

HAPS4DK

Overvågning fra stratosfæren – danske muligheder med High Altitude Pseudo Satellites



Forord

Projektet 'Overvågning fra stratosfæren – danske muligheder med High Altitude Pseudo Satellites (HAPS)', herefter kaldet 'DK4HAPS', forløb i perioden 2019-2020 med støtte fra CenSec. HAPS4DK blev implementeret af DHI GRAS og havde til formål at skabe bredere indsigt i, og opmærksom omkring, HAPS teknologi, og de muligheder de kan bidrage med i en dansk kontekst.

Projektet havde til hensigt at definere konkrete brugerbehov blandt danske aktører, opstille relevante use case scenarier for anvendelse af HAPS baserede overvågningsløsninger i Danmark og på Grønland og identificere muligheder for danske virksomheder til at bidrage med teknologiske løsninger til at understøtte udviklingen, heriblandt miniaturiserede sensor og kommunikationssystemer.

I forbindelse med projektet blev en række aktiviteter gennemført for at afdække teknologien bag HAPS, samt relevansen heraf i en dansk kontekst. Denne rapport sammenfatter de informationer som er blevet indsamlet gennem projektet, heriblandt gennem:

- En ekstensiv litteraturanalyse af eksisterende litteratur omkring HAPS og HAPS teknologi samt en omfattende analyse af sensorteknologi.
- En indledende workshop i januar 2020 med deltagelse fra en række relevante aktører i Danmark samt to HAPS producenter.
- En række bilaterale møder med relevante offentlige aktører, samt teknologiudviklingsvirksomheder i Danmark.
- Et afsluttende webinar i december 2020 med deltagelse fra en række danske og internationale aktører.

Rapporten giver et overordnet indblik i HAPS teknologi, potentialet for brug og anvendelse i Danmark og Arktis samt perspektiverne for danske teknologiudviklingsvirksomheder. Diversiteten af danske aktører og virksomheder som med fordel kunne bidrage til udviklingen, samt udnytte, HAPS teknologi er stor, derfor er beskrivelserne i denne rapport ikke komplet, blandt andet fordi det ikke har været praktisk muligt at inddrage alle relevante interessenter. HAPS teknologi udvikler sig dog med rivende hast i disse år, og potentialet er enormt, derfor mener vi at rapporten, som på overordnet niveau sammenfatter status quo og rammerne for HAPS teknologi i en dansk kontekst, er relevant for en lang række danske myndigheder og den private sektor med et ønske om at engagere sig i udnyttelsen af HAPS teknologi.

Henvendelser vedr. rapporten kan rettes til projektleder Mads Christensen, DHI GRAS, madc@dhigroup.com.

INDHOLD

1	Indledning.....	1
1.1	Typen af HAPS	2
1.1.1	Fixed Wing.....	2
1.1.2	Luftskibe	8
1.1.3	Balloner.....	11
2	Teknologiske og regulatoriske udfordringer/begrænsninger	13
2.1	Teknologisk modenhed og tekniske udfordringer	13
2.2	Lovgivningsmæssige udfordringer	15
3	Anvendelsesscenarier i Danmark og Arktis	17
3.1	Maritime applikationer	19
3.2	Applikationer over land	21
4	Payload konfiguration.....	22
4.1	Sensor systemer	22
4.2	Hardware/software komponenter	22
4.2.1	Geografiske Informations Systemer (GIS).....	23
4.2.2	Remote sensing software til billede analyse.....	23
4.2.3	Programmeringssprog.....	24
5	Konklusion.....	25
6	Bilag.....	26

FIGURER

Figur 1 Forventet markedspotentiale for HAPS platforme, fordelt efter HAPS type (*Pseudo satellites = fixed wing)	1
Figur 2 Zephyr S udviklet af Airbus.....	3
Figur 3 Første billede taget med OPAZ sensor fra Zephyr – Arizona, USA	4
Figur 4 Odysseus udviklet af Aurora Flight Sciences	4
Figur 5 Phasa-35 udviklet af BAE og Prismatic.....	5
Figur 6 HAWK30 udviklet af HAPSMobile Inc.	6
Figur 7 Koncepttegning af AlphaLink X.....	7
Figur 8 Fra venstre: Astigan, Aquila, Helios og Solara 50	8
Figur 9 SCEYE prototype	9
Figur 10 Stratobus konceptmodel.....	10
Figur 11 Fra venstre: Ascender, Hisentinel80 og SPF.....	11
Figur 12 Loon ballon til venstre og specialudviklet autolauncher platform til højre	12
Figur 14 Opsendelse af en Elevate i 2017, bærende 135 kg udstyr for Airbus.....	13
Figur 15 Anvendelsesmuligheder for brug af HAPS omkring Grønland	18

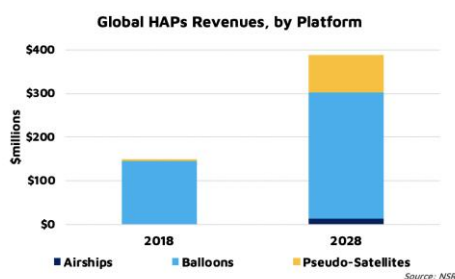
1 Indledning

High Altitude Pseudo Satellites (HAPS) er geostationære eller quasi-stationære stratosfæriske ubemandede platforme som tilbyder et bindeled mellem de muligheder som satellitter, UAV'er og fly bidrager med. Positioneret i den nedre del af stratosfæren, i godt 20 km højde (cirka 40 gange tættere på jorden end en typisk jordobservationssatellit), er de tæt nok på jorden til at levere video og billeddata i høj rumlig opløsning (få centimeter) og samtidig langt nok væk til at afdække store landområder, kontinuerligt og i nær real tid.

Udover at drage fordel af de svage stratosfæriske vinde og store mængder solenergi, flyver, eller svæver, de højt nok til at de ikke forstyrrer den kommercielle luftfart. De er således ideelt positioneret til at komplementere og udvide satellitters kapacitet indenfor jordobservation, telekommunikation og navigation og bidrage med tidskritiske og permanente monitorerings- og kommunikationsløsninger til relativt lave omkostninger.

Udviklingen af HAPS har været længe undervejs, men særligt de sidste 5-10 år er det gået rigtigt hurtigt, bl.a. fordi det europæiske rumagentur ESA er gået aktivt ind med støtteordninger til at kortlægge anvendelsesmuligheder samt finansiere teknologisk udvikling. Lige nu er rigtig mange virksomheder begyndt at interessere sig for teknologien, heriblandt store IT-giganter som Facebook, og Google. Efterhånden som teknologierne bag platformene og miniaturiseringen af sensorer og kommunikationssystemer modnes, vil HAPS-platformenes alsidighed åbne et nyt marked indenfor fjernovervågning. De vil kunne bidrage med tidskritisk og satellitlignende overvågningsmuligheder (24/7/365) som kan understøtte og bidrage til flere statslige og private applikationer og overvågningsopgaver i forsvars- og sikkerhedsmæssigt regi, heriblandt patruljering i Arktis, overvågning af skibs- og flytrafik, grænsepatruljering, mm.

Ifølge Northern Sky Research har HAPS et forventet årligt markedspotentiale på knap en halv mia. \$ ved udgangen af nuværende årti, hvoraf langt størstedelen (60 %) forventes at komme fra HAPS produktion og resten fra forskellige afledte services.¹ Jf. nedenstående Figur 1 forventes ca. 87 % af den omsætning at komme fra ballon platforme, 12 % fra fixed wing systemer og 1 % fra luftskibe (beskrevet i afsnit 1.1).



Figur 1 Forventet markedspotentiale for HAPS platforme, fordelt efter HAPS type (*Pseudo satellites = fixed wing)²

De primære applikationer for brug og anvendelse af HAPS platforme er indenfor telekommunikation og jordobservation³, til både civile og militære formål.

¹ <https://www.nsr.com/high-altitude-platforms-loony-no-more/>

² <https://www.nsr.com/haps-from-the-edge-of-space/>

1.1 Typer af HAPS

HAPS platforme opdeles typisk i to segmenter 1) de aerodynamiske "tungere end luft" (fixed wing) og 2) de aerostatiske "lettere end luft" (inkluderer luftskibe og balloner). De aerodynamiske HAPS'er sikrer opdrift gennem bevægelse i luften, på samme måde som et fly. Fremdrift bliver sikret primært gennem propeller drevet af energi fra solceller, hvilket stiller store krav til platformens vægt og lagring af energi til kontinuerlig fremdrift (også om natten). De aerostatiske platforme sikrer opdrift ved at fylde ballon/luftskib med helium. De har således ikke behov for fremdrift til at sikre opdrift men sikrer i stedet dette gennem et design som er lettere end luften.

Alle tre typer HAPS platforme (fixed wing/luftskibe/balloner) er afhængige af et design bygget i højteknologiske letvægtsmaterialer, men særligt flytypen kræver en meget let vingekonstruktion som har begrænset løfteevne, hvilket reducerer den samlede vægtbegrænsning i forhold til nyttelast. Derfor har flytypen typisk en begrænsning for nyttelast på op til ca. 20 kg (*ny teknologisk udvikling er dog undervejs som på sigt potentielt vil kunne øge denne kapacitet betragteligt – se nedenstående sektion om Alphalink X*) hvorimod de aerostatiske, som også er mere skalerbare, forventes at kunne løfte adskillige 100 kg. Til gengæld er de ikke lige så dynamiske og manøvreedygtige. Fixed wing platformenes største potentiale er indenfor jordobservationsløsninger, hvorimod de aerostatiske primært gør sig gældende indenfor kommunikationsløsninger.

Ifølge Northern Sky Research findes der i 2020, på globalt plan, mere end 40 aktive HAPS programmer på forskellige udviklingsstadier.⁴

I følgende tre afsnit vil udvalgte eksempler på nogle af de mest modne og progressive af disse HAPS programmer, præsenteres, indenfor hver af de tre typer af HAPS platforme.

1.1.1 Fixed Wing

Airbus Zephyr

Zephyr projektet blev grundlagt i år 2000 under Pegasus projektet på Flemish Institute for Technical Research (VITO). Flyet blev oprindeligt udviklet af den engelske virksomhed Qinetiq⁵ til det Amerikanske og Britiske forsvar.⁶ I 2013 blev Zephyr opkøbt af Airbus som en del af deres HAPS udviklingsprogram. Sidenhen har Zephyr gentagne gange slået rekorder for længste kontinuerlige flyvning med en fixed wing HAPS platform – senest i 2018 hvor den første flyvning med Zephyr S udgaven satte en rekord på knap 26 dage.⁷ På sigt forventes Zephyr at kunne flyve operationelt adskillige måneder ad gangen. Zephyr bliver for nuværende udviklet i to forskellige udgaver, Zephyr S som har et vingefang på 25 m og en vægt på ca. 75 kg (alt efter payload konfiguration) og allerede er i produktion, og den større Zephyr T med et vingefang på 33 m og en vægt på ca. 140 kg som er under udvikling. Zephyr S har en payload kapacitet på 5-12 kg⁸ og en Zephyr T forventes at have en payload

³ <https://earthdata.nasa.gov/learn/remote-sensing>

⁴ <https://www.nsr.com/nsr-report-haps-market-to-generate-4-billion-by-2029/>

⁵ <https://www.qinetiq.com/>

⁶ <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7909716>

⁷ <https://www.aerosociety.com/news/zephyr-s-breaks-world-flight-endurance-record/>

⁸ <https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/brochures/Datasheet-Zephyr-February-2019.pdf>

kapacitet på ca. 20 kg.⁹ Zephyr er designet til operationer året rundt mellem 25° nord/syd og i sommermånedene mellem 40° nord/syd.¹⁰

Payload: Zephyr har en payload energi kapacitet på op til 250 Watt. Platformen er payload agnostisk og fra sin operationelle base i Wyndham, Australien har den logget over 1600 timers flyvning og med succes afprøvet flere forskellige payload systemer, heriblandt højopløselig billede/video samt kommunikation i høj båndbredde. Airbus har udviklet en specialdesignet payloadpakke til Zephyr, kaldet OPAZ, som består af en række kommercielt tilgængelige hardware/software komponenter som primært anvendes til jordobservation, derudover også kan modtage og processere AIS. Pakken er dog fleksibel og kan relativt let udbygges med andre former for sensorer. OPAZ indeholder som standard en højopløselig styrbar optisk sensor med en opløsning på 18 cm, en infrarød sensor med en opløsning på 70 cm samt to fikserede optiske kameraer med en opløsning på 2 m (over 100 km²) og 10 m (over 800 km²).¹¹ Ved det Europæiske rumagenturs (ESA) HAPS konference i 2019 (ESA4HAPS)¹² præsenterede Airbus deres radar x-band (SAR) payload prototype 'SPIDER'. SPIDER forventes at kunne komplementere OPAZ optiske sensor payload med særlig fokus på at udvide Zephyrs kapacitet indenfor maritime applikationer. Yderligere information om SPIDER er beskrevet i Appendix A på side 27. Nedenstående Figur 3 viser det første billede taget med OPAZ i 2018.



Figur 2 Zephyr S udviklet af Airbus¹³

⁹ https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2175-91462016000300249&script=sci_arttext

¹⁰ <https://www.airbus.com/defence/uav/zephyr.html>

¹¹ Benoit Maitrinal (Airbus) og Jack Offerman (Airbus), personlig kommunikation, januar 2020.

¹² <http://www.haps4esa.org/>

¹³ Airbus Defence and Space 2015. *View from Airbus Zephyr*. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://www.airbus.com/search.image.html?tags=products-and-solutions%3Aunmanned-air-systems%2Fzephyr&tagLogicChoice=OR#searchresult-image-all-14>



Figur 3 Første billede taget med OPAZ sensor fra Zephyr – Arizona, USA¹⁴

Odysseus

Odysseus udvikles af Aurora Flight Sciences¹⁵ som i 2017 blev opkøbt af Boeing. Platformen har sin oprindelse fra Daedalus projektet tilbage fra 1988¹⁶, og har således konceptuelt været under udvikling i mere end 30 år. Odysseus har et vingefang på 74 m, en vægt på ca. 680 kg og en payload kapacitet på 25 kg+ (afhængig af missionstype).¹⁷ Platformen er designet til at operere året rundt på mellem breddegrader og i sommermånederne på højere breddegrader. Platformen skulle planmæssigt have fløjet sin første testflyvning i 2019¹⁸, men det kan ikke bekræftes om det blev gjort og nuværende status for platformen er ukendt.

Payload: Odysseus har en energi kapacitet på 250 Watt og er payload agnostisk indenfor en vægtbegrænsning på 25 kg. Løfteevnen (payload kapaciteten) på Odysseus er således større end de fleste andre fixed wing platforme under udvikling. Den er bl.a. designet til jordobservation ifm. katastrofesituationer, videnskabelige formål samt til forsvars- og sikkerhedsmæssige anvendelser.



Figur 4 Odysseus udviklet af Aurora Flight Sciences¹⁹

¹⁴ Airbus DS 2018. *Zephyr HAPS during a stratospheric flight*. Tilgået 4 januar, 2021 fra https://www.intelligence-airbusds.com/en/5751-image-gallery-details?img=51580#.X_Lbi9j0mUk

¹⁵ <https://www.aurora.aero/>

¹⁶ <https://www.uasvision.com/2018/11/15/aurora-reveals-solar-powered-haps-odysseus/>

¹⁷ <https://www.aurora.aero/odysseus-high-altitude-pseudo-satellite-haps/>

¹⁸ <https://www.geekwire.com/2018/boeing-subsiary-says-high-flying-solar-powered-odysseus-drone-will-take-off-2019/>

¹⁹ Aurora Flight Sciences 2021. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://www.aurora.aero/odysseus-high-altitude-pseudo-satellite-haps/>

PHASA-35

Persistent High Altitude Solar Aircraft (PHASA-35) bliver udviklet af BAE Systems²⁰ og Prismatic Ltd.²¹ med støtte fra det Britiske Defence Science and Technology Laboratory (DSTL) og Australiske Defence Science and Technology Group (DSTG). De første flyvninger med en nedskaleret prototype (PHASA-8) begyndte i 2017 og i begyndelsen af 2020 fløj PHASA-35 for første gang.²² Forventningen er at den høje batterilevetid og effektive solteknologi på sigt kan holde PHASA-35 flyvende i op til et år ad gangen ved operationer mellem 35° nord/syd. Derudover er den designet til at kunne operere i polarområder over sommeren – hvilket adskiller den fra Zephyr. PHASA-35 har et vingefang på 35 m, vejer samlet omkring 150 kg og har en payload kapacitet på ca. 15 kg.²³

Payload: PHASA-35 har en payload energi kapacitet på 300-1000 Watt, og er payload agnostisk indenfor vægtbegrænsningen på 15 kg og den samlede energi kapacitet.²⁴ Platformen er primært designet til jordobservation men kan også bruges som kommunikations netværk, heriblandt til 5G og 6G.



Figur 5 Phasa-35 udviklet af BAE og Prismatic.²⁵

HAWK30/Sunlider

HAWK30 udvikles af HAPSMobile inc.²⁶, som blev oprettet som joint venture mellem Japanske SoftBank²⁷ og Amerikanske AeroVironment²⁸. HAWK30 udførte sine første to testflyvninger i september/oktober 2019 i Californien og Hawaii, USA. Det forventes at HAWK30 kan operere året rundt mellem 30° nord/syd, og i sommermånederne op til 50° nord. HAWK30 har et vingefang på 78 m. Det forventes at HAWK30 kan udbydes som kommerciel

²⁰ <https://www.baesystems.com/>

²¹ <http://prismaticltd.co.uk/>

²² <https://www.intelligent-aerospace.com/unmanned/article/14168212/persistent-high-altitude-solar-aircraft-phasas35>

²³ <https://www.airforce-technology.com/projects/phasas-35-solar-powered-hale-uav/>

²⁴ <http://prismaticltd.co.uk/products/phasas-35/>

²⁵ Bae Systems 2018. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://www.baesystems.com/en/article/solar-uav-to-be-developed-with-the-potential-to-stay-airborne-for-a-year>

²⁶ <https://www.hapsmobile.com/>

²⁷ <https://www.softbank.jp/en/>

²⁸ <https://www.avinc.com/>

service i 2023.²⁹ Sofbank og HAPSMobile indgik i 2019 et partnerskab med Google Loon (se afsnit 1.1.3) omkring udvikling af en kommunikationspayload til HAPSMobiles platform.³⁰

Payload: Detaljeret informationer angående payload konfiguration og vægtpacitet for HAWK30 er ukendt. Tidligere i 2020 blev det dog offentliggjort at payload systemet udviklet i samarbejde med Google Loon var færdigudviklet.³¹ Det nyudviklede payloadsystem er adapteret fra Google Loon's ballon HAPS, til at fungere på en fixed wing platform, og det kan anvendes til at etablere punkt-til-punkt (P2P) forbindelse over distancer på 700 km med en overførselshastighed på 1Gbps. I september 2020 blev den første succesfulde testflyvning med det fællesudviklede kommunikationspayload foretaget på første flyvning med den HAWK30 afledte 'Sunlider' platform.³² Denne flyvning var den første succesfulde test af LTE forbindelse fra en fixed wing platform.



Figur 6 HAWK30 udviklet af HAPSMobile Inc.³³

AlphaLink X

Det modulære design som danner baggrund for Alphaslink har været under udvikling af forskere på Berlins tekniske universitet siden 2012. I 2019 stiftede en gruppe af disse forskere virksomheden AlphaLink, for at bringe projektet tættere på kommerciel udrolning.³⁴ Alphaslink er pt. den eneste fixed wing HAPS designet som en modulær sammensat platform - et design som virksomheden fik patent på tidligere i 2020. Det modulære design gør Alphaslinks HAPS mere skalerbare end andre HAPS typer indenfor denne kategori. Platformen er designet således at flere flymoduler kobles sammen med mekaniske koblinger i vingspidserne uden at overfører strukturelle vægt belastninger til hele platformen. Dette design afspejler sig bl.a. i

²⁹ <https://www.aerospace-technology.com/projects/hawk30/>

³⁰ <https://medium.com/loon-for-all/loon-hapsmobile-announce-new-stratospheric-communications-payload-d2cbeb212d89>

³¹ <https://medium.com/loon-for-all/loon-hapsmobile-announce-new-stratospheric-communications-payload-d2cbeb212d89>

³² <https://www.suasnews.com/2020/10/hapsmobile-and-loon-first-in-the-world-to-deliver-lte-connectivity-from-a-fixed-wing-autonomous-aircraft-in-the-stratosphere/>

³³ Business Wire 2019. HAPSMobile's "HAWK30" is a solar-powered unmanned aircraft designed for stratospheric telecommunications platform systems. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://www.businesswire.com/news/home/20190807005915/en/HAPSMobile-Receives-Authorization-Fly-%E2%80%99CHAWK30%E2%80%99D-Stratosphere-Hawaiian>

³⁴ <https://en.alphaslink.space/>

en markant større payload kapacitet end andre fixed wing platforme. Første testflyvning med en nedskaleret prototype af det modulære design fandt sted, med succes, i 2017. I midten af 2020 indsamlede AlphaLink midler, via en kickstarter kampagne, til at udvikle en større prototype (på 25 kg) og denne forventes testfløjet senere i 2020. Den planlagte HAPS udgave af det modulære design, model AlphaLink X, kommer til at bestå af 10 moduler med et samlet vingefang på 215 m og en payload kapacitet på 450 kg. Det forventes at den vil kunne operere kontinuerligt, 365 dage om året, mellem 40° nord/syd.

Payload: Det forventes at AlphaLink X, med sin store payload kapacitet, kommer til at bære en lang række instrumenter til at understøtte bredbånds kommunikation, jordobservationer, meteorologisk dataindsamling samt udstyr til videnskabelige eksperimenter.³⁵



Figur 7 Koncepttegning af AlphaLink X³⁶

Andre

Ovenstående 5 platforme er blot udvalgte eksempler på nuværende fixed wing HAPS projekter - der findes flere andre - men disse vurderes for nuværende af være de mest progressive og modne design (Særligt Zephyr). Der har dog været flere forløbere som har modnet fixed wing teknologien, og er nået langt ift. egentligt operationel anvendelse, heriblandt:

- **ASTIGAN (lukket)** som blev startet i 2014 som et joint venture mellem virksomheden ASTIGAN og Britiske Ordnance Survey (OS). Platformen havde et vingefang på 38 m, vejer 149 kg og en payload kapacitet på 25 kg. Målet var at den skulle kunne opnå en flyvetid på 90 dage. Prototypen nåede 8 succesfulde test flyvninger men projektet blev lukket i 2020 da der ikke kunne findes en strategisk partner til at understøtte en kommerciel udrulning af platformen.³⁷
- **Aquila (lukket)** projektet blev startet af Facebook i 2014, primært som et forsøg på at udvikle en let og fleksibel løsning til at udbrede internetforbindelse til øde områder. Platformen havde et vingefang på 43 m og en vægt på knap 400 kg, designet til at opererer i 27 km højde om dagen og 18 km om natten i op til 90 dage ad gangen. Aquila havde to testflyvninger i 2016 og 2017 men grundet den store konkurrence fra andre HAPS programmer valgte Facebook at stoppe Aquila programmet i 2018. I stedet er de indgået i et partnerskab med Airbus omkring udvikling af internet

³⁵ <https://www.kickstarter.com/projects/alphalink-aero/take-off-1/description>

³⁶ Kickstarter 2020. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://www.kickstarter.com/projects/alphalink-aero/take-off-1>

³⁷ <https://www.ordnancesurvey.co.uk/about/astigan-closure>

teknologi til Zephyr platformen.³⁸

- Derudover kan bl.a. nævnes NASA's **Helios (lukket)** projekt (udviklet af AeroVironment) som blev startet i 1994 og bl.a. slog højderekord for ubemandede fly (29 km). Prototypen viste sig dog at have et ustabil vingedesign og styrtede ned i 2003, hvorefter programmet blev lukket i 2004. **Solara 50 (lukket)** som blev anskaffet af Google gennem deres opkøb af Titan Aerospace i 2014, og bl.a. designet til en payload kapacitet på helt op til 32 kg. Programmet blev lukket i 2017 og Google gik i stedet videre med deres Loon ballon HAPS til at understøtte deres primære formål med HAPS investeringer – at udbrede internet til øde områder.



Figur 8 Fra venstre: Astigan³⁹, Aquila⁴⁰, Helios⁴¹ og Solara 50⁴²

1.1.2 Luftskibe

SCEYE

SCEYE projektet blev startet af virksomheden SCEYE Inc. i 2014.⁴³ De sidste 4 år har SCEYE gennemgået en række testflyvninger i New Mexico, USA med en række mindre prototyper modeller. Under første test i 2016 nåede en mindre 3 m lang prototype model (SCEYE TECH) med succes en højde på 22 km. Større prototyper har sidenhen gennemgået succesfulde test flyvninger (SCEYE BETA i 2017, SCEYE SSV1 i 2018 og senest SCEYE SSV2 i 2019). Den første fuldskala prototype på ca. 76 m (SCEYE ONE) er udviklet og forventes testet i løbet af 2020. En propel drevet af solenergi, fra tre letvægts solpaneler på toppen er luftskibet, gør at platformen kan holde sig svævende geostationært over det samme område i flere måneder ad gangen, uanset vindforhold. Samtidig sørger propellen for fremdrift så platformen kan flyve til andre operative områder (kontinentalt og interkontinentalt). SCEYE er udviklet til at understøtte primært civile opgaver, bl.a. til sundheds-, forsknings-, miljø- og kommunikationsmæssige formål

Payload: SCEYE luftskibet er skalerbart og dimensioneret alt efter missionsformål med en forventet payload kapacitet på mellem 250-500 kg. Den er i stand til at yde en energikapacitet

³⁸ <https://techcrunch.com/2019/01/21/facebook-airbus-solar-drones-internet-program/>

³⁹ Unmanned Systems Technology 2019. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2019/02/ordnance-survey-to-develop-solar-haps-uav/>

⁴⁰ Unifly 2018. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://www.unifly.aero/news/global-internet-access-with-facebook-aquila>

⁴¹ NASA 2014: Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-068-DFRC.html>

⁴² Titan Aerospace. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-01-29/wing-failure-blamed-for-crash-of-google-s-solar-powered-drone>

⁴³ <https://www.sceye.com/>

på 5 Kilowatt. Således kan SCEYE både løfte og drifte større og mere energikrævende sensorer end fixed wing platformene. Det forventes at SCEYE bliver udstyret med en række forskellige instrumenter og sensorer, heriblandt AIS/VDES radio udstyr, SAR radar sensorer, højtopløselige optiske og infrarøde sensorer samt hyperspektrale sensorer.



Figur 9 SCEYE prototype⁴⁴

Stratobus

De første tekniske koncepter og forretningsmodeller for udvikling af Stratobus startede i 2010, og programmet startede officielt i 2016 og udvikles af Thales Alenia. I sin opstart i 2016 fik programmet en investering på 150 mio. DKK over en toårig periode, fra den franske regering, til at understøtte teknologi- og konceptudvikling af platformen. Siden 2019 har Thales Alenia været i gang med at udvikle den første platform og i start 2020 indledte de et fortsat udviklingssamarbejde med de franske myndigheder under en kontrakt indgået med det franske forsvars indkøbsafdeling DGA (Direction générale de l'armement). De primære målsætninger under denne kontrakt er at undersøge hvordan stratosfæriske platforme kan forbedre og udvide det franske forsvars kapacitet, bl.a. i form af en fuld skala demonstration af prototypen i stratosfæren. Det forventes at den første testflyvning finder sted i 2023.⁴⁵ Selve platformen er 100 m lang, 33 m i diameter og har en samlet vægt på 5000 kg.⁴⁶ Den forventes at kunne operere i op til et år ad gangen, dog med kortere ophold på jorden til gasopfyldning. Ligesom SCEYE har Stratobus et propelsystem som anvendes til at flyve platformen mellem forskellige operative scenarier og holde den geostationært over det samme område over længere perioder.

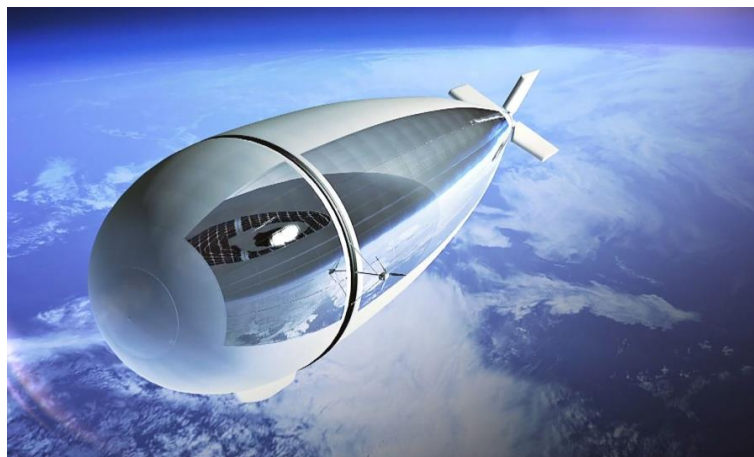
Payload: I sin standard konfiguration kan Stratobus løfte en payload på 250 kg med mulighed for at øge op til 450 kg i operationer omkring ækvator hvor vinden er svagere.⁴⁷ Energi kapaciteten vil være omkring 5 Kilowatt med mulighed for at frigive op til 8 Kilowatt på missioner omkring ækvator. Platformen er udviklet til både civile og militære formål og til militære anvendelser vil payload typisk bestå af en kombination af højtopløselige optiske og infrarøde kameraer samt kommunikationsudstyr til combat net radios (VHF, UHF, Lband) og højhastigheds datalinks.

⁴⁴ SCEYE INC. 2020. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://www.sceye.com/>

⁴⁵ <https://finabel.org/stratobus-a-feature-hybrid-of-unmanned-air-vehicles-for-the-european-air-defence-structure/>

⁴⁶ https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-91462016000300249

⁴⁷ <https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/space/news/whats-stratobus>



Figur 10 Stratobus konceptmodel⁴⁸

Andre

De to ovenstående HAPS projekter med luftskibe er for nuværende formentlig de platforme som er tættest på egentlig operationel anvendelse, men der har været, og er, flere andre som har gjort forsøget og er nået langt, heriblandt:

- **Ascender (Nuværende)** bliver udviklet af den engelske virksomhed AVEALTO Ltd.⁴⁹ som blev startet i 2013 i forsøget på at udvikle HAPS til udbredelse af luftbåren infrastruktur til telekommunikation. Selve luftskibet bliver bygget af JP Aerospace⁵⁰ i USA. Nuværende status er ukendt, men flere prototyper har gennemgået succesfulde testflyvninger de seneste år. Ascender 9 prototypen fik i 2018 som det første ubemandede luftskib et luftdygtighedsbevis.⁵¹
- **Hisentinel80 (lukket)** var den sidste og største prototype udviklet gennem det amerikanske forsvars 'HiSentinel' program. Luftskibet blev udviklet af Southwest Research Institute (SwRI)⁵² sammen med underleverandøren Aerostar International (del af Raven Group).⁵³ Hisentinel80 var 61 meter lang, designet til at kunne flyve i 20 km højde i 30+ dage med en payload på 36 kg. Prototypen fløj en gang i 2010 og opnåede en højde på 20km, dog kun i 8 timer udad de planlagte 24 timer, grundet en fejl i fremdriftssystemet.⁵⁴
- **Japanese Stratospheric Platform (SPF) (lukket)** blev startet i 1998 og udviklet af JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency). Efter succesfulde testflyvninger af SPF-1 og SPF-2 i 2003 og 2004 fik programmet ikke bevilling til at fortsætte udviklingen af platformen i fuld skala og programmet lukkede efterfølgende i 2005.

⁴⁸ Thales Group 2015. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/space/news/space-qa-all-about-stratobus>

⁴⁹ <https://avealto.com/>

⁵⁰ <http://www.jpaaerospace.com/>

⁵¹ <https://hobbyspace.com/Blog/?p=16624>

⁵² <https://www.swri.org/>

⁵³ <https://ravenaerostar.com/>

⁵⁴ For mere information om Hisentinel80 og HiSentinel programmet henvises til https://www.researchgate.net/publication/268574048_HiSentinel80_Flight_of_a_High_Altitude_Airship

Men systemkomponenterne, heriblandt Regenerative Fuel Cells (RFC) systemet, som blev udviklet gennem programmet, blev videreudviklet i JAXA. Sammen med letvægtsmateriale til ballonhylsteret er RFC systemer key enabling technologies for udvikling af HAPS platforme.⁵⁵



Figur 11 Fra venstre: Ascender⁵⁶, Hisentinel80⁵⁷ og SPF⁵⁸

1.1.3 Balloner

Loon (Lukket i januar 2021)

Projekt Loon⁵⁹ blev officielt annonceret af Google i 2013, som en del af deres forsøg på at udvikle HAPS platforme til at udbrede telekommunikation og internetadgang i øde områder. Sidenhen er Loon blevet en manifestation på hvor langt udviklingen af HAPS platforme er nået gennem de sidste 5-10 år, og hvor tæt de er på egentlig kommerciel udrulning. Alene siden 2019 har Loon balloner haft 350.000 aktive flyvetimer og de er allerede blevet anvendt operativt flere steder i verden, senest i Kenya hvor de får første gang bliver udrullet i en 'ikke katastrofe' situation. Sammen med Telkom Kenya opsættes der i første omgang 35 balloner til at udbrede 4G LTE mobilnetværk over et areal på 55.000 Km² i det centrale og vestlige Kenya.⁶⁰ Loon har fløjet flere 1000 HAPS'er, med en gennemsnitlig flyvetid på 4 måneder og en satte i slutningen af 2020 rekorden for den længstvarende stratosfæriske flyvning på 312 dage.⁶¹ Loon balloner flyver i en højde på mellem 18 – 23 km og i modsætning til luftskibene og fixed wing HAPS'er har de ikke et egentligt fremdriftssystem. De anvender istedet avancerede maskinlæringsalgoritmer som autonomt bevæger ballonen op/ned indtil favorable vindforhold sikre den ønskede flyeretning. Ballonen er 15 m bred og 12 m høj og platformen har en samlet payload vægtpacitet på 20+ kg. Loon's ballon udvikles af Raven Aerostar og bygger på deres 'Super Pressure Balloons' teknologi.⁶²

Payload: Loon har primært ét formål, at udbrede internetadgang i øde/udsatte områder, og alle systemer og payload komponenter har til formål at understøtte denne opgave. Loon's

⁵⁵ https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-91462016000300249

⁵⁶ Avealto Ltd. 2020. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://avealto.com/development-testing/>

⁵⁷ D'Oliveira, Flavio & Melo, Francisco & Devezas, Tessaleno. (2016). High-Altitude Platforms - Present Situation and Technology Trends. Journal of Aerospace Technology and Management. 8. 249-262. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://www.redalyc.org/pdf/3094/309446752001.pdf>

⁵⁸ D'Oliveira, Flavio & Melo, Francisco & Devezas, Tessaleno. (2016). High-Altitude Platforms - Present Situation and Technology Trends. Journal of Aerospace Technology and Management. 8. 249-262. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://www.redalyc.org/pdf/3094/309446752001.pdf>

⁵⁹ <https://loon.com/>

⁶⁰ <https://edition.cnn.com/2020/07/08/africa/google-kenya-balloons/index.html>

⁶¹ <https://medium.com/loon-for-all/312-days-in-the-stratosphere-5c50bd233ec5>

⁶² <https://ravenaerostar.com/products/balloons-airships/super-pressure-balloons>

payload består af to dele 1) en *bus* hvori der indgår solpanelerne, højdestyringssystemet og en faldskærm til landing og 2) en LTE-antenne og gimbals til at sikre kommunikation mellem HAPS'en og kontrolrummet på jorden.



Figur 12 Loon ballon til venstre og specialudviklet autolauncher platform til højre⁶³

Elevate

Elevate er en stratosfærisk transport service som udvikles af den spanske virksomhed Zero 2 Infinity.⁶⁴ Deres HAPS platform er særligt udviklet til at teste, demonstrere og validere hardware design under stratosfæriske betingelser. Den kan bære, og teste, flere forskellige typer af payloads, heriblandt til telekommunikation (noder, filtre, antenner, ...), jordobservation (Optiske og infrarøde sensorer, radar sensorer, ...) og HAPS teknologi (solpaneler, batterier, flyelektronik, ...). Elevate programmet er således ikke et HAPS program med fokus på konkret anvendelse til telekommunikation eller jordobservation, som eksempelvis Loon, men i stedet en test platform som kan anvendes af andre HAPS udviklere til at teste deres udstyr. Det er således på mange måder en HAPS platform som er tiltænkt at muliggøre og facilitere udviklingen af HAPS teknologi. De bliver bl.a. anvendt af Airbus, Thales Alenia, ESA, m.fl. til at teste udstyr i stratosfæren.

Payload: Elevate findes i tre forskellige udgaver, alt efter behov for payload kapacitet: 1) Lille - payload kapacitet på 2.5 kg; 2) Mellem -payload kapacitet på 10 kg og; 3) Stor - payload kapacitet på 100+ kg.

⁶³ Loon 2020. Tilgået 4 januar, 2021 fra <https://loon.com/press/>

⁶⁴ <http://www.zero2infinity.space/elevate/>



Figur 13 Opsendelse af en Elevate i 2017, bærende 135 kg udstyr for Airbus⁶⁵

2 Teknologiske og regulatoriske udfordringer/begrænsninger

Som nævnt ovenfor, er udviklingen af HAPS teknologi gået enormt stærkt de senere år, hvilket har banen vejen for at HAPS indenfor en overskuelig fremtid kan operationaliseres som et reelt alternativ, eller supplement, til droner, fly og satellitter. Der eksisterer dog stadig en række teknologiske og lovgivningsmæssige udfordringer som begrænser anvendelsen af HAPS i storskala.

2.1 Teknologisk modenhed og tekniske udfordringer

På trods af at stratosfæren har de bedste betingelser for langsigtet anvendelse og operationalisering af HAPS platforme, er forholdene i stratosfæren særdeles udfordrende. Temperaturer ned til -65°C , vindhastigheder på over 40 km/t, trykbølger og solindstråling i 20 km højde stiller store krav til udstyr og teknologi for at langvarige flyvninger kan lade sig gøre. Stratosfæren har derfor også tidligere primært været interessant i forskningsmæssige henseender, da den blev anset for værende uhensigtsmæssig og for udfordrende til kommerciel brug. De sidste 10 år har dog budt på markante fremskridt indenfor teknologisk udvikling af solenergi, batterier, letvægtskomponenter og mikrosensorer, kunstig intelligens mm. som har muliggjort udviklingen af HAPS platforme som kan operere i stratosfæren over længere perioder.⁶⁶

På trods af at flere HAPS projekter i dag understreger at HAPS teknologi er modnet betragteligt de sidste 5-10 år, bevidner de mange lukkede/resultatløse projekter også om en teknologi som endnu ikke er certificeringsparat og klar til serieproduktion og kommerciel udrulning. Derfor er fortsat teknologiudvikling indenfor HAPS platforme afgørende for at

⁶⁵ Zero 2 Infinity 2020. Tilgået 4 januar, 2021 fra <http://www.zero2infinity.space/media/elevate/>

⁶⁶ https://loon.com/static/pdfs/Stratosphere_Whitepaper_May1.pdf

understøtte den fortsatte udvikling af skalerbare og økonomisk rentable platforme.

Indenfor flere områder relevant for udvikling af HAPS teknologi, er danske teknologivirksomheder blandt verdens førende, bl.a. indenfor udvikling af kunstig intelligens og mikrosensorer. De er således på mange områder ideelt positioneret til at bidrage med relevant teknologi som kan medvirke til at udvikle nye HAPS løsninger, og understøtte eksisterende, og derved positionere sig indenfor en industri med et stort fremtidigt markedspotentiale.

Nogle af de primære teknologiske udfordringer indbefatter bl.a. (Adapteret fra d'Oliveira, et. al. 2016⁶⁷)

- **Letvægtsstrukturer:** Ultra stærke letvægtsmaterialer med stor modstandsdygtighed overfor skader (rifter, huller), lav permeabilitet for balloner og luftskibe (ift. udslip af løftegas) som samtidig kan opretholde sin fleksibilitet ved lave temperaturer og modstå UV stråling og ozon. Forskning indenfor aeroelasticitet (heriblandt flutter) og dets indflydelse på stabilitet og kontrol spiller en afgørende betydning for udvikling af fixed wing systemerne som skal være både store (for at kunne akkommodere nok solpaneler til at genere tilstrækkelig strøm), lette og fleksible. Ift. payload sætter vægtbegrænsning på den enkelte platform en naturlig grænse for hvilke sensorer og kommunikationsudstyr den kan løfte. Teknologiuudvikling indenfor letvægtskomponenter og mikrosensorer er vigtigt ift. at optimere payload kapacitet indenfor pågældende vægtbegrænsning. Samtidig skal disse komponenter have et minimalt elforbrug. Det er værd at bemærke at HAPS opererer i et miljø som er tættere på rummet end almindelige fly, hvilket betyder at udstyr udviklet til rummissioner i overvejende grad bør kunne tilpasses HAPS platforme. Derfor er instrumenter udviklet til blandt andet nanosats og cubesats relevante ift. brug på HAPS.
- **Energiproduktion og energilagring:** HAPS platforme skal have lang holdbarhed og kunne operere i lange perioder ad gangen (flere mdr. til år). Fossile brændstoffer er således ikke en mulighed ift. energiproduktion som kan drive fremdrift systemet samt alle platformens instrumenter. Et teknisk muligt alternativ, som bl.a. også blev foreslået ved projektets indledende workshop i januar 2020, kunne være atomkraft – men det er i overvejende grad hverken politisk eller samfundsmæssigt acceptabelt grundet de her tilknyttede risici. Udvikling af teknologi til at transmittere energi fra jorden til platformen, bl.a. via mikrobølger eller laser, vil have afgørende betydning for HAPS design og udvikling. De fleste nuværende HAPS platforme anvender således solenergi som indsamles gennem solceller på platformens skrog og lagres i genopladelige batterier. De begrænsende faktorer for langvarige flyvninger er således solcellernes kapacitet til at indsamle nok energi til at drive værktøjet 24/7 og batteriernes evne til at opretholde sin lade kapacitet og levetid over lange perioder. Særligt for fixed wing systemerne udgør dette den begrænsende faktor ift. at flyve udenfor ca. 40° N/S i vintermånederne, hvor der ikke er tilstrækkeligt sollys om dagen til at nå at oplade batterierne (Zephyr kan eksempelvis operere over Danmark omkring 9 mdr. om året – bortset fra den mørkeste vinter med under 8 timers sollys om dagen). Teknologier som kan optimere både energiproduktion og lagring kan således bidrage til længerevarende operationer af disse HAPS typer udenfor disse breddegrader.
- **Datalagring og processering:** Til jordobservationsformål vil HAPS indsamle kontinuerlige data i realtid, hver eneste dag, året rundt. Kapaciteten til at lagre disse store mængder data samt kapaciteten for on-board processering er en stærkt

⁶⁷ https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2175-91462016000300249&script=sci_arttext

begrænsende faktor. Der er bl.a. behov for udvikling af software og systemer baseret på kunstig intelligens, som kan understøtte on-board processing af data i realtid og udlede konkret information til lokationsbaserede efterretningsformål, on the fly. Samtidig skal disse systemer kunne fusionere HAPS data med andre former for jordobservationsdata (heriblandt fra satellitter), og ikke jordobservationsdata, og derved danne grundlag for en samlet monitoreringsinfrastruktur.

- **Termisk balance:** De aerostatiske HAPS platforme påvirkes direkte af temperaturforskelle mellem løftegassen og atmosfæren omkring. Disse forskelle kaldes enten superheating (når løftegassen er varmere end luften omkring) eller supercooling (når den er koldere end luften omkring) og det medfører store variationer i løfteevne samt trykket i ballonen. Der er derfor behov for udvikling af teknologi som kan bidrage til termisk styring, heriblandt matematiske modeller.
- **Flyvning ved lav højde:** HAPS platforme er optimeret til stratosfæriske forhold, dvs. tynd luft og lave vindstyrker. For at HAPS platforme kan operere kontinuerligt under disse betingelser og optimere flyvetid maksimalt skal alle komponenter vægtoptimeres maksimalt ift. sin funktion for at sikre en balance mellem energiforbrug og energilagring. Det soldrevne fremdriftssystem og de lette/skrøbelige komponenter er ikke designet til modstå vind og vejrforhold ved lavere højder og de er derfor særdeles skrøbelige under opstigning og nedstigning (turbulens var bl.a. årsag til at en Airbus Zephyr styrtede i slutningen af 2019⁶⁸). Præcisionsteknologi til præcise vejrudsigter i operationsområderne samt udvikling af teknologi som kan optimere flybanen under opstigning ift. vind/vejrforhold, er bl.a. nødvendigt.

2.2 Lovgivningsmæssige udfordringer

HAPS platforme opererer i et område (20.000+ m) som primært er blevet anvendt til militære formål, eksempelvis af U2 og SR71 spionfly, men også tidligere af supersoniske kommercielle fly som Concorde. Derfor eksisterer der i dag ikke konsistent lovgivning som kan udmøntes til et standardiseret regelsæt for brug og anvendelse af HAPS platforme. Det kræver derfor typisk en særskilt proces at opnå tilladelse til at teste, og ikke mindst implementere HAPS løsninger i nationalt luftrum, og da platformene typisk opererer internationalt, skal der søges godkendelser i flere lande, og relevant international lovgivning omkring overflyvning af andre lande skal tages i betragtning. Dvs. der mangler krav og lovgivning om sikkerhedsspecifikationer (luftdygtigheds certificering), luftfartskontrol, udstyr, telekommunikation, jordstationer, pilot licenser, mm. som kan understøtte brugen og sikker anvendelse af HAPS platforme og i overensstemmelse med eksisterende lovgivning, heriblandt GDPR.

Der er de senere år blevet stiftet en række internationale initiativer, bl.a. under eksisterende multilaterale platforme, som skal udarbejde vejledning og standarder indenfor området som de enkelte lande og internationale medlemsorganisationer kan oversætte til relevant lovgivning. En af disse initiativer inkluderer UAWG (Upper Airspace Working Group) som er nedsat af den amerikanske brancheforening for fly- og sikkerhedsindustrien 'Aerospace Industries Association' og består af en gruppe eksperter på tværs af flysektoren⁶⁹ som har til formål at udarbejde en plan for branchens håndtering af udfordringerne og mulighederne forbundet med det øvre luftrum. Arbejdsgruppen skal blandt andet udarbejde politik og strategier for national og international regulering, lovgivning og standarder som skal

⁶⁸ https://www.atsb.gov.au/publications/investigation_reports/2019/aaair/ao-2019-056/

⁶⁹ Heriblandt fra Alta Devices, Boeing, GE Aviation, General Atomics, Google, Grumman, Harris Corporation, Lockheed Martin, Northrop Grumman, og Rockwell Collins

konvertere det øvre luftrum til et sikkert og produktivt miljø for økonomisk aktivitet som kan bidrage til den globale økonomi. Sammen med, og igennem, ICCAIA (International Coordinating Council for Aerospace Industries Association) søger gruppen ligeledes at få buy-in fra den globale flysektor, samt få sat problemstillingen på agendaet i ICAO (International Civil Aviation Organization).⁷⁰

UAGW har udarbejdet følgende principper for udvikling af operationer i det øvre luftrum (adapteret fra⁷¹):

- Ensartede principper for organisering og forvaltning af det øvre luftrum skal være anvendeligt i alle regioner;
- Globale principper skal være gældende for alle niveauer af luftrumstæthed og kommer til at påvirke den totale trafikmængde;
- Trafikstyring i luftrummet skal rumme forskellige og dynamiske flyvebaner og levere optimale systemløsninger;
- Når forholdene påkræver at forskellige typer af trafik adskilles efter luftrumsorganisation, skal størrelse, form og tidsregulering i luftrummet anrettes således at det minimerer indvirkning på alle operationer ligeligt;
- Komplexiteten af operationer kan begrænse graden af fleksibilitet;
- Brugen af luftrummet skal koordineres og monitoreres for at imødekomme modstridende legitime krav fra alle brugere som minimerer begrænsninger for operationer;
- For operationer som varer over 24 timer, forventes og planlægges luftrumsreservationer på forhånd og ændringer foretages dynamisk når det er muligt. Som det sker i dag, vil systemet også imødekomme ikke planlagte krav;
- Strukturerede rutesystemer anvendes kun hvor det er nødvendigt for at øge kapaciteten eller for at undgå områder hvor adgangen er begrænset eller hvor farlige forhold eksisterer. Derudover vil trafikstyring i luftrummet forblive så fleksible så muligt.

Herudover har HAPS branchen selv oprettet et partnerøkosystem for HAPS udvikling og regulering, som anerkendelse af at nye standarder og regulativer indenfor luftfart og telekommunikation, foruden en koordineret indsats på tværs af forskellige industrisegmenter, er nødvendige for at realisere HAPS. HAPS Alliance⁷² blev i februar 2020 stiftet af HAPSMobile og Loon som i et forsøg på at adressere disse udfordringer og skabe en fælles platform for HAPS. Alliancen har i dag en lang række medlemmer fra større telekommunikationsvirksomheder, teknologivirksomheder og luftfartsvirksomheder som alle står sammen omkring en vision om et fælles HAPS økosystem og en global HAPS standard.

⁷⁰ <https://www.aia-aerospace.org/upper-airspace-working-group-paves-way-for-new-and-emerging-aerospace-technologies/>

⁷¹ <https://unitingaviation.com/news/safety/high-fliers-high-altitude-long-endurance-aircraft-are-seeking-new-operational-flight-levels/>

⁷² <https://hapsalliance.org/>

3 Anvendelsesscenarier i Danmark og Arktis

Indenfor **telekommunikation** er nogle af fordelene ved HAPS platforme, i forhold til jordbundne netværk, et større dækningsområde (op til 200 gange større end et celletårn), mindre interferens forårsaget af forhindringer (bygninger, træer, bakker, mv.) og kortere implementeringsperiode. Fra sine 20 km højde kan en HAPS oprette forbindelse til mobilenheder, modemmer og Internet og Things (IoT) enheder vha. standard 4G LTE og 5G protokoller. Sammenlignet med satellitter drager HAPS fordel af en markant lavere latenstid (transmissionsforsinkelse) og har derudover mulighed for at returnere til jorden for vedligeholdelse eller ændring af payload konfiguration.

Indenfor **jordobservation** drager HAPS'er fordel af at kunne forblive geostationære over det samme område i lange perioder, og således bidrage med kontinuerlig og vedvarende dækning af et givent Area of Interest (AOI). Derudover er de tættere på jorden end satellitter (cirka 1/1000 af højden for en typisk geostationær satellit og cirka 1/50 af højden for en Low Earth Orbit (LEO) satellit), hvilket gør dem i stand til at indsamle billede/video data i højere opløsning – og på detaljeniveau med data fra droner og fly. I modsætning til droner er HAPS platforme dog mere mobile og kan flytte sig over store afstande over længere perioder – og således skiftevis svæve over, eller flytte sig strategisk, mellem forskellige AOI'er.

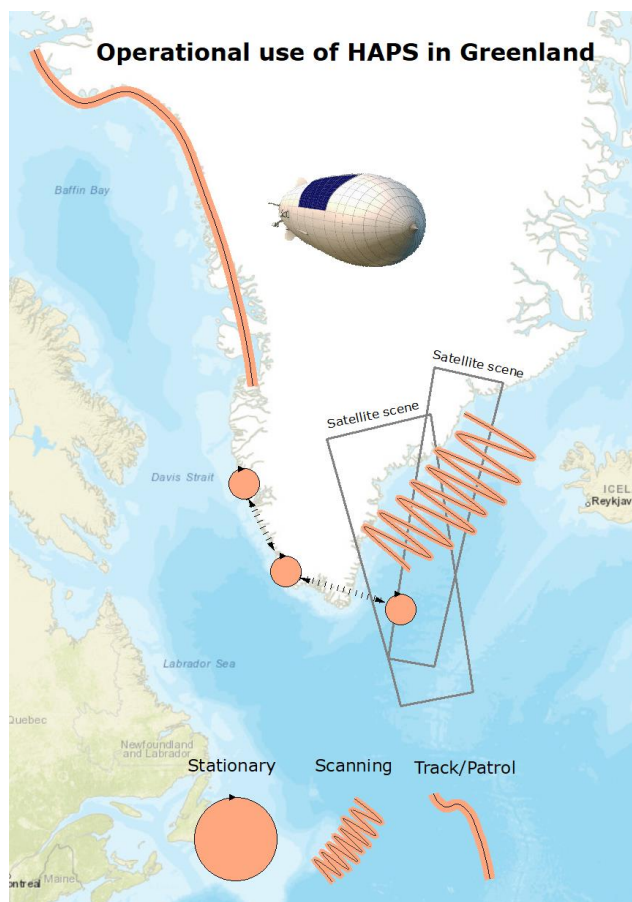
Det er forventet at HAPS systemer vil kunne bidrage med en række operationelle fordele som kan udvide og komplimentere eksisterende overvågningsløsninger, heriblandt adressere eksisterende begrænsninger for satellitbaserede løsninger (*begrænsninger ift. tidslighed, overvågningsmuligheder om natten, downlink latency*) og bemandede/ubemandede fly (*begrænsninger ift. udholdenhed, rækkevidde, bemanding*). HAPS systemer udmærker sig bl.a. ved deres:

- **Udholdenhed:** langvarige, uafbrudte monitoreringskampagner med en varighed på flere måneder, til år, uden behov for vedligeholdelse eller nedtagning.
- **Fleksibilitet:** Vedvarende overvågning over lokale geografier eller højfrekvent dækning af store områder.
- **VHR-kapacitet:** Billede og videodata af samme opløsningsgrad som flyfotos, som kan bruges til at detektere, identificere og spore mindre objekter.
- **Payload agnostiske:** Stor fleksibilitet ift. at udstyre HAPS systemer med forskellige sensor og kommunikationssystemer og mulighed for at skifte payload mellem enkelte missioner.
- **Hurtig implementering:** Afhængig af platform type kan et HAPS system klargøres og opsendes indenfor få timer, hvilket bl.a. er en stor fordel i katastrofescenarier.

For brug og anvendelse i Arktis er det dog værd at bemærke at de soldrevne HAPS systemer ikke er udviklet til at operere over 40° N/S, om end de fleste platforme teoretisk set vil kunne overflyve arktiske egne i sommermånederne. En række virksomheder eksperimenterer dog med brug af andre energikilder og brændstofbaserede platforme, som både kan drifte en større platform, og således en tungere payload samt overflyve arktiske egne i vinterområderne. Et eksempel er engelske Stratospheric Platforms Limited⁷³ som har udviklet HAPS teknologi som driftes af brint baserede brændselsceller og derigennem kan operere kontinuerligt i over en uge af gangen, selv i arktiske egne. Systemet er primært udviklet til bredbåndsløsninger og er blandt andet tiltænkt at kunne komplimentere/erstatte jordbaserede

⁷³ <https://www.stratosphericplatforms.com/>

antennemaster til 5G netværk i England og Tyskland i samarbejde med Deutsche Telekom.⁷⁴ Et andet eksempel er den danske virksomhed MDSI der som en del af IRSA⁷⁵ (Integrated Remote Sensing for the Arctic) gruppen udvikler en brændstofbaseret platform som kan flyve i 48 timer ad gangen, og genopfyldes i luften og derved holde sig flyvende i flere måneder ad gangen uden behov for vedligeholdelse. Der er således fremtidigt potentiale for komplimenterende brug af soldrevne og brint baserede HAPS platforme for kontinuerlig brug og anvendelse i Arktiske egne året rundt.



Figur 14 Anvendelsesmuligheder for brug af HAPS omkring Grønland

Ovenstående Figur 14 illustrerer hvordan HAPS potentielt vil kunne anvendes på forskellige måder i, og omkring, Grønland, til at udvide overvågningskapaciteten, heriblandt i samspil med eksisterende satellitbaserede overvågningsmuligheder. Som eksemplificeret kan HAPS bl.a. anvendes som geostationær platform til at overvåge lokale/regionale geografier kontinuerligt. Det kunne bl.a. være højrisikoområder (i.e. ifm. jagtsæsonen eller over kritisk infrastruktur) eller som del af en integreret overvågningsinfrastruktur hvor en HAPS bliver *tasked*, eksempelvis gennem early warnings fra satellitbilleder, til at afsøge et indsnævret eftersøgningsområde eller yde permanent overvågning over et bestemt interesseområde, identificeret fra satellitter. HAPS vil også kunne anvendes til at scanne og afsøge større områder efter bestemte objekter, eksempelvis et nødstedt skib, eller til at patruljere langs kystlinjer, bl.a. for at overvåge skibstrafik og isbjerge.

I nedenstående afsnit vil en række potentielle anvendelsesscenarier for fremtidig brug af

⁷⁴ <https://www.linkedin.com/pulse/stratospheric-platforms-ltd-deutsche-telekom-ag-announce-deakin/>

⁷⁵ <https://www.idg.network/>

HAPS platforme som supplement til eksisterende monitoreringsløsninger i Danmark (og i Arktis) blive konkretiseret. Disse anvendelsesscenarioer bygger bl.a. på erfaringer opnået gennem bilateral dialog med centrale aktører i Danmark samt HAPS producenter.

3.1 Maritime applikationer

Flere aktører i Danmark og Grønland, herunder særligt det danske forsvar (heriblandt Arktisk kommando) har et stort behov for tidligt, og geografisk dækkende data og information, til at understøtte eksisterende monitoreringsbehov i, og omkring, Grønland og de territoriale farvande. Dette behov skal særligt ses i lyset af en stadig stigende aktivitet i farvandet omkring Grønland, herunder i form af turisme, fiskeri, logistik og transport, forskning, mm. som har skabt et stigende behov for dynamiske og fleksible overvågningsløsninger som kan bidrage med højtemporal overvågning over de store land- og havområder samt vedvarende dækning over lokale geografier. Det kræver en stor kapacitet og mange ressourcer at overvåge de store områder omkring Grønland og en komplementær løsning mellem satellitter, HAPS og bemandede fly vil potentielt kunne understøtte en integreret overvågningsløsning som vil kunne afdække dette behov.

Eksisterende maritim overvågning understøttes primært gennem en kombination af satellitbilleder, bemandede fly, helikoptere, landbaserede radar systemer og skibe. Satellitter kan afdække store områder og har en høj udholdenhed (adskillige år) men har begrænsninger ift. tidslighed, datatransmissions forsinkelse (latency) samt rumlig opløsning (max 30 cm). Fly og droner har en høj tidslighed og kan bidrage med data i høj rumlig opløsning, men har til gengæld en begrænset udholdenhed på maks. 7-12 timer. Skibe har lang udholdenhed, men begrænset rækkevidde og synsvidde og kan ikke afdække store områder. Ved at kombinere satellitters udholdenhed med fly og droners fleksibilitet og præcision kan HAPS platforme placere sig som en strategisk brik i midten og bidrage med en agil og dynamisk monitoreringsløsning som kan supplere eksisterende overvågningsløsninger. Derudover er HAPS tættere på jorden, og har derfor en markant lavere latency end en satellit, således kan data transmitteres til operatører og analytikere på jorden i realtid. De har ligeledes fra deres højde et større udsyn og kan herfra overvåge langt større områder, udover hvad der ligger umiddelbart under dem (eksempelvis. som droner). OPAZ payload på Airbus Zephyr har blandt andet en field of regard på 1000 km² og kan afsøge 40.000 km² i løbet 12 timer. Ligeledes kan HAPS potentielt erstatte Satcom's, hvor de ikke er tilgængelige eller er for dyre, ved at fungere som kommunikationsrelæ mellem satellitter, fly og skibe i operationer udenfor synsfeltet (BLOS). Derudover vil HAPS platforme kunne udstyres med AIS/VDES-modtagere – det er allerede en del af Airbus Zephyr OPAZ payload - og de kan således betragteligt udvide den eksisterende rækkevidde gennem jordstationer.

Udvalgte eksempler på hvordan HAPS platforme potentielt vil kunne understøtte eksisterende overvågningsløsninger indenfor det maritime domæne i Danmark og Grønland:

- **Intelligence, Surveillance og Reconnaissance (ISR):** HAPS kan med fordel anvendes som supplement til eksisterende satellit og flybaserede overvågningsløsninger til at dække større maritime områder eller hot spot områder langs kritisk infrastruktur, såsom Storebæltsbroen eller Femernforbindelsen. Fra sin højde i stratosfæren kan den ikke ses eller høres, og potentielt udstyret med en kombination af en overvågnings- (optisk, termisk infrarød, SAR, ...) og kommunikationspayload (AIS/VDES, LTE, UHF, ...) vil den kunne patruljere, detektere, klassificere og spore maritime objekter samt understøtte det samlede operative scenarie som kommunikationsrelæ og AIS/VDES modtager. En HAPS vil således kunne overvåge og monitorere den samlede skibstrafik, heriblandt identificere fartøjer som udøver anormal adfærd, eksempelvis nødstedte skibe med

motorproblemer, ude af position og i kollisionsfare. De vil også kunne anvendes ifm. fiskeriinspektion og kontrol, heriblandt til at detektere og dokumentere muligt illegalt fiskeri. Man kunne også forestille sig at HAPS kunne anvendes som omkostningseffektivt redskab til at udbrede 5G bredbånd i områder udenfor jordantenners rækkevidde, bl.a. langs højtrafikerede maritime container og passager ruter.

- **Søredningsaktiviteter (SAR):** I forbindelse med SAR operationer er der behov for et stort maritimt overblik samt kommunikationskapacitet. Man kunne forestille sig at HAPS kunne indgå i en integreret overvågningsinfrastruktur, hvor satellitter eksempelvis anvendes til at afdække det større overordnede billede i det operative scenarie, gennem hvilket en HAPS kunne taskes til at rykke ud i bestemte områder for at give et mere detaljeret og tidligt overblik. Det kunne eksempelvis være ifm. en søredningsmission hvor et fartøj er forsvundet og en satellit kan anvendes til at identificere området hvor fartøjet sidst er set, og herefter *taske* en HAPS til at indlede en egentlig eftersøgning. Herfra vil HAPS både kunne agere kommunikationsrelæ for den samlede redningsaktion samt detektere og spore fartøjet kontinuerligt indtil redningsfartøjer kan nå frem til området. Udstyret med radar (SAR) sensorer vil platformen kunne eftersøge store områder kontinuerligt, uafhængigt af tidspunkt på dagen eller skydække og optiske og termisk infrarøde sensorer herudover muliggøre eftersøgning, genkendelse og sporing af objekter samt personer i havet eller på land. HAPS vil også med fordel kunne anvendes som en permanent overvågningsplatform til at understøtte sikkerheden i hot spot zoner, heriblandt periodevis ifm. jagt og fiskerisæsonen eller offshore borerer.
- **Overvågning og monitorering af is forhold:** En HAPS platform vil også kunne anvendes til kontinuerlig monitorering og kortlægning af isforhold og detektering af selv små isbjerge og isstykker, hvilket bl.a. kan bidrage til at understøtte sikkerheden og informationsgrundlaget for skibe som opererer langs nye skibruter i Arktis samt planlægning af fiskeriaktiviteter. Derudover er opdateret information omkring lokalitet, bevægelse og størrelse på isbjerge vigtige ifm. off-shore borerer hvor isbjerge udgør en af de største sikkerhedsrisikoer. Selv meget hurtige forandringer i transitionsperioder vil kunne detekteres løbende og indrapporteres. Sådanne højtopløselige og tidlige datasæt vil ligeledes kunne understøtte forskningsaktiviteter indenfor en række domæner, heriblandt til at kvantificere effekten af klimaforandringer.
- **Overvågning af havmiljøet:** Satellitdata (heriblandt Sentinel-1 og Radarsat) bliver anvendt til oliespildsmonitorering af forsvaret omkring Grønland, men den primære monitorering foretages med fly. Udstyret med en højtopløselig SAR sensor, vil en HAPS være ideelt positioneret til at detektere oliespild, løbende overvåge omfanget og udviklingen samt spore ophavet til spildet. De vil således kunne understøtte myndighedernes kapacitet til at lokalisere og vurdere omfanget af en oliespildskatastrofe samt bidrage med et informationsgrundlag som vil kunne understøtte eventuelle efterforskningsaktiviteter. Ligeledes vil HAPS platforme kunne udstyres med multi- eller hyperspektrale sensorer som vil gøre det muligt at måle og monitorere diverse meteorologiske og miljørelaterede parametre, heriblandt havtemperatur, bølgehøjde, vindhastighed og vandkvalitetsparametre (bl.a. relevant i forbindelse med fiskeri og fiskerikontrol samt vedligeholdelse af havvindmølleparker hvor servicevinduerne er korte og skal planlægges så hurtigt og sikkert så muligt). Eksisterende in situ målinger ifm. dredning aktiviteter vil også kunne suppleres af kontinuerlige og højtopløselige billede/video data fra HAPS platforme, som kan bruges til at dokumentere miljømæssige påvirkninger.

3.2 Applikationer over land

Indenfor den korte tidshorizont er maritime anvendelsesmuligheder for brug af HAPS platforme i Danmark og Grønland de mest nærliggende. Det skyldes primært de lovgivningsmæssige udfordringer som stadig eksisterer for brug af HAPS over land og tæt bebyggede områder, heriblandt hvad angår sikkerhed samt indsamling af informationer i strid med persondatalovgivningen (GDPR). Såfremt det antages at de lovgivningsmæssige og regulative udfordringer kan adresseres, kan HAPS dog bidrage til at understøtte adskillige monitorerings-, informations- og kommunikationsbehov over land, heriblandt:

- **Generel overvågning (kriminalitet/sikkerhed):** Store dele af vores byer og kritiske infrastruktur (rørledninger, havneområder, lufthavne, mm) er i dag under konstant overvågning og der foretages store investeringer i den generelle sikkerheds- og overvågningsinfrastruktur. En enkel HAPS platform, med en payload bestående af højopløselige optiske, termiske IR og SAR sensorer vil potentielt kunne yde konstant videoovervågning (dag og nat) over hele det centrale København og således supplere eller erstatte behovet for videoovervågning på jorden samt periodevis fra fly, droner og helikoptere. En Zephyr med sin OPAZ payload vil bl.a. kunne detektere, monitere og spore al trafik (inklusive biler, fly og skibe) i hele Storkøbenhavn og med sin styrbare optiske sensor på 18 cm med en field of view på 1 km² vil den også kunne anvendes til at spore enkeltpersoner. Samtidig vil video/billede dataarkivet fra en HAPS kunne anvendes ifm. efterforskningsarbejde af forbrydelser (historisk tilbageblik på begivenheder og sporing af personer i interesseområder) og som bevismateriale. En HAPS vil bl.a. kunne complimentere Københavns politis arbejde i forbindelse med højrisikobegivenheder (bl.a. Euro 2021 og Tour De France start i København) hvor den vil kunne supplere videoovervågning fra jorden og fra helikoptere og yde kontinuerlig overvågning af store menneskemængder og sporing af enkeltpersoner. I havneområder vil HAPS kunne anvendes til at spore og monitere al ind- og udgående skibstrafik samt yde overvågning support af hele havneområdet for eventuelt kriminel adfærd.
- **Telekommunikation:** Særligt i Grønland, i udvalgte områder (heriblandt beboere i udsatte bygder) samt periodevis i ifm. jagtsæsonen ville HAPS platforme være oplagte til at understøtte kommunikationsløsninger og 5G udbredelse i områder som ikke er dækket af jordstationer. Derudover udgør HAPS løsninger et dynamisk supplement til, eller erstatning for, jordstationer, eksempelvis ifm. naturkatastrofer eller terrorangreb hvor disse måtte være blevet sat ud af spil. Ifm. orkanen Maria i 2017 blev et netværk af Google Loon platforme bl.a. anvendt til at forbinde mere end 100.000 mennesker til internettet, i områder hvor kommunikationsnetværket var blevet ødelagt. Google Loon's autolauncher system gør det muligt at opsende en ballon på blot 30 min, og således udgør de en meget agil og dynamisk platform som kan anvendes på en ad.hoc. basis, bl.a. ifm. katastrofer hvor kommunikationsløsninger er helt centrale for at kunne koordinere indsatsen og kontakte folk i de ramte områder.
- **Katastrofehåndtering:** Udover at understøtte kommunikationsløsninger som nævnt ovenover, vil HAPS kunne anvendes som ad.hoc. support ifm. katastrofehåndtering hvor overblikket over omfanget og berørte mangler. Det kunne eksempelvis være ifm. en terrorhandling i en større by hvor der er behov for et større og kontinuerligt overblik over de udsatte områder samt mulighed for at afsøge og spore eventuelle udetekterede trusler. HAPS platforme vil også kunne anvendes proaktivt ift. katastroforebyggelse bl.a. til at monitorere og beskytte netværkssystemer (højspændingsnetværk, trafiknetværk, kommunikationsnetværk, mm) mod sabotage og detektere eventuel skader eller trusler (kraftværker, elledninger, olie- eller gasledninger, veje, jernbanelinier, mm.). Man kunne også forestille sig at HAPS

platforme, heriblandt i kombination med satellitter til early warning, kunne anvendes til at monitorere omfanget og udviklingen af skov/hedebrande samt oversvømmelser og derved kunne bruges til at understøtte beredskabsarbejdet.

4 Payload konfiguration

Selvom de forskellige typer af HAPS platforme er designet til bestemte formål er flere af dem i udgangspunktet payload agnostiske, hvilket betyder at de kan udstyres med mange forskellige kombinationer af sensorer og instrumenter, så længe disse ikke overstiger den samlede vægt- eller energibegrænsning. Denne kapacitet til at blive udstyret med forskellige typer af sensorer gør HAPS platforme dynamiske og agile ift. at kunne agere i mange forskellige typer af operative scenarier. Det afgørende er slutbrugerens konkrete behov og som en del af DK4HAPS er en række forskellige aktører i Danmark blevet konsulteret, både bilateralt i 1:1 møder samt workshops for at afdække disse behov. Dette afsnit vil afdække nogle af disse behov samt præsentere udvalgte eksempler på eksisterende sensorer og databehandlingsmuligheder som vil kunne adressere disse.

4.1 Sensor systemer

Alt efter overvågningsbehov og formål stilles der forskellige krav til de sensorsystemer som HAPS skal udstyres med, for at eksisterende begrænsninger og udfordringer kan adresseres ved hjælp af HAPS relaterede services. Helt konkret stiller de fleste aktører krav til enten højt opløselige optiske sensorer (billede + video), infrarøde sensorer, SAR radar sensorer og i visse tilfælde hyperspektrale sensorer, eller en kombination af disse. Kravene til rumlige opløsninger for optisk og SAR data er at de i overvejende grad matcher eksisterende observationer fra fly (gerne mindst 15 cm) og derudover har en swath på adskillige kilometer (Stripmap: 50 km+). Derudover har flere aktører understreget behovet for at supplere/erstatte eksisterende land- og satellitbaserede kommunikationssystemer (heriblandt AIS/VDES modtagersystemer og 5G netværk), særligt omkring Grønland, vha. HAPS baserede services.

I overensstemmelse med disse krav er en ikke udtømmende analyse af eksisterende jordobservations sensorsystemer gennemført (Annex A). Denne analyse afdækker bredt set tilgængeligheden af eksisterende sensorsystemer som potentielt vil kunne imødekomme aktørernes behov.

4.2 Hardware/software komponenter

I de fleste tilfælde vil de integrerede behandlingsenheder og softwareværktøjer som leveres af producenterne af sensorsystemerne være tilstrækkelige ift. at imødekomme slutbrugerens behov for analyse og automatisk objektgenkendelse. En række forskellige værktøjer og kommercielle / open source-softwareprodukter kunne dog anvendes til at udbygge disse kapaciteter, samt understøtte lignende funktioner, såfremt de integrerede softwarekomponenter fejler eller ikke opfylder slutbrugerens behov.

Geografiske informationssystemer (GIS) og dedikeret billedbehandlingssoftware bidrager med en bred vifte af værktøjer til avanceret billedanalyse, geospatial modellering og behandling, visualisering, billedklassificering og meget mere. Derudover er programmeringsbiblioteker fleksible og dynamiske, hvilket giver slutbrugerens mulighed for at udlede en tilpasset løsning som understøtter det konkrete behov for billedanalyse, herunder avanceret og automatiseret billedanalyse og detektering og sporing af bevægelige mål og annotation. I den følgende gennemgang gennemgås og foreslås to af de mest populære GIS-softwarepakker, 2 remote

sensing software pakker samt 2 programmeringsbiblioteker som alternativer til de integrerede softwareløsninger der tilbydes af sensorudbydere.

4.2.1 Geografiske Informations Systemer (GIS)

ArcGIS⁷⁶

ArcGIS er en omfattende softwareplatform til at analysere og visualisere geografisk data og billeddata og pakken indeholder bl.a. redskaber til avanceret databehandling, analyse og visualisering. Softwarepakken har integrerede billedanalysemoduler og værktøjer til avanceret billed- og rasteranalyse (inklusive SAR-data), som bl.a. kan anvendes til at behandle satellit data eller data fra fly/droner/HAPS. Pakken er udstyret med en full-motion video (FMV) udvidelse, designet til at give reeltidsanalyse og visualisering af video til understøttelse af forskellige applikationer i realtid. ArcGIS-platformen giver mulighed for nem integration med andre geospatiale datapakker og adgang til omfattende manualer og dokumentation. Licensomkostninger er den største ulempe forbundet med ArcGIS

QGIS⁷⁷

QGIS er et open source-alternativ til ArcGIS, og ligesom ArcGIS er det et geografisk informationssystem, der giver mulighed for analyse og visualisering af geografisk data. Det inkluderer en bred vifte af forskellige værktøjer til avanceret billedanalyse og plugins til at udvide softwarens funktionalitet, og tilføje yderligere funktioner og værktøjer. Disse inkluderer plugins, der giver mulighed for analyse af video- og SAR-data. Som open source værktøj er det nemt at udvikle nye plugins til QGIS, hvilket kan være en fordel når funktioner skal tilpasses eksterne systemer, såsom sensorerens onboard redskaber. Derudover drager QGIS fordel af en stor og aktiv brugergruppe som bidrager med hurtig innovation og opdateringer til softwaren.

4.2.2 Remote sensing software til billede analyse

ERDAS IMAGINE⁷⁸

ERDAS IMAGINE er en softwarepakke, udviklet til remote sensing opgaver, som leverer en bred vifte af værktøjer til avanceret billedbehandling og rumlig modellering. Softwaren integrerer værktøjer til fotogrammetri, avanceret billedanalyse og ændringsdetekteringsværktøjer i et enkelt produkt som understøtter optiske pankromatiske, multispektrale og hyperspektrale billeder og SAR-data. ERDAS IMAGINE kan således facilitere de fleste standardopgaver ift. billedanalyse og processering af data indsamlet fra de tre foreslåede sensorer.

ENVI⁷⁹

ENVI er en anden populær softwarepakke til remote sensign med en omfattende pakke med avanceret redskaber til billedanalyse. ENVI understøtter data fra en lang række luftbårne sensorer, herunder multispektrale, hyperspektrale, pankromatiske, infrarøde, termiske, SAR og full-motion video. Det er en fleksibel og meget tilpasselig løsning, der kan implementeres og tilgås via desktop, i skyen og på mobiltjeneste. For mere avanceret fortolkning og analyse af SAR-data tilbyder ENVI et separat integreret modul 'ENVI SARscape' som indeholder en bred vifte af behandlings funktionaliteter dedikeret til analyse af SAR-billeder.

⁷⁶ <https://www.arcgis.com>

⁷⁷ <https://qgis.org>

⁷⁸ <https://www.hexagongeospatial.com/products/power-portfolio/erdas-imagine>

⁷⁹ <https://www.harris.com/solution/envi>

4.2.3 Programmeringssprog

OpenCV⁸⁰

OpenCV er et open source computer vision og maskinlæringssoftwarebibliotek, med mere end 2500 optimerede algoritmer til billed- og videodatabehandling og analyse, bl.a. til objektgenkendelse og ansigtsregistrering, bevægelsesdetektering, farvegenkendelse, billedsegmentering og meget mere. Ved at integrere computervision og maskinlæringsalgoritmer og anvende dette til realtid video- og billeddata er OpenCV et levedygtigt, tilpasningsdygtigt og alsidigt alternativ til de integrerede behandlingsmoduler inden for de valgte sensor komponenter. OpenCV kan tilpasses til næsten ethvert formål og kan bruges til at udvikle automatiske alarmeringsmekanismer baseret på indstillede situationsændringer, afhængigt af brugerens behov.

Python⁸¹

Python er et af de mest anvendte programmeringssprog i verden, og er bl.a. særdeles anvendeligt bruges til avanceret billedanalyse og workflow-automatisering. Ligesom OpenCV kan Python bruges til at automatisere en endeløs mængde behandlingsarbejde og udvikle automatiseret og avanceret billed- og videoanalyse. Dette kan bl.a. bruges til at udvikle alarmeringsfunktioner, baseret på skiftende omstændigheder indenfor AOI. Ved at kombinere en række af de ovennævnte værktøjer kan der udledes en holistisk datakæde, der dækker hele processen, fra payload til felt data, såsom placering af store skibe uden klasse A AIS-modtagere inden for interesseområdet.

⁸⁰ <https://opencv.org/>

⁸¹ <https://www.python.org/>

5 Konklusion

HAPS4DK projektet har haft til hensigt at afdække behovet, samt identificere mulighederne, for brug og anvendelse af HAPS platforme i Danmark og i Arktis. Herudover har projektet søgt at afdække potentialet og mulighederne for danske teknologiudviklingsvirksomheder til at bidrage til, og understøtte, fremtidige udvikling af HAPS platforme og systemer.

Hvis der ses bort for den teknologiske udvikling, hvoraf størstedelen af de nuværende HAPS platforme under udvikling ikke er bygget til at operere i Arktis, er det kortsigtede anvendelsespotentiale og mulighederne størst og mest presserende i, og omkring, Grønland. Dette skyldes dels den hurtige udvikling i Arktis som har medført et langt større behov for udvidede monitoreringskapaciteter til at understøtte forsvars- og sikkerhedsmæssige opgaver, dels de store land- og havområder som ikke kontinuerligt kan afdækkes med nuværende teknologi, men også de lovgivnings- og sikkerhedsmæssige aspekter som forventeligt vil være sværere at adressere over tætbefolkede landområder i Danmark. Særligt de regulative udfordringer fremstår lige nu som den største udfordring i forhold til egentligt kommerciel udrulning af HAPS platforme, for alt imens den teknologiske udvikling indenfor HAPS platforme går hurtigt, mangler lovgivningen stadig at blive udviklet. Derfor fremstår det ikke umiddelbart foreliggende at HAPS platforme kan anvendes over tætbefolkede områder, heriblandt Danmark, på trods af at adskillige initiativer lige nu arbejder på at adressere denne udfordring. De fleste eksisterende platforme, heriblandt Airbus Zephyr og SCEYE har primært fået tilladelse til at teste og opererer deres platforme over øde landområder eller over havet og særligt de store havområder omkring Grønland vil med fordel kunne afdækkes gennem en integreret løsning med satellitter og HAPS platforme. Dette gør sig særligt gældende i forhold til behovet for at udvide de eksisterende AIS/VDES modtagersystemer, gennem en HAPS konstellation som kan afdække hullerne mellem satellitter og landbaserede modtager.

På trods af de regulative udfordringer, som forventeligt vil besværliggøre brugen af HAPS platforme i Danmark på kort sigt, er det langsigtede potentiale dog stort. Behovet for en supplerende teknologi som vil kunne bidrage med en afdækkende overvågningsmulighed i realtid over de store byer (København/Århus/Aalborg/Odense, ...), over kritisk infrastruktur (havne, lufthavne, ledningsnetværk, ...), grænseområder, mm. er betragteligt, og en HAPS baseret infrastruktur vil kunne bidrage med helt nyt muligheder, og et helt nyt redskab, til at understøtte centrale forsvars- og sikkerhedsmæssige opgaver i Danmark. Derudover vil kommunikationsplatforme, eksempelvis HAWK30, kunne anvendes som backup løsning, eller supplement, til eksisterende kommunikationsinfrastruktur, heriblandt i forbindelse med en eventuel katastrofesituation og derved anvendes som et fleksibelt, og omkostningseffektivt, redskab til at genoprette kommunikationsforbindelserne mellem de centrale myndigheder og befolkningen.

Med en teknologi i modning, en større synlighed omkring behovet og mulighederne for brug og anvendelse, er HAPS området i kraftig vækst. Det forventes at danske teknologiudviklingsmuligheder med kompetencer indenfor sensorteknologi, antennesystemer, letvægtskomponenter, solcellesystemer, kunstig intelligens, testfaciliteter og softwaresystemer, mm. vil kunne bidrage positivt til udviklingen fremadrettet og samtidig få andel i den store økonomiske vækst som forventes indenfor HAPS sektoren over de næste 5-10 år.

6 Bilag

A Analyse af kommercielt tilgængelige potentielle sensorkomponenter til HAPS platforme som vil kunne understøtte størstedelen af slutbrugernes behov.

Optiske og infrarøde (IR) sensorer						
Navn	Max højde	Sensor type	Sensor/kamera specifikation	System vægt	Energiforbrug	Reference
Wescam <i>MX-25</i>	Udviklet til anvendelse i high altitude	Optisk sensor – daylight spotter	2 Mega pixel (MP) med 0.92° til 0.11° Field of View (FOV) 0.92° FOV ved 20000m: Swath width: 321 m, pixel opløsning: 0.297 m / 0.167 m 0.11° FOV ved 20000m: Swath width: 38.4 m, pixel opløsning: 0.036 m / 0.020 m	100 kg (7 sensors) + 9 kg (kontrolenhed)	320 W (Gennemsnit), 1000 W (Max) sensorer + 50 W (Gennemsnit), 100 W (Max) for kontrolenhed	https://www.l3harris.com/all-capabilities/wescam-mx25-air-surveillance-and-reconnaissance
		Optisk sensor – Daylight Continuous Zoom	5 MP med 36.3° til 1.1° FOV 1.1° FOV ved 20000m: Swath width: 383.17 m, pixel resolution: 0.200 m / 0.150 m 36.6° FOV ved 20000m: Swath width: 12776 m, pixel resolution: 6.65 m / 4.99 m			
		Termisk sensor – Thermal Imager	1280x1080 med 21.7° til 0.58° FOV 0.58° FOV ved 20000m: Swath width: 202.46 m, pixel resolution: 0.187 m / 0.158 m 21.7° FOV ved 20000m: Swath width: 7574.7 m, pixel resolution: 7.01 m / 5.92 m			
Glyndŵr Innovations <i>Ultra-Light Imaging System for HAPS</i>	Udviklet til HAPS platforme	Optisk sensor	Pixel opløsning: 93mm Swath width: 313m x 251m	2 kg		http://www.glyndwrinnovations.co.uk/ultra-lightweight-telescope/
FLIR <i>ULTRAFORCE 350-HD</i>		Optisk HD Sensor og IR	Opløsning: Synlig (RGB): 1280x720 - IR: 640x512, 3-5 micrometer (µm) in Medium Wavelength Infrared (MWIR) FOV: 8866 m to 276 m continuous zoom	28 kg	<150 W	https://www.flir.eu/support/products/ultraforce-350-hd/#Resources
IMSAR	Udviklet til	Optisk	Opløsning: RGB: 18 MP (5288 X 3506 PX) – IR: 0.3 MP (640	8.3 kg	24 W	https://www.imsar.c

NSP-5 EO/IR	anvendelse i high altitude	Sensor og IR	X 480 PX) FOV: Visible: 1487 m X 2227 m - IR: 1536 m X 1152 m			om/wp-content/uploads/2017/09/nsp-5-eoir.pdf
OPAZ <i>Airbus</i>	Udviklet til Airbus Zephyr HAPS	Optisk sensor og IR	Opløsning. Styrbart kamera med 18 cm optisk og 70 cm IR samt 2 fikserede optiske kameraer på henholdsvis 2 m og 10 m. FOV: 18 cm optisk/70 cm IR (1 km ² med en field of regard på 1000 km ²), 2 m (100 km ²), 10 m (800 km ²).	5-12 kg	<250 W	https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/brochures/Datash eet-Zephyr-February-2019.pdf

Radar (SAR) sensorer

<u>Navn</u>	<u>Max højde</u>	<u>Sensor type</u>	<u>Sensor/kamera specifikation</u>	<u>System vægt</u>	<u>Energiforbrug</u>	<u>Reference</u>
Metasensing HIGH-ALTITUDE RADAR	20 km operational altitude	X band SAR	Opløsning: Op to 15 cm Swath width: 50 km – 200km	Under 30 kg	Op to 1 kW	http://www.metasensing.com
IMSAR NSP-5 ER	Udviklet til extended range (ER)	X band SAR	Opløsning: Op til 30 cm Ground moving target indicator (GMTI) rækkevidde: 20 km STRIPMAP: 5486 m SPOTLIGHT: 7010 m	10.9 kg	275 W	https://www.imsar.com/wp-content/uploads/2018/03/nsp-5-er.pdf
LEONARDO Gabbiano Ultra-Light	Udviklet til long range overvågningsoperationer	X band SAR	Submeter opløsning med stor swath width	24 kg	450 W	http://www.leonardocompany.com/en/-/gabbiano-ts-ultra-light
LEONARDO PICOSAR		X band SAR	Opløsning: <1m	10 kg	<300 W	http://www.leonardocompany.com/en/-/picosar-1
Airbus SPIDER	Udviklet til Airbus Zephyr HAPS	X band SAR	Maritim mode: Swath width på over 40 km og en opløsning på 0.5m x 100 m. Stripmap mode: Swath width på 5 km og en opløsning på <1m x 1m.	<5 kg	<40 W ved maritim mode og <140 W ved stripmap mode.	https://ceoi.ac.uk/wp-content/uploads/docs/conferences/UK_National_Earth_Observation_Conference_2018_Sep_2018/8_Munr

o.pdf

Hyperspektrale sensorer

<u>Navn</u>	<u>Max højde</u>	<u>Sensor type</u>	<u>Sensor/camera specification</u>	<u>System vægt</u>	<u>Energiforbrug</u>	<u>Reference</u>
VITO Medusa	Udviklet til brug på HAPS platforme som opererer i stratosfærisk højde.	Pan + Hyper spektral med 154 spektrale bånd indenfor 470-900 nm	Opløsning: 2.5 m fra 18 km højde Swath width: 10 km	3 kg	50 W	http://medusa.vgt.vito.be/content/home

DHI GRAS
Agern Alle 5
2970 Hørsholm

www.dhi-gras.com / www.dhigroup.com

