>	Aurora Flight	11,9	340	19,8	5556	44	-

	Sciences Corporation						
<b>BQM-147 Dragon Drone</b>	BAI Aerosystems	1,5	6,8	3,0	48	2,5	-
<b>Dragon Eye</b>	BAI Aerosystems	0,6	0,45	0,3	3,7	0,75-1	-
<b>EagleEye</b>	Bell Textron	4,9	95,2	4,45	-	2,3	√
<b>UCAR</b>	Boeing						-
<b>X-45</b>	Boeing	7,9 / 11	680 / 2040	10,7 / 13,7	1,5 time/ 1852km + 2 timer venting	-	
<b>X-46/47</b>	Boeing	10,4	2495	12,1	2778	12	-
<b>X-50 Dragonfly</b>	Boeing	5,2	90,7	3,5	108	4	√
<b>CL-327 Guardian</b>	Bombardier	1,8	105	5,5	-	6,25	√
<b>CL-427 Puma</b>	Bombardier	2,1	46	5,5	200	7	√
<b>Neptune</b>	DRS Unmanned Technologies	1,8	9	2,4	74	4	-
<b>A-160 Hummingbird</b>	Frontier	10,6	136+	9,1	2778	24+	√
<b>GNAT 750</b>	General Atomics	6,4	295	6,1	2731	42	-
<b>MQ-1 Predator</b>	General Atomics	8,5	205	7,6	741	24+	-
<b>MQ-9 Predator B</b>	General Atomics	11	340 int / 1360 ext	13,7	741	24+	-
<b>FPASS</b>	Lockheed Martin	0,3	0,45	0,3	9,3	1-1,5	-
<b>Golden Eye</b>	Northrop Grumman Ryan						
<b>RQ-4 Global Hawk</b>	Northrop Grumman Ryan	13,4	884	19,8	10K	32	-
<b>RQ-5 Hunter</b>	Northrop Grumman Ryan	7	90,7	4,5	267	11,6	-
<b>RQ-8 Fire Scout</b>	Northrop Grumman Ryan	6,7	136	5,8	278	5+	-

<i>X-47</i>	Northrop Grumman Ryan	8,2	453			1+	-
<i>Dragon Warrior</i>	NRL	2,1	16	5,5	93	3-5	√
<i>Finder</i>	NRL	1,5	5,9	4,6	93	10	-
<i>RQ-2 Pioneer</i>	Pioneer UAVs	4,3	45,4	4,6	185	5	-
<i>SilentEyes</i>	Raytheon	0,3	2,3	7,6 (utløses)	61 (glideflu kt)	0,3	-
<i>SHARC / FILUR</i>	SAAB Aerospace						
<i>LEWK</i>	SAIC	3	90,7	4,5	741-926	8	-
<i>Cypher</i>	Sikorsky	0,3	22,7	1,5	30	2,5	√
<i>Dragon Warrior</i>	Sikorsky	1,8	11,3				√
<i>Sensorcraft</i>	USAF						-
<i>Skytote</i>	USAF						√

Tabell 3.4 Ubemannede fartøy

## 3.2 Satellittkommunikasjon

Dette avsnittet gir en kort beskrivelse av noen SATKOM systemer. SATKOM kan i mange tilfeller være en attraktiv løsning spesielt for taktisk kommunikasjon. Dette fordi det tar kort tid å sette opp et samband og man har stort dekningsområde. Blant ulempene er sårbarhet og begrenset dekning i Nord-områdene. SATKOM er også velegnet som reserveforbindelser for faste samband. Sivile satellitter er generelt mer sårbare enn militære. En grov inndeling av satellitter etter deres banetype er:

### 3.2.1 Geostasjonære baner (GEO – Geostationary Earth Orbit)

Dette er en bane rundt jorden, over ekvator i ca 36.000 km høyde, hvor omløpstiden er lik jordens rotasjonstid. Et legeme i denne banen vil befinne seg over det samme punktet på jorden til enhver tid (Bakkesporet vil være et punkt)

Den geostasjonære banen er godt egnet til kommunikasjonssatellitter ettersom deres posisjon på himmelhvelvingen er konstant. Kommunikasjonssatellitter i denne banen vil få problemer med dekning i polområdene på grunn av jordoverflatens krumming.

### 3.2.2 Asynkrone baner

Alle andre baner enn GEO er av denne typen. Sett fra jorda, vil alle disse satellittene bevege seg over tid. Hvor fort og hvor mye, vil avhenge av banen og man vil alltid trenge mer enn en satellitt for å gi kontinuerlig dekning av et område. Inklinasjonen gir banens vinkel i forhold til ekvatorialplanet. For polare baner vil satellittene passere over polområdene og inklinasjonen vil



være omtrent 90°. Banen er da normalt på ekvatorialplanet.

### 3.2.3 Baner brukt til SATKOM

For kommunikasjonssatellitter er typiske operasjonshøyde ca 600 km (LEO – Low Earth Orbit), 10000 km (MEO – Medium Earth Orbit) og ca 36.000 km (GEO – Geostationary Earth Orbit). Dette er stort sett sirkulære baner. En populær elliptisk bane er den såkalte Molnya-banen. Den har omløpstid på 12 timer, inklinasjonen er 63.4° og maksimal banehøyde er 39105 km. Siden satellittene går mye høyere enn andre plattformer, vil dekningsområdet være mye større.

### 3.2.4 Militære SATKOM systemer

Mange nasjoner har egne militære SATKOM systemer. Militære SATKOM systemer er vanligvis bedre beskyttet enn sivile systemer for å motstå angrep av forskjellig art. For små nasjoner som ikke har slik kapasitet vil det være vanskelig å få aksess til disse systemene. Eneste unntaket er SKYNET 5 som skal drives av en kommersiell operatør. Denne operatøren vil kunne tilby andre nasjoner garantert aksess til systemet. Dette avsnittet gir en kort oversikt over noen eksisterende militære SATKOM systemer.

#### 3.2.4.1 NATO

Eksisterende system er gammelt og på slutten av levetiden. Systemet vil sannsynligvis ikke bli videreført som et eget NATO-eid system, men basert på leid kapasitet hos andre nasjoner. Det vil først bli UHF/SHF-frekvenser, og etter hvert EHF.

#### 3.2.4.2 SKYNET

SKYNET er Storbritannias (UK) militære SATKOM system. Det består av GEO satellitter. UK er i en overgangsfase mellom SKYNET 4 og 5. Overgangen medfører at driften av systemet overlates til en operatør. I februar 2002 ble Paradigm Secure Communications valgt som operatør. "Hovedfirma" i konsortiet er Astrium. De eksisterende SKYNET 4 satellittene vil etter hvert bli avløst av nye satellitter.

SKYNET 5 er det eneste militære SATKOM systemet hvor nasjoner kan leie garantert kapasitet.

#### 3.2.4.3 USA

USA har flere systemer som dekker forskjellige frekvenser og formål. Systemene kan deles inn i smalbånd, beskyttet og bredbånds systemer. EHF/Milstar - systemene er godt beskyttet mot forskjellige typer angrep og brukes til både taktisk og strategisk kommunikasjon. En stor del av båndbredden brukes til beskyttelse. DSCS-satellittene (Defense Satellite Communications System) opererer i X-båndet (7/8 GHz) utgjør sammen med de kommende "Wideband Gapfiller"-satellittene bredbåndssystemene. UHF-satellittene utgjør smalbåndssystemene.

#### 3.2.4.4 Andre nasjoners militære systemer

Flere nasjoner i NATO har egne militære SATKOM systemer. Dette gjelder blant annet Frankrike, Spania og Italia. Italia skjøt opp sin SICRAL-satellitt i 2001 (5). Frankrike og Spania har militære transpondere på sivile satellitter.

### 3.2.5 Sivile SATKOM systemer

Dette avsnittet gir en kort oversikt over noen eksisterende sivile/kommersielle SATKOM systemer. En del av opplysningene er hentet fra (5), hvor systemene er nøyere beskrevet. Det har vært så stor usikkerhet rundt planlegging og gjennomføring av nye prosjekter, så disse vil ikke bli behandlet.

#### 3.2.5.1 Iridium

Iridium er et kommersielt tilgjengelig LEO system. Selv om Iridium har en stor avtale med USA om levering av tjenester, er systemet også tilgjengelig for andre. Alt fra privatpersoner til organisasjoner og offentlige kan benytte systemet. Banehøyden er omtrent 780 km. Systemet består av 66 satellitter fordelt på 6 polare baner. Omløpstiden for hver satellitt er ca 100 minutter. Dette er det eneste sivile systemet som dekning i polområdene. Satellittene har direkte forbindelse seg imellom, som gjør at man ikke er avhengig av forbindelse til en bakkestasjon for å kommunisere. I sin nåværende form er forventet levetid til mellom 2010 og 2014 (6).

#### 3.2.5.2 Globalstar

Globalstar er også et kommersielt tilgjengelig LEO system. Her er banehøyden 1414 km og systemet består av 48 satellitter. Inklinasjonen er 52°, noe som gir dekning mellom 70° nord og sør. Altså vil man i Norge få problemer i Nord-områdene. Satellittene er avhengige av forbindelse til en bakkestasjon for å formidle en samtale. Dette betyr at det ikke vil være dekning i enkelte havområder. Dette gjelder ikke i Norskehavet sør for 70°.

#### 3.2.5.3 Inmarsat

Inmarsat systemet består av 4 "primære" GEO satellitter for å dekke hele kloden pluss 5 satellitter i reserve eller til å leie ut ledig kapasitet. Inmarsat tilbyr mobile tjenester med kapasitet fra 600 bit/s til maksimalt 144 kbit/s. I 2005 vil denne maksimale kapasiteten økes til (teoretisk) 432 kbit/s.

#### 3.2.5.4 Intelsat

Intelsat systemet består av 24 satellitter (5) og leverer faste satellittjenester. Intelsat har en egen divisjon kalt "government solutions" som kan tilby bredbåndstjenester, men altså ikke mobilt.

#### 3.2.5.5 Eutelsat

Eutelsat driver 23 GEO satellitter (hvorav 20 er eid av Eutelsat) mellom 17 Vest og 76 Øst. Satellittene er Ku-, Ka-, og/eller C-bånd transpondere. Omtrent halvparten av kapasiteten brukes til TV (ca 1300 kanaler). Ellers tilbys forskjellige tjenester til kunder som spenner fra bredbånd til mobil.

### 3.2.6 Produsenter

Eksempler på representative produsenter er Boeing / Hughes, Ball Aerospace Technologies, Orbital Sciences Corporation, Swales Aerospace og Spectrum Astro. Disse produserer

kommersielle og militære satellitter for nyttelaster opp til ca 1600 kg, hvor nyttelasten kan ha inntil ca 1400 W til disposisjon. Tabell 3.5 gir eksempler på noen satellitter.

De to vanligste måtene å holde en satellitt stabil på er ved spinnstabilisering eller treaksestabilisering. I den første metoden er satellitten sylinderformet og roterer om den aksene med størst treghetsmoment, det er aksene parallell med jordaksene. Ved den andre metoden er satellitten utstyrt med momenthjul og gyroer. Stabilisering er viktig for at satellitten skal peke i riktig retning.

<b>Produkt</b>	<b>Produsent</b>	<b>Nyttelast (kg)</b>	<b>Strøm til last</b>	<b>Antall transpondere</b>	<b>Stabilisert</b>	<b>Utholdenhet (år)</b>
<b>Boeing 376</b>	Boeing Satellite Systems		Inntil 2 kW	24		
<b>Boeing 601</b>	Boeing Satellite Systems		Inntil 60 kW	Inntil 60		
<b>Boeing 702</b>	Boeing Satellite Systems		Inntil 18 kW	100 +		
<b>BCP 4000</b>	Ball Aerospace & Technologies Group	1400	1250 W		Ja	5+
<b>BGIS 2000</b>	Ball Aerospace & Technologies				Ja	5+
<b>SMEX-Lite</b>	Swales Aerospace	400	130 W	-	Ja	5-10
<b>EO – SB</b>	Swales Aerospace	236	256 W	-	Ja	5-10
<b>SA 200 S</b>	Spectrum Astro	200	66 W	-	Ja	5-10
<b>SA 200 HP</b>	Spectrum Astro	800	650 W	-	Ja	5-10
<b>SA 200 B</b>	Spectrum Astro	100	86 W	-	Ja	5-10
<b>STAR</b>	Orbital Sciences Corporation	Totalt 1625	> < 1400 W	-	Ja	5-10

Tabell 3.5 Satellitter

### 3.3 To interessante amerikanske prosjekter

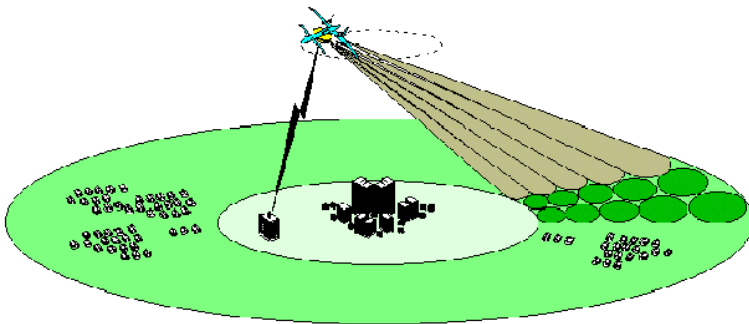
To prosjekter i USA er interessante i nettverkssammenheng. Dette er:

HALO – network (High-Altitude-Long-Operation) i regi av Angel Technologies Corporation er et prosjekt som skal gi bredbåndstilgang i urbane områder. Prosjektet er bygget opp omkring en bemannet aerodyne av typen HAP. Dette fartøyet skal operere i høyder mellom ca 15 og 18 km, og er dimensjonert for 8 timers kontinuerlig drift.

Fartøyet påmonteres en antenne-array som gir dekning i et område på bakken av størrelse 40 km i diameter.

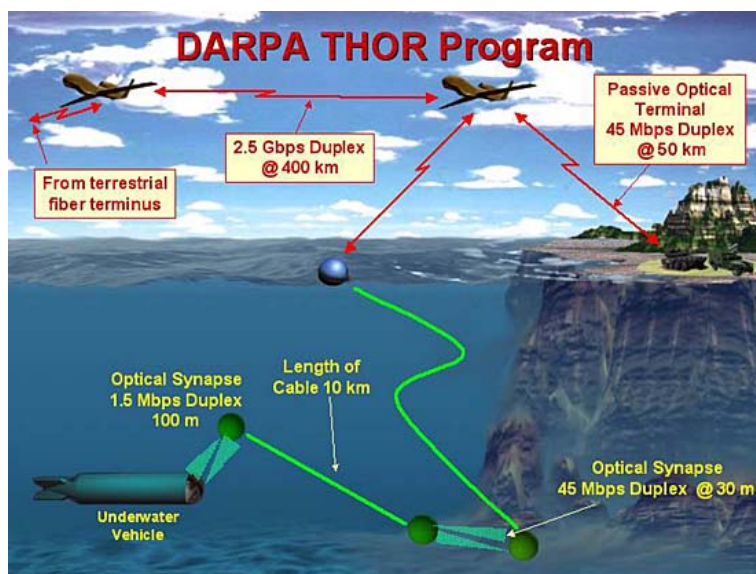
Systemet opererer i frekvensområdet 28-38 GHz og tilbyr en kapasitet på 15-150 Gbit/s og gir mulighet for 2 – veis multimedia, video, data og lyd, bredbånd og PSTN (Public Switched Telecommunication Network)

3 fartøyer vil gi 24-timers dekning.



Figur 3.14 HALO – network (Figur: Angel Technologies Corporation).

Tera – Hertz – Operational – Reachback (THOR) i regi av DARPA/Department of Defense er et system som skal gi militære styrker deployert hvor som helst i verden en mulighet til å kommunisere med stor overføringskapasitet fra operasjonsområdet og tilbake til hovedkvarteret i USA via eget militært nett. Systemet er bygget opp omkring et nettverk av mobile bakkestasjoner, luftfartøy og eventuelt satellitter som linker sammen nettverket.



Figur 3.15 DARPA THOR Program (Figur: DARPA, Department of Defence, USA).

## 4 NYTTELASTER

Under dette punktet vises noen eksempler på transpondere, mottakere og sendere til bruk i luftfartøy og satellitter. Disse antas å være produkter som er representative for sine respektive produktgrupper. Det finnes få produkter på markedet som er beregnet til å brukes som relé i fly.

### 4.1 L-3 Communications

L-3 Communications er en produsent av kommunikasjonsnyttelaster for satellitter og fly. Under følger et utvalg.

#### 4.1.1 Transmittere for luftfartøy

##### 4.1.1.1 TTX-54 / VTX-54

- Sendefrekvenser: Delbånd mellom 30 MHz – 18 GHz
- Strømforbruk: 0,5 – 15 amp, 24 – 32 V
- Utgangseffekt:  $\leq 100$  W
- Vekt: 1,4 kg

##### 4.1.1.2 TTX-36 / VTX-36

- Sendefrekvenser: Delbånd mellom 30 MHz – 18 GHz
- Strømforbruk: 0,5 – 8 amp, 24 – 32 V
- Utgangseffekt:  $\leq 25$  W
- Vekt: 1,4 kg

#### 4.1.2 Receiver for luftfartøy

##### 4.1.2.1 TRX / VRX serien

- Mottaksfrekvenser: Delbånd mellom 30 MHz – 18 GHz
- Strømforbruk: 1 amp maks, 12 – 32 V
- Vekt: 680 g

##### 4.1.2.2 TRX – 23

- Mottaksfrekvenser: Delbånd mellom 30 MHz – 18 GHz
- Strømforbruk: 1 amp maks, 12 – 32 V
- Vekt: 680 g

#### 4.1.3 Transpondere for satellitter

##### 4.1.3.1 CXS-610 STDN/DSN S-band TT&C Transponder

- Mottaksfrekvenser: 2025 – 2120 MHz
- Sendefrekvenser: 2200 – 2300 MHz

- Strømforbruk: 40,4 W maks, 22 – 36 V
- Dataoverføringshastighet: Receiver: 0,5, 1, 2 kbit/s; transmitter: 2 Mbit/s i ”standardutgave”:
- Vekt: 2,3 kg

#### 4.1.3.2 CXS-810 C SGLS S-band TT&C Transponder

- Mottaksfrekvenser: 1760 – 1840 MHz
- Sendefrekvenser: 2200 – 2300 MHz
- Strømforbruk: 40,5 W maks, 22 – 36 V
- 
- Vekt: 3,6 kg

#### 4.1.3.3 CXS-2000 “Secure Transponder”

- Mottaksfrekvenser: 1760 – 1840 Mhz og 2025 – 2120 MHz
- Sendefrekvenser: 2200 – 2300 MHz
- Strømforbruk: 42 W maks, 22 – 36 V
- 
- Vekt: 3,6 kg

#### 4.1.3.4 MXS-765 S-band TT&C Transponder

- Mottaksfrekvenser: Fast, i området 2000 – 2110 Mhz
- Sendefrekvenser: Fast, i området 2202,5 – 2282,5 MHz
- Strømforbruk: 35 W maks, 11 – 17 V el. 24 – 32 V
- Dataoverføringshastighet: Receiver: 32 kbit/s, transmitter: 2 Mbit/s i ”standardutgave”:
- Vekt: 1,4 kg

## 4.2 Raytheon – Airborne Communications Node (ACN)

Airborne Communications Node (ACN) er et DARPA-finansiert prosjekt for å utvikle en luftbåren kommunikasjonsnyttelast for taktisk bruk. ACN er tenkt brukt på mange typer plattformer som UAV-er, bemannede luftfartøyer, aerostater osv. Den skal støtte flere bølgeformer i frekvensområdet 30 MHz – 2 GHz. Bølgeformer som er nevnt på hjemmesiden til Raytheon ([www.raytheon.com](http://www.raytheon.com)) er SINCGARS, Have Quick, EPLRS, Link 16 og MSE.

## 5 KOMMUNIKASJON

Dette kapittelet gir en kort vurdering av hvilken kapasitet man kan forvente mellom to eleverte plattformer eller hvilken kapasitet en områdedekkende elevert plattform kan tilby.

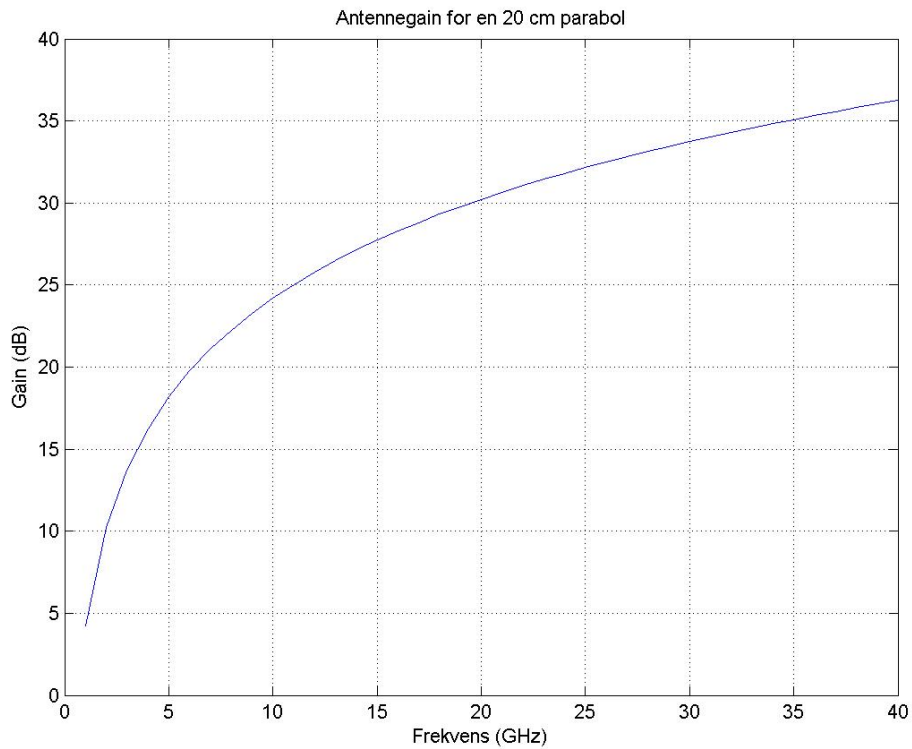
### 5.1 Antenner

Dette avsnitter gir eksempler på noen antennetyper som kan tenkes brukt av en elevert plattform

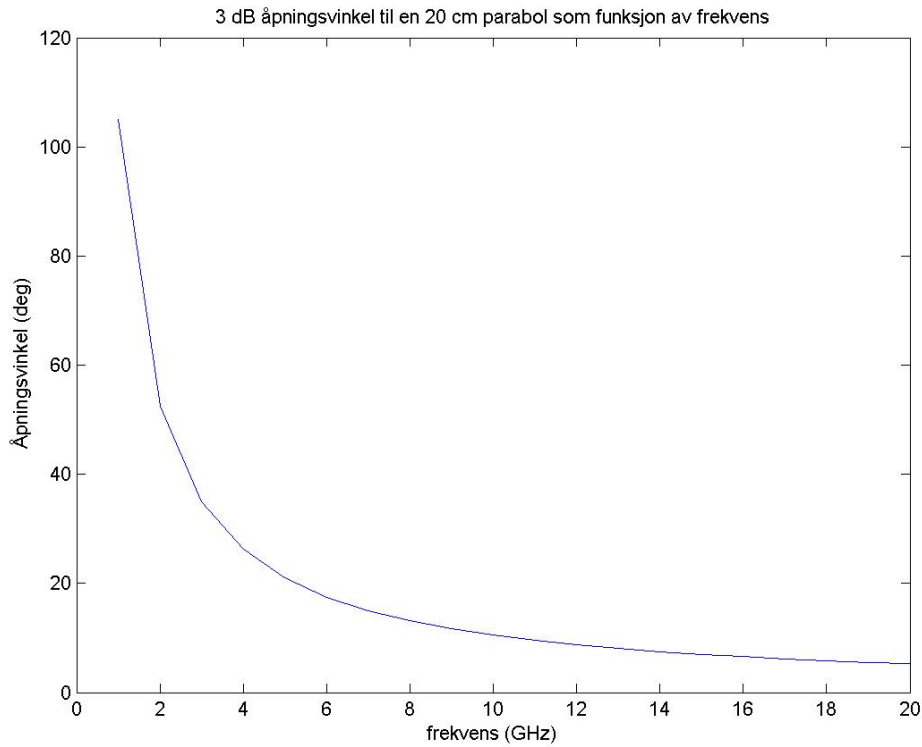
og som er benyttet i beregningene gjort senere.

### 5.1.1 Parabolantenner

Parabolantennen brukes i kommunikasjonssystemer hvor man ønsker høyt gain i en bestemt retning. Forholdet mellom gain, antennessørrelse og bølgelengde er gitt i likning (A.4). Siden gainet øker med antennessørrelsen og frekvensen, vil ikke parabolantennen være egnet i små plattformer og lave frekvenser. Figur 5.1 viser gainet som funksjon av frekvensen for en parabolantenne med en diameter på 20 cm og effektivitet på 0,6. Figur 5.2 viser 3 dB åpningsvinkelen til den samme antennen gitt av likning (A.5).



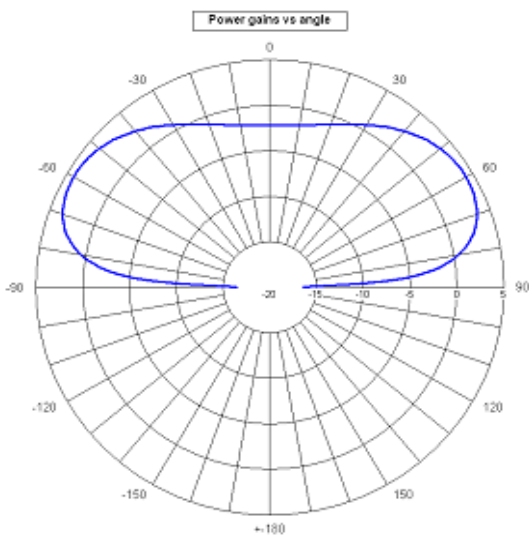
Figur 5.1 Gain for en 20 cm parabolantenne



Figur 5.2 3 dB åpningsvinkel for en 20 cm parabolantenne

### 5.1.2 Helix-antenner

En quadrifilar helix antenne er fire helixer satt sammen. Figur 5.3 viser strålingsdiagram for en slik antenne. Som figuren viser, er maksimalt gain omtrent 4 dB ved 60°. Figuren er hentet fra (7). Helixen har sirkulær polarisasjon.

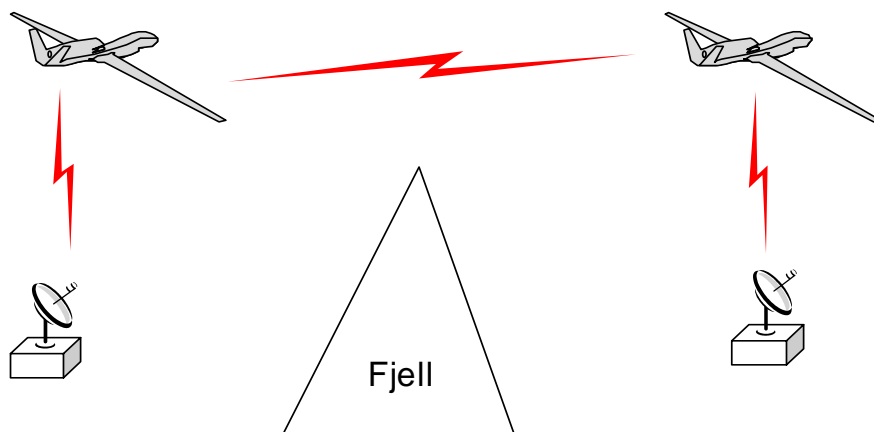


Figur 5.3 Strålingsdiagram for quadrifilar helix antenne



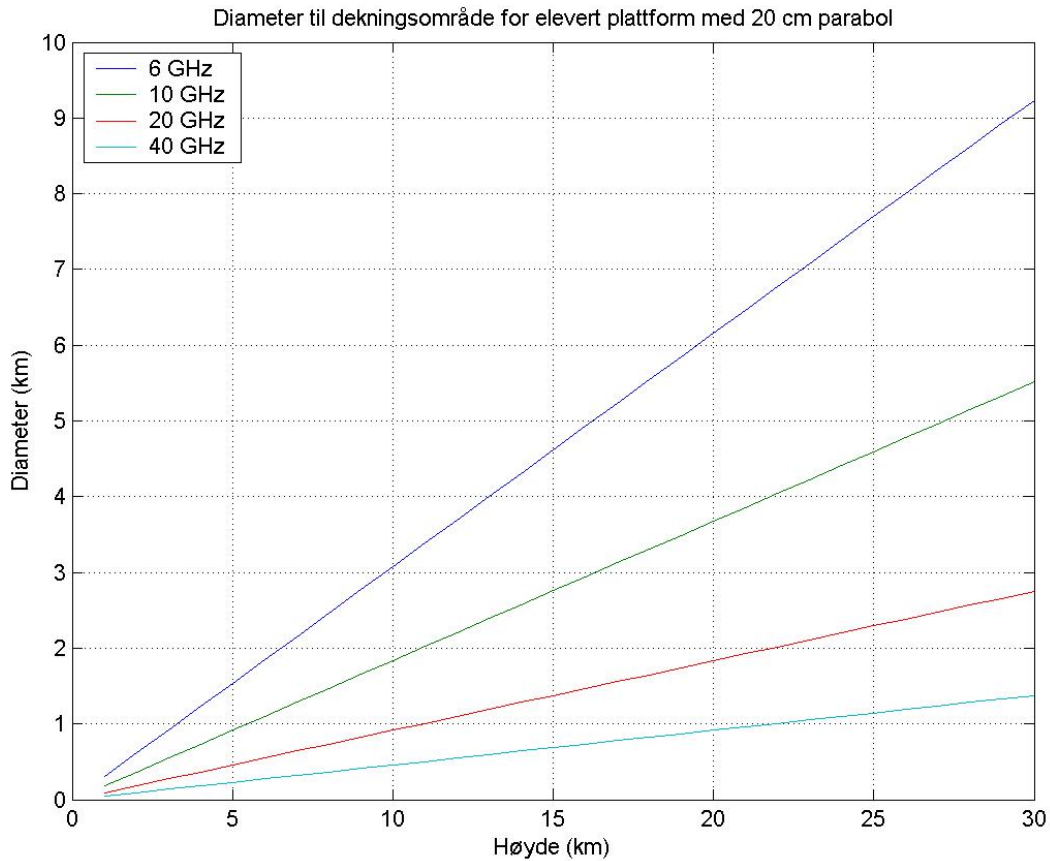
## 5.2 Dekning

Dekningsområdet til en elevert plattform vil være avhengig av fri sikt. I Norge, med mange fjell og daler vil det oppstå mange skyggeområder som vanskeliggjør forbindelse til en plattform som er langt borte. En løsning kan da være å ha en elevert plattform med fri sikt til den ene bakkestasjonen og en relé-plattform med fri sikt til den andre bakkestasjonen som vist i Figur 5.4. Dette avsnittet tar for seg hvor stor kapasitet og hvor stort dekningsområde som funksjon av høyde man kan regne med å oppnå fra eleverte plattformer.



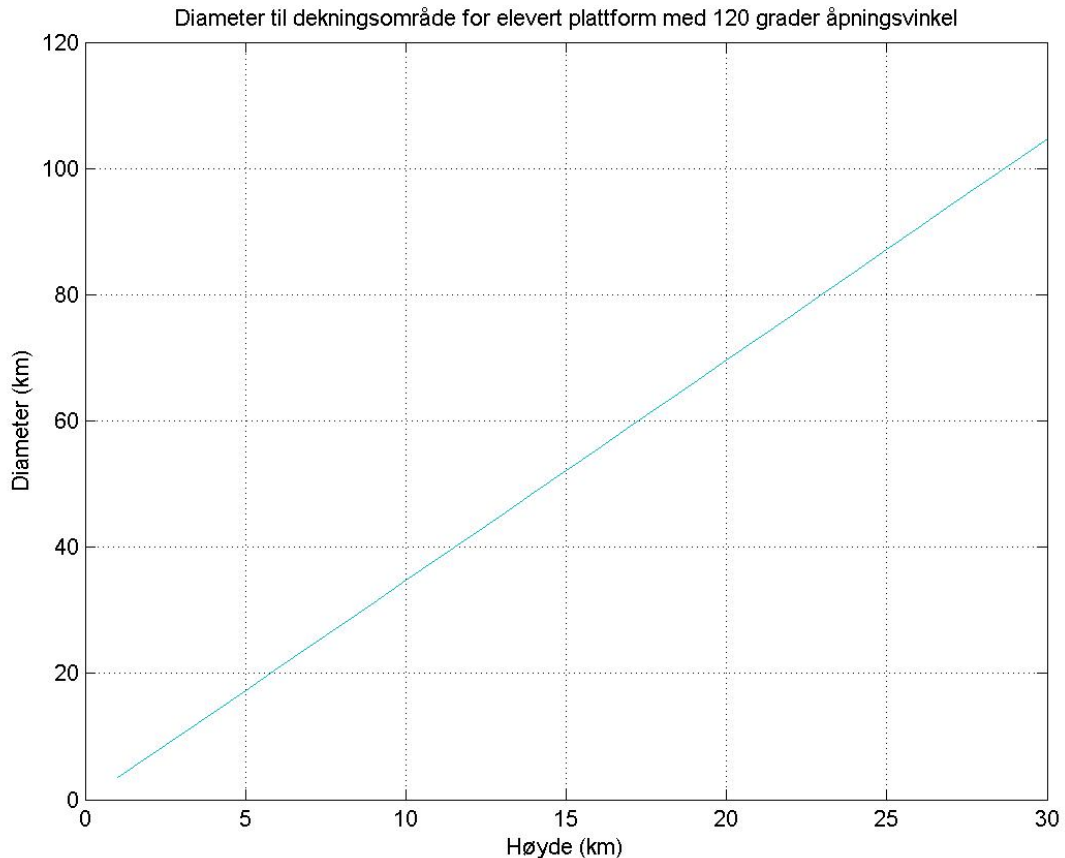
Figur 5.4 UAV som elevert relé.

Diameteren til dekningsområdet vil være avhengig av antennens åpningsvinkel og plattformens høyde. Ved hjelp av geometriske betraktninger kommer man fram til diameteren. Figur 5.5 viser dekningsområdet for en 20 cm parabol (Figur 5.2) mens Figur 5.6 gir dekningsområdet for en antenne med 120 grader åpningsvinkel (for eksempel Figur 5.3).



Figur 5.5 Dekningsområdets diameter for 20 cm parabol.

Som Figur 5.5 viser, er ikke parabolantennene praktiske til bruk som områdedekkende antenner ved høye frekvenser fordi området blir lite. Som antenne for punkt til punkt kommunikasjon er den derimot velegnet. I Figur 5.4 vil dette være linkene mellom plattformene eller mellom plattform og bakkestasjon. For områdedekkende antenner er det derfor nødvendig med større åpningsvinkel. En stor åpningsvinkel vil være en fordel for en plattform som sirkler for å minimere problemer med antennestyling. En rundstrålende antenne vil eliminere behovet for antennestyling og gi størst dekning.



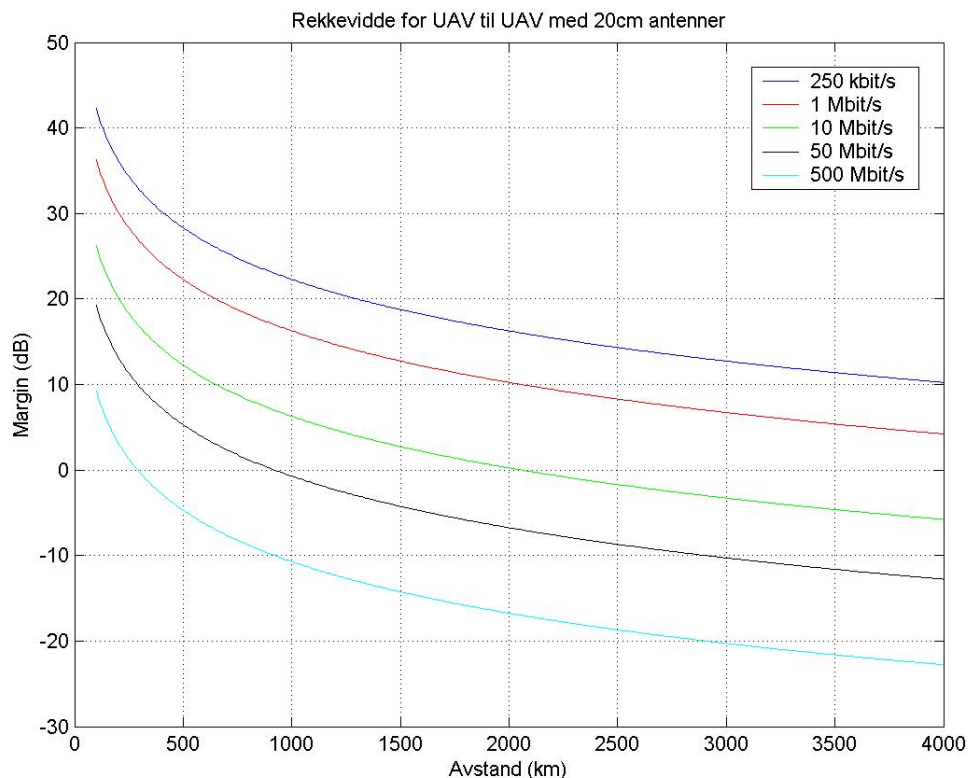
Figur 5.6 Dekningsområdets diameter for antenne med 120 grader åpningsvinkel

### 5.3 Linkbudsjettberegninger

Dette avsnittet gir forventet rekkevidde og kapasitet mellom to enheter som kommuniserer ut fra linkbudsjettberegninger. Grunnlaget for beregningene er gitt i appendiks A.

#### 5.3.1 Fri sikt mellom to eleverte plattformer

Figur 5.7 viser forventet rekkevidde i fri sikt mellom to 20 cm parabolantenner hvor sendereffekten er 2 W, frekvensen er 6 GHz, bitfeilrate er  $10^{-6}$  og kodegevinsten er antatt å være 6 dB og modulasjonen er QPSK eller BPSK. Frittromstapet er inkludert, men det er ikke tatt hensyn til atmosfæriske forhold som regn, vanndamp og lignende. Dersom forbindelsen går fra plattform til bakken, må man regne med slik dempning som er sterkt avhengig av frekvensen. Mellom to høytflygende plattformer vil ikke atmosfærens innvirkning være like stor fordi man kommer over nedbøren og mengden vanndamp blir mindre. Implementasjonstapet og diverse tap i mateledninger er satt til 3 dB hver. Gitt samme antennestørrelse, kan man forvente bedre rekkevidde ved høyere frekvens når man kan se bort fra atmosfæriske forhold. Som figuren viser, kan man forvente en kapasitet på flere hundre Mbit/s med en rekkevidde på noen hundre km ved 0 dB margin. Lavere båndbredde vil gi høyere rekkevidde.

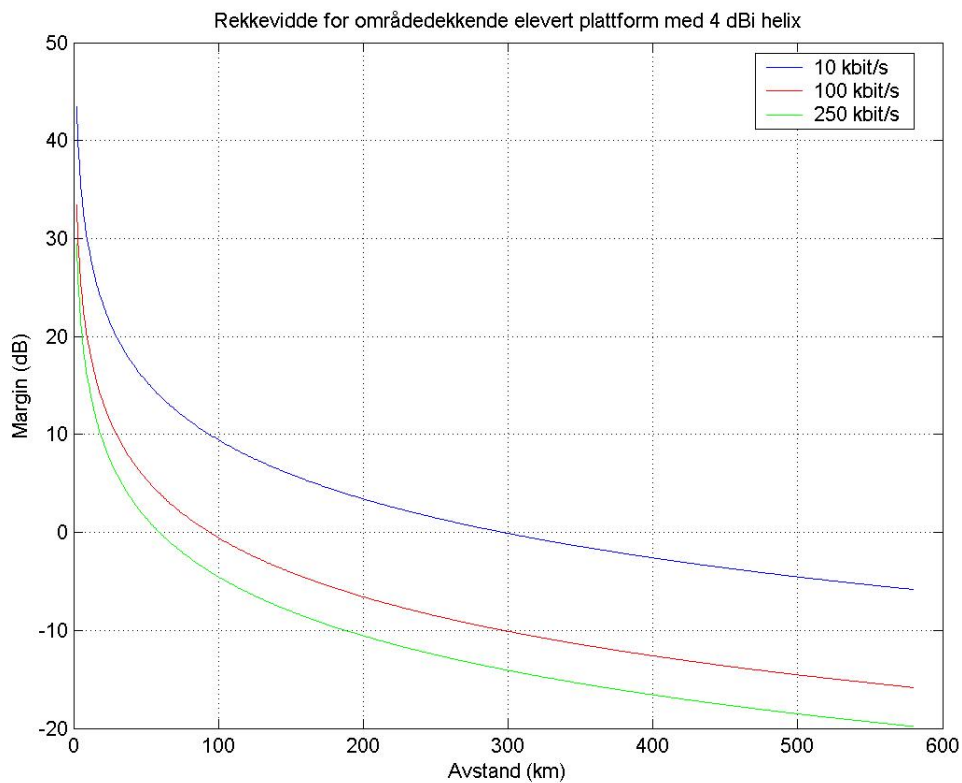


Figur 5.7 Fri sikt rekkevidde mellom to UAV-er.

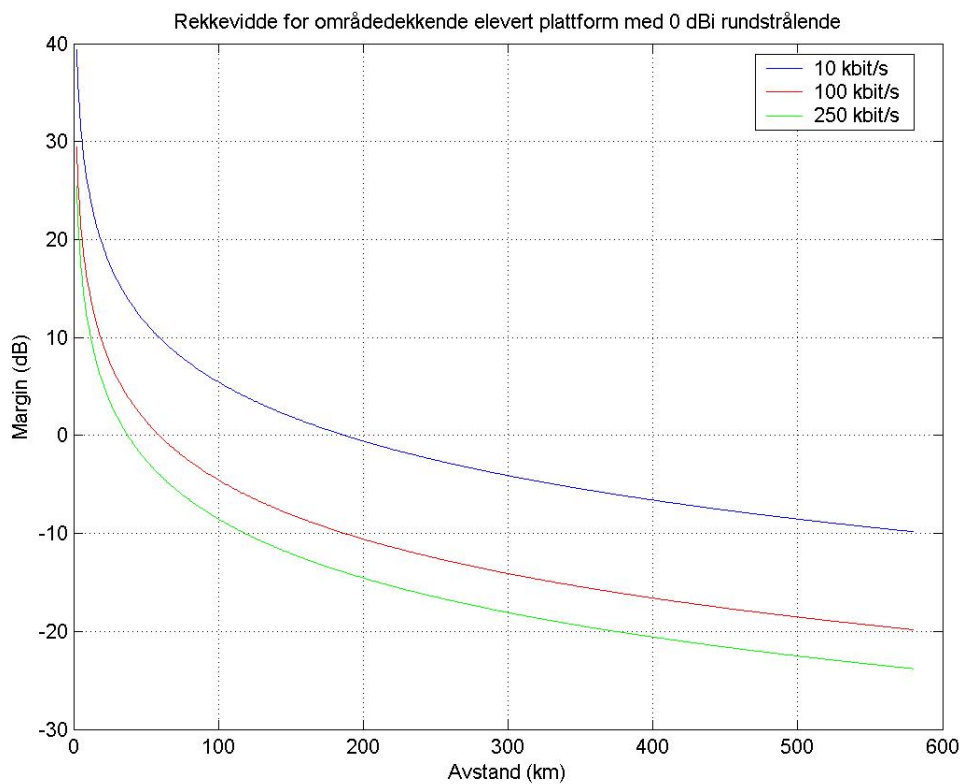
### 5.3.2 Områdedekkende elevert plattform

For en elevert plattform som skal være områdedekkende, kan man gjøre tilsvarende beregninger, og se på kapasiteten et slikt system kan støtte. En quadrifilar helix antenne som vist i avsnitt 5.1.2 har maksimal antennevinning ved omtrent  $60^\circ$ . Altså kan den dekke et område på  $120^\circ$  sett fra plattformen. Figur 5.10 viser at maksimal avstand til en plattform i 20 km høyde er snaut 600km dersom det ikke er hindringer i veien. Hvis det antas at senderantennen har 4 dBi vinning og mottakerantennen har 0dBi og resten er som for beregningen i Figur 5.7, viser Figur 5.8 at et slikt kommunikasjonsrelé med de gitte forutsetningene kan støtte 10 kbit/s, 100 kbit/s eller 250 kbit/s med rekkevidder som er henholdsvis 300km, 100km eller 70 km.

Dersom den eleverte plattformen har en 0 dBi rundstrålende antenne, vil de tilsvarende maksimale avstandene omtrent være henholdsvis 200 km, 60 km og 40 km som vist i Figur 5.9. For å oppnå terrengrobusthet i et slikt system, vil det kreve forholdsvis lave frekvenser, noe som kan føre til behov for store antenner. Dette kan være et problem, spesielt for små plattformer.

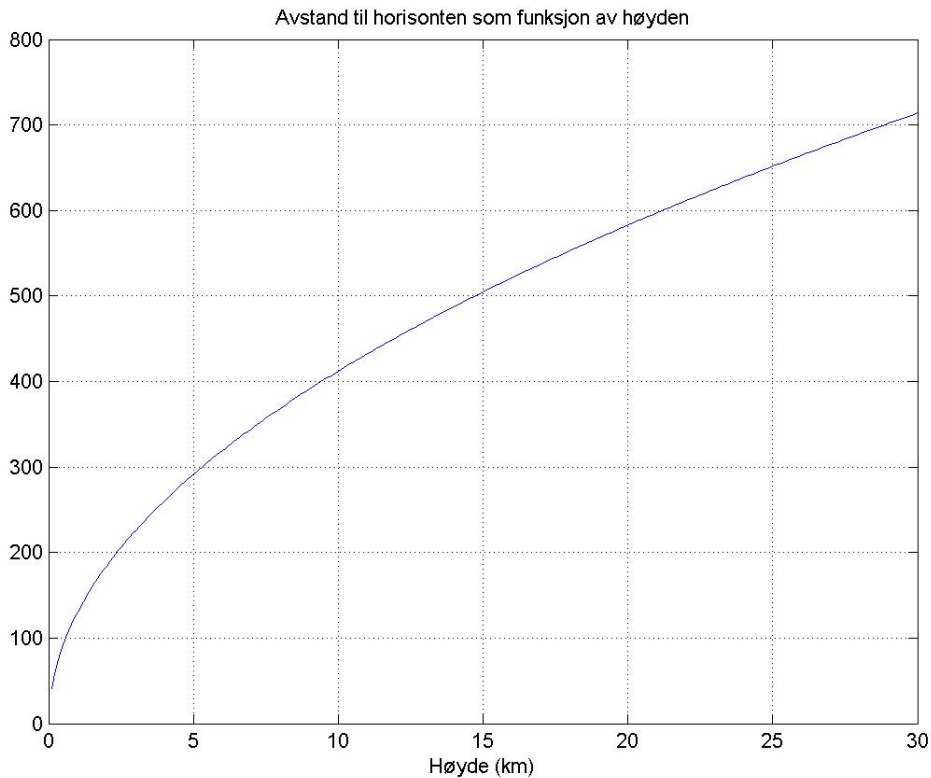


Figur 5.8 *Rekkevidde for områdedekkende elevert plattform med helix antenne.*



Figur 5.9 *Rekkevidde for områdedekkende elevert plattform med rundstrålende antenne.*

Figur 5.10 viser avstanden fra horisonten til en plattform i en gitt høyde basert på geometriske betraktninger gitt i appendiks A.1. På grunn av avbøyning i atmosfæren er jordradien erstattet med  $4/3$ \*jordradien. Dette vil være begrensende for fri sikt rekkevidde mellom plattform og bakkestasjon når det ellers er nok sendereffekt.



Figur 5.10 Avstanden fra plattform til horisonten som funksjon av høyden

## 5.4 Frekvenser

Post- og teletilsynet administrerer frekvensbruken i Norge. Det er avsatt forskjellige frekvensbånd til forskjellig bruk og det er ofte mange brukere i hvert bånd slik at det kan være vanskelig å få tilgang til de frekvensene man ønsker. Man må på forhånd få avklart hvilke frekvenser man kan benytte som ofte vil være en tidkrevende prosess.

## 5.5 Diskusjon

I dette kapitlet er det gjort noen enkle vurderinger av hvor stort dekningsområde man kan forvente av et elevert relé, kapasiteten releet kan tilby og hvilken rekkevidde man kan forvente. Det er viktig å være klar over begrensningene som ligger i et slikt system. Ønsker man stort dekningsområde, kan man ikke forvente stor kapasitet og omvendt hvis man ønsker stor kapasitet, kan man ikke få stort dekningsområde. Antennestørrelsen i et elevert relé vil også være begrenset, noe som også vil være begrensende for kapasiteten. Dette kan bli et problem dersom man ønsker å bruke lave frekvenser fordi da vokser antenestørrelsen.

## 6 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

Siden denne rapporten hovedsakelig har fokusert på plattformdelen av et elevert relé, vil en naturlig fortsettelse være blant annet å gå inn i selve kommunikasjonsproblematikken. Følgende punkter kan være interessante å se nærmere på:

- Interoperabilitet – Hva kreves for å oppnå interoperabilitet med samarbeidspartnere og hva har det å si for utstyret. Hvilke standarder er aktuelle og hvordan kan disse implementeres.
- Dimensjoner – Hvilke nyttelaster kan man forvente å kunne benytte på ulike typer plattformer, alt fra små mikroplattformer til store plattformer. Hvilke kapasiteter er realistiske med de begrensningene plattformen gir.
- Kartlegge og oppklare frekvensproblematikk. Man må se på relevante frekvensbånd og hvor aktuelt det er å benytte disse.
- Videre arbeid med kapasitetsberegninger og dekning.
- Løsninger for hvordan man kan realisere kommunikasjonsnettverk basert på eleverte plattformer.
- Kostnader og nytteeffekt av elevert relé.
- Sårbarhetsanalyser.
- Anbefale passende plattformer.
- Se på muligheten for samarbeid med andre aktører.

## 7 KONKLUSJON

Denne rapporten har gitt en oversikt over mulige plattformer for elevert relé. Den har tatt for seg bemannede og ubemannede fly og helikoptre, ballonger, luftskip og satellitter. Plattformtypene har både fordeler og ulemper, men siden rapporten er ment som en grunnlagsstudie for å vurdere eleverte relé i NBF, er det valgt å ikke være ekskluderende, så noen anbefaling er ikke blitt gjort. I motsetning til i (8), er det ikke gått inn på flytekniske detaljer. Karakteristisk for luftskip er at de kan løfte relativt store nyttelaster (opp mot 160.000 kg), oppnår en høyde på noen få km, er store og kan oppnå en hastighet på opp mot 100 km/t. ). I motsetning til luftskipa, har ikke ballonger aktiv styring, men kan bære forholdsvis store nyttelaster til relativt store høyder. Bemannede fly spenner fra store fly til helikoptre og seilfly og har veldig varierende lastekapasitet, rekkevidde og høyde. Fordelen med bemannede fly er at det er menneskelig intelligens. Blant ulemper er at en del av nyttelastkapasiteten går med til piloten(e)s vekt og til lifesupportsystemer og at det ofte er menneskelige fysiske begrensninger som hindrer manøvrer. Ubemannede fly (UAV) har mye av de samme egenskapene som bemannede. Store fordeler er at de i sin operasjonsmåte ikke behøver å ta hensyn til pilotens fysiske begrensninger. Vanligvis ønsker man å fjernstyre UAV-en for å ha full kontroll. Man kan også tenke seg en autonom UAV hvor operasjoner ikke vil bli begrenset av avhengigheten av kommunikasjonslinken til kontrollstasjonen. Satellitter kan i mange tilfeller være en attraktiv løsning for kommunikasjon. Dette fordi det tar kort tid å sette opp et samband og man har stort dekningsområde. Blant ulempene er sårbarhet og begrenset dekning i Nord-områdene. Sivile satellitter er generelt mer sårbare enn militære.

Rapporten vurderer også dekningsområdet for eleverte plattformer med forskjellige antenner og også noen linkbudsjettberegninger som gir hvilke datakapasiteter man kan forvente av et elevert kommunikasjonsrelé, både områdedekkende og punkt til punkt. For områdedekkende systemer med begrensede resurser, som vil være tilfellet med mange eleverte plattformer, vil kapasiteten hver enkelt plattform kan tilby være svært begrenset.

## 8 FORKORTELSER

ACN	Airborne Communications Node
DARPA	Defence Advanced Research Projects Agency (USA)
DoD	Department of Defence (USA)
DSCS	Defence Satellite Communications System
FSJ	Forsvarssjefen
GEO	Geostationary Earth Orbit
HALO	High Altitude Long Operation
HAP	High Altitude Platform
LEO	Low Earth Orbit
MEO	Medium Earth Orbit
MFU	Militærfaglig utredning
NASA	National Aeronautics and Space Administration (USA)
NBF	Nettverksbasert forsvar
OPV	Optionally Piloted Vehicle
PSTN	Public Switched Telecommunication Network
SATKOM	Satellittkommunikasjon
THOR	Tera Hertz Operational Reachback
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UK	Storbritannia
VTOL	Vertical Take Off and Landing



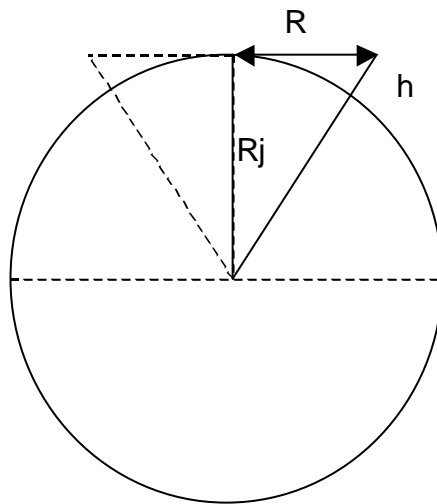
## APPENDIKS

### A TEORI

Dette appendiks omhandler noe teori for å beregne rekkevidder et kommunikasjonssystem kan oppnå.

#### A.1 Teoretisk rekkevidde begrenset av horisonten

Dette avsnittet gir den teoretiske begrensningen horisonten gir for en plattform i en bestemt høyde over jorda. Det er antatt at jorda er kuleformet med plan overflate.



Figur A.1 Horisontens begrensning for frisisikt

$$\begin{aligned} (R_j + h)^2 &= R^2 + R_j^2 \\ \Downarrow \\ R &= \sqrt{2R_j h + h^2} \approx \sqrt{8/3 R_j h} \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

På grunn av avbøyning i atmosfæren er  $R_j$  erstattet med  $4/3R_j$ , i likning (A.1). Avstanden fra en luftplattform til horisonten er vist i

#### A.2 Linkbudsjett

Ut fra linkbudsjettet gitt i likning (A.2)

$$\frac{E_b}{N_0} = P_t G_t \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{k} \frac{G_r}{T_{rs}} \frac{1}{R} \frac{1}{L} \quad (\text{A.2})$$

hvor  $E_b$  er energi pr bit,  $N_0$  er støytetthet,  $P_t$  er sendeeffekt,  $G_t$  er antennevinning i

senderantenne,  $\lambda$  er bølgelengden,  $d$  er avstand,  $k$  er Boltzmanns konstant ( $1.38 \cdot 10^{-23}$  W/Hz/K),  $G_r$  er antennevinning i mottakerantenne,  $T_{rs}$  er systemtemperatur i mottakeren,  $R$  er dataratet og  $L$  er andre tap som implementasjonstap, scintillasjon, fading, diffraksjon, polarisasjon, regn og atmosfærisk attenuasjon/absorpsjon. Likning (A.3) gir frittropmstapet, som er frekvens- og avstandsavhengig:

$$L_{path} = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (\text{A.3})$$

For en parabolantenne er antennevinningen  $G$  gitt som

$$G = \eta \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (\text{A.4})$$

hvor  $D$  er antennediameteren og  $\eta$  er antenneeffektiviteten. 3 dB lobe bredden ( $\theta_{3dB}$ ) er ofte gitt av

$$\theta_{3dB} = 70\lambda / D \quad (\text{A.5})$$

Ut fra likning (A.2) kan man finne et uttrykk for distansen  $d$  mellom en sender og mottaker:

$$d = \sqrt{\frac{P_t G_t G_r}{k T_{rs} R L} \frac{\lambda}{\frac{E_b}{N_0} 4\pi}} \quad (\text{A.6})$$

Linkmarginen  $M$  er definert som forholdet mellom  $E_b/N_0$  gitt i likning (A.2) og den  $E_b/N_0$  som gir minimum akseptabel bitfeilrate på linken –  $(E_b/N_0)_{\min}$ :

$$M = \frac{E_b}{N_0} / \left( \frac{E_b}{N_0} \right)_{\min} \quad (\text{A.7})$$

## Litteratur

- (1) FSJ MFU 03 – Konsept for nettverksbasert anvendelse av militærmakt – Grunnlag.
- (2) FSJ MFU 03 – Forslag til Konsept for militære informasjonsoperasjoner.
- (3) FSJ MFU 03 – Kommandokonsept i nettverksbasert forsvar – Grunnlag
- (4) Department of Defense, USA – UAV Roadmap 2002 – 2007
- (5) Pålhaugen Lene (2003): BRUK AV SIVIL SATELITTKOMMUNIKASJON I NETTVERKSBASERT FORSVAR - Innledende betraktninger, FFI/RAPPORT-2003/00332, U
- (6) (2003): 31. mars, side 18, "Iridium puts second satellite plans on hold"., *Spacenews International*.
- (7) Limbodal Claus, Meisal Kjetil, Hestad Geir (2003): Valg av antennedesign for mikrosatellitt, samt feilrettende koding med hensyn på linkbudsjettet. Hovedprosjekt ved Høgskolen i Oslo.
- (8) ØSTBØ, Morten (2003): Unmanned Aerial communications platforms, FFI/RAPPORT-2003/00423, U