

Redegørelse for satellitkommunikation i Grønland



Udarbejdet af: Flemming Hansen

Dokumentnummer: SCG-MIS-TN-001

Dato: 2023-03-21 | Version: 2 final

Indholdsfortegnelse

1	Resumé – Executive Summary	5
2	Introduktion	7
2.1	Formål og omfang	7
2.2	Rapportens struktur	7
3	Perspektiver	8
3.1	Introduktion	8
3.2	Arktisk Råds rapporter	9
3.3	Den digitale økonomi	9
3.4	Mega-konstellationer	10
3.4.1	Iridium NEXT	10
3.4.2	OneWeb	10
3.4.3	SpaceX Starlink	13
3.4.4	Amazon Kuiper Systems	14
3.4.5	Telesat Lightspeed	14
3.4.6	EU Secure Connectivity	15
3.4.7	LeoSat	15
3.4.8	Boeing LEO konstellation	15
3.4.9	GuoWang	16
3.5	Mega-konstellationer og 5G mobilkommunikation	16
3.6	Satellitkommunikation direkte til mobiltelefoner	16
3.6.1	Lynk Global	17
3.6.2	AST SpaceMobile	18
3.6.3	Omnispace	19
3.6.4	Starlink	19
3.6.5	Globalstar	19
3.6.6	E-Space	20
3.7	Satellitter i højelliptiske baner	20
3.7.1	Space Norway HEOSAT - Arctic Satellite Broadband Mission	20
3.7.2	ESCP-Polar	21
3.7.3	Mangata Networks	22
3.8	Satellitter i geostationære baner	22
3.8.1	Inmarsat	24
3.8.2	Viasat	25
3.8.3	Intelsat	26
3.8.4	SES	26
3.9	Andre konstellationer	26
3.9.1	O3b	26
3.10	Internet of Things	27

4	Tusass A/S – Grønlands teleinfrastruktur	29
5	Sikkerhed.....	31
5.1	Cyber-sikkerhed	31
5.2	Rumsikkerhed	32
6	Regulatoriske aspekter.....	33
7	Fremtidsudsigter	33
8	Konklusion.....	34

Appendices

A.	Forkortelser.....	36
B.	Ordforklaringer	39
C.	Grundbegreber.....	41
D.	Referencer.....	48
E.	Kommissorium	53

Figurer

Figure 3-1	Illustration af OneWeb konstellationen.....	8
Figure 3-2	OneWeb satellitterterminaler til forskellige anvendelsesområder	11
Figure 3-3	OneWeb jordstationskompleks udenfor Nuuk	12
Figure 3-4	Starlink brugerterminal	13
Figure 3-5	Skitse af Kuiper terminal, som viser dimensioner og hovedspecifikationer	14
Figure 3-6	Lynk Global's udviklingsteam fremviser deres satellitdesign (90x90x10 cm)	17
Figure 3-7	AST SpaceMobile's BlueWalker 3 testsatellit med 64 m ² phased array antenne	18
Figure 3-8	Illustration af Onmispace Spark-1 og Spark-2 i kredsløb om Jorden	19
Figure 3-9	Dækningskort for Arctic Satellite Broadband Mission	21
Figure 3-10	Mangata Networks konstellationen af satellitter i MEO og HEO baner	22
Figure 3-11	Inmarsat BGAN dækningskort.....	23
Figure 3-12	Inmarsat Global Xpress GEO dækningskort	24
Figure 3-13	Viasat-3 dækningskort.....	25
Figure 3-14	Viasat-3 satellitten i rummet med den store parabolreflektor udfoldet.....	25
Figure 4-1	Teleinfrastruktur i Grønland 2022.....	29
Figure 4-2	Dækningsområder for GreenSAT nyttelasten på Amazonas Nexus satellitten.....	30

1 Resumé – Executive Summary

I de kommende år frem mod 2030 vil vi opleve en voldsom udbygning af satellitkommunikation baseret på såkaldte mega-konstellationer, hundredevis eller tusindvis af satellitter i lave kredsløb om jorden i højder mellem ca. 500 km og 1400 km.

Fordelen ved det lave kredsløb er først og fremmest den lave tovejs-forsinkelse (latency) mellem brugerterminalen og en server, typisk omkring 50 ms, hvilket er sammenligneligt med kablede forbindelser og mobilkommunikation. Dertil kommer, at man kan opnå global dækning ved at lade banerne gå over polerne. Til gengæld kræves der op mod hundrede satellitter som minimum for global dækning.

Geostationære satellitter i kredsløb omkring ækvator i 35786 km højde kan dække globalt bortset fra de højeste nordlige og sydlige breddegrader med blot tre satellitter. Ulempen er så, at tovejs-forsinkelsen bliver minimum 600 ms, hvilket er generende både ved tale og dataforbindelser.

Iridium og Globalstar var de første konstellationer i lave kredsløb. Globalstar dækker dog ikke høje breddegrader og dermed ikke Grønland, men Iridium, som dækker globalt, har vist sin berettigelse til telefoni og lav-og mellemhastigheds dataforbindelser i Arktis og Grønland gennem mange år.

Iridiumkonstellationen med sine 66 satellitter er dog en dværg ved siden af de nye mega-konstellationer, som er undervejs, med OneWeb og SpaceX' Starlink som de fremmeste. OneWeb konstellationen er ikke færdig, men kan tilbyde bredbåndsdækning i Arktis på forsøgsbasis. Starlink konstellationen er heller ikke færdig, men tilbyder bredbåndsdækning på lavere breddegrader i udvalgte områder, herunder Danmark. Starlink dækning i Grønland skulle være tilgængelig i løbet af 2023.

Forretningsmodellen for de to firmaer er meget forskellig. OneWeb sælger kun terminaler og abonnementer gennem lokale teleselskaber og har fortrinsvis sigte på det professionelle marked, mens Starlink har opbygget en global salgsorganisation, der sælger terminaler direkte til slutbrugerne.

De andre (mega-) konstellationer som er på vej eller i er planlægningsstadiet omfatter Amazon Kuiper Project, canadiske Telesat Lightspeed, Boeing, og det kinesiske GuoWang projekt. Endvidere har EU meddelt, at de vil bygge en konstellation til global dækning med særlig sikker kommunikation.

Hvis alle igangværende planer lykkes, vil der være et tocifret antal tusinde kommunikationssatellitter i kredsløb i 2030. Hvis det ligeledes lykkes at få priserne på brugerterminaler og abonnementer bragt ned til et niveau, som almindelige husholdninger og andre brugere kan og vil betale, vil der også være brugere til den enorme båndbredde, der vil blive udbudt, og dermed indtjening til forrentning og afskrivning af de kolossale investeringer, som er nødvendige.

Det er dog spørgsmålet, om alle planlagte mega-konstellationer vil lykkes. Konkurrencen er benhård, og der har allerede været konkurer i branchen og nedskalering af ambitionerne, når finansieringen ikke slog til.

I den lidt mere beskedne afdeling af satellitbranchen finder man det statslige norske firma Space Norway, som forbereder to satellitter til opsendelse i en højelliptisk bane, som bringer satellitterne højt over Arktis, hvor de vil levere bredbåndsforbindelse til både civile kunder og militære platforme.

Teknologiudviklingen indenfor satellitterterminaler bevæger sig i to parallelle spor. Det første er at parabolantener, som er store og besværlige at installere, i stigende omfang vil erstattes af såkaldte phased array antenner, som er flade, og som nemt kan installeres på taget af en bil, eller alle mulige andre steder. De lavtgående satellitter bevæger sig hurtigt over himlen og med få minutters mellemrum skal man skifte til den næste satellit for at holde forbindelsen. For at opretholde kontinuerlig forbindelse skal man bruge to parabolantener, mens en phased array antenne styrer antennestrålen elektronisk og kan skifte til den næste satellit på millisekunder. Udfordringen med terminaler baseret på phased array antenner er at få prisen bragt ned på et niveau, der bringer

terminalens pris på linie med andre varige forbrugsgoder. Starlink er tæt på at være i mål med dette. Firmaet Kymeta har udviklet en flad antenne baseret på et holografisk princip og med samme produktionsteknik som LCD-fladskærme og dermed potentielt meget fordelagtige priser.

Der andet spor bygger på, at satellitterterminaler hidtil har været proprietære, d.v.s. de kan kun benyttes til den konstellation eller det system, de er købt til. Kommer der et bedre system, må man købe en ny terminal. I stigende grad bygger både satellitterterminaler, mobiltelefoner og radioudstyret i mobilmasten på såkaldt software defineret radio (SDR) teknologi. Det vil sige, at man digitaliserer det modtagne signal fra antennen efter forstrækning og nedkonvertering til en lavere frekvens, og foretager resten af signalbehandlingen i et digitalt kredsløb. Derved kan man skifte til et nyt kommunikationsformat blot ved at udskifte et softwaremodul. Det samme princip gælder i senderen, blot med et signalførløb den modsatte vej fra det skabes i et digitalt kredsløb, til det omdannes til et radiosignal og tilføres antennen. Derved vil det blive muligt at skifte til et andet satellitsystem blot ved en softwareopdatering, så længe man holder sig til samme radiofrekvensbånd.

Et særligt banebrydende perspektiv er igangværende projekter, som vil etablere bredbåndsdækning fra satellitter i lave kredsløb direkte til en standard 5G smartphone. Firmaet AST SpaceMobile har i september 2022 opsendt deres første eksperimentelle satellit, og det vil snart vise sig om konceptet holder. Andre firmaer, herunder Starlink, er også i gang med at konstruere systemer til satellitkommunikation via smartphones, men kun SMS, tekstbaserede e-mails og taleforbindelser. Hvis det lykkes at etablere en mega-konstellation der dækker globalt med bredbånd direkte til smartphones, vil mobil roaming antage en ny dimension. Det vil kræve et utal af roamingaftaler med lokale teleselskaber og også sætte de regulatoriske bestemmelser under pres.

Konceptet Internet of Things (IoT), går ud på at tilkoble enhver tænkelig sensor, der benyttes til overvågning af alt fra fjerntliggende infrastruktur til vejrstationer, forbrugsmålere og hjemmegående patienter med f.eks. hjerteproblemer til Internettet. Hvor jordbaserede netværk er tilgængelige, er det let at få etableret forbindelsen, men udenfor rækkevidde af disse må man benytte kommunikations-satellitter. IoT er ikke nyt i satellitverdenen. Firmaerne Inmarsat, Iridium, Globalstar og ORBCOMM er etablerede spillere på dette marked, men en lang liste af nye firmaer er i gang med at etablere sig på satellit IoT markedet med egne konstellationer. I rapporten er der identificeret 27 firmaer indenfor denne branche, men der er sikkert adskillige flere. Igen må man regne med at satellit IoT enheden er proprietær, så man må skifte udstyr, hvis man vil skifte satellit IoT udbyder.

De mange tusinde satellitter, der skal opsendes de kommende år, og som skal fornyes med 5 – 7 års mellemrum vækker alvorlige bekymringer om rumsikkerhed, væksten i rumskrot og den stigende risiko for kollisioner, som vil skabe endnu mere rumskrot, så rummet omkring jorden med tiden bliver utilgængeligt. Der vil helt sikkert indenfor det kommende tiår komme restriktioner på antallet af opsendelser og satellitter i lave baner, hvis der skal være en fremtid for satellitkommunikation, vejr-satellitter miljøovervågnings-satellitter, videnskabelige satellitter etc. Den nuværende tingenes tilstand er ikke holdbar i længden. Ejerne af de store konstellationer bedyrer, de konstant overvåger risikoen for kollisioner med andre satellitter og styrer deres satellitter udenom, og at de vil tage satellitterne ned, når de er udtjente, men en vis procentdel af dem vil svigte og blive utilgængelige, mens de er i kredsløb, og dermed blive rumskrot. Der arbejdes med at udvikle robotsatellitter, der kan nedtage døde satellitter, men der er stadig på et meget tidligt udviklingstrin og under alle omstændigheder en dyr teknologi.

Vi ser også i stigende grad at satellitter bliver mål for hacking og cyber-angreb. Disse angreb går gennem satellitternes jordbaserede infrastruktur og dermed kan hackerne både ramme selve satellitinfrastrukturen og brugerterminalerne. Dette er allerede sket, så det er ikke et fremtidsscenario, og beskyttelse og robusthed mod hackerangreb må designes ind i hele systemet. Kryptering af kommunikationen er en selvfølge i dag, men det hjælper ikke mod at systemet sættes ud af funktion eller kontrollen overtages af cyber-kriminelle, hvis de først har hacket sig ind i hjertet af infrastrukturen.

2 Introduktion

2.1 Formål og omfang

Formålet med denne rapport er at redegøre for de teknologiske aspekter af udviklingen indenfor satellitkommunikation i Grønland, vurderet med en tidshorizont på 10 år. Dette omfatter følgende emner, jvf. kommissoriet Appendix E:

- Mega-konstellationer i lave baner om jorden, som giver bredbåndsdækning.
- Geostationære High Throughput Satellite (HTS) konstellationer, som giver bredbåndsdækning.
- Satellitkonstellationer i højelliptiske baner (TAP og Molniya).
- Kompatibilitet mellem 5G mobilkommunikation og de nye mega-konstellationer.
- Satellitkommunikation og IoT
- Helhedsvurdering af den samlede grønlandske teleinfrastruktur
- Kan de nye mega-konstellationer og HTS-konstellationer med fordel integreres i Tusass' teleinfrastruktur?

2.2 Rapportens struktur

I afsnit 1 gives et resumé (executive summary) af rapporten.

I afsnit 3 gives en oversigt over den forventede udvikling indenfor satellitkommunikation i den definerede 10-års ramme og de perspektiver det medfører for Grønland og Arktis. Dette omfatter både satellitkonstellationer i lave baner om jorden, afsnit 3.4, satellitter i højelliptiske baner, afsnit 3.7, og geostationære satellitter, afsnit 3.8.

I afsnit 3.5 og 3.6 præsenteres perspektiverne for integration af 5G mobilkommunikation og satellitter.

Tingenes Internet – Internet of Things (IoT) har udviklet sig fra at benytte jordbaseret kommunikation til at være et meget innovativt og hastigt ekspanderende område for satellitkommunikation. Dette beskrives i afsnit 3.10.

I afsnit 4 beskrives den grønlandske teleinfrastruktur, på det stadi, der er opbygget af Tusass A/S gennem en mangeårig indsats.

Cyber-sikkerhed for satellitkommunikationssystemer og rumsikkerhed diskuteres i afsnit 5 og de regulatoriske aspekter i afsnit 6. Disse hører egentlig under en eventuel udvidelse af redegørelsen, men disse vurderes så væsentlige, at der gives et kort rids af områderne i denne rapport.

Forkortelser, ordforklaringer og grundbegreber for satellitkommunikation findes i Appendices henholdsvis A, B og C. Referencer findes i Appendix D.

Nogle af referencerne er fra Wikipedia online-leksikonet, som er en troværdig kilde til viden. Det kan anbefales at supplere referencerne givet i denne rapport med søgning på specifikke emner, satellitter, konstellationer, firmaer m.v. i Wikipedia, hvis der ønskes yderligere information om disse emner.

3 Perspektiver

I dette afsnit giver en oversigt over de vigtigste satellitkommunikationssystemer og megakonstellationer, og deres betydning for Grønland indenfor en 10-års horisont.

3.1 Introduktion

Adgangen til Internet og mobiltelefoni i Grønland har været i hastig udvikling i de seneste år, således at man i 2019 opnåede, at 92% af den grønlandske befolkning har adgang til hurtigt flatrate Internet og 4G mobiltelefoni, [1], [2], [3]. Denne del af befolkningen omfatter byerne, som der tilsluttet søkablet Greenland Connect udvidet med Greenland Connect North i 2018 og radiokæden langs vestkysten fra Kullorsuaq i nord til Ikerasassuaq i syd. De byer og bygder, der dækkes via satellit, er også på vej med flatrate tilbud. Således fik Tasiilaq i 2020, og i 2021 Ittoqqortoormiit også adgang til flatrate abonnemeter, [3], [4].

Denne udvikling i tilgængeligheden af flatrate abonnement og øget båndbredde har som konsekvens at forbruget øges, men at Tusass' indtjening ikke følger med i samme takt, hvilket sætter sætter Tusass' investeringer i udbygning af båndbredden under pres.

I juli 2023 forventes satellitten Amazonas Nexus, ejet af satellitoperatøren Hispasat sat i drift. Tusass har i denne satellit købt en nyttelast kaldet GreenSAT til dækning af Grønland. Til betjening af GreenSAT er der bygget nye jordstationer i Tasiilaq, Ittoqqortoormiit og Qaanaaq samt i Nuuk. Denne satellit vil give en kraftig forøget båndbredde til disse områder.

Mega-konstellationerne vil fra 2023 og årene fremover blive en "game changer" for telekommunikation det arktiske område. Med en samlet befolkning i Arktis på ca. 4 millioner kan det undre at globalt orienterede satellitoperatører interesserer sig så meget for Arktis. Det hænger sammen med at megakonstellationer af satellitter, der opsendes i polære baner, kan begynde at levere tjenester og tjene penge med bare en del af satellitterne i kredsløb.

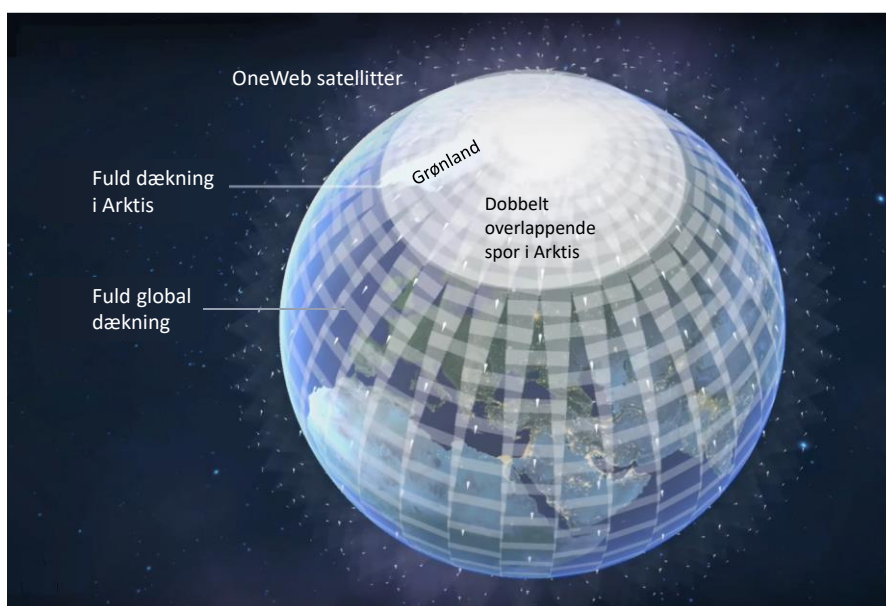


Illustration: Oneweb (oversat og kommenteret af forfatteren)

Figure 3-1 Illustration af OneWeb konstellationen

Dette illustreres i Figure 3-1, som viser OneWeb konstellationen af 588 satellitter i polære kredsløb. De ses tydeligt at satellitbanerne konvergerer over det arktiske område. Firkanterne på jorden

illustrerer dækningsområdet for hver satellit, og hvor de overlapper, er farven lysere. I det Arktiske område fra ca. 60°N er farven endnu lysere, eftersom satellitterne her overlapper dobbelt. Derfor er Arktis dækket ind med kun en halvt komplet konstellation.

Til gengæld giver de stærkt overlappende dækningsområder for satellitterne i konstellationen på høje breddegrader problemer med at de "snakker i munden på hinanden", og dermed skaber gensidig radiointerferens. Derfor må man slukke for halvdelen eller måske flere af satellitterne mens de passerer over polerne. Der er ligeledes krav fra hos International Telecommunication Union (ITU) om at de lavtgående satellitter ikke må forstyrre signalerne fra geostationære kommunikationssatellitter, når de benytter samme frekvensbånd. Derfor kan det blive nødvendigt for satellitter i mega-konstellationerne at slukke for nogle af signalerne eller eventuelt hele nyttelasten over visse områder.

3.2 Arktisk Råds rapporter

I 2017 og 2019 udgav to arbejdsgrupper under Arktisk Råd to rapporter om telekommunikation i Arktis, "Telecommunications infrastructure in the Arctic: A circumpolar assessment", [5], og "Improving Connectivity in the Arctic", [6]. Disse to meget detaljerede rapporter afdækker behov, muligheder og udviklingstendenser i Arktis for alle former for telekommunikation. Disse rapporter udgør en meget værdifuld vidensbase om arktisk telekommunikation. Det skal dog bemærkes, at på nogle områder har udviklingen både gået hurtigere og langsommere end forudset i rapporterne.

Således blev Tusass' mål om udbredelse af bredbånd og flatrate abonnementer, jvf. ovenfor, nået hurtigere end forventet, mens OneWeb og Starlink mega-konstellationerne er blevet forsinkede, jvf. Nedenfor. Dertil kommer nye projekter, som ikke var annonceret i 2019 under den seneste rapports tilblivelse.

3.3 Den digitale økonomi

Et moderne samfunds sammenhængskraft er i dag i særdeles høj grad afhængigt af effektive elektroniske, digitale kommunikationskanaler: Internettet og mobilnettet. Den digitale verden berører alle både borgere og virksomheder. Deres muligheder for effektive at begå sig i et moderne samfund er i stigende grad afhængigt af at kunne "logge ind" i den digitale økonomi og udveksle informationer og udføre finansielle og kontraktuelle transaktioner. Dertil kommer borgeres og virksomheders kontakt med myndigheder, sundhedssektoren (telemedicin), [32].

Det særlige ved den digitale økonomi er den nye form for produktions- og distributionsapparat, den muliggør. En stigende andel af den global økonomi udgøres af immaterielle produkter i form af Internet tjenester, apps, videoer, reklamer, big data, m.v. som kan skabes hvor som helst på en computer, lægges på en server og distribueres globalt. Kun konnektiviteten sætter grænsen for, hvad der kan lade sig gøre.

I tætbefolkede egne er det især optiske fibre og mobilnettet, der bærer kommunikationen, mens i tyndtbefolkede egne med store afstande mellem befolkningscentre er det ikke økonomisk muligt at etablere dækkende mobilnetværk eller kablede netværk udenfor byerne. Dertil kommer udfordringen med at binde befolkningscentrene sammen i et udfordrende terræn og klima, og med store afstande.

Grønland er et eksempel på disse store udfordringer. Det til trods er det lykkedes at koble Grønland tæt ind i den digitale økonomi, men stadig med mærkbare begrænsninger i båndbredde i forhold til tætbefolkede egne.

Satellitkommunikation er i et land som Grønland en vigtig infrastruktur til at nå de sværest tilgængelige befolkningscentre. Med de nye muligheder indenfor satellitkommunikation, som beskrives i det følgende, vil selv den mest afsides beliggende lokalitet kunne blive en del af den digitale økonomi. Da disse nye muligheder stilles til rådighed af multinationale hightech-virksomheder, er det vigtigt at der er regulatorisk klarhed og fleksibilitet omkring tilgængeligheden af de nye tjenester.

3.4 Mega-konstellationerne

Hvor Tusass indtil i dag har været eneoperatør til forsyning af det grønlandske samfund med telekommunikation, er nye operatører på vej. Det er de såkaldte mega-konstellationer. De to førende projekter er OneWeb, [8], og Starlink, [9], men der er adskillige andre mega-konstellationer under planlægning.

Mega-konstellationer er en populær betegnelse for satellitkommunikationssystemer, der kommer til at bestå af flere hundrede eller flere tusinde satellitter i lavt kredsløb om Jorden, d.v.s. fra ca. 500 km til ca. 1400 km højde. Målet for selskaberne bag mega-konstellationerne er at levere bredbåndsforbindelser hvor som helst på kloden til millioner af brugere, som i dag ikke har adgang til dette. Dertil kommer dækning af oceanerne og luftrummet, hvor de terrestriske systemer ikke kan nå.

3.4.1 Iridium NEXT

Iridium NEXT, [7], er 2. generation af den i Grønland velkendte Iridium konstellation med 66 satellitter i 780 km baner over polerne. Iridium NEXT blev sat i drift februar 2019 og tilbyder en service, kaldet Iridium CERTUS, med downlink/uplink hastigheder op til 704/352 kbit/s til både fast monterede, mobile og maritime brugerterminaler. Iridium benytter inter-satellit links og har derfor ikke brug for mere end nogle få teleports globalt for at forbinde Iridium-systemet til det globale kommunikationsnetværk. Bithastighederne, der leveres af Iridium er ikke bredbånd i moderne forstand, men nyttige til rigtig mange formål. Der findes ikke flatrate abonnementer til Iridium, og forbruget afregnes pr MegaByte til priser omkring 9,50 DKK pr MByte for et 1 GByte/måned abonnement.

Til forskel fra OneWeb, Starlink og andre mega-konstellationer kan man også benytte håndholdte enheder til Iridium systemet i form af en satellittelefon, f.eks. Iridium Extreme 9575, [34], som er en del større end en normal smartphone. Denne type enhed er et godt sikkerhedsudstyr, og meget benyttet i Grønland, hvis man færdes udenfor rækkevidden af Tusass' mobilnet.

Alle Iridium NEXT satellitterne har en ekstra nyttelast om bord fra firmaet Aireon, som opfanger ADS-B signaler fra fly, således at flytrafikken kan overvåges globalt uafhængigt af landbaserede stationer.

3.4.2 OneWeb

OneWeb konstellationen, [8], består af 588 satellitter i 12 baneplaner og 49 satellitter pr baneplan i 1200 km højde. Opsendelserne påbegyndtes i februar 2020, og 422 satellitter er opsendt pr februar 2022. Konstellationen forventes færdig i 2023. OneWeb konstellationen går i polære baner med 87,4° inklination, så global dækning er sikret.

OneWeb tilbyder bredbåndsservice til både fast monterede, landmobile og maritime brugerterminaler, samt terminaler til fly. De første OneWeb brugerterminaler på markedet benytter parabolantener, se Figure 3-2, billede 2 og 3, som via et mekanisk system kan følge satellitterne hen over himlen. Med 49 satellitter pr baneplan og en omløbstid på ca. 109 min., skal der ske en handover fra en satellit til den næste med få minutters mellemrum for ikke at få "huller" i forbindelsen. Dette kræver to parabolantener, hvilket forøger omkostningerne for brugeren. Med en "phased array" antenne se Figure 3-2, billede 1 og 3, får man to fordele: 1) antennen er flad med en tykkelse på nogle få centimeter og 2) man behøver kun én antenne, da radiostrålen følger satellitten elektronisk og kan lave handover til den næste satellit på så kort tid, at der ikke mærkes noget udfald i forbindelsen, [35]. Der arbejdes på at få prisen på den meget komplekse phased array teknologi nedbragt til et konkurrencedygtigt niveau.

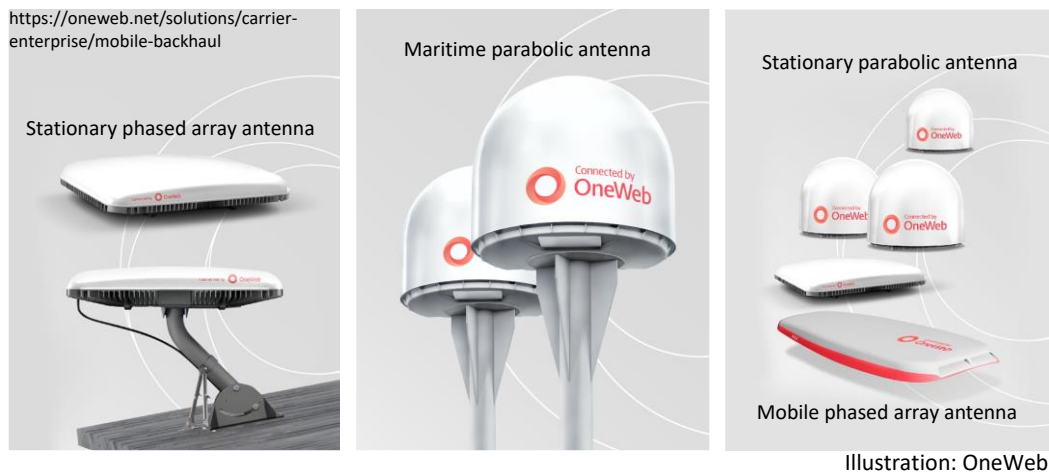


Figure 3-2 OneWeb satellitterterminaler til forskellige anvendelsesområder

OneWeb tilbyder bredbåndsservice med downlink/uplink hastigheder op til 195/32 Mbit/s. Forsinkelse/latency er specificeret til <70 ms. I modsætning til Iridium benytter OneWeb ikke intersatellit links i deres første generations konstellation. Det indebærer, at der skal være teleports/jordstationskomplekser overalt på kloden jævnt fordelt, så alle brugersegmenter kan nås. Til dækning af den grønlandske del af Arktis er der bygget en teleport i Nuuk med 21 parabolantennener, Figure 3-3. Ligeledes er der teleports i Canada, Alaska og på Svalbard med op til 28 parabolantennener. Derfor er dækning sikret i det meste af Arktis.

OneWeb annoncerede 1. juli 2021, [36], at de havde nået målet "Five to 50", hvormed de mener at de er i stand til at dække alle breddegrader over 50°N, hvilket omfatter England, Canada, Alaska, Nordeuropa, Grønland og Arktis.

Ifølge Tusass er OneWeb satellitterterminaler opstillet flere steder i Grønland, foreløbigt på forsøgsbasis. Tusass har indgået forhandleraftale med OneWeb med eneret for Grønland.

Kundesegmentet for OneWeb er professionelle brugere (maritime, luftfart, landmobile, faste installationer hos virksomheder). Hertil kommer statslige og militære brugere samt mindre landsbysamfund, der deles om en terminal.

Det skal bemærkes, at efter konkursen i marts 2020 har OneWeb nedskaleret konstellationen fra 648 satellitter i 18 baneplaner med 36 satellitter i hver, til 588 satellitter i 12 baneplaner med 49 satellitter i hver, [37]. Det svarer til en reduktion på ca. 10% på den totale kapacitet af konstellationen.

De seneste opsendelser af OneWeb satellitter er sket 22. oktober 2022 og 8. december 2022. Antallet af operationelle satellitter er nu oppe på 502. Der er planlagt yderligere tre opsendelser i starten af 2023, således at den fulde konstellation skulle være nået inden udgangen af 1. kvartal 2023, [96].

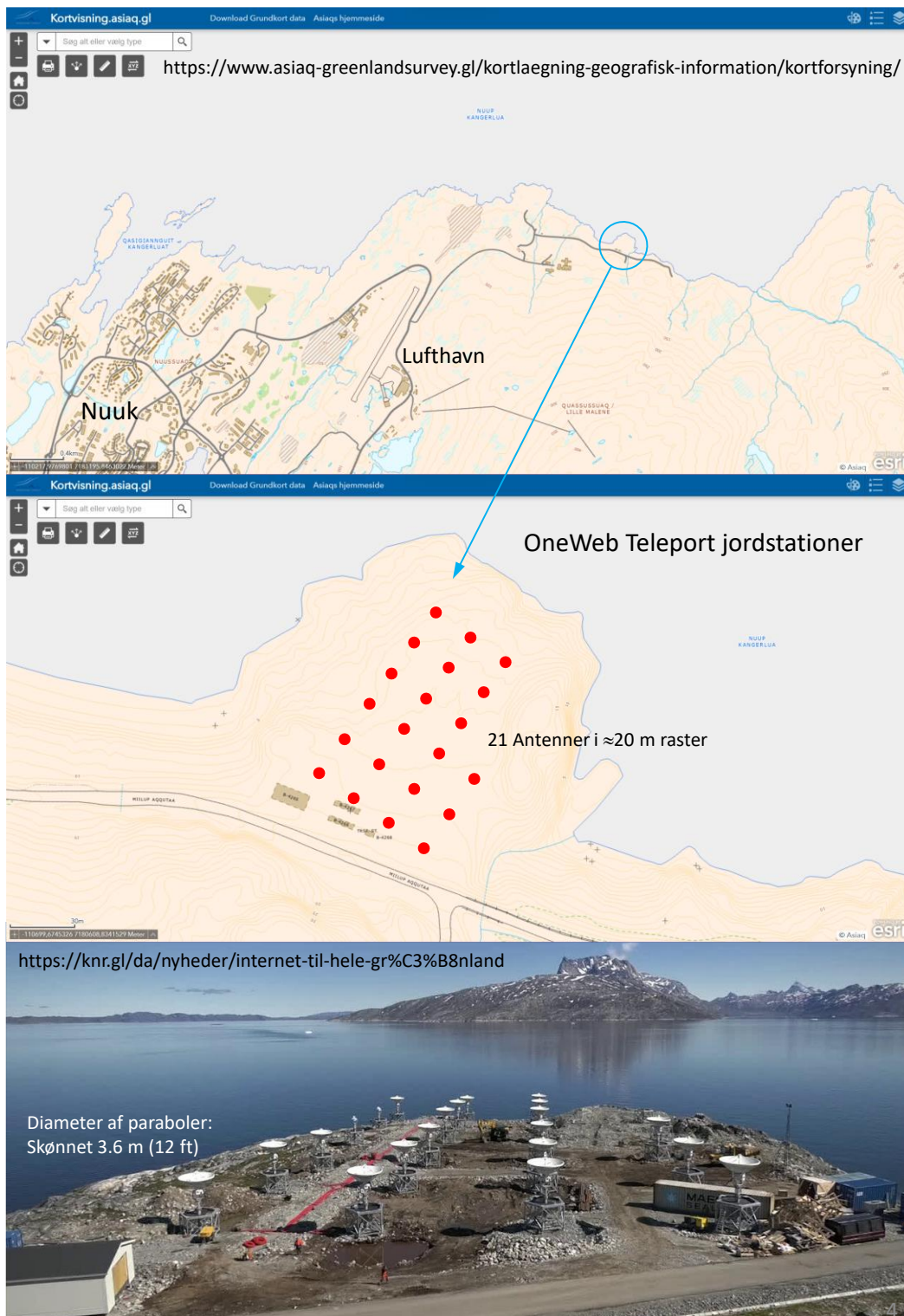


Figure 3-3 OneWeb jordstationskompleks udenfor Nuuk

3.4.3 SpaceX Starlink

Starlink konstellationen, [9], vil, når den første fase af opsendelser er fuldført, omfatte 4549 satellitter i flere "skaller" med banehøjder fra 540 til 560 km og inklinationer på 53°, 70° og 97,6°. Antallet af satellitter angives lidt forskelligt af flere uafhængige kilder. Den totale konstellation forventes at skulle nå 11916satellitter, [38].

Ved at benytte flere højder/"skaller" af satellitbanerne mindskes risikoen for kollisioner, når antallet af satellitter er så stort.

53° banerne vil give dækning op til 57°N i Vesteuropa og USA/Canada, og derfor ingen dækning i Grønland. 70° banerne forventes at dække op til ca. 74°N, mens 97,6° banerne vil dække hele Arktis.

Starlink angiver downlink/uplink hastigheder for almindelige brugere til 50-200 Mbit/s downlink og 10-20 Mbit/s uplink. Uafhængige målinger viser typiske værdier på ca. 90-160 Mbit/s downlink og ca. 10-30 Mbit/s uplink. Forsinkelse/latency angives af Starlink for alle typer brugere til 20-40 ms, mens uafhængige målinger viser ca. 40-80 ms. Starlink angiver at "Business users" kan forvente download hastigheder op til 350 Mbit/s og forsinkelse/latency på 20-40ms.

Starlink brugerterminalerne benytter phased array antennteknologi, som er specielt udviklet til at opnå meget lave produktionsomkostninger, således at prisen er acceptabel for private forbrugere, som er hovedkundesegmentet.



Foto: Starlink

Figure 3-4 Starlink brugerterminal

Starlink sælger direkte til slutbrugerne via deres hjemmeside. I Danmark koster terminalen DKK 3400,00 og abonnementet DKK 725,00 kr/måned med ubegrænset datamængde. Forsøger man med en adresse i Grønland får man beskeden "Starlink expects to expand service in your area in 2023. Availability is subject to regulatory approval". Sidstnævnte forbehold kommer ikke med en adresse i Danmark. Starlink er for nyligt begyndt at sælge en "High Performance" terminal i Danmark til en pris på DKK 21900,00. Abonnementsprisen er den samme som for "Standard" terminalen ovenfor.

Dækning i den sydlige halvdel af Grønland er betinget af, at der opsendes tilstrækkelige mange satellitter til 70° inklination. Det vil medføre at vestkysten dækkes måske helt op til Upernavik og østkysten måske op til Ittoqqortoormiit. Dækning i hele Arktis leveres af satellitterne i baner med 97,6° inklination. Ifølge [38] er der pr 3. marts 2023 opsendt 250 satellitter til 70° inklination og 187 til 97,6° inklination. Det er endnu usikkert, hvornår der åbnes for Starlink kommunikation i Grønland.

3.4.4 Amazon Kuiper Systems

Amazon har også meldt ud, at de vil bygge en mega-konstellation kaldet Kuiper Systems, [10], [39], til levering af bredbåndsforbindelser. Konstellationen vil omfatte 3236 satellitter i lav bane. Satellitterne fordeles på 98 baneplaner i tre "skaller" med banehøjderne 590 km, 610 km og 630 km. Baneplanernes inklinationer er ikke oplyst. Derfor kan det ikke på nuværende tidspunkt afgøres, om der bliver dækning i Arktis.

Kuiper Systems vil benytte frekvenser i Ka-bånd, og brugerterminalerne vil få antenner på ca. 30 cm diameter og understøtte op til 400 Mbit/s downlink. Antennen vil være af typen phased array, ligesom Starlink, til priser der kan betales af kundesegmentet private forbrugere.

De første opsendelse af satellitter forventes i begyndelsen af 2023. Der foreligger ikke noget om, hvornår Kuiper Systems vil levere bredbåndsservices.

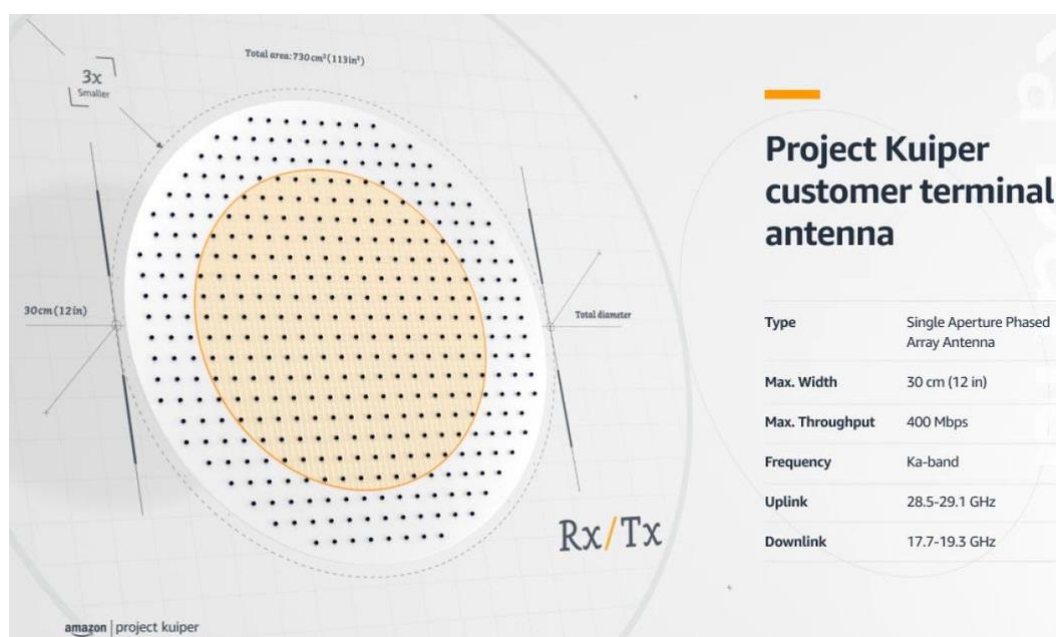


Illustration: Amazon Project Kuiper

Figure 3-5 Skitse af Kuiper terminal, som viser dimensioner og hovedspecifikationer

3.4.5 Telesat Lightspeed

Det canadiske Telesat planlagde oprindeligt en konstellation kaldet Telesat Lightspeed, [11], med 298 satellitter, men tidligere i 2022 meddeltes det, at denne er nu nedskaleret til 188 satellitter på grund af øgede omkostninger i produktionen, [40]. Derfor er systemets samlede kapacitet også nedskaleret fra 15 Tbit/s til 10 Tbit/s. Telesat Lightspeed sigter mod et professionelt kundesegment med høje krav til båndbredde. Ifølge Telesat kan en enkelt terminal tilgodeses med op til 7,5 Gbit/s og "hotspots" (f.eks. havne, lufthavne, landsbyer) opnå op til 20 Gbit/s.

Den reducerede Telesat Lightspeed konstellationen får 110 satellitter i ikke-polære baner i 1325 km højde (inklination ikke oplyst), med 10 baneplaner og 11 satellitter pr baneplan. Denne del af konstellationen vil næppe kunne dække Arktis. Dertil kommer 78 satellitter i polære baner i 1015 km højde med 6 baneplaner og 13 satellitter pr baneplan, [41]. Disse sidstnævnte satellitter vil give fuld dækning i Arktis.

De første opsendelser af operationelle Telesat Lightspeed satellitter forventes i 3. kvartal 2025, og levering af bredbåndsservice starter en gang i 2026.

3.4.6 EU Secure Connectivity

I december 2020 annoncerede EU kommissionen, [12], at man ville udvikle en europæisk mega-konstellation til at levere sikker kommunikation til hele EU, således at man opnår uafhængighed af andre landes udbydere af satellitbaseret bredbånd fra mega-konstellationer. Denne plan må ses som en fortsættelse af Galileo konstellationen af navigations-satellitter, EGNOS¹ systemet til forbedring af nøjagtigheden og sikkerheden af satellitnavigation, Copernicus konstellationen af jordobservations-satellitter, samt GOVSATCOM, der sigter på at levere satellitkommunikation til statslige brugere. Disse fire programmer har gjort EU uafhængig af andre lande m.h.t. satellitnavigation og jordobservation og miljø-/klimaovervågning og satellitkommunikation til statslige formål.

EU Secure Connectivity programmet har som mål at lukke de gab i dækningen med jordiske mobil-kommunikationssystemer og højhastigheds fibernet, som findes i dag. Med EU Secure Connectivity programmet vil man endvidere implementere kvantekryptering og derved sikre sig mod, at kvantecomputere kan bryde eksisterende krypteringsmetoder i en ikke fjern fremtid.

Der er endnu ikke offentliggjort tekniske detaljer om konstellationen. Dækningsområdet for EU Secure Connectivity konstellationen er i ref. [91] defineret som "global" og "worldwide" flere steder i dokumentet. I ref. [91], side 4, nævnes at: "*The services would connect strategic areas such as Arctic and Africa, in line with policy targets in these regions and the Global Gateway strategy*". Derfor kan Grønland forvente at blive dækket af dette system.

EU midler er budgetteret frem til 2027, hvor man sigter mod fuld operationel kapacitet af systemet. Man forventer at kunne levere foreløbige services fra 2024, [91], side 27. Der er endnu ikke offentliggjort detaljer om konstellationen i form af banehøjde(r), inklinationsvinkler, antal satellitter, frekvensbånd m.m.

3.4.7 LeoSat

LeoSat, [13], var planlagt som en konstellation af 108 satellitter i lav bane og med inter-satellit kommunikation. LeoSat lukkede i november 2019 p.g.a. mangel på kapital. Ingen satellitter er opsendt. Konstellationen ville have fået 132 satellitter i 1056 km højde og yderligere 15 i højere baner mellem 27355 og 44221 km.

3.4.8 Boeing LEO konstellation

Boeing opnåede i November 2021 tilladelse til at benytte frekvenser i V-båndet, 40 – 75 GHz, hvilket er langt højere end alle andre systemer, til en konstellation af 147 satellitter, som skal levere bredbåndsforbindelser globalt, [14]. I første omgang vil USA og de tiliggende øer blive dækket. Satellitterne vil benytte inter-satellit kommunikation. Kravet fra den amerikanske Federal Communications Commission (FCC) er, at halvdelen af satellitterne skal være opsendt senest november 2027 og resten senest november 2030. Der er ikke fremkommet detaljer om banernes inklination eller hvilke services, og hvilke bithastigheder, der vil blive tilbudt. Boeing's bredbånds-services vil henvende sig til både forbrugersegmentet, erhvervslivet og statslige institutioner.

Anvndelsen af V-bånd har som konsekvens at satellitforbindelsen vil være meget følsom for regndæmpning, med mindre der indregnes tilstrækkelige marginer i link-designet.

¹ EGNOS systemet dækker p.t. kun Europa, De Canariske Øer, Island og Nordafrika. For at dække Grønland skal der etableres GNSS referencestationer i Grønland, og der skal være en geostationær satellit på en passende vestlig længdegrad til rundspredning af korrektionssignalerne. Derfor kan fly, der lander i grønlandske lufthavne ikke benytte EGNOS ved kritiske landinger. Det tilsvarende amerikanske system WAAS dækker kun Nordamerika og Canada.

3.4.9 GuoWang

I 2020 besluttede den kinesiske regering at bygge en konstellation med 12992 satellitter i lav bane kaldet GuoWang eller Guo Wang, som kan oversættes til "det nationale netværk" eller "det statslige netværk", [15]. Det fremgår ikke af de tilgængelige kilder om man vil kommunikere med dedikerede brugerterminaler eller direkte til mobiltelefoner (se afsnit 3.6). Formålet er i hvert fald at levere bredbånds internetforbindelser globalt, [42]. Det fremgår ikke af det tilgængelige materiale, om Arktis vil blive dækket.

3.5 Mega-konstellationer og 5G mobilkommunikation

De nuværende satellitkommunikationssystemer er ikke designet til at arbejde gnidningsfrit sammen med mobilkommunikationssystemerne. Dette vil ændre sig drastisk med de nye mega-konstellationer og 5G mobilkommunikation. De nye konstellationer er designet til at levere såkaldt "backhaul" til 5G mobilkommunikation. Det vil sige, at i stedet for at koble mobilmasterne sammen via fiberoptiske kabler eller dedikerede radiolinks, kan man sætte f.eks. en OneWeb eller Starlink terminal på mobilmasten og derved integrere en afsides lokation i det globale netværk, selv om den ligger langt fra alting. Denne integration hjælper i høj grad af den lave forsinkelse/latency på satellitkonstellationer baseret på lave baner om jorden.

3.6 Satellitkommunikation direkte til mobiltelefoner

Smartphonen er i dag den vigtigste digitale kommunikationsplatform for store dele af befolkningen og er som sådan ved at afløse PC'en. Det har givet inspiration for 3GPP institutionen, der udarbejder standarder for mobilkommunikation, til at inkludere muligheden for at understøtte en direkte forbindelse mellem en smartphone og et satellitkommunikationssystem i den nyeste udgave af standarderne for 5G mobilkommunikation. Det skal understreges, at man hermed sigter på en helt almindelig 5G smartphone uden at benytte en dedikeret satellitterminal eller et specialdesignet håndsæt som til Iridium systemet, [16].

I 3GPP sprogbrug kaldes satellitter for Non-Terrestrial Networks (NTN), og omfatter både satellitter i lave baner, mellemhøje baner og geostationære baner. Den næste udgave af 3GPP standarderne betegnes "Release 17" og forventes frigivet i den endelige udgave inden udgangen af 2022. Med inklusionen af NTN i 5G standarderne kan man være sikker på at de kommende NTN systemer bliver kompatible med jordbaseret 5G mobilkommunikation. Udviklingen af satellitsystemer er allerede begyndt. Seks firmaer er især aktive indenfor udvikling af NTN: Lynk Global, AST SpaceMobile, Omnispace, Starlink, GlobalStar og E-Space. Se de efterfølgende afsnit.

Umiddelbart lyder det ikke realistisk at kunne levere bredbånds dataforbindelse over flere hundrede kilometer fra satellit til håndsæt, når afstanden til mobilmasterne på jorden typisk kun er op til omkring 25 km. Det er dog teknisk muligt, om end det kræver meget store, specielle og avancerede antenner på satellitterne, eller at man renoncerer på bredbåndsdækningen og kun leverer tekstbaseret kommunikation (SMS og e-mail uden store vedhæftede filer). Man skal heller ikke forvente indendørs dækning fra satellitter. Den store afstand til satellitterne kræver, at man udnytter alle de marginer i linket, som i jordbaserede netværk tillader indendørs kommunikation og kommunikation udendørs, hvor der ikke er direkte sigt til mobilmasten.

Non-Terrestrial Networks forventes at benytte følgende 3GPP frekvenser i S-bånd og L-bånd, [97]:

n256: Uplink: 1980 MHz – 2010 MHz, Downlink 2170 MHz – 2200 MHz

n255: Uplink: 1626,5 MHz – 1660,5 MHz, Downlink: 1525 MHz – 1559 MHz

eller Uplink: 1626,5 – 1660,5 MHz og 1668 – 1675 MHz, Downlink: 1515 MHz – 1559 MHz

Et særligt problem ved kommunikation mellem en satellit og en smartphone, som ikke opstår i jordbaserede systemer, er Doppler-effekten. En satellit i 500 km højde bevæger sig med ca. 27400 km/time, og med en typisk downlink frekvens på 2200 MHz vil Doppler-skiftet være op til ca. ± 55 kHz, positivt, når satellitten nærmer sig, og negativt, når satellitten fjerner sig. Dette er ca. 30 gange højere end i et fly og ca. 80 gange højere end i f.eks. det franske TGV højhastighedstog. Da elektronikken i de nuværende smartphones ikke er designet til så store Doppler-skift, må man benytte Doppler-prækompensation i de udsendte signaler. Dette er en del af de nye 5G NTN standarder.

Konsulenthuset Northern Sky Research forventer at 5G mobilkommunikation mellem smartphones og satellitter har potentiale til en kumulativ omsætning på USD 66,8 mia. over 10 år, [95], og at det gennemsnitlige antal månedlige brugere vil af denne type service være 386 mio. i 2030. Satellitkommunikation direkte til mobiltelefoner kaldes den største "opportunitet" i satellitkommunikationens historie. Flere detaljer om Non-Terrestrial Networks kan findes i referencerne [43], [44], [45].

3.6.1 Lynk Global

Lynk Global, [17], er én af de kommende operatører af satellitbaserede mobilnetværk, som er længst fremme i udviklingen. I marts 2020 demonstrerede Lynk en forbindelse mellem en smartphone og deres "mobilmast" i rummet ved at sende SMS'er begge veje, [46]. Siden har man vist at man samtidigt fra rummet kan etablere kontakt med flere tusinde smartphones, IoT enheder, biler, lastbiler m.m. og har afprøvet dette i flere lande over hele jorden, [47], [48].

Lynk opfatter deres service som en roaming fra smartphone ejerens mobiludbyder. Derfor er Lynk i gang med at lave roamingaftaler med mange mobiludbydere globalt. Servicetilbuddet bliver tekstbaserede meddelelser og telefoni, men i deres præsentationsvideo på hjemmesiden nævnes også bredbånd, dog uden at uddybe dette. I samme video vises en animation af konstellationen, som viser, at der ikke blive dækning på høje breddegrader.

Lynk planlægger i første omgang en konstellation med 10 satellitter i lav bane, men den endelige konstellation skal have 5000 satellitter, som forventes færdig i 2025. Satellitternes baner har højden 515 km og inklination $97,6^\circ$, således at dækningen bliver global, [49].



Foto: Lynk Global

Figure 3-6 Lynk Global's udviklingsteam fremviser deres satellitdesign (90x90x10 cm)

3.6.2 AST SpaceMobile

AST SpaceMobile, [18], har, i modsætning til de øvrige aktører, som mål at levere fuld 4G/5G bredbåndsservice til almindelige smartphones fra satellitter. Det stiller selvfølgelig helt andre krav til satellitten end blot at levere tekstbaserede tjenester. Derfor er AST SpaceMobile's første satellit udstyret med en avanceret phased array antenne på 64 m². Systemet vil dække alle typer forbindelser både til lands, på havet og i luften. Finske Nokia Oyj er en meget vigtig partner for AST SpaceMobile til opbygning af systemets infrastruktur, [50].

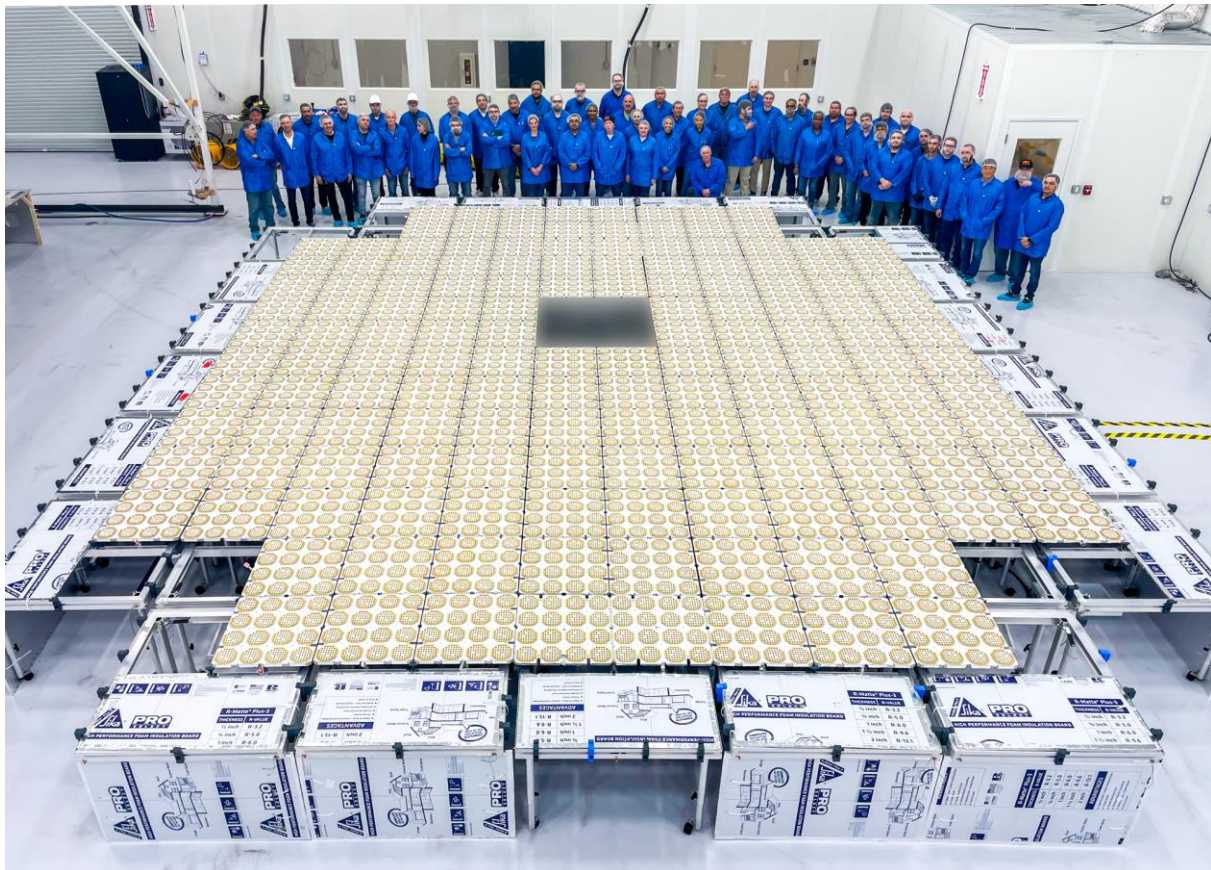


Foto: AST SpaceMobile

Figure 3-7 AST SpaceMobile's BlueWalker 3 testsatellit med 64 m² phased array antenne

Den første eksperimentelle satellit BlueWalker-3 blev opsendt 11. september 2022 sammen med en flok Starlink satellitter. Det betyder, at banen har samme inklinasjon som disse: 53°. Banehøjden er 510 km. Der forestår nu en testfase med adskillige globale mobiloperatører for at teste og validere systemet. De operationelle satellitter i konstellationen vil blive sat i kredsløb i 730 km baner. Konstellationen er planlagt til at omfatte 110 satellitter.

Dækningsområdet beskrives som: "...substantial global mobile coverage", [51].

Den første fase af konstellationen vil omfatte 20 satellitter i baner med lave inklinationer til dækning af den ækvatoriale del af verden. Oprindeligt var det planen at konstellationen skulle være færdig ved udgangen af 2024, men problemer med levering af kritiske komponenter og at sikre opsendelser har forsinket projektet, [51]. Der er ikke annonceret en ny dato, men AST SpaceMobile udtaler i deres kvartalsrapport 14. november 2022, [86], at man planlægger opsendelse af fem Block 1 BlueBird satellitter (navnet på de operationelle satellitter) ultimo 2023. Ref. [87] er en YouTube video om BlueWalker 3 satellitten.

3.6.3 Omnispace

Omnispace, [19], er et andet af de nye firmaer, som vil opsende en konstellation af satellitter til global dækning med 5G mobilkommunikation. De første, eksperimentelle satellitter Spark-1 og Spark-2 blev i april og maj 2022 opsendt til 707 km baner med 98,4° inklination, [52]. Satellitterne er ca. 20x20x40 cm med udfoldelige solpaneler på ca. 40x40 cm. Dette begrænser båndbredden, der kan leveres fra disse satellitter, men OmniSpace omtaler selv deres intentioner som *"...5G mobile broadband around the world"*, [53].



Illustration: Omnispace

Figure 3-8 Illustration af Omnispace Spark-1 og Spark-2 i kredsløb om Jorden

Målgrupperne for Omnispace er almindelige smartphone brugere, hvor man vil levere både telefon, SMS og data, IoT anvendelser af enhver art samt offentlige institutioner og militæret. OmniSpace vil benytte S-bånd til kommunikationen med brugeren.

Omnispace har danske GateHouse A/S som en vigtig partner i projektet, [54].

Det er ikke fremkommet noget om, hvor mange satellitter der skal opsendes, eller hvornår konstellationen sættes i drift.

3.6.4 Starlink

Starlink og mobiloperatøren T-Mobile meddelte i august 2022, [20], [55], at Starlink satellitterne, der opsendes fra 2023 vil få mulighed for at kommunikere direkte til smartphones. Denne service vil indledningsvis omfatte USA, Alaska og tiliggende øer. Mulighederne vil omfatte telefonopkald, SMS, MMS og andre lavhastigheds og tekstbaserede services. Senere forventer man at data inkluderes. Systemet forventes at blive åbnet for trafik ultimo 2023.

Det vides ikke om denne service vil blive tilbudt andre kunder end T-Mobile's, og hvornår dækningen udvides ud over USA. Dækningen vil ikke blive større end dækningsområdet for Starlink satellitterne givet deres baners inklination, d.v.s. Grønland vil næppe blive dækket i første runde uanset om Starlink åbner denne service udenfor USA.

3.6.5 Globalstar

Apple annoncerede d. 8. september 2022, [21], at iPhone 14 og iPhone 14 Pro smartphones kan sende SOS meddelelser via satellit, når de er udenfor rækkevidde af jordbaserede systemer, [56], [57]. Det sker via Globalstar konstellationen og dækker foreløbigt kun USA og Canada. Eftersom Globalstar konstellationens satellitter går 1400 km baner med 52° inklination er dækning i Arktis ikke mulig.

3.6.6 E-Space

E-Space, [22], er et helt nyt og meget ambitiøst satellitfirma grundlagt af Greg Wyler, [58], [59], som tidligere har grundlagt O3b og OneWeb konstellationerne. E-Space planlægger at opsende en konstellation med 100000 satellitter. Det er ikke kommet præcise udmeldinger fra E-Space om hvilke markedssegmenter de vil gå efter, men på hjemmesiden nævnes kritisk infrastruktur; militær; digitalt landbrug og skovbrug; sporing af containere, fartøjer og køretøjer; "connected vehicles" samt "connected Earth". Det er ikke eksplicit beskrevet, at det vil blive muligt at kommunikere direkte til en smartphone, men formuleringen: "*E-Space is developing novel satellite and terminal technology to provide IoT capabilities from basic messaging services up to voice, video and data for specialized applications*" er tvetydig, men synes at antyde dette.

En anden formulering på hjemmesiden viser et helt nyt forretningsprincip: "*E-Space is working with nations to provide Constellations as a Service (CaaS) for lease, and Constellations as a Product (CaaP) for full ownership*". Det vil sige, at en stat kan leje eller købe en del af den store E-Space konstellation og underforstået lade E-Space stå for driften.

Der foreligger intet på hjemmesiden om banehøjder og inklinationer, men videoindslagene på hjemmesiden antyder global dækning.

En mærkesag for Greg Wyler er bæredygtighed og at undgå rumskrot. Han har til hensigt af gøre sine satellitter robuste overfor sammenstød med rumskrot, og ikke blot tage sine egne satellitter ned, når de er udtjente, men også rydde yderligere op i rummet.

E-Space opsendte i maj 2022 tre testsatellitter og forventer at opsende yderligere prototype satellitter i første halvdel af 2023, [60].

3.7 Satellitter i højelliptiske baner

3.7.1 Space Norway HEOSAT - Arctic Satellite Broadband Mission

Space Norway er et norsk statsligt rumfirma med basis i Oslo, til udvikling, opbygning og drift af norsk ruminfrastruktur. Nordområderne, d.v.s. Norge nord for Polarcirklen, Svalbard og øerne Jan Mayen og Bjørnøya, er et strategisk satsningsområde for den norske regering. Dette har medført, at man har udviklet en satellitkonstellation med to satellitter i højelliptiske baner til dækning af ikke bare Nordområderne, men hele Arktis, [23]. Disse satellitter vil benytte den såkaldte TAP-bane, som har en inklination med ækvatorplanet på $63,4^\circ$, hvilket medfører at satellitbanens fjerneste punkt Apogæum forbliver over den nordlige halvkugle, og hvorfra man kan dække hele Arktis. Satellitterne står ikke stille på himlen som de geostationære, men beskriver en smal lodret sløjfe over ca. 8 timer, som er den halve omløbstid. Med to satellitter placeret 8 timer forskudt i banen kan opnås kontinuerlig dækning. Når én satellit er på vej mod horisonten, er den anden på vej op, og man skal derfor lave en handover med ca. 8 timers mellemrum. Har man kun én antenne, vil der blive et gab i forbindelsen på måske et minut, mens antennen flyttes til retningen for den opadgående satellit.

Den norske mission har fået navnet Arctic Satellite Broadband Mission (ASBM), og satellitterne er under bygning hos Northrop Grumman i USA, [61]. Opsendelse er planlagt til oktober 2023 og drift fra 2024.

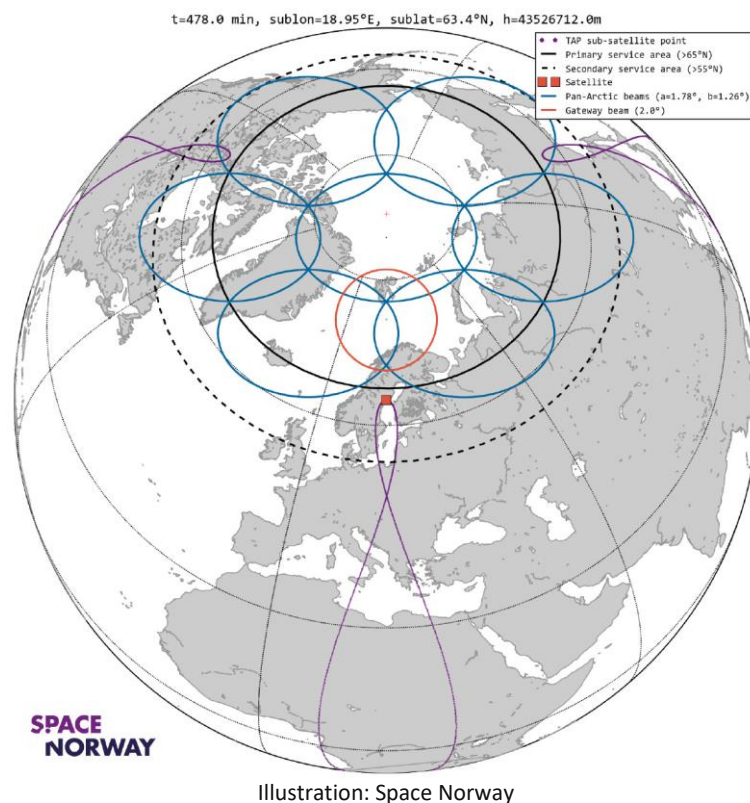


Figure 3-9 Dækningskort for Arctic Satellite Broadband Mission

Dækningsområdet for ASBM er vist på Figure 3-9. Arktis dækkes ved at syv antennestraler "tesseleres" med en smule overlap til at dække et sekskantet område på samme måde som syv mønter kan lægges i et tilsvarende mønster.

ASBM indeholder tre nyttelaster/payloads:

1. En udvidelse af Inmarsat Global Xpress systemets geostationære satellitter, så Arktis også dækkes med de samme terminaler. Her får satellitterne betegnelserne GX10A og GX10B.
2. En amerikansk militær nyttelast som vil udvide dækningen med US Air Force's Wideband Global Satcom (WGS) system til at omfatte Arktis.
3. En norsk militær nyttelast. Der er ikke offentliggjort detaljer om denne, ud over at den opererer i de militære X-bånd og Ka-bånd.

3.7.2 ESCP-Polar

Den canadiske regering arbejdede i perioden ca. 2007 til 2017 med design af en konstellation af to satellitter i højelliptiske baner, kaldet Polar Communications & Weather (PCW) mission. I 2017 opgav man PCW, da omkostningerne var blevet for høje. Herefter arbejdede man videre med et rent kommunikationssatellit projekt kaldet Enhanced Satellite Communication Project – Polar (ESCP-Polar eller ESCP-P), [24]. Dette er ligesom det norske projekt en "dual-use" mission med en kommerciel og en militær nyttelast. Satelliternes baner forventes at blive TAP baner ligesom de norske satellitter, se ovenfor. Den canadiske regering har i øjeblikket en åben "Request for Information" til satellitindustrien for at få løsningsforslag. Planen er at satellitterne går i drift i 2034. Dækningsområdet vil blive hele Arktis nord for 65°N, men der foreligger ingen tekniske specifikationer for båndbredde, frekvenser, brugerterminaler etc.

3.7.3 Mangata Networks

Mangata Networks er et engelsk firma med en lidt anderledes tilgang til global dækning med satellitkommunikation. Skaberens af Mangata Networks er Brian Holz, som var én af hovedmændene bag OneWeb. Ved at benytte satellitter i højelliptiske baner får man dækning i Arktis ligesom Space Norway HEOSAT konstellationen, og med satellitter i mellemhøje baner (MEO) med 6400 km højde og 40° inklination får man dækning på lave og mellemhøje breddegrader med langt færre satellitter end med en LEO konstellation, se Figure 3-10. Derudover gør de mellemhøje baner det muligt at holde latency under 100 ms, hvilket stadig er langt lavere end for de geostationære og højelliptiske baner.

En konstellation med 21 satellitter vil give en kapacitet på ca. 1,5 Tbit/s, og det er overkommeligt i henseende til antal opsendelser gradvist at forøge denne kapacitet, efterhånden som behovet opstår. De første opsendelser forventes i 2023.

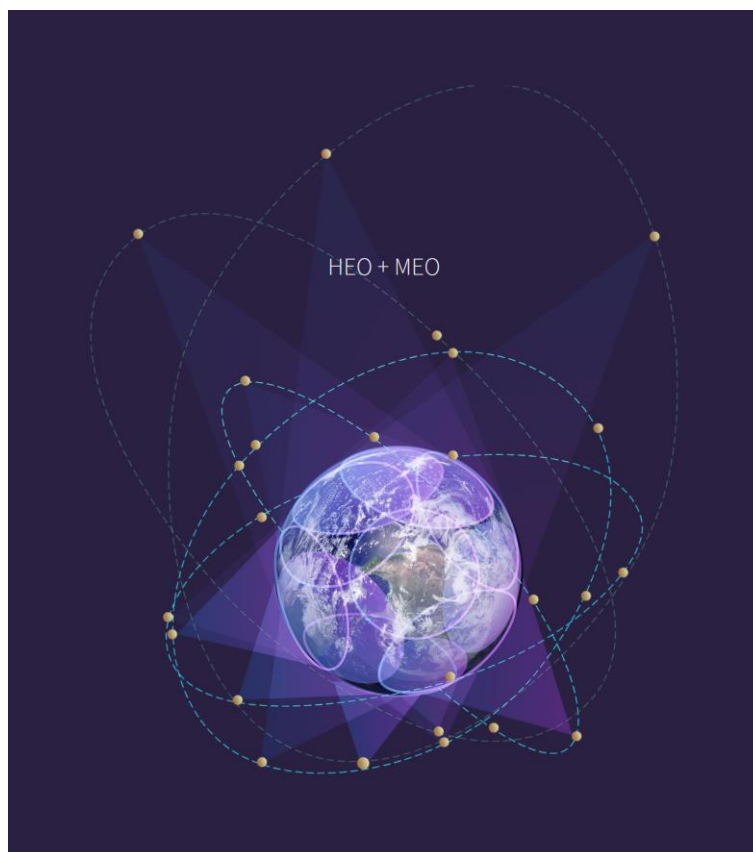


Illustration: Mangata Networks

Figure 3-10 Mangata Networks konstellationen af satellitter i MEO og HEO baner

3.8 Satellitter i geostationære baner

Satellitter i den geostationære bane har været benyttet i årtier til global kommunikation. En bane med højden 35786 km over Ækvator har samme omløbstid som jordens rotation i forhold til fixstjernehimlen, 23 timer. 56 min. 4,09 sek. Derved står satellitten tilsyneladende stille på himlen og parabolantennen kan fastgøres permanent. Ulempen ved de geostationære satellitter er, at de står lavt på himlen ved høje breddegrader, og derved let obstrueres af bjerge, specielt hvis man befinder sig i en øst-vest vendt dal. Ved lokationer på breddegrader over ca. 70°N eller S kan man forvente stigende udfordringer med at etablere og holde forbindelsen. I princippet kan man dække globalt med tre

geostationære satellitter, men det gælder kun breddegrader under ca. 60° (svarende til Nanortalik). Som det ses på Figure 3-11 er kun den allersydligste spids af Grønland dækket med Inmarsat BGAN systemet (se nedenfor), som følge af satelliternes positioner. Tre trekantede områder i nord og tilsvarende i syd er ikke dækket med en konstellation af kun tre satellitter.

Selv om mega-konstellationerne i lave baner ser ud til at have en oplagt fordel i form af signalforsinkelse/latency sammenlignet med de klassiske geostationære satellitter er udviklingen ikke gået i stå hos operatørerne af GEO-konstellationerne. Der planlægges og bygges satellitter, der vil øge båndbredden med mindst en størrelsesorden i forhold til den tidligere generation. Disse geostationære satellitter betegnes under ét som High Throughput Satellites (HTS).

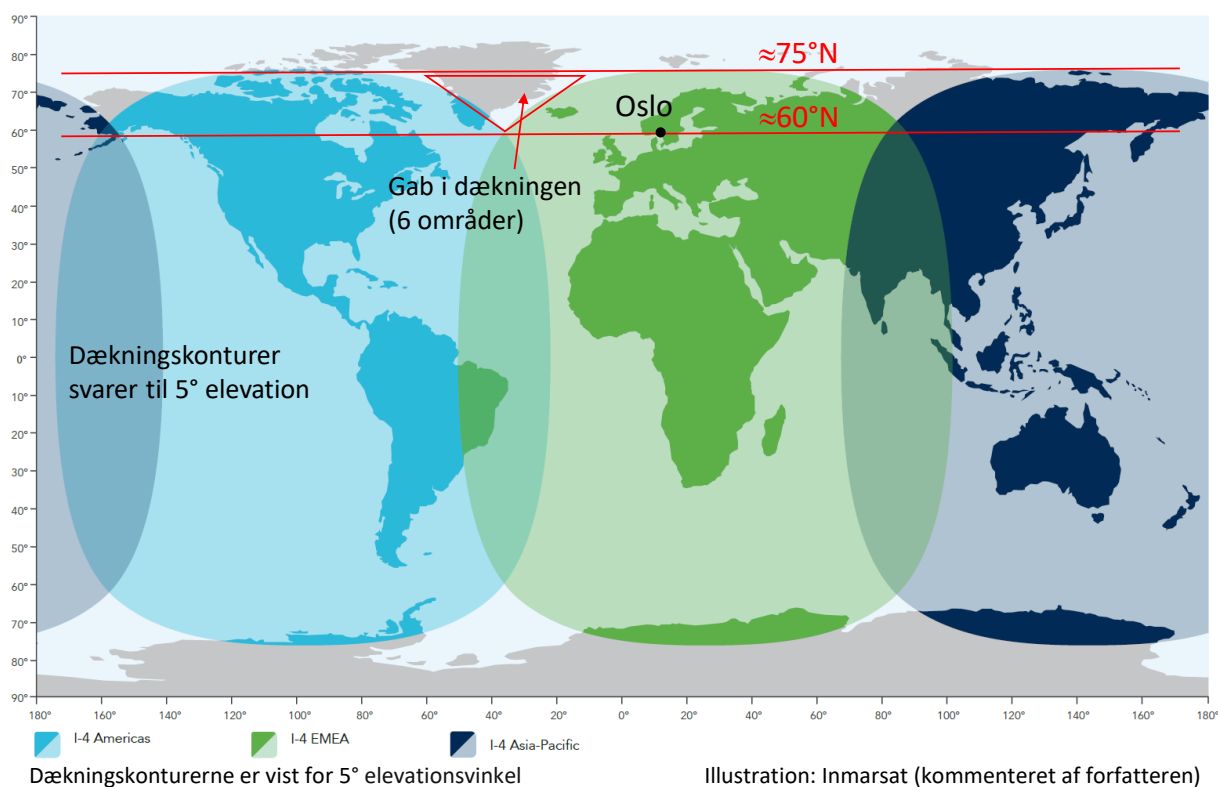


Figure 3-11 Inmarsat BGAN dækningskort

Nedenfor nævnes nogle få satellitoperatører med konstellationer i geostationære baner. Der er mange flere, men disse er ikke relevante for Grønland.

3.8.1 Inmarsat

Inmarsat BGAN er et ældre system, der opererer i L-bånd med op til 492 kbit/s downlink. Dækningskortet er vist i Figure 3-11 ovenfor. Som nævnt er dækningen ikke så interessant for Grønland.

Inmarsat Global Xpress er det nyeste system, der opererer i Ka-bånd og hvor satellitten Inmarsat 5-F2 er placeret på 55°V, hvilket er fordelagtigt for dækning af Grønland, se Figure 3-12. På figuren ses også, at dækningsområdet er opdelt i "spotbeams" med en lille smule overlap, som tilsammen dækker hele satellittens dækningsområde, som er den synlige del af jorden set fra satellitten. Inmarsat Global Xpress eller blot GX leverer bredbånd med downlink/uplink hastigheder på 50/5 Mbit/s.

Til dækning af hele Arktis bliver de geostationære Global Xpress satellitter suppleret med Inmarsat nyttelaster om bord på de norske HEOSAT - Arctic Satellite Broadband Mission satellitter omtalt i afsnit 3.7.1.

I årene fra 2024 og fremad vil Inmarsat opsende en ny generation af Global Xpress satellitter kaldet GX7, GX8 og GX9 som hver har ca. den dobbelte båndbredde af GX1 – GX5 tilsammen, [62].

Inmarsat har hovedkvarter i London, UK.

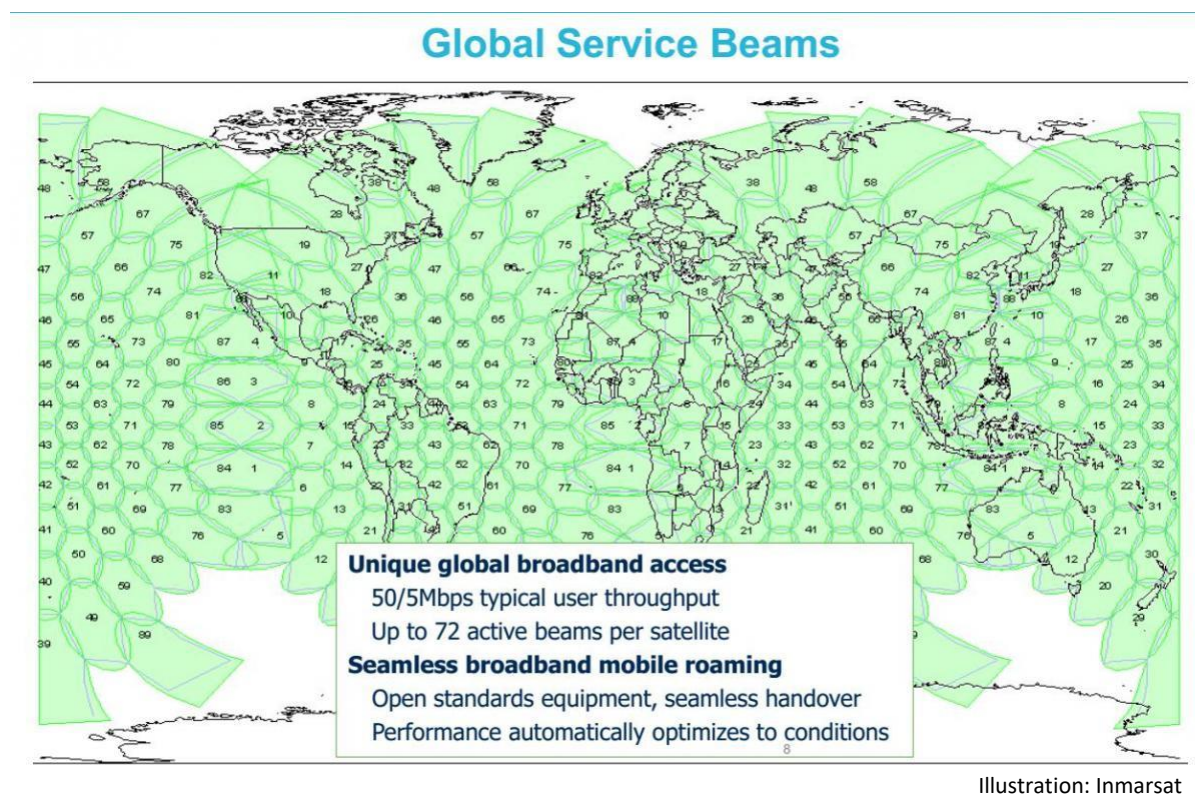


Figure 3-12 Inmarsat Global Xpress GEO dækningskort

3.8.2 Viasat

Viasat er én af de store udbydere af bredbånd fra geostationære satellitter. Næste generation af ViaSat satellitter, ViaSat-3 med foreløbig tre satellitter i konstellationen tilsammen vil få en kapacitet på ca. 7 gange den samlede kapacitet af alle tidligere ViaSat satellitter tilsammen eller mindst 1 Tbit/s pr satellit. Båndbredden, der bliver tilgængelig for brugerne betegnes som flere hundrede Mbit/s, [63].

For at levere denne enorme båndbredde, opererer ViaSat-3 med et mønster af næsten tusind spotbeams, som vist på Figure 3-13. ViaSat-3 satellitten med dækning af Nord- og Sydamerika på positionen 89°V vil også dække det sydvestligste Grønland, om end med lave elevationsvinkler.

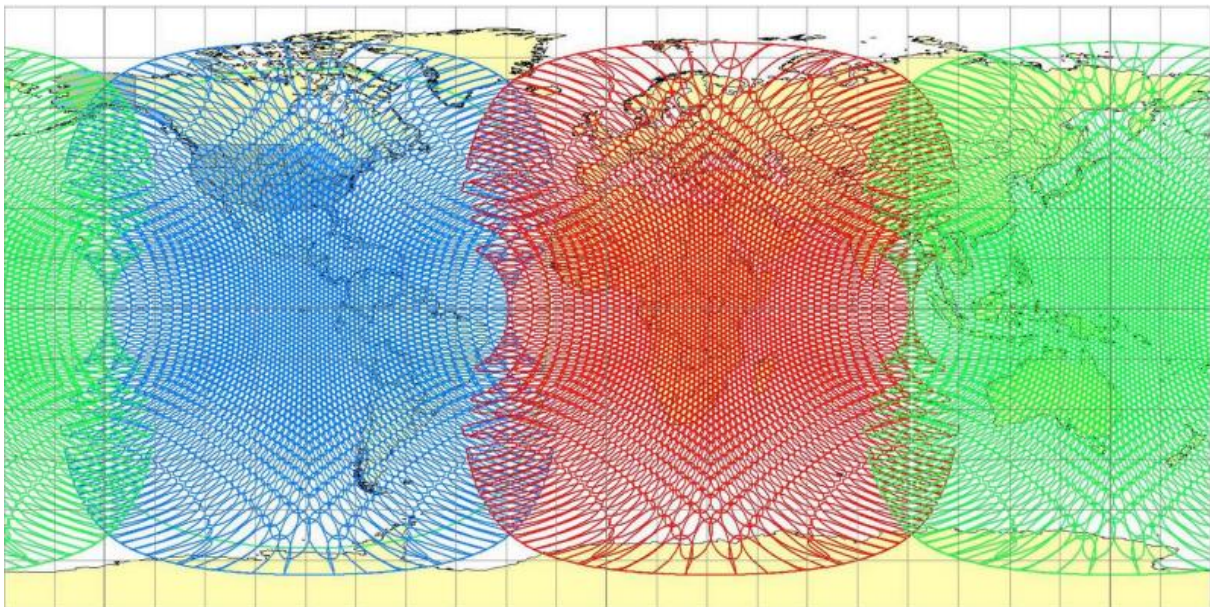


Illustration: Viasat

Figure 3-13 Viasat-3 dækningskort

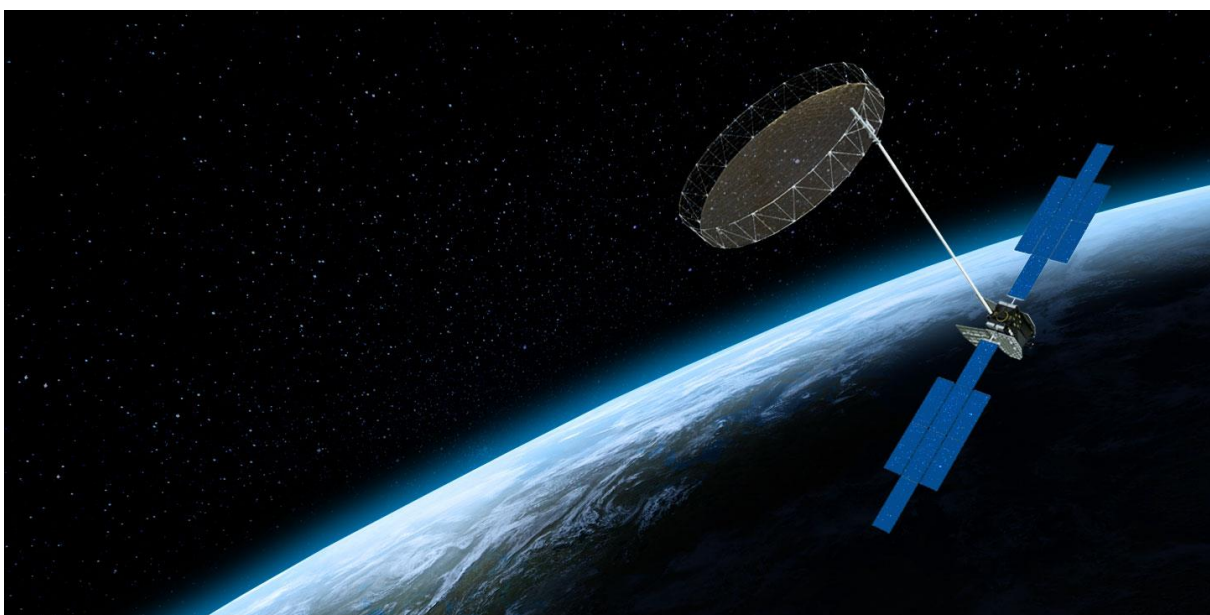


Illustration: Viasat

Figure 3-14 Viasat-3 satellitten i rummet med den store parabolreflektor udfoldet

For at producere det store antal smalle spotbeams med en diameter i den centrale del af satellittens dækningsområde på ca. 120 km, kræves en meget stor parabolreflektor, se Figure 3-14, som foldes ud, når satellitten er kommet i geostationært kredsløb. Reflektoren skønnes at være op mod 20 m i diameter. ViaSat-3 satellitterne vil benytte Ka-bånd. Levetiden er planlagt til 15 år.

Den første ViaSat-3 satellit er planlagt opsendt 31. december 2022 og vil dække Nord- og Sydamerika. Viasat har hovedkvarter i Carlsbad, CA, USA.

3.8.3 Intelsat

Intelsat, [27], er et af de største og ældste firmaer i satellitbranchen og har i mange år leveret satellitforbindelse til Grønland, senest satellitten Intelsat 35e på 34,5°V, med et C-bånd beam, der dækker hele Grønland undtagen den allernordligste del, [64], [65].

Intelsat 35e er medlem af den nyeste Epic serie satellitter fra Intelsat, som benytter både C-bånd, Ku-bånd og Ka-bånd.

Intelsat S.A. har virksomhedshovedkvarter i Luxembourg og administrativt hovedkvarter i McLean, VA, USA.

3.8.4 SES

SES er én af de største satellitoperatører med mere end 70 satellitter i konstellationerne, [28], og leverer også satellitforbindelse til Østgrønland med satellitten NSS-10. SES er på vej med en ny generation af HTS satellitter, som opsendes i de kommende år.

Se også afsnit 3.4.2 om OneWeb og afsnit 3.9.1 om O3b.

SES S.A. har hovedkvarter i Luxembourg.

3.9 Andre konstellationer

3.9.1 O3b

O3b står for "Other 3 billion", de tre milliarder mennesker, som ikke har adgang til Internettet. Disse befinder sig hovedsageligt i et bælte nord og syd for ækvator, og derfor bygger O3b konstellationen på satellitter i 8000 km baner i ækvatorplanet, [29]. Næste generation af O3b konstellationen får navnet O3b mPOWER, [66]. De første to O3b mPOWER satellitter blev opsendt 16. December 2022 og kommerciel service forventes at begynde i 3. kvartal 2023. O3b konstellationen benyttes foruden sit oprindelige sigte også i høj grad af virksomheder og krydstogtskibe i regionen.

O3b konstellationen ejes af SES og nævnes kun her, fordi SES også har en igangværende sammenlutning med OneWeb, og fordi både O3b og OneWeb er grundlagt af Greg Wyler, som nu er i gang med at opbygge virksomheden E-Space, cf. afsnit 3.6.6.

3.10 Internet of Things

”Tingenes Internet” (Internet of Things – IoT) dækker over enheder der er koblet på Internettet via mobilnettet, via satellit eller anden kommunikationskanal, og som måler én eller flere parametre der skal fjernaflæses. Det kan være infrastruktur af enhver art, køretøjer, skibe, fly, mennesker hvis helbred skal overvåges eller andet. Kun fantasien sætter grænser og til en vis grad teknologien. Fælles for IoT anvendelser er, at der er tale om lave båndbredder og at effektforbruget til satellitmodemet skal være så lavt som muligt.

Inmarsat, Iridium, Globalstar, ORBCOMM, og i Afrika og Asien Thuraya, er de mest udbredte leverandører af IoT via satellit. Alle har moduler/modemer, som kan integreres i overvågningsudstyr, der sælges som færdige produkter, [67], [68], [69].

Satellite IoT er vurderet til at have en CAGR (Cumulated Aggregated Growth Rate) i 2026 på 40% p.a. og 21 millioner enheder udstationeret, og markedet for Satellit IoT forventes at nå en værdi på 6 mia. USD i 2031, [85].

Nedenfor er identificeret 28 firmaer i alfabetisk rækkefølge, som er i gang med eller planlægger at opsende konstellationer af satellitter til brug for IoT.

Astrocast, Chavannes-près-Renens, Schweiz.

<https://www.astrocast.com/>

COMMSAT, Beijing, Kina.

<https://en.commsat.cn/>

SpaceTech denMACH, København, Danmark.

<https://www.denmach.space/>

Eutelsat IoT FIRST, Issy-les-Moulineaux, Frankrig

<https://www.eutelsat.com/en/satellite-communication-services/satellite-iot-connectivity.html>

eSAT GLOBAL Inc., San Diego, CA, USA.

<https://esatglobal.com/>

FOSSA Systems S.L. Madrid, Spanien.

<https://fossa.systems/>

GlobalStar IoT, Covington, LA, USA.

<https://www.globalstar.com/en-ap/products/iot>

HEAD Aerospace, Beijing, Kina.

<https://www.head-aerospace.eu/skywalker-iot-solution>

Hiber B.V., Amsterdam, Holland.

<https://hiber.global/>

hiSky, Rosh Haayin, Israel.

<https://www.hiskysat.com/>

INGENU Inc., San Diego, CA, USA.

<https://www.ingenu.com/>

Inmarsat ELERA IoT, London, England.

<https://www.inmarsat.com/en/solutions-services/enterprise/services/elera-iot.html>

INNOVA SPACE, Buenos Aires, Argentina.

<https://www.innova-space.com/en/>

Iridium IoT, McLean, VA, USA.

<https://www.iridium.com/blog/2021/04/01/what-is-satellite-iot-and-how-is-it-used/>

<https://www.iridium.com/products/iridium-edge/>

<https://www.iridium.com/developer-resources/>

<https://www.iridium.com/products/urb-iot/>

Kinéis, Ramonville Saint-Agne (Toulouse), Frankrig.

<https://www.kineis.com/en/>

KLEO Connect GmbH, Berlin, Tyskland.

<https://kleo-connect.com/>

Lacuna Space, Didcot, England.

<https://lacuna.space/>

Ligado Networks, Reston, VA, USA.

<https://ligado.com/>

Myriota, Adelaide, Australien.

<https://myriota.com/>

OmniSpace, Tysons, VA, USA.

<https://omnispace.com/>

OQ Technology, Leudelange, Luxembourg.

<https://www.oqtec.space/>

OrbComm, Rochelle Park, NJ, USA.

<https://www.orbcomm.com/en/partners/connectivity/satellite/og2>

Krucial CONNECT (tidligere: R3 IoT), Glasgow, England.

<https://www.krucial.com/>

Sateliot, Barcelona, Spanien.

<https://sateliot.space/en/>

SAT4M2M AG, Susch, Schweiz.

<https://sat4m2m.com/>

Skylo Technologies, Palo Alto, CA, USA.

<https://www.skylo.tech/>

SWARM Technologies, Palo Alto, CA, USA.

<https://swarm.space/>

TOTUM Labs, San Diego, CA, USA.

<https://totum.global/>

4 Tusass A/S – Grønlands teleinfrastruktur

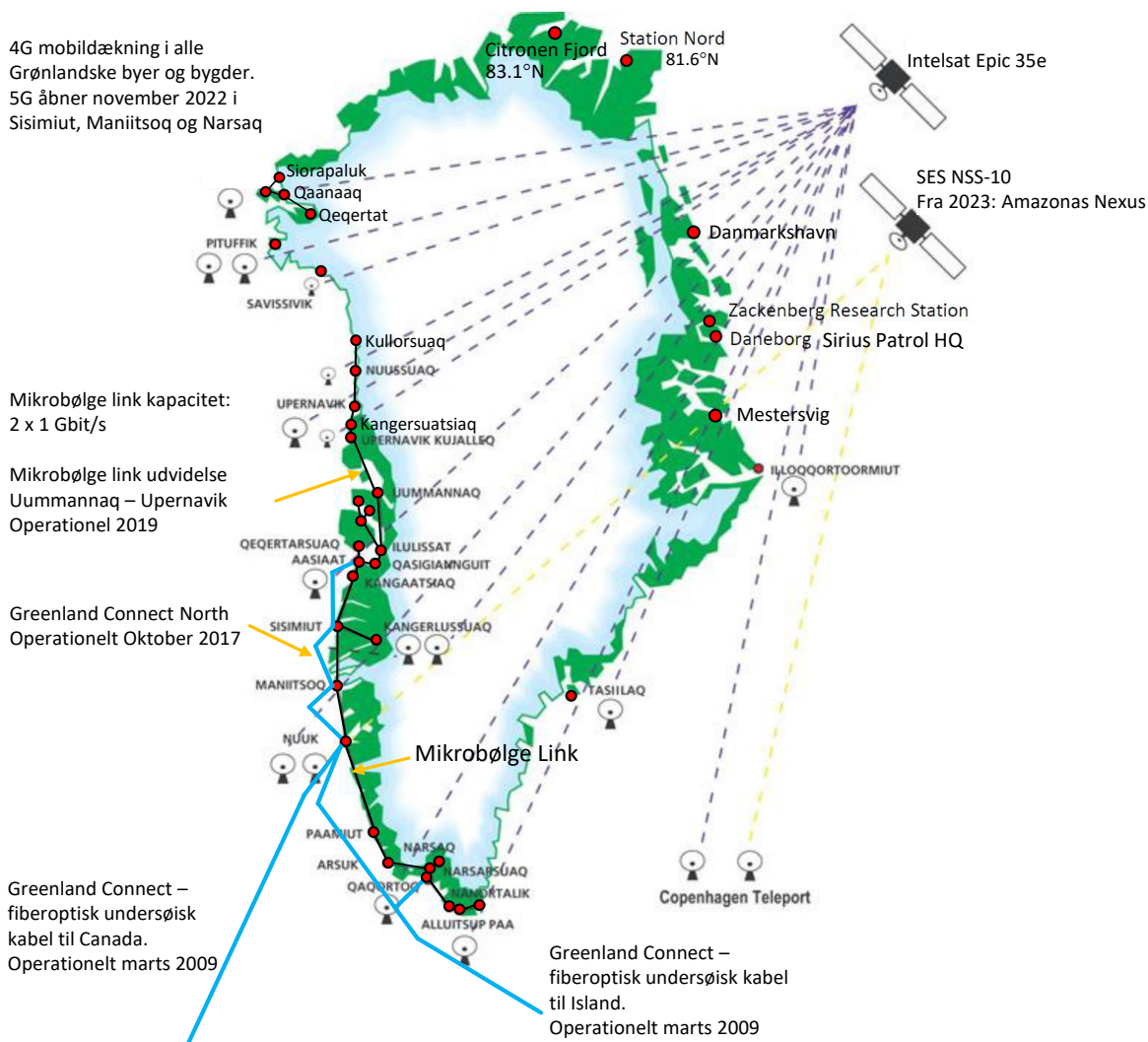


Illustration baseret på tegning fra Tusass og opdateret i forhold til Tusass' Telesites kort marts 2021 + forfatterens noter

Figure 4-1 Teleinfrastruktur i Grønland 2022

I løbet af de seneste mange år har Grønlands teleselskab Tusass A/S, [30], (tidligere Tele-Post A/S) forbedret og udbygget teleinfrastrukturen i landet. De nyeste udbygninger omfatter:

- Et nyt undersøisk, fiberoptisk kabel, Greenland Connect North, er blevet udlagt på strækningen fra Nuuk til Aasiaat med landgang i Maniitsoq og Sisimiut. Dette kabel er en udbygning af Greenland Connect kablet fra New Foundland til Nuuk, Qaqortoq og videre til Island, som blev indviet i marts 2009. Greenland Connect North kablet blev indviet i oktober 2017.
- Der er etableret en forstærket mikrobølgelink fra Aasiaat til Ilulissat med 10 Gbit/s kanaler. Havbunden mellem Aasiaat og Ilulissat egner sig ikke til søkabler p.g.a. isbjergene der frigives fra Jakobshavn isbræen.
- Mikrobølgekæden langs Grønlands vestkyst er udvidet til Upernavik distriktet. Strækningen har været i drift siden 2019.
- Intelsat Epic 35e har overtaget opgaven fra Intelsat 903 med dækning af Grønlands vestkyst.

- Fra 2021 blev Intelsat 907 erstattet af NSS-10 satellitten, ejet af SES, Luxembourg, til dækning af Østgrønland. Kapaciteten er ca. 1.3 Gbit/s.
- Fra sensommeren 2023 vil Amazonas Nexus satellitten, ejet af det spanske firma Hispasat, erstatte Intelsat Epic-35e. Denne del af missionen er blevet navngivet GreenSAT og vil dække alle beboede steder i Grønland undtagen Citronen Fjord mineprojektet og Station Nord. (Disse to lokationer er for langt mod nord til at kunne nås med geostationære satellitter). GreenSAT nyttelasten på Amazonas Nexus har en båndbredde på 800 MHz i Ku-bånd. Det forventes, at kapaciteten vil blive ca. 3 Gbit/s ind mod Grønland. Satellitten placeres på positionen 61°V, [70], [71]. Dækningsområderne er vist på Figure 4-2.
- Fra november 2022 åbnes 5G mobilnet i Sisimiut, Maniitsoq og Narsaq. Herefter følger Nuuk, Ilulissat, Nanortalik, Paamiut, Qaqortoq, Qasigianguit, Qeqertarsuaq, Upernavik, Uummannaq og Aasiat, [72], [73], [74].

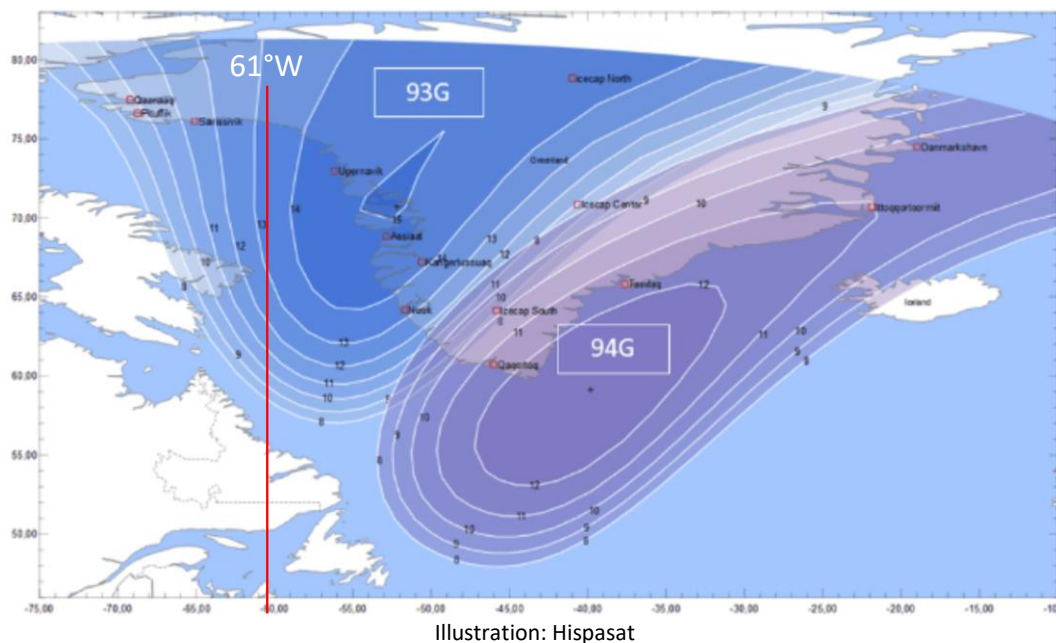


Figure 4-2 Dækningsområder for GreenSAT nyttelasten på Amazonas Nexus satellitten

5 Sikkerhed

5.1 Cyber-sikkerhed

Professionelle hackeres vellykkede angreb på ViaSat konstellationen, [79], [80] og dens tilsluttede terminaler i Ukraine samtidig med russiske invasion d. 24. februar 2022 viser, at satellitinfrastruktur ikke længere er et utilgængeligt eller "fredet" område. Derfor skal de højeste IT-sikkerhedsforanstaltninger også bringes i spil både på brugerterminalernes design, jordstationernes design, satelliternes nyttelast og på de telekommando-/telemetri links, der benyttes til styring og overvågning af satellitterne.

Det skal fremhæves, at de nylige angreb på ViaSat, ikke er sket gennem "pirat-jordstationer", men gennem Internettet ved hacking af satellitoperatørernes infrastruktur og derigennem også brugerterminalerne. Ligeledes har Elon Musk fortalt, at cyber-angreb på SpaceX's Starlink konstellation er stigende, [81]. Satellitsystemer er derfor lige så udsatte som al anden infrastruktur, der er koblet på Internettet. Er en hacker først kommet ind i hjertet af styresystemerne for satellitkonstellationen, er der frit spil.

Kapringen af en kommunikationssatellit v.h.a. en "pirat-jordstation" blev demonstreret allerede i september 2002 af den kinesiske Falun Gong kult, [92], og igen i august 2004, [93]. I dette tilfælde var det TV-rundspredning, som blev offer for angrebet. I en konventionel geostationær kommunikations-satellit benyttes "bøjet rør" (bent pipe) transpondere, som kun forstærker signalet fra Jorden, flytter det til en anden frekvens og sender det ned igen over det område, der skal dækkes. Ved at "overdøve" det lovlige signal kan man undertrykke det og få sit eget budskab igennem. Denne metode kræver betydelige ressourcer i form af en kraftig jordstation af den organisation, der vil kapre en satellit. På denne måde kan en enkelt satellit sættes ud af spillet. I en mega-konstellation giver det ikke mening at benytte denne metode. Selv om man kan sætte en enkelt satellit ud af spillet, betyder det ikke så meget, når der er hundredvis eller tusindvis af satellitter i konstellationen. Dertil kommer, at man i et digitalt system skal kende alle detaljer i modulationsformat, datapakkeformat, fejlkorrigerende kodning, kryptering etc. for at kunne "liste" sine egne budskaber igennem. Det kræver langt færre ressourcer ved gennem Internettet at hacke sig ind i satellitoperatørernes infrastruktur, og derfor må fokus være på at sikre denne.

5.2 Rumsikkerhed

De kommende mega-konstellationer i LEO baner med titusindvis af satellitter lover ikke godt for, skal vi kalde det "flyvesikkerheden" i rummet. Selv om konstellationernes ejere betyder, at de har udstyret deres satellitter med raketmotorer, sensorer og software til autonome antikollisionsmanøvrer, vil der uvægerligt ske svigt, så katastrofale sammenstød mellem satellitter vil ske og kraftigt forurene satellitbanerne. Ligeledes angiver konstellationernes ejere, at udtjente satellitter vil blive sendt ned i jordens atmosfære og brænde op. Her vil der ligeledes ske svigt i satellitterne, så de ikke længere kan styres. Derfor vil en lille del af dem kun komme ned ved langsomt at bremses op af den residuelle atmosfære i få hundrede kilometers højde. Fra en højde på f.eks. 1200 km, hvor OneWeb satellitterne går, vil det tage flere hundrede år for en satellit at blive bremset op af den residuelle atmosfære og brænde op, hvis satellittens raketmotor eller satellitten selv fejler, [75]. I tilfælde af totalsvigt af satellitten eller dens raketmotor, kan man forstille sig at opsende en robot i kredsløb, som indfanger satellitten og sørger for, at den sendes ned i atmosfæren og brænder op, men denne løsning er dyr og er foreløbig kun på tegnebrættet.

Der findes ingen internationale traktater, der begrænser antallet af satellitter, der må opsendes af nationale rumagenturer eller private firmaer. For telekommunikationsområdet er den eneste hindring, at operatøren skal indhente tilladelse hos International Telecommunication Union (ITU) og hos Federal Communications Commission (FCC), hvis der sendes signaler ned over USA. FCC har godt nok lagt begrænsninger på antallet af satellitter, som ansøgerne må opsende, men det er tilsyneladende sket på grundlag af overvejelser om radiointerferens snarere end overvejelser om fremtidige problemer med rumsnot. Når først disse tilladelser er i hus, er der ingen andre instanser, der kan bremse antallet af opsendelser.

FH-organet United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA) anbefaler at satellitter ikke forbliver i bane længere end 25 år, efter at de er udtjente og enten kommer ned naturligt eller aktivt fjernes fra banen. Denne anbefaling støttes af alle rumagenturer, men private aktører er ikke forpligtet til at følge den. Med de forventede opsendelser af titusindvis af satellitter i det kommende tiår, forekommer denne forholdsregel helt utilstrækkelig. Den amerikanske regering har også et sæt regler om rumsikkerhed, rumsnot og oprydning i rummet, [94], men disse er anbefalinger, ikke lovkrav.

Den amerikanske telestyrelse FCC har for nylig, [76], fremsat et forslag til en 5-års regel, hvorefter udtjente satellitter skal være fjernet fra kredsløb om jorden.

Satellitter i LEO baner forventes at have en levetid på typisk 5 år, maksimalt 7 år, i heldigste fald 10 år, så udskiftning af udtjente satellitter med en ny generation vil blive en hyppigt tilbagevendende aktivitet for ejerne af mega-konstellationerne.

Hvis der ikke bliver ryddet grundigt op i rummet efter mega-konstellationerne, kan det blive en alvorlig trussel mod hele trafikken i rummet og dermed også fremtidige konstellationer af kommunikations-satellitter, [77], [78]. Dette kan risikere at blive en realitet allerede indenfor en 10-års horisont, men det afhænger selvfølgelig af om og hvordan forpligtelsen til at rydde op bliver udført.

Med det store antal satellitter, der opsendes i de kommende år, skal man heller ikke ignorere miljøbelastningen af atmosfæren fra de stoffer, der frigøres, både af raketten under opsendelsen og når udtjente satellitter brænder op under nedstigningen.

6 Regulatoriske aspekter

Mobiloperatører i Danmark og andre lande betaler op til milliarder af kroner for licenser til de ønskede frekvensbånd til mobilkommunikation, penge som skal tjenes hjem via brugernes abonnementer. Derfor kan det undre, at ejerne af mega-konstellationerne kan "belyse" hele verden med bredbåndsforbindelser uden at betale noget, ud over det arbejde der skal til, for at få godkendelse fra ITU og FCC til at benytte de ønskede frekvensbånd. Det er i hvert fald sådan det fungerer i Danmark. Det stiller de jordbaserede operatører i en meget ulige konkurrencesituation.

I henhold til den grønlandske lov om telekommunikation og teletjenester, [31], fastslås det i §1 stk 1 at: "Grønlands Selvstyre har eneret på udbud af teletjenester i, til og fra Grønland...". Ligeledes i koncessionsbekendtgørelsen fra 1999 om telekommunikation i Grønland, [32], Derfor kan mega-konstellationerne ikke uden tilladelse sælge terminaludstyr og abonnementer i Grønland, men radiosignalerne fra satellitterne kan man ikke forhindre.

OneWeb's forretningsmodel går ud på at sælge terminaler og abonnementer gennem aftaler med lokale teleselskaber, i Grønland naturligvis Tusass.

Starlink sælger terminaler og abonnementer direkte til slutbrugerne, men forsøger man på Starlinks hjemmeside at købe en terminal og abonnement til en adresse i f.eks. Nuuk får man beskeden: "*Availability is subject to regulatory approval*". Det vil sige, at man tager forbehold for eventuelle regulatoriske bestemmelser. Ved bestilling til en adresse i Danmark tages ikke regulatoriske forbehold.

De nye konstellationer, der kommunikerer direkte til en standard smartphone, ser deres tjenester som en roaming fra smartphone-ejerens teleselskab og deres dækningsområde(r). Derfor arbejder de nye firmaer energisk med at forhandle roamingaftaler med de normale mobiltelefonselskaber. De regulatoriske udfordringer med mega-konstellationer og satellitkommunikation direkte til smartphones vil kræve en række tiltag, som må afdækkes og løses, inden de kan tilbyde deres service.

7 Fremtidsudsigter

Mega-konstellationerne kan ses som en massiv digitalisering af rummet og vil medføre, at hele Arktis bliver fuldt integreret i det globale telekommunikationsnet. Mega-konstellationerne vil selvfølgelig give anledning til konkurrence med de lokale teleudbydere som Tusass, men vil også give mulighed for backup i tilfælde af svigt i telenetværket, og de vil kunne øge forsyningssikkerheden betydeligt, og sørge for dækning, hvor ingen andre systemer, jordbaserede eller satellitbaserede, kan eller vil dække.

Hvordan dette vil udvikle sig i de kommende år, er stadig usikkert med så mange projekter og kommende udbydere. Bredbånd fra satellitter i lave baner er stadig et "emerging market".

Kommunikation direkte fra satellit til smartphones er den nyeste og nok den mest banebrydende teknologiudvikling indenfor satellitkommunikation i de seneste år. Hvis det lykkes at levere bredbånd fra satellit til standard 5G smartphones til overkommelige priser, vil det blive en alvorlig konkurrent til mega-konstellationerne, beskrevet i afsnittene 3.4.1 til 3.4.9.

De massive investeringer i de nye mega-konstellationer, som samlet set måske vil lande i omegnen af 100 mia. USD, giver anledning til overvejelser om, hvorvidt alle kan overleve. Vi har allerede set at OneWeb gik konkurs i marts 2020 p.g.a. utilstrækkelig finansiering og har måttet reducere deres konstellation med ca. 10%. Telesat har været nødsaget til at reducere deres konstellation med 30% p.g.a. prisstigninger på satellitterne. LeoSat ophørte med aktiviteter i november 2019 p.g.a. mangel på kapital. Vejen til de satellitnetværk og konstellationer, vi ser i dag, er også overstrøet med konkurser,

f.eks. Globalstar og Iridium, som begge genopstod efter rekonstruktion samt Odyssey og Teledesic, der ikke overlevede, [82]. Og det er næppe slut endnu.

Starlink og Kuiper Systems er nok de mest modstandsdygtige mod konkurs, eftersom de ejes af to af verdens rigeste mænd, som selv har den nødvendige kapital, og som har sat sig som mål at implementere deres respektive systemer.

Starlink har opbygget deres egen salgsorganisation med direkte web-salg til slutbrugerne. Kuiper Systems behøver ikke dette, eftersom Amazon allerede har én af verdens mest effektive salgsorganisationer. De øvrige aktører har mere fokus på de professionelle brugere og sælger deres terminaler og services gennem lokale teleselskaber.

Hvis man sidder med planer om at købe en terminal til ét af systemerne, kan man få den tanke at pengene måske er spildt, hvis den valgte udbyder af satellitbredbånd går konkurs, eller hvis en konkurrent kommer med en bedre løsning. I dag må svaret nok være "ja". Brugerterminalerne er dedikeret til det system, man køber dem til.

Der synes dog at være en ny tendens på vej indenfor satellitterminaler. Disse bliver i fremtiden ikke dedikerede til et enkelt system, f.eks. Inmarsat eller Iridium m.fl., men i modsætning til mobilkommunikation findes standardisering indenfor satellitkommunikation kun i indenfor visse dele af systemet. Med moderne såkaldt "Software Defined Radio" (SDR) teknologi, [83], kan hardwaren konfigureres til mange forskellige systemer kun ved skift af en software-komponent. Når 5G NTN standarderne, cf. afsnit 3.6, får fuldt gennemslag indenfor satellitkommunikation, vil der i hvert fald for forbrugermarkedet ikke være problemer med, hvilken konstellation man skal vælge. En almindelig 5G smartphone vil kunne benyttes til alle, blot roaming-aftalerne er på plads med smartphone-ejers teleselskab.

Indenfor antennedesign har det amerikanske firma Kymeta Corp. udviklet en meget avanceret teknologi baseret på metamaterialer beslægtet med LCD computerskærme, [84], som muliggør billig produktion og elektronisk styring af antennestrålen, og som fungerer over et bredt frekvensbånd. Sammen med SDR-teknologien vil dette gøre det muligt at lave en terminal, der kan fungere på flere systemer. Det er dog endnu ikke muligt at lave en antenne, der dækker både Ku-bånd og Ka-bånd. Nogle satellitkommunikationssystemer arbejder kun i det ene bånd, mens andre benytter begge bånd.

8 Konklusion

Med mega-konstellationerne og High Throughput Satellitter (HTS) i geostationært kredsløb vil satellitkommunikation både i Grønland og i verden ændre sig drastisk i de kommende år. Ingen plet på jorden vil være uden bredbåndsdækning, hvis man har adgang til elektricitet og har råd til satellitterminalen og abonnementet. Prisen ser ikke ud til at være nogen hindring, i hvert fald blandt de velstillede befolkninger. I Danmark koster en Starlink terminal 3400,00 DKK og abonnementet 725,00 DKK/måned. Abonnementsprisen pr måned er noget højere og bithastigheden noget lavere end et fiberabonnement i Danmark, med bestemt indenfor rækkevidde. Priserne for de øvrige systemer er ikke kendt.

Hvorvidt det lykkes for alle de igangværende projekter at få deres konstellationer i rummet, er endnu for tidligt at bedømme. De nødvendige investeringer er astronomiske, og det kan ikke udelukkes at nogle af projekterne stranded p.g.a. manglende finansiering. De sikreste heste i det spil er mest sandsynligt Starlink og Kuiper systems, da begge ejes og drives af to af verdens rigeste mænd. Ligeledes synes OneWeb at have sikkerhed for finansieringen efter rekonstruktionen. Endelig må det kinesiske GuoWang projekt anses for sikret, da den kinesiske stat står bag.

Ét er finansieringen under opbygningsfasen, noget andet er driften, og hvorvidt det vil lykkes at tiltrække tilstrækkeligt antal brugere, og her tænkes både på private brugere, firmaer og offentlige institutioner. McKinsey rapporten, [82], opererer med et "base scenario" og et "disruptive scenario" med en 2030 tidshorisont, hvor det sidste scenarie er en forudsætning for at konstellationerne bliver levedygtige, og det vil afhænge stærkt af de priser, terminalerne og tjenesterne udbydes til. Her har Starlink allerede vist vejen.

McKinsey forudser et samlet udbud af kapacitet i 2030 fra mega-konstellationerne under et "disruptive scenario" på ca. 900 TeraBytes/sek. ≈ 7000 TeraBit/sek = $7 \cdot 10^{15}$ bit/sek., et astronomisk tal, men også nødvendigt, hvis "disruptive scenario" materialiseres.

Mindst lige så "disruptive" tegner direkte bredbånds satellitkommunikation til smartphones til at blive. Her mangler endnu demonstrationer af, at det er teknisk muligt, men med opsendelsen af AST SpaceMobile's BlueWalker-3 satellit, vil det snart være muligt at bedømme dette. AST SpaceMobile og andre med samme idé vil ikke øjeblikkeligt få succes og tiltrække millioner af kunder. De har en kæmpe opgave med at forhandle roamingaftaler med hundredvis af mobiloperatører eftersom benyttelse af en satellitforbindelse vil svare til roaming udenfor det netværk, man er tilknyttet. Det vi også udløse en række regulatoriske udfordringer eftersom der er forskellige regelsæt i forskellige nationer.

Appendices

A. Forkortelser

3GPP	3rd Generation Partnership Project (sammenslutning af syv standardiseringsorganisationer indenfor telekommunikation)
5G	Femte generations mobilkommunikationssystem
ACM	Adaptive Coding and Modulation
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AI	Artificial Intelligence
AIoT	Artificial Intelligence of Things (IoT med indbygget kunstig intelligens)
Apogæum	(engelsk: Apogee) Det fjerneste punkt i en elliptisk satellitbane
ASBM	Arctic Satellite Broadband Mission
B2B	Business to Business (market)
B2C	Business to Consumer (market)
BOL	Beginning of Life (for en satellit)
CAGR	Cumulated Aggregated Growth Rate
CAPEX	Capital Expenditures
COTS	Commercial off-the-Shelf (parts)
Downlink	Radiolinket fra satellitten til Jorden
DTU	Danmarks Tekniske Universitet
EBIT	Earnings Before Interest and Taxes
EBITDA	Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization
EBT	Earnings Before Taxes
EEZ	Exclusive Economic Zone
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service – eller – European GNSS Overlay Service (systemet bruger begge betegnelser)
EO	Earth Observation
EOL	End of Life (for en satellit)
ESA	European Space Agency
ESCP-Polar	Enhanced Satellite Communications Project – Polar (PCW reborn) – Canadisk projekt med to satellitter i højelliptiske baner. Samme som ESCP-P.
ESTEC	European Space Research and Technology Centre (ESA facilitet i Noordwijk, Holland)
FCC	Federal Communications Commission (den amerikanske telestyrelse)
FAA	Federal Aviation Authority (den amerikanske luftfartsstyrelse)
Forward link	Radiolink med retningen: Teleport → satellit → bruger

FS	(Jordbaseret - terrestrial) Fixed Service (defineret af ITU)
FSS	Fixed Satellite Service (defineret af ITU)
Gateway	Et knudepunkt for telekommunikation mellem to forskellige systemer
Gbit/s	Gigabits pr sekund (10^9 bits pr sekund)
GEO	Geostationær bane (Geostationary Orbit)
Geostationær	(engelsk: Geostationary) Satellitter i en bane 35786 km over ækvator med en baneperiode på et siderisk døgn)
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GSA	European Global Navigation Satellite Systems Agency
GW	GuoWang – det kinesiske mega-konstellationsprojekt
HF	High Frequency
HD	High Definition (video)
HEO	Highly Elliptical Orbit
HPA	High Power Amplifier
HTS	High Throughput Satellite
ICAO	International Civil Aviation Organization
IoT	Internet of Things
IoST	Internet of Space Things
ISL	Inter-Satellite Link
IT	Information Technology
ITU	International Telecommunication Union
kbit/s	kilobit pr sekund (10^3 bit pr sekund)
LCD	Liquid Crystal Display
LEO	Low Earth Orbit – satellitbaner med højder ≈ 300 km til ≈ 2000 km
Mbit/s	Megabit pr sekund (10^6 bit pr sekund)
MEO	Medium Earth Orbit – satellitbaner med højder ≈ 2000 km til geostationær
MSC	Mission Control Center
MSS	Mobile Satellite Service (defineret af ITU)
NTN	Non-Terrestrial Network (betegnelse for mobilkommunikationsnetværk baseret på satellitter i stedet for basestationer/mobilmaster på jorden)
OPEX	Operational Expenditures
PC	Personal Computer
PCW	Polar Communications & Weather Mission – Canadisk projekt med to satellitter i højelliptiske baner (skrinlagt), se: ESCP-Polar.
Perigæum	(engelsk: Perigee) Det nærmeste punkt i en elliptisk satellitbane

PPP	Public-Private Partnership
QoS	Quality of Service
Reverse link	Radiolink med retningen: Bruger → satellit → teleport
RX	Receiver
SAR	Search and Rescue – eller – Synthetic Aperture Radar (afhængig af kontekst)
Satcom	Satellite Communication
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SDR	Software Defined Radio
TAP	Three-Apogee Orbit
Tbit/s	Terabit pr sekund (10^{12} bit per sekund)
Telecom	Telecommunication
Teleport	Facilitet med én eller flere jordstationer, der forbinder satellitkommunikations-systemet med det terrestriske, globale network
TM/TC	Telemetry/Telecommand
TWTA	Travelling Wave Tube Amplifier
TX	Transmitter
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UNOOSA	United Nations Office for Outer Space Affairs
USAF	United States Air Force
Uplink	Radiolinket fra Jorden til satellitten
VDSL	Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line
VSAT	Very Small Aperture Terminal
WAAS	Wide Area Augmentation System
WGS	Wideband Global Satcom – geostationært satellitkommunikationssystem ejet og drevet af U.S. Air force.
WRC	World Radiocommunication Conference

B. Ordforklaringer

dB	decibel, et logaritmisk mål for forholdet mellem to effektniveauer i Watt. decibel er defineret som $10 \cdot \log(P_2/P_1)$, hvor P_1 and P_2 er to effektniveauer i Watt.
dBW	decibel-Watt, som ovenfor med $P_1 = 1 \text{ W}$ anvendt som reference effektniveau.
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power. EIRP er et mål for den effekt, der udesendes fra en radiosender som om den havde en antenne, der strålede ligeligt i alle retninger. Det er et praktisk mål for senderens styrke til brug for link-beregninger. EIRP udtrykkes i dBW (udtales decibel-Watt eller dB-Watt).
Elektrisk fremdrivning (engelsk: Electric propulsion).	En gas, f.eks. Xenon, ioniseres og accelereres i et elektrisk felt til meget stor hastighed og udstødes som i en raket. Elektrisk fremdrift opnår meget større effektivitet end kemisk fremdrift.
Elevationsvinkel	(engelsk: Elevation angle) Den lodrette vinkel fra horisonten til satellitens position på himlen.
G/T	G/T er et kvalitetsmål for modtagerkæden i en satellitterminal. G er antenneforstærkningen på modtagefrekvensen, og T er modtagerkædens støjtemperatur målt i Kelvin. Enheden udtrykkes sædvanligvis i dB som dB/K – decibel pr Kelvin. G og T kan afbalanceres for et givet G/T krav. Størrelsen udtales "G-over-T".
Handover	Overdragelse af kommunikationen fra én satellit til den næste ved f.eks. Molniya-satellitter eller satellitter i lav bane (LEO). Begrebet benyttes også i mobilkommunikation ved overdragelse af kommunikationslinket mellem to mobilmaster.
Inklinationsvinkel	(engelsk Inclination angle) Vinklen mellem jordens ækvatorplan og satellittens baneplan. Inklinationer i intervallet $0^\circ \leq i < 90^\circ$ svarer til, at satellitten opsendes østover, mens Inklinationer i intervallet $90^\circ < i \leq 180^\circ$ svarer til, at satellitten opsendes vestover.
Inter-satellit link	(engelsk: Inter-Satellite Link – ISL) Radioforbindelse eller optisk forbindelse mellem satellitter i en konstellation. Typisk er der links til satellitten foran og bagved i samme baneplan og til nabosatellitten til venstre og højre. Derved kan man drastisk reducere antallet af jordstationer, der er krævet for at forbinde satellitkonstellationen til det jordiske telekommunikationsnetværk. ISL benyttes f.eks. af Iridium konstellationen.
Ion-motor	(engelsk: Ion engine). En raketmotor, der benytter elektrisk fremdrift.
Forsinkelse/Latency	Tovejs-forsinkelsen eller svartiden på en telekommunikationsforbindelse. For geostationære forbindelser er latency typisk 600 – 800 ms, men latency med satellitter i lav bane om jorden kan komme ned på mindre end 50 ms. Disse værdier er for satellitforbindelsen alene. Hertil kommer forsinkelsen i det jordiske telenet.
Konnektivitet	Teknisk set muligheden for kommunikation mellem computere. I bredere forstand muligheden for at tilkoble sig det globale kommunikationsnetværk og deltage i den globale informationsudveksling og den digitale økonomi.
Konstellation	En gruppe af (for det meste) identiske satellitter opsendt i et system af baneplaner med en bestemt og ens antal satellitter i hver baneplan. Baneplanerne er arrangeret med lige stor vinkelafstand, således at hele jorden kan dækkes. Begrebet benyttes både til kommunikationssatellitter (som beskrevet i denne rapport), jordobservationssatellitter (f.eks. EU's Copernicus system) og navigationssatellitter (GPS, Galileo, GLONASS og Beidou).

Metamateriale	Et materiale som ved en særlig strukturering gives andre egenskaber end et simpelt materiale. Det kan f.eks. være små øer af kobber på en printplade, mindre end bølgelængden af det elektromagnetiske felt, der herved giver pladen andre elektromagnetiske egenskaber overfor radiobølger end en simpel kobberplade.
Modem	Modulator/Demodulator. Modemet er hjertet i en satellitterminal, som demodulerer det modtagne radiosignal til en bitstrøm og modulerer den bitstrøm, der skal udsendes, til et radiosignal, der kan tilføres antennen.
Nyttelast	(engelsk: Payload) Se under "Transponder".
On-Board Processing (OBP)	Se under "Transponder".
Phased Array	En antenntype, der består af et todimensionalt arrangement af små antenner på typisk en plan flade, der tilsammen fungerer som én stor antenne. Ved at styre faserne af signalerne, der tilføres hvert antenneelement, kan man elektronisk styre den retning, antennen udstråler i, og strålens facon og størrelse. Det samme gælder for en phased array antenne anvendt til at modtage radiosignaler. Med en phased array antenne kan man ved hjælp af elektronisk styring følge en satellit i lav bane på dens færd over himlen og øjeblikkeligt springe til den næste satellit, når den foregående er på vej mod horisonten. Derved undgås udfald i forbindelsen. Med en mekanisk styret parabolantenne bliver der et udfald i forbindelsen ved hver skift, medmindre man har to paraboler.
Siderisk døgn	(engelsk: Sidereal day). Jordens rotationsperiode i forhold til fixstjernehimlen = 23 timer 56 min. 4,09 sek.
Software Defined Radio	I en moderne radio sker modulation af det signal, der skal udsendes, og demodulation af det modtagne signal med digital signalbehandling i en speciel processor arkitektur, modsat klassiske radioenheder, hvor signalbehandlingen sker i elektriske højfrekvenskredsløb. Forbindelsen mellem den digitale verden og radiofrekvens verdenen sker i senderkæden med en digital-til-analog omsætter og i modtagerkæden med en analog-til-digital omsætter. Derved kan radioenheden omprogrammeres til mange forskellige kommunikationssystemer, blot ved at ændre nogle software komponenter.
Tessellation	Består i at dække et givet areal med ensartede geometriske figurer, så der hverken er overlap eller gab. Begrebet bruges, når et antal spotbeams fra en satellit skal dække et givet område, f.eks. Europa. I praksis er der et lille overlap mellem spotbeams.
Transponder	Transponderen udgør kernen af nyttelasten i en kommunikationssatellit. Den består i sin simpleste udformning af en følsom forstærker, der forstærker signalet (uplink) som satelliten modtager på sin antenne fra en bruger eller teleport på jorden, flytter det til den frekvens, der benyttes til downlink, en effektforstærker, der sørger for at signalet er kraftigt nok til at kunne modtages på jorden, hvorefter det føres til senderantennen. Dette kaldes en "bent-pipe" (bøjlet rør) transponder, idet signalet kun forstærkes og flyttes i frekvens. I en regenerativ transponder demoduleres alle signaler fra Jorden til bitstrømme, som sendes gennem en slags digital telefoncentral, hvor man ruter signalet ud til den spotbeam, hvor modtagerne af bitstrømmen befinder sig. Dette koncept benyttes af Iridium satellitterne. Sidstnævnte koncept kaldes også "On-Board Processing".
Waveform	Indenfor kommunikationsteknologi er "waveform" en samlebetegnelse for en kombination af modulationsformat, fejlkorrigerende kodningsprincip, datapakkeformat, kryptering m.m., som benyttes af en given kommunikationslink.

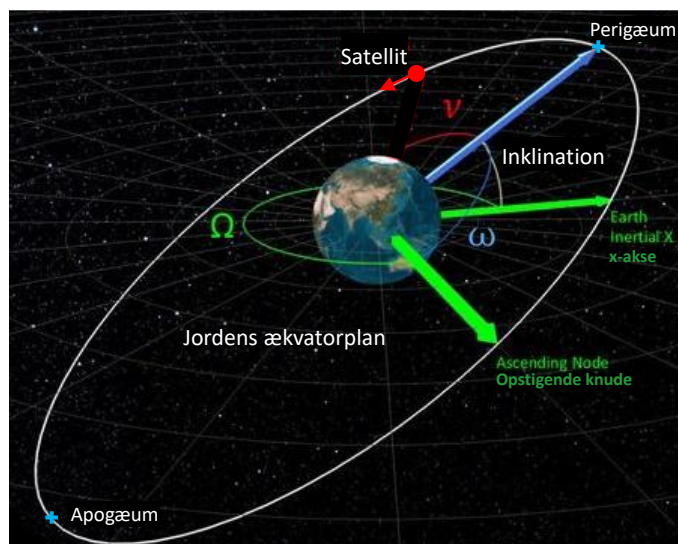
C. Grundbegreber

Til satellitkommunikation knyttes en række fagtekniske begreber, og uden en forståelse af de mest grundlæggende af disse kan det være vanskeligt at kapere den professionelle litteratur. Da der langt fra findes dækkende danske sproglige ækvivalenter til de engelske begreber, vil de sidstnævnte ofte blive benyttet i en dansk tekst.

Satellitbaner

I det efterfølgende forklares de vigtigste satellitbaneparametre med de engelske betegnelser i parentes. De vigtigste satellitbaner for telekommunikation i Arktis er angivet i Tabel C-1.

De vigtigste satellitbaneparametre er banehøjden (orbit altitude) for cirkulære baner eller ellipsens halve storakse (semi-major axis) for elliptiske baner. Den anden vigtige baneparameter er inklinationen eller inklinationsvinklen (inclination angle), baneplanets hældning med ækvator. Den sidste baneparameter er omløbstiden (orbit period).



Figur C-1 Satellitbanens geometri

Figur C-1 viser en satellitbanes geometri med de vigtigste elementer til beskrivelse af banen tegnet ind. Illustrationen viser en elliptisk satellitbane. De fleste satellitter i kredsløb om jorden er cirkulære, og her et to parametre tilstrækkeligt til at beskrive banen: banehøjden over jorden (eventuelt banens radius) og dens inklination (inklinationsvinkel), d.v.s. baneplanets hældning med jordens ækvatorplan. Se figuren.

En elliptisk bane beskrives ved den halve storakse af ellipsen, men det er mere almindeligt at angive højderne af nærmeste punkt i banen, perigæum, og det fjerneste punkt, apogæum. Det skrives f.eks. 9709 x 41885 km, som kunne være baneparametrene for den norske Arctic Satellite Broadband Mission, se afsnit 3.7.1. Denne bane har inklinationen 63,4°.

Mange satellitter opsendes i en retning mellem øst og nord, d.v.s. samme vej jordens egen omløbsretning, og disse baner vil have inklinationer mellem 0° og 90°. Specielt jordobservations-satellitter opsendes i en vestlig retning, d.v.s. modsat jordens egen omløbsretning. Disse baner vil have inklinationer mellem 90° og 180°. Med inklination omkring 97° - 98° vil satellittens baneplan dreje sig langsomt i rummet og følge jordens omløb om solen. Derved opnås, at et punkt på jorden passerer i hver omløb på samme lokale soltid, således at strukturer på jorden altid kaster skygge på samme måde.

Inklinationen er vigtig for forståelse af dækningsområdet for en satellit eller satellitkonstellation. Inklinationen kan også forstås som den højeste breddegrad hvor satellitten kan ses i zenith. Ved lave baner (LEO, se Tabel C-1) kan satellitten på den nordlige halvkugle række nogle få breddegrader længere mod nord end svarende til inklinationen (tilsvarende mod syd på den sydlige halvkugle). Derfor kan satellitter som Starlink, der i første fase opsendes til ca. 53° inklination kun dække op til ca. 56°N til 57°N eller S. For at dække globalt og dermed Arktis, skal LEO satellitter opsendes til ca. 86° inklination. Satellitbaner med inklinationsvinkler i nærheden af 90° kaldes polære baner.

Apogæum (Apogee) er det fjerneste punkt i satellitbanen og perigæum (Perigee) det nærmeste punkt. For cirkulære baner er apogæum og perigæum sammenfaldende.

Ved elliptiske baner angives ofte perigæum og apogæum banehøjderne, f.eks. Molniya-banen med 600×39770 km. Alternativt benytter man, mere stringent, ellipsens halve storakse og ellipsens excentricitet (eccentricity).

Der er flere baneparametre, med de er ikke så vigtige i denne sammenhæng.

Den geostationære bane (GEO) er karakteriseret ved, at satellitten tilsyneladende står stille på et punkt 36786 km over ækvator. Det opnås ved at raketten opsendes østover, eftersom jordens rotation går mod øst, og satellitten indsættes i sin bane i jordens ækvatorplan. Det svarer til inklinationen 0° . Derved kan satellitterterminalernes parabolantener fastgøres permanent, når de rettet ind mod satellitten. Det er vigtigt at forstå, at satellitter i GEO skal følge jordens rotation i forhold til fixstjernehimlen. Derfor er omløbstiden ikke præcis 24 timer, men et siderisk døgn (stjernerødgn) $23\text{t } 56\text{m } 4,09\text{s}$. Da de geostationære satellitter står stille over ækvator, er det tilstrækkeligt at specificere længdegraden, over hvilken satellitten står, f.eks. 61° vest.

Geostationære satellitter står lavere og lavere på himlen jo længere man bevæger sig mod nord eller syd. Højest på himlen står de, når man befinder sig på samme længdegrad som satellitten. Bevæger man sig over ca. 70°N bliver der stigende problemer med at etablere og holde kontakt med satellitten, og hvis man befinder sig i en dal, og allerværst i en øst-vest vendt dal, er risikoen for total blokering af sigt til satellitten stor.

Ved 81.9°N eller S står satellitten på horisonten, selv om man er på samme længdegrad som satellitten. Ved endnu højere breddegrader er en geostationær satellit altid under horisonten.

Tabel C-1 De mest almindelige satellitbaner og deres karakteristika

Banetype	Højde	Inklination	Omløbstid	Kommentar
LEO Low Earth Orbit	300 – 2000 km (typisk cirkulær bane)	0° til ca. 100°	90 – 127 min.	Benyttes af utallige satellitter til mange formål. Vigtigst er jordobservation og telekommunikation
MEO Medium Earth Orbit	2000 km til GEO (typisk 7000 – 24000 km)	0° til ca. 65°	2 – 24 timer (typisk 4 – 14½ time)	Eksempler: O3b (satcom til den ækvatoriale region), og GNSS satellitter
GEO Geostationary Orbit	35786 km	0°	1 siderisk døgn* = 23t 56m 4,09s	Benyttes af flere hundrede satellitter til kommunikation og TV rundspredning
Molniya	Typisk 600 x 39770 km	63,4°	½ siderisk døgn* = 11t 58m 2,05s	Benyttes til kommunikation og TV rundspredning til det arktiske område
TAP Three Apogee Orbit	Typisk 8100 x 43500 km	63,4°	$\frac{2}{3}$ siderisk døgn = 15t 57m 22,73s	Benyttes til kommunikation og TV rundspredning til det arktiske område
Tundra	Typisk 10000 x 61550 km	63,4°	1 siderisk døgn* = 23t 56m 4,09s	Benyttes til kommunikation og TV rundspredning til det arktiske område

* Et siderisk døgn er jordens rotationstid i forhold til fixstjernehimlen

Three Apogee Orbit (TAP) banen har sit navn, fordi den gennemfører tre baner (passerer apogæum tre gange) på to sideriske døgn, d.v.s. en omløbstid på ca. 16 timer.

Molniya-, TAP- og Tundra-banerne er alle stærkt elliptiske og har inklinationen præcis 63,4°. Ligeledes placeres banen, så apogæum kommer maksimalt højt over den nordlige halvkugle. Ved alle andre værdier af inklination vil ellipsens storakse langsomt dreje sig, så apogæum vandrer væk fra den nordlige halvkugle, og banen dermed gøres ubrugelig. Til kontinuerlig dækning kræves mindst to satellitter, som skiftes til at betjene dækningsområdet i hver sin halvdel af omløbstiden. I modsætning til geostationære satellitter, hvor man kan nøjes med en fast indstillet parabolantenne, skal man til de højelliptiske satellitter benytte en "tracking" antenne der følger satellittens bane over himlen. Fordelen ved de højelliptiske baner er, at satellitterne kommer højt på himlen i hele Arktis incl. selve Nordpolen. Skal man undgå udfald i kommunikationen via en satellit i Molniya- TAP- eller Tundra-bane, mens der udføres "handover", er der brug for to antenner eller én elektronisk styrbar "phased array" antenne.

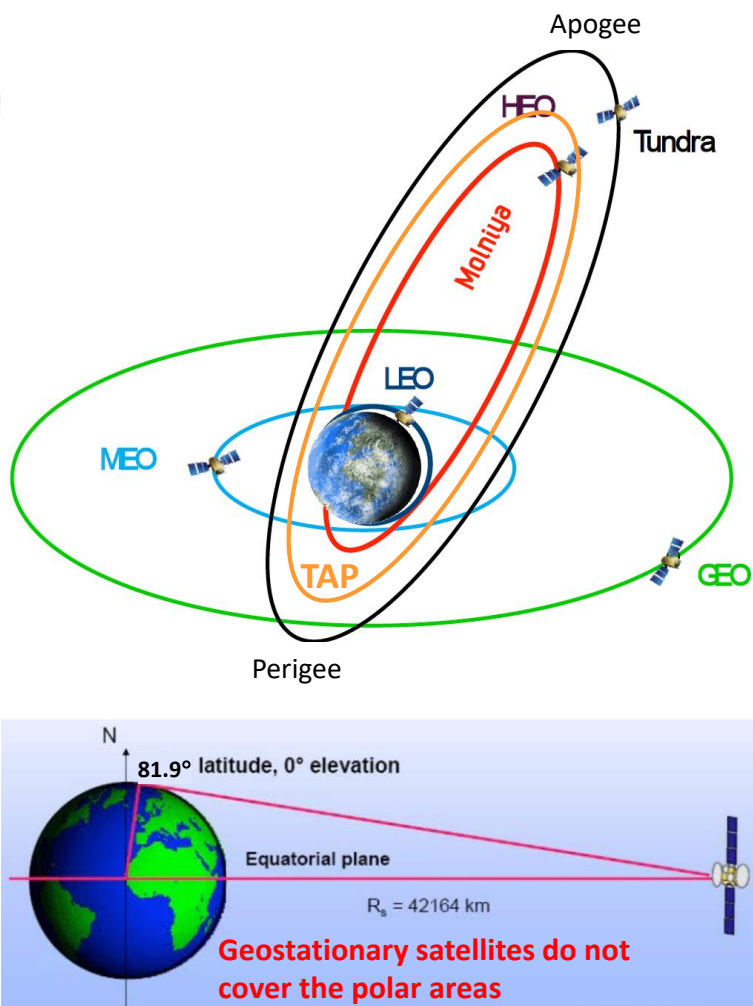
Molniya-banen med en omløbstid på ½ siderisk døgn har i mange år været benyttet af sovjetiske/russiske kommunikationssatellitter til kommunikation og TV-rundspredning til høje breddegrader. En Molniya-satellit set fra jorden beskriver en smal lodret sløjfe på himlen i løbet af det halve omløb af banen, hvor den er højt over den nordlige halvkugle. Denne sløjfebevægelse varer ca. 6 timer, hvorefter den hastigt bevæger sig mod den sydlige halvkugle. Med to Molniya-satellitter i samme baneplan og forskudt et halvt omløb i banen vil den næste satellit være på vej op ad sin sløjfebevægelse, når den anden satellit er på vej mod horisonten. Som nævnt ovenfor, kræves to parabolantenner for kontinuerlig opretholdelse af linket.

TAP-banen har samme karakteristika som Molniya-banen, men med handover med ca. 8 timers mellemrum. Denne bane vil blive benyttet af den norske Arctic Satellite Broadband Mission (ASBM), der opsendes i 2023. Tundra-banen med en omløbstid på 1 siderisk døgn benyttes kun i meget ringe omfang.

Figur C-1 viser grafisk de typiske satellitbaner. Geostationære satellitter rækker ikke højere end til 81.9°N, endda under hensyntagen til at Jorden er fladtrykt, og at signalet afbøjes nedad undervejs ned gennem atmosfæren (refraktion).

Det skal dog siges at Tusass A/S i mange år har benyttet geostationære satellitter til dækning af Qaanaaq-området ved ca. 77,7°N, hvor elevationsvinklen i bedste fald er ca. 3,9°. Såfremt der ikke blokeringer fra bjerge eller højdedrag, kan et sådant link godt fungere i praksis.

Levetiden for satellitter afhænger meget af banen. I lave baner regner man med 5 – 7 års levetid, eventuelt 10 år i heldigste fald. I geostationære baner designer man efter 15 – 18 års levetid. Derfor har mega-konstellationerne en kæmpe udfordring med vedligeholdelsen af konstellationen og udskiftning af satellitterne, som for f.eks. Starlink's vedkommende allerede begynder inden konstellationen er fuldendt.



Figur C-1 Satellitbaner og rækkevidden af den geostationære bane

Frekvensbånd

Mange vil nikke genkendende til frekvensbåndbetegnelserne HF, som har været benyttet til langdistancekommunikation i næsten 100 år, og VHF og UHF, der i årtier har båret FM-radio og TV fra jordbaserede sendere. Frekvensbåndene inddeles i dekader dækkende fra 30 kHz til 300 GHz. Se faktaboksen til højre.

Fra 300 MHz = 0,3 GHz og op til 110 GHz benyttes bogstavbetegnelser og bånd, som er smallere end en dekade, typisk en halv eller en hel oktav, svarende til en faktor ca. 1,5 eller 2. Dette skyldes dels en konvention fra radarudviklingens barndom og dels et teknologiskifte, der typisk matcher båndgrænserne.

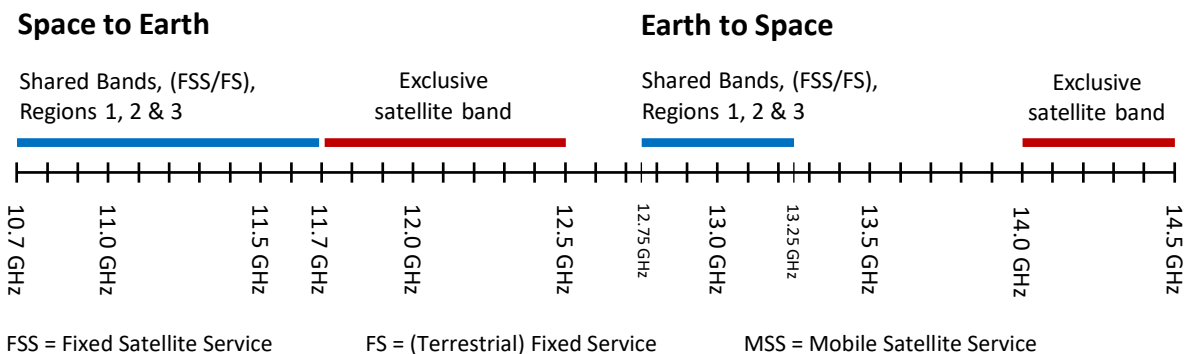
Til satellitkommunikation benyttes især L-bånd, X-bånd, Ku-bånd og Ka-bånd. Sidstnævnte er det sidst tilkomne, da billig teknologi til disse frekvenser først er blevet tilgængelig i de seneste år. C-båndets anvendelse til satellitkommunikation er aftagende, dels p.g.a. mangel på båndbredde og dels fordi dele af C-båndet, der tidligere var eksklusivt tildelt satellitkommunikation, nu også er frigivet til 5G mobilkommunikation.

Iridium benytter frekvensbåndet: 1616 – 1626,5 MHz til og fra brugerterminalerne, d.v.s. L-båndet. Den lille båndbredde, der er til rådighed for Iridium systemet sætter snævre grænser for de datahastigheder, der kan opnås.

Frekvensbåndene til satellitkommunikation i intervallet 10,7 til 14,5 GHz omfatter både X-bånd og Ku-bånd, men betegnes i daglig tale Ku-bånd. Disse bånd er illustreret i Figur C-2.

Faktaboks: Frekvensbånd	
Designation	Frequency Range
LF	30 - 300 kHz
MF	300 kHz - 3 MHz
HF	3 - 30 MHz
VHF	30 - 300 MHz
UHF	300 - 3000 MHz
SHF	3 - 30 GHz
EHF	30 - 300 GHz
P-band	0.3 - 1 GHz
L-band	1 - 2 GHz
S-band	2 - 4 GHz
C-band	4 - 8 GHz
X-band	8 - 12 GHz
Ku-band	12 - 18 GHz
K-band	18 - 27 GHz
Ka-band	27 - 40 GHz
V-band	40 - 75 GHz
W-band	75 - 110 GHz

IEEE Std. 521-2002



Figur C-2 Frekvensbånd til satellitkommunikation i Ku-bånd

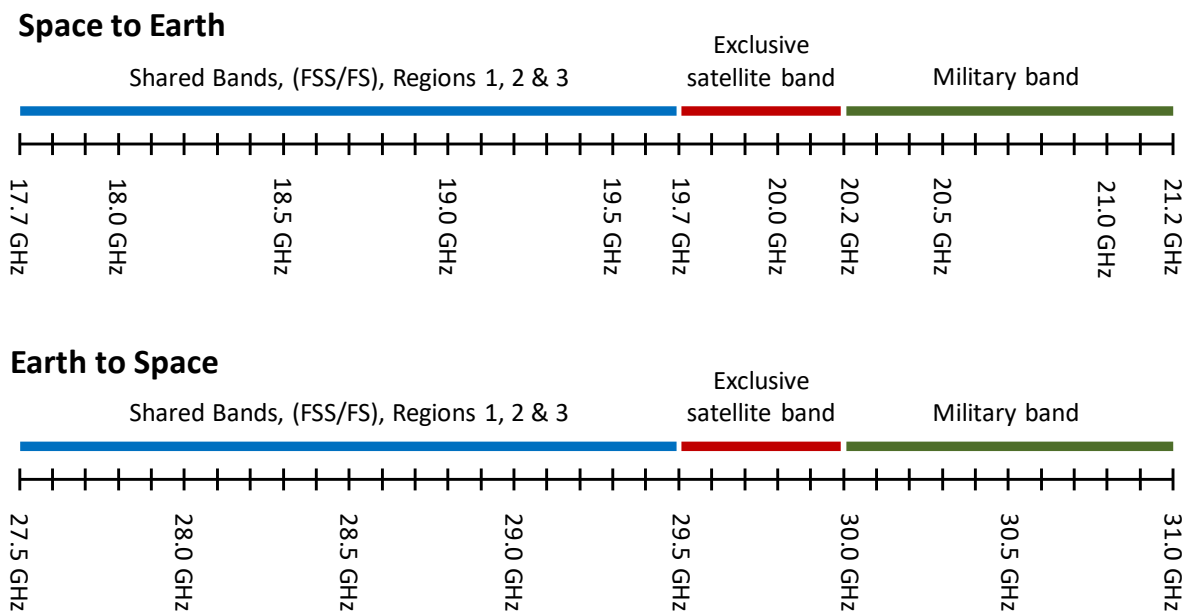
De allokerede frekvensbånd til downlink og uplink er ikke lige store, hvilket i nogle systemer kan give udfordringer med optimal udnyttelse af frekvensressourcerne.

Der er således eksklusive allokeringer til downlink/uplink på 800/500 MHz, og frekvensbånd, som deles med jordiske anvendelser, med allokering downlink/uplink på 1000/500 MHz.

For at få mere frekvensplads til bredbåndstjenester har man i de senere år taget Ka-båndet i brug, hvor der er mere båndbredde. Disse allokeringer er vist i Figur C-3. Her er der igen lidt navneforvirring,

eftersom downlink båndene ligger i K-bånd, mens uplink ligger i Ka-bånd. I daglig tale kaldes det hele Ka-bånd.

De eksklusive allokeringer til downlink/uplink omfatter 500/500 MHz, og frekvensbånd, som deles med jordiske anvendelser, omfatter downlink/uplink 2000/2000 MHz (2/2 GHz). De militære allokeringer er kun medtaget for illustrationens skyld.



Figur C-3 Frekvensbånd til satellitkommunikation i Ka-bånd

Både Ku-bånd og Ka-bånd benyttes til såvel geostationære satellitter som mega-konstellationer i lav bane.

Latency

Latency, eller tovejs-forsinkelsen i en Internet-forbindelse er en eget vigtig parameter for kvaliteten af forbindelsen. På det jordiske telenet ved forbindelser, der ikke går mellem kontinenterne, er latency så lille, at man ikke mærker til den både for dataforbindelser og telefon. Ved geostationære forbindelser er latency typisk 600 – 800 ms. Dette er mærkbart både ved dataforbindelser og ved telefonsamtaler, hvor man nemt risikerer at tale i munden på hinanden. Med lavtgående satellitter, der er designet til at levere bredbånd bliver latency typisk < 50 ms. Det skal dog nævnes, at latency via Iridium NEXT konstellationen, afsnit 3.4.1, typisk er ca. 600 ms, men her er der ikke tale om en bredbåndsforbindelse.

På meget lange undersøiske fiberoptiske kabelforbindelser kan latency også blive mærkbar. I det tomme rum og næsten også i atmosfæren udbreder radiobølger sig med lysets hastighed ca. 300000 km/sek. I fiberoptiske kabler er udbredelseshastigheden ca. 2/3 heraf.

Latency i en given forbindelse omfatter både den fysiske forsinkelse på grund af lysets endelige hastighed, men også forsinkelse i jordstationen og satellitterne til ind- og udpakning af data i rammeformater samt fejlkorigerende kodning og dekodning, kryptering/dekryptering m.m.

Det skal også bemærkes, at den specificerede latency på en satellitforbindelse kun omfatter den del, der skyldes satellitforbindelsen. Hertil kommer latency i det jordiske netværk.

Som et eksempel på et undersøisk langdistance kabelprojekt kan nævnes en forbindelse fra Tokyo via nordvestpassagen til Irland og Finland med landgang i Nordnorge og med afstikkere til Alaska, flere steder i Canada, Thule Air Base og Island, [88], [89]. Dette kabel får en længde på ca. 14000 km, og latency bliver ca. 150 ms. Et lignende projekt er firmaet Quintillion's "Japan-Washington State Trans-Pacific Cable System" (JAWS TPCS), [90], fra Tokyo til London, ligeledes med afstikkere undervejs. Denne størrelse latency er på grænsen til at være mærkbar, men stadig kortere end eksisterende forbindelser mellem London og Tokyo. Den kortest mulige latency er vigtig for bølstranskationer af typen "high-frequency trading". Latency er proportional med kabellængden.

I eksemplet med fiberkabler gennem nordvestpassagen med længden 14000 km og latency ca. 150 ms, kan man sammenligne med den direkte luftlinie mellem Tokyo og London, som er ca. 9600 km eller ca. $\frac{1}{4}$ rundt om jorden. Dette giver en latency på ca. 64 ms, men da lys eller radiobølger går i rette linier, vil det kræve adskillige hop mellem satellitter via inter-satellit-links, for at det kan lade sig gøre. Derved forøges latency noget, men den vil sandsynligvis stadig være mindre end fiberkablet.

Latency på Greenland Connect søkablet til Island og videre i søkabel til Danmark og over land til København er blevet målt af Tusass til 54 ms. På strækningen Nuuk - New York er latency 56 ms.

Latency på fiberkabler kan generelt regnes for ca. 10 ms pr 1000 km.

Den vestgrønlandske radiokæde fra Kullorsuaq i nord til Ikerasassuaq i syd er ca. 2100 km lang og her vil latency stort set være bestemt af lysets hastighed. Dermed bliver latency ca. 14 ms, dog nok lidt længere p.g.a. repeaterstationerne undervejs.

Doppler-effekt

Doppler-effekten opleves, når radiosender og -modtager bevæger sig i forhold til hinanden. Doppler-effekten kendes også fra lydølger, som det opleves af enhver, der har stået ved en vej hvor en ambulance med sirene kører forbi. Når ambulancen nærmer sig er tonen højere, og når den passerer falder tonen, og er lavere, end hvis ambulancen holder stille. Doppler-skiftet, forskellen mellem frekvensen af det modtagne signal og det udsendte signal, bestemmes af radialhastigheden mellem sender og modtager, d.v.s. hastigheden langs den linie, der forbinder de to. Ved radiobølger er Doppler-skiftet bestemt ved formlen:

$$\Delta f = \frac{v_r}{c} f_0 \cdot \cos \theta$$

Hvor Δf er Doppler-skiftet, v_r radialhastigheden, c lyshastigheden 299792,458 km/s, og f_0 bærebølgefrequensen af radiosignalet. Når sender og modtager fjerner sig fra hinanden, regnes radialhastigheden negativ. Bevæger den ene sig vinkelret på sigtelinien mellem de to, er der intet Doppler-skift, eftersom radialhastigheden er nul. Ellers skales Doppler-skiftet med cosinus til vinklen θ mellem sigtelinien og bevægelsesretningen.

Med en lavtgående satellit vil Doppler-skiftet være positivt, når satellitten kommer op over horisonten, gå i nul, når den er i zenith eller højest på himlen, og negativt, når satellitten bevæger sig mod horisonten igen.

Doppler-skiftet er en meget vigtig parameter ved design af modtagerdelen i en satellitlink. Modtageren skal kunne fange og følge radiosignalet over hele det frekvensbånd, der forårsages af satellittens bevægelse i forhold til modtageren. Dette er et indlysende designkrav for en satellitterminal, men ikke nødvendigvis for en smartphone, som normalt ikke vil opleve så store Doppler-skift. Derfor må man i hvert fald i en overgangsfase Doppler-prækompensere det udsendte signal fra satellitten, så det med Doppler-skift kan fanges og følges af smartphone'ns modtager.

D. Referencer

- [1] Tele-Post Årsrapport 2018
<https://www.tusass.gl/assets/organisation/reports/annual/2018-TP-Annual%20Report-DA.pdf>
- [2] Tele-Post Årsrapport 2019
<https://www.tusass.gl/assets/organisation/reports/annual/2019-TP-Annual%20Report-DA.pdf>
- [3] Tele-Post Årsrapport 2020
<https://www.tusass.gl/assets/organisation/reports/annual/2020-TP-Annual%20Report-DA.pdf>
- [4] Tusass Årsrapport 2021
<https://www.tusass.gl/assets/organisation/reports/annual/2021-TS-Annual-Report-DK-WEB.pdf>
- [5] Arctic Council Task Force on Telecommunications Infrastructure in the Arctic, 2017, Telecommunications infrastructure in the Arctic: A circumpolar assessment.
<https://oaarchive.arctic-council.org/handle/11374/1924>
- [6] Arctic Council Task Force on Improved Connectivity in the Arctic (2019). Improving Connectivity in the Arctic. Arctic Council Secretariat.
<https://oaarchive.arctic-council.org/handle/11374/2369>
- [7] Iridium NEXT, <https://www.iridium.com/blog/iridium-next-review/>
- [8] OneWeb, <https://oneweb.net/>
- [9] Starlink, <https://www.starlink.com/>
- [10] Amazon Kuiper Systems, https://en.wikipedia.org/wiki/Kuiper_Systems
- [11] Telesat Lightspeed, <https://www.telesat.com/leo-satellites/>
- [12] Space: EU initiates a satellite-based connectivity system and boosts action on management of space traffic for a more digital and resilient Europe
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_921
- [13] LeoSat, <https://leosat.com/>
- [14] FCC Authorizes Boeing V-Band LEO Broadband Constellation
<https://www.satellitetoday.com/broadband/2021/11/03/fcc-authorizes-boeing-v-band-leo-broadband-constellation/>
- [15] China To Blast A Whopping 13,000 Satellites Into Space; Its Gigantic Guowang Project Sparks Anxiety In The West
<https://eurasiantimes.com/china-mega-constellation-of-satellites-gigantic-space-project/>
- [16] Munira Jaffar & Nicolas Chuberre
Status of NTN & Satellite in 3GPP Releases 17 & 18
3GPP Highlights newsletter, Issue 03, October 2022, p. 24
<https://www.3gpp.org/newsletter-issue-03-october-2021>
- [17] Lynk Global, <https://lynk.world/>
- [18] AST SpaceMobile, <https://ast-science.com/>
- [19] Omnispace, <http://omnispace.com/>
- [20] T-Mobile Takes Coverage Above and Beyond With SpaceX
<https://www.t-mobile.com/news/un-carrier/t-mobile-takes-coverage-above-and-beyond-with-spacex>
- [21] Use Emergency SOS via satellite on your iPhone 14
<https://support.apple.com/en-us/HT213426>
- [22] E-Space, <https://www.e-space.com/>
- [23] Space Norway HEOSAT - Arctic Satellite Broadband Mission,
<https://spacenorway.no/heosat/> eller <https://spacenorway.no/en/heosat/>

- [24] Satellites key to Canada's Arctic surveillance strategy
<https://spacenews.com/satellites-key-to-canadas-arctic-surveillance-strategy/>
- [25] Inmarsat, <https://www.inmarsat.com/>
- [26] Viasat, <https://www.viasat.com/>
- [27] Intelsat, <https://www.intelsat.com>
- [28] SES, <https://www.ses.com/>
- [29] O3b, <https://www.ses.com/our-coverage/o3b-meo>
- [30] Tusass A/S, <https://www.tusass.gl/>
- [31] Inatsisartutlov nr. 31 af 23. november 2017 om telekommunikation og teletjenester.
<http://lovgivning.gl/lov?rid=%7b9A6A3391-3189-45F9-9107-12D054A8ACF6%7d> (tilgået 2022-08-30)
- [32] Hjemmestyrets bekendtgørelse nr. 18 af 22. november 1999 om koncession for TELE Greenland A/S
<https://lovgivning.gl/lov?rid=%7B62BD05B6-7DCA-41E9-B298-335A600EE568%7D>
- [33] Den digitale økonomi er fundamentalt anderledes end den industrielle
<https://videnskab.dk/teknologi/den-digitale-okonomi-er-fundamentalt-anderledes-end-den-industrielle>
- [34] Iridium Extreme 9575 Satellite Phone
<https://www.iridium.com/products/iridium-extreme/>
- [35] OneWeb Reveals New Briefcase-Sized OW1 Terminal
<https://www.satellitoday.com/ground-systems/2021/08/24/oneweb-reveals-new-briefcase-sized-ow1-terminal/>
- [36] OneWeb Completes its 'Five to 50' Mission to Cover Regions North of 50 Degrees Latitude including UK, Canada, Alaska and Arctic Region
<https://oneweb.net/resources/oneweb-completes-its-five-50-mission-cover-regions-north-50-degrees-latitude-including-uk>
- [37] OneWeb Non-Geostationary Satellite System (LEO)
Phase 1: Modification to Authorized System
Attachment A. Technical Information to Supplement Schedule S
<https://fcc.report/IBFS/SAT-MPL-20200526-00062/2379565.pdf>
- [38] Starlink, <https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink>
- [39] Amazon planning Project Kuiper prototype satellite launch in late 2022
<https://www.zdnet.com/article/amazon-planning-project-kuiper-prototype-satellite-launch-in-late-2022/>
- [40] Telesat to order 100 fewer satellites for LEO constellation
<https://spacenews.com/telesat-to-order-90-fewer-satellites-for-leo-constellation/>
- [41] Telesat Lightspeed Specifications Sheet
<https://www.telesat.com/wp-content/uploads/2022/05/Telesat-Lightspeed-Specifications-Sheet.pdf>
- [42] Update on China SatNet's GuoWang Broadband Constellation – Can They Do It
<https://circleid.com/posts/20220203-update-on-china-satnets-guowang-broadband-constellation-can-they-do-it>
- [43] 5G from Space: An Overview of 3GPP Non-Terrestrial Networks
<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2103/2103.09156.pdf>
- [44] Non-Terrestrial Networks in 5G & Beyond: A Survey
IEEE Access — 2020, Volume 8, pp. 165178-165200, DOI 10.1109/ACCESS.2020.3022981
- [45] 5G & Non-Terrestrial Networks, a 5G Americas Whitepaper, February 2022
<https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2022/01/5G-Non-Terrestrial-Networks-2022-WP-Id.pdf>
- [46] Lynk sends the first text message from space directly to a normal cell phone
<https://techcrunch.com/2020/03/18/lynk-sends-the-first-text-message-from-space-directly-to-a-normal-cell-phone/>

- [47] Lynk Tests Connect Satellite to Thousands of Cell Phones and IoT Devices
<https://www.satellitetoday.com/telecom/2022/02/08/lynk-tests-connect-satellite-to-thousands-of-cell-phones-and-iot-devices/>
- [48] Lynk demos global satellite connection for ordinary phones and prepares for commercial launch
<https://techcrunch.com/2021/09/29/lynk-demos-global-satellite-connection-for-ordinary-phones-and-prepares-for-commercial-launch/>
- [49] Falls Church-based Lynk is officially seeking FCC approval for its space cell phone network
<https://technical.ly/diversity-equity-inclusion/lynk-fcc-license/>
- [50] Nokia radio technology to enable AST SpaceMobile’s direct-to-cell phone connectivity from space
<https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2022/07/28/nokia-radio-technology-to-enable-ast-spacemobiles-direct-to-cell-phone-connectivity-from-space/>
- [51] AST SpaceMobile delays commercial satellite debut by six months
<https://spacenews.com/ast-spacemobile-delays-commercial-satellite-debut-by-six-months/>
- [52] The Omnispace Spark-2™ Smallsat Successfully Launched Into Orbit Via The Transporter-5 SpaceX Mission
<https://news.satnews.com/2022/05/26/the-omnispace-spark-2-smallsat-successfully-launched-into-orbit-via-the-transporter-5-spacex-mission/>
- [53] Omnispace Overview Brochure SP2
http://omnispace.com/wp-content/uploads/2019/04/Omnispace_Overview_Brochure_SP2.pdf
- [54] Omnispace and GateHouse SatCom Preview a New Era of 5G Connectivity
<http://omnispace.com/omnispace-and-gatehouse-satcom-preview-a-new-era-of-5g-connectivity/>
- [55] T-Mobile phones will connect to Starlink for free starting next year
<https://techcrunch.com/2022/08/25/t-mobile-phones-will-connect-to-starlink-for-free-starting-next-year/>
- [56] Apple to be largest user of Globalstar’s satellite network for iPhone messaging
<https://spacenews.com/apple-to-be-largest-user-of-globalstars-satellite-network-for-iphone-messaging/>
- [57] iPhone 14 and 14 Pro gain satellite SOS for off-grid emergencies
<https://techcrunch.com/2022/09/07/iphone-14-gains-satellite-sos-for-off-grid-emergencies/>
- [58] Lessons from the Past: Greg Wyler Says Things Will be Different With E-Space
<https://interactive.satellitetoday.com/via/april-2022/lessons-from-the-past-greg-wyler-says-things-will-be-different-with-e-space/>
- [59] Wyler raises \$50 million for “sustainable” megaconstellation
<https://spacenews.com/wyler-raises-50-million-for-sustainable-megaconstellation/>
- [60] Rwanda’s E-Space adds senior staff
<https://advanced-television.com/2022/08/26/rwandas-e-space-adds-senior-staff/>
- [61] Northrop Grumman to build two triple-payload satellites for Space Norway, SpaceX to launch
<https://spacenews.com/northrop-grumman-to-build-two-triple-payload-satellites-for-space-norway-spacex-to-launch/>
- [62] Inmarsat Technology, <https://www.inmarsat.com/en/about/technology/satellites.html>
- [63] ViaSat-3 High Capacity Satellites, <https://www.viasat.com/space-innovation/satellite-fleet/viasat-3/>
- [64] Intelsat 35e, <https://www.intelsat.com/fleetmaps/satellites/intelsat-35e-at-325.5-e/>
- [65] IntelSat 35e, C-band C-17 User Spot Beam, <https://www.satbeams.com/satellites?norad=42818>
- [66] O3b mPOWER, <https://www.ses.com/o3b-mpower>, https://en.wikipedia.org/wiki/O3b_mPOWER
- [67] Iridium Developer Products
https://www.iridium.com/products/?fwp_product_type=developer-products

- [68] Global IoT connectivity on the best satellite networks
(Satellite IoT Devices: Inmarsat, Iridium, Globalstar, Thuraya)
<https://satellitephonestore.com/satellite-iot-devices>
- [69] ORBCOMM Hardware
<https://www.orbcomm.com/en/solutions/transportation/hardware>
- [70] Grønland får satellit opkaldt efter sig
<https://www.tusass.gl/da/presse/artikel/?id=8>
- [71] Hispasat to provide satellite capacity in Greenland
<https://advanced-television.com/2021/10/08/184729/>
- [72] Hurtigt net på vej i Grønland med 5G: Også transportnettet bliver trådløst
<https://ing.dk/artikel/hurtigt-net-paa-vej-groenland-med-5g-ogsaa-transportnettet-bliver-traadloest-261427>
- [73] 5G til Grønland - Højere hastigheder for et højere formål
<https://www.tusass.gl/da/presse/artikel/?id=51>
- [74] Flaskehalsproblemer kan påvirke internetoplevelser
<https://www.tusass.gl/da/presse/artikel/?id=21>
- [75] ESA and UNOOSA illustrate space debris problem
https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/ESA_and_UNOOSA_illustrate_space_debris_problem
- [76] FCC FACT SHEET. Space Innovation; Mitigation of Orbital Debris in the New Space Age
Second Report and Order, IB Docket Nos. 22-271 and 18-313
<https://www.fcc.gov/document/mitigating-orbital-debris-shortening-time-satellite-disposal>
<https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-387024A1.pdf>
- [77] Mark Dankberg: We must regulate the exploitation of limited resources in space
Financial Times, August 8, 2022
<https://www.ft.com/content/9d090532-1a74-445f-9e12-8127f83436cc>
- [78] Jingrui Zhang, Yifan Cai , Chenbao Xue, Zhirun Xue, and Han Cai
School of Aerospace Engineering, Beijing Institute of Technology.
Review Article. LEO Mega Constellations: Review of Development, Impact, Surveillance, and Governance
AAAS Space: Science & Technology, Volume 2022, Article ID 9865174, 17 pages
<https://doi.org/10.34133/2022/9865174>
Det skal bemærkes at denne på mange felter udmærkede artikel er stærkt farvet af, at forfatterne er kinesiske forskere tilknyttet School of Aerospace Engineering, Beijing Institute of Technology. Således falder der politisk farvede kommentarer om Starlink's donation af 5000 terminaler til Ukraine, og ligeledes omtales kun kollisionen mellem Iridium-33 og Cosmos-2251 10. februar 2009 som kilde til en stor forøgelse af rumskrot, men ikke Kinas egen nedskydning af Feng Yun 1C satellitten i 800 km højde d. 11. januar 2007, som også skabte flere tusinde stykker rumskrot.
- [79] Viasat Details KA-SAT Cyberattack that Affected Thousands of Modems in Ukraine
<https://www.satellitetoday.com/cybersecurity/2022/02/28/viasat-investigating-ka-sat-outage-due-to-potential-cyber-event/>
- [80] Angreb på satellitter har konsekvenser langt ud over Ukraines grænser
<https://ing.dk/artikel/angreb-paa-satellitter-har-konsekvenser-langt-ud-ukraines-graenser-255493>
- [81] Elon Musk says Russian efforts to jam Starlink are ramping up
<https://www.zdnet.com/article/elon-musk-says-russian-efforts-to-jam-starlink-are-ramping-up/>
- [82] Large LEO satellite constellations - Will it be different this time (McKinsey artikel, 4. maj 2020)
<https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/large-leo-satellite-constellations-will-it-be-different-this-time>
(Denne analyse er særdeles informativ, men den er allerede forældet på en del punkter, f.eks. rekonstruktionen af OneWeb og priser på brugerterminaler til mega-konstellationer)

- [83] Software Defined Radio, https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_radio
- [84] Focus: Kymeta's Flat Panel Antenna Technology
The basics of the metamaterial-surface antenna technology (MSAT)
<http://www.satmagazine.com/story.php?number=144141634>
- [85] More Satellite IoT Connectivity Opportunities Anticipated
<https://www.telecomreview.com/articles/satellite-and-broadcasting/6341-more-satellite-iot-connectivity-opportunities-anticipated>
- [86] AST SpaceMobile plan to launch five Block 1 BlueBird satellites in late 2023
<https://ast-science.com/2022/11/14/ast-spacemobile-provides-third-quarter-2022-business-update-2/>
- [87] How AST SpaceMobile's BlueWalker 3 test satellite mission will work
<https://youtu.be/uUBiGseRDw4>
- [88] New Cooperation about Arctic Subsea Fiber Cable
<https://www.highnorthnews.com/en/new-cooperation-about-arctic-subsea-fiber-cable>
- [89] A new Arctic fiber project aims to link Asia and Europe via the Northwest Passage
<https://nunatsiaq.com/stories/article/a-new-arctic-fiber-project-aims-to-link-asia-and-europe-via-the-northwest-passage/>
- [90] Quintillion's System - Asia & Europe - Planned Expansion
<https://www.quintillionglobal.com/system/out-asia-europe/>
- [91] Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing the Union Secure Connectivity Programme for the period 2023-2027
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0057>
(Link til dokument + annex på alle officielle EU sprog)
- [92] Falun Gong Hijacks Chinese TV
<https://www.wired.com/2002/09/falun-gong-hijacks-chinese-tv/>
- [93] China condemns Falun Gong cult's hijacking satellite again
http://cz.china-embassy.gov.cn/cze/rdzt/jpflg/200406/t20040611_2908094.htm
- [94] U.S. Government. Orbital Debris Mitigation Standard Practices, November 2019 Update
https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/library/usg_orbital_debris_mitigation_standard_practices_november_2019.pdf
- [95] Finally, SpaceX Joining the Direct Satellite-to-Device Race (bl.a. om 5G via satellit)
<https://www.nsr.com/finally-spacex-joining-the-direct-satellite-to-device-race/>
- [96] OneWeb, <https://en.wikipedia.org/wiki/OneWeb>
- [97] 3GPP TSG-RAN WG4 Meeting # 100-e, R4-2115784, Electronic Meeting, 16th-27th of August, 2021, (revision of R4-2115602).
- [98] Mangata Networks, <https://www.mangatanetworks.com/system-technology>

Northern Sky Research rapporter

- [99] M2M and IoT via Satellite, 13th Edition, October 2022, Available Licenses: Enterprise: \$8,995
<https://www.nsr.com/?research=m2m-and-iot-via-satellite-13th-edition>
- [100] 5G via Satellite, 3rd Edition, October 2022, Available Licenses: Enterprise: \$8,995
<https://www.nsr.com/?research=5g-via-satellite-3rd-edition>

Supplerende litteratur

- [101] Per Danker: TELE 75 – Oqaluttuatsialaat – Krønike, 1925 – 2000 TELE Greenland
TELE Greenland A/S i samarbejde med forlaget Atuagkat, ISBN 87-90393-57-0

E. Kommissorium

Redegørelse om satellitkommunikation i Grønland (Nanoq - ID nr.: 18536509) Kommissorium

Nalunaarasuartaateqarnermi Aqutsisut (Grønlands Telestyrelse) har ved kontorchef Louise Restorff Jacobsen henvendt sig til DTU (DTU Space) med et ønske om en redegørelse om kommunikationssatellitter med følgende formulering:

"Redegørelsen skal indeholde en beskrivelse af hvordan kommunikationssatellitter vil påvirke teleinfrastrukturen i landet (Grønland) de næste 10 år. Herudover skal redegørelsen indeholde vurderinger af mulighederne for fremtidig udvikling af teleinfrastrukturen samt konsekvenserne ved de forskellige muligheder".

Satellitkommunikation er i kraftig vækst og udbredelse gennem opsendelsen af såkaldte mega-konstellationer, som sigter på at levere bredbånds Internetforbindelse til et hvilket som helst sted på jorden.

Det vil sige, at Arktis vil blive dækket, såvel som de tættest befolkede områder og verdenshavene. Mega-konstellationerne ønsker at dække et bredt spektrum af behov, lige fra almindelige husholdninger til kommercielle firmaer, myndigheder og militæret. Brugerterminalerne vil være overkommelige i pris og størrelse og med et sortiment, der dækker behov både på faste installationer, landmobile og maritime platforme, samt fly, men dog ikke håndholdte terminaler. To mega-konstellationer er på vej til at blive operationelle, nemlig Starlink og OneWeb.

Udviklingen af nye satellitkommunikationssystemer til kost-effektiv, global dækning med bredbånd vil betyde et vendepunkt for det arktiske område, hvor der hidtil kun har været bredbåndsdækning i beboede områder og ikke på de højeste breddegrader. Uden for beboede områder og med fuld dækning af Arktis har Iridium og fra 2018 Iridium NEXT været det eneste alternativ, men til høje priser og ikke fuldt bredbånd i nutidig forstand.

Set i et grønlandsk samfundsperspektiv kan de nye globale systemer, særligt OneWeb og Starlink udgøre øgede muligheder eller blive alvorlige konkurrenter til den nuværende teleinfrastruktur opereret af Tusass, hvis de tillades at operere i Grønland. De nuværende geostationære satellitsystemer til dækning af Nord- og Østgrønland baseres på lejede transpondere, hvor kapaciteten er garanteret kontraktligt og styres af Tusass. Det er et åbent spørgsmål, om der kan fra OneWeb og Starlink opnås garantier for dækning af Grønland, også i en krisesituation.

Punkter til kommissorium

Redegørelsen skal omfatte følgende teknologiske aspekter, vurderet med en tidshorisont på 10 år:

Teknologiske perspektiver

- Mega-konstellationer i lave baner om jorden, som giver bredbåndsdækning.
- Geostationære High Throughput Satellite (HTS) konstellationer, som giver bredbåndsdækning.
- Satellitkonstellationer i højelliptiske baner (TAP og Molniya).
- Kompatibilitet mellem 5G mobilkommunikation og de nye mega-konstellationer.
- Satellitkommunikation og IoT
- Helhedsvurdering af den samlede grønlandske teleinfrastruktur
- Kan de nye mega-konstellationer og HTS-konstellationer med fordel integreres i Tusass' teleinfrastruktur?

Denne side er blank

