



**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**Τμ. ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**  
**Π.Μ.Σ. «ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΚΑΙ**  
**ΤΗΛΕΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»**

---

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΚΑΙ ΤΗΛΕΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΑ**  
**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»**

**ΤΙΤΛΟΣ**

**«ΨΕΥΔΟΔΟΡΥΦΟΡΟΙ» - Το μέλλον της Στρατοσφαιρικής  
Τεχνολογίας και οι Επιπτώσεις της**

---

**ΤΙΤΛΟΣ ΑΓΓΛΙΚΑ**

**PSEUDOSATELLITES' - The Future of Stratospheric Technology  
and its Implications**

---

**Όνοματεπώνυμο Φοιτητή:**

**Θωμάς Βασιλείου**

---

**Όνοματεπώνυμο Υπεύθυνου Καθηγητή:**

**Ιωάννης Κούκος**

---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΙΟΥΛΙΟΣ 2024**

---

## Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Κούκος Ιωάννης

Παπουτσιδάκης Μιχαήλ

Χατζόπουλος Αβραάμ

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Θωμάς Βασιλείου του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 8096621 φοιτητή του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Μη Επανδρωμένα Αυτόνομα και Τηλεκατευθυνόμενα Συστήματα» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της Σχολής Μηχανικών Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο/Η δηλών/ούσα



Ημερομηνία  
11 Απριλίου 2024

**ΤΙΤΛΟΣ**

**«ΨΕΥΔΟΔΟΡΥΦΟΡΟΙ» - Το μέλλον της Στρατοσφαιρικής  
Τεχνολογίας και οι Επιπτώσεις της**

---

**ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ**

**Θωμάς Βασιλείου**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία που υποβάλλεται στο καθηγητικό  
σώμα για την μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του  
μεταπτυχιακού τίτλου του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Μη Επανδρωμένα Αυτόνομα και Τηλεκατευθυνόμενα Συστήματα» του  
Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του  
Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.**

## **Περίληψη**

Οι ψευδοδορυφόροι (High Altitude Pseudo Satellites ή HAPS) αντιπροσωπεύουν μία αναδυόμενη τεχνολογία μη επανδρωμένων αεροσκαφών τα οποία δραστηριοποιούνται στην περιοχή της στρατόσφαιρας. Η ιπτάμενες αυτές πλατφόρμες προκαλούν έντονο ενδιαφέρον, παρέχοντας νέες δυνατότητες και προοπτικές σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών. Η παρούσα διπλωματική εργασία προσπαθεί να εξετάσει την τεχνολογία των HAPS αναδεικνύοντας τις διάφορες πτυχές της. Πιο αναλυτικά αποσαφηνίζει την έννοια των ψευδοδορυφόρων, παρουσιάζει τις δυνατότητες τους, εξετάζει την αποτελεσματικότητά τους σε σχέση με τα υπόλοιπα εναέρια μέσα και αναλύει τις επιχειρησιακές και τις οικονομικές επιπτώσεις σε παγκόσμια κλίμακα. Τέλος προσπαθεί να αναδείξει τις προκλήσεις καθώς και τις τάσεις που δημιουργούνται στο συγκεκριμένο κλάδο. Συνολικά, η εργασία έχει ως στόχο να αναδείξει το ρόλο και τη σημασία των HAPS στον σύγχρονο τεχνολογικό περιβάλλον.

## **Abstract**

High Altitude Pseudo Satellites (HAPS) represent an emerging technology of unmanned aerial vehicles operating within the stratosphere region. These airborne platforms have garnered significant interest, offering new capabilities and prospects across a wide range of applications. The present dissertation aims to explore the technology of HAPS by elucidating its various aspects. Specifically, it clarifies the concept of pseudo satellites, presents their capabilities, examines their effectiveness compared to other aerial platforms, and analyzes the operational and economic implications on a global scale. Lastly, it endeavors to highlight the challenges and trends emerging in this specific sector. Overall, the dissertation seeks to underscore the role and significance of HAPS in the contemporary technological environment.

## **Λέξεις Κλειδιά**

Ψευδοδορυφόροι

HAPS

High Altitude PseudoSatellite

High Altitude Platform Station

## **Key Words**

HAPS

High Altitude PseudoSatellite

High Altitude Platform Station

## Περιεχόμενα

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	1
Περίληψη .....	2
Λέξεις Κλειδιά.....	4
Λίστα εικόνων και διαγραμμάτων.....	7
Συνοτομογραφίες.....	8
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Σκοπός της Εργασίας .....	10
1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας .....	10
2 Ιστορική αναδρομή.....	15
3. Επιχειρησιακό περιβάλλον και προκλήσεις.....	19
4 Βασικές Κατηγορίες των HAPS.....	23
4.1 Lighter Than Air Solutions - HAPS .....	23
4.2 Heavier Than Air Solutions - HAPS .....	27
5. Οι Ενεργειακές πηγές των Ψευδορυφόρων .....	30
5.1 Συμβατικές πηγές ενέργειας .....	30
5.2 Χρήση δέσμης μικροκυμάτων.....	30
5.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας .....	32
6. Ωφέλιμο φορτίο (Payload) των HAPS .....	37
6.1 Εφαρμογές τηλεπισκόπησης (Remote Sensing) .....	37
6.2 Επικοινωνίες.....	43
7 Επισκόπηση των Εφαρμογών των HAPS.....	46
7.1 Παρατήρηση της Γης .....	46
7.2 Τηλεπικοινωνίες.....	47
7.3 Υπηρεσίες Πλοήγησης.....	48
8 Σύγκριση των HAPS με ανταγωνιστικές τεχνολογίες .....	50
8.1 Unmanned Aerial Vehicles (UAVs).....	50
8.2 Τεχνητοί Δορυφόροι .....	52
9. Οικονομική αξία και επιπτώσεις στην παγκόσμια οικονομία .....	55
9.1 Γενική εικόνα της παγκόσμιας αγοράς.....	55
9.2 Η αγορά στον κλάδο των Balloons .....	57
9.3 Η Αγορα στον κλάδο των HTAs.....	57

10. Νομοθετικό πλαίσιο .....	60
10.1 Κίνδυνοι και προκλήσεις κατά τη διάρκεια πτήσεων των HAPS ....	60
10.2 Σχεδιασμός - Κατασκευή των Ψευδορυφόρων .....	61
10.3 Εκπαίδευση και αξιολόγηση προσωπικού .....	61
10.4 Εγκαταστάσεις .....	61
11. Το παρελθόν και το παρόν και το μέλλον των HAPS .....	63
11.1 Τα σημαντικότερα προγράμματα HAPS του πρόσφατου παρελθόντος.....	63
11.2 Το παρόν στον τομέα των HAPS.....	70
11.3 Οι σημαντικότερες προκλήσεις στο οικοσύστημα των HAPS. ....	75
12. Η Στρατηγική σημασία της τεχνολογίας HAPS για τη χώρα μας .....	82
12.1 Επιτήρηση Συνόρων .....	82
12.2 Αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών .....	82
12.3 Αποστολές Έρευνας - Διάσωσης.....	83
12.4 Παροχή Υπηρεσιών ISR & Remote Sensing .....	83
13. Σύνοψη των Κυριότερων Ευρημάτων .....	84
Επίλογος.....	87
Βιβλιογραφία - Αναφορές .....	88



## Λίστα εικόνων και διαγραμμάτων

Εικόνα 1 Χάρτινο μπαλόνι όγκου 113 m <sup>3</sup> .....	15
Εικόνα 2 Μπαλόνι του προγράμματος Skyhook προετοιμάζεται για πτήση.....	16
Εικόνα 3 10/1/1950 εκτόξευεται το πρώτο μπαλόνι του προγράμματος Genetrix.....	17
Εικόνα 4 τα στρώματα της ατμόσφαιρας.....	20
Εικόνα 5 Η περιοχή της στρατόσφαιρας.....	21
Εικόνα 6 Η θέση των HAPS στην ατμόσφαιρα .....	22
Εικόνα 7 Το Airship Sceye απογειώνεται .....	25
Εικόνα 8 Η στιγμή της κατάρριψης του κινεζικού κατασκοπευτικού ψευδοδορυφόρου.....	26
Εικόνα 9 Μηχανισμός παραγωγής Άντωσης .....	28
Εικόνα 10 Καλλιτεχνική απεικόνιση ενός HTA ψευδοδορυφόρου .....	28
Εικόνα 11 Σύστημα SHARP .....	31
Εικόνα 12 .....	32
Εικόνα 13 Υπερ-ελαφρά Solar Moodules .....	33
Εικόνα 14 Η επανάσταση των επαναφορτιζόμενων μπαταριών .....	34
Εικόνα 15 Ενεργειακή διακύμανση κατά τη διάρκεια ενός 24 ωρου .....	34
Εικόνα 16 Αρχή λειτουργίας RFC συστήματος.....	35
Εικόνα 17 Remote Sensing εφαρμογές.....	37
Εικόνα 18 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	38
Εικόνα 19 Η “δύναμη” της υψηλής ανάλυσης.....	40
Εικόνα 20.....	41
Εικόνα 21 Spaceborne Synthetic Aperture Radar Remote Sensing .....	42
Εικόνα 22 Ένας ψευδοδορυφόρος σε ρόλο εναέριας κεραίας παροχής επικοινωνιών.....	43
Εικόνα 23 Σχηματική απεικόνιση της ισχύος μιας κεραίας σε σχέση με τη γωνία.....	44
Εικόνα 24 Σενάριο χρήσης ψευδοδορυφόρων για την υποστήριξη δικτύων επικοινωνίας.....	45
Εικόνα 25 Καλλιτεχνική απεικόνιση ψευδοδορυφόρου .....	47
Εικόνα 26 Δίκτυο επικοινωνιών αποτελούμενο από δορυφορικά συστήματα, HAPS , UAVs.....	48
Εικόνα 27 Η θέση των HAPS στον ουρανό .....	50
Εικόνα 28.....	55
Εικόνα 29.....	56
Εικόνα 30.....	56
Εικόνα 31.....	57
Εικόνα 32.....	58
Εικόνα 33.....	58
Εικόνα 34.....	60
Εικόνα 35 Το αεροσκάφος HAPS.....	64
Εικόνα 36 Το HAPS HELIOS στην τελευταία του πτήση.....	65
Εικόνα 37 Το Hisentinel επιθεωρείται στο αεροδρόμιο Moffett .....	65
Εικόνα 38 Ένα από σενάρια χρήσης του CAPANINA .....	66
Εικόνα 39 Καλλιτεχνική απεικόνιση του HALE-D .....	67
Εικόνα 40 LTAs Balloons του προγράμματος LOON.....	68
Εικόνα 41 Το HTAs Aquila της Facebook .....	69
Εικόνα 42 Το Zephyr-s .....	70
Εικόνα 43 Το phasa-35 .....	71
Εικόνα 44 Το Qimingxing-50 .....	72
Εικόνα 45 Το Stratobus.....	73
Εικόνα 46 Το ApusDuo .....	74
Εικόνα 47 Το Sceye .....	75
Εικόνα 48 Τοποθέτηση ηλιακών κυψελών στην πτέρυγα του Helios.....	76
Εικόνα 49 Διαδικασία σύνδεσης solar cells με τη χρήση πολύ λεπτών καλωδιώσεων.....	77
Εικόνα 50 Κατασκευή Statoport στους Κανάριους Νήσους.....	79

## **Συντομογραφίες**

ASEA (Active Electronically Scanned Array)

ASTHROS (Astrophysics Stratospheric Telescope for High Spectral Resolution

Observations at Submillimeter-wavelengths)

CAGR (Compound Annual Growth Rate)

CAPEX (Capital Expenditures)

CRC (Communications Research Centre Canada)

D2D (Direct to Device)

DIRT (Distributed Imaging Radar Technology)

EM (Electromagnetic Radiation)

ERAST (Environmental Research Aircraft and Sensor Technology)

FIR (Flight Information Region)

GEO (Geostationary Earth Orbit)

HAPS (High Altitude Pseudo-Satellites)

HTAs (Heavier Than Air solutions)

IoT (Internet of Things)

ISR (Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance)

LEO (Low Earth Orbit)

LIDAR (Light Detection and Ranging)

LTAs (Lighter Than Air solutions)

MEO (Medium Earth Orbit)

MMTI (Maritime Moving Target Indicator)

MTI (Moving Target Indicator)

NSR (Northern Sky Research)

OPEX (Operating Expenditures)

RADAR (Radio Detection And Ranging)

RFCs (Regenerative Fuel Cells)

RF (Radio Frequency)

SAR (Synthetic Aperture Radar)

SDML (Software Defined Laser Systems)

SHARP (Stationary High Altitude Relay Platform)

UAVs (Unnamed Aerial Vehicles)

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανθρωπότητα έχει καταφέρει να διαγράψει μια εντυπωσιακή εξελικτική πορεία κατά τη διάρκεια των αιώνων. Από την ανακάλυψη και διαχείριση της φωτιάς που επέτρεψε την επεξεργασία της τροφής, την εφεύρεση του τροχού που επέτρεψε την αύξηση της κινητικότητας φτάσαμε στην εποχή του 20ου αιώνα όπου ο άνθρωπος κατάφερε να σπάσει τα δεσμά της βαρύτητας και να αγγίξει το διάστημα. Τα τελευταία χρόνια οι εξελίξεις σε όλα τα επιστημονικά πεδία είναι καταγιστικές. Στις εξελίξεις αυτές έρχεται να προστεθεί ένα ακόμη τεχνολογικό επίτευγμα. Τα Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών έχουν κάνει ιδιαίτερα αισθητή την παρουσία τους τις τελευταίες δεκαετίες. Στην οικογένεια αυτή έρχεται να προστεθεί το καινοτόμο πεδίο των ψευδο-δορυφόρων μεγάλο υψομέτρου, γνωστών και ως HAPS (High Altitude Pseudo-Satellites) το οποίο και αποτελεί το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματική εργασία θα εξετάσει

Οι ψευδοδορυφόροι αντιπροσωπεύουν ένα είδος Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών σχεδιασμένων για την υποστήριξη συγκεκριμένων τεχνολογικών δραστηριοτήτων γεφυρώνοντας το κενό που υφίσταται μεταξύ των γνωστών μας UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) και των δορυφορικών συστημάτων. Οι ψευδοδορυφόροι σε αντίθεση με τους κλασικούς δορυφόρους δεν περιστρέφονται γύρω από τη Γη αλλά ίπτανται, σε ύψη μεταξύ 20 και 25 χλμ από την επιφάνεια του εδάφους παραμένοντας πάνω από συγκεκριμένες περιοχές. Έχουν τη δυνατότητα να παραμένουν στον αέρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα (μερικές εβδομάδες - ακόμη και μήνες) παρέχοντας συνεχή κάλυψη σε επιλεγμένες περιοχές. Οι παραπάνω δυνατότητες καθιστούν τους ψευδοδορυφόρους ιδιαίτερα σημαντικούς σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως θα αναλυθεί παρακάτω. (Grace & Mohorcic, 2011)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μέσω βιβλιογραφικής έρευνας και ανάλυσης αυτής της τεχνολογίας, θα προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε τη φύση και τα χαρακτηριστικά των HAPS, θα εξετάσουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους σε σχέση με τα υπόλοιπα εναέρια και διαστημικά μέσα και πώς αυτές η νέες εναέριες πλατφόρμες μπορούν να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους σε διάφορους τεχνολογικούς τομείς. Τέλος θα εξετάσουμε τους περιορισμούς και τις προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει αυτή η νέα τεχνολογία. Η παρούσα εργασία

φιλοδοξεί να αναδείξει τη σημασία αυτής της νέας γενιάς αεροσκαφών και να προσφέρει μια εκτενή και ολοκληρωμένη εικόνα του τρόπου με τον οποίο αυτά επιχειρούν παρέχοντας νέες δυνατότητες και ενισχύοντας διάφορους επιστημονικούς κλάδους.

## 1.1 Σκοπός της Εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι μέσα από την ενδελεχή μελέτη των διαφόρων τεχνολογικών και περιβαλλοντικών προεκτάσεων που συνθέτουν το οικοσύστημα των ψευδορορυφόρων να παρουσιάσει μία τεκμηριωμένη και ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με το παρόν, αλλά και τη δυναμική εξέλιξης που παρουσιάζει η νέα αυτή στρατοασφαιρική τεχνολογία. Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται στην διπλωματική εργασία αντλήθηκαν μέσα από διεθνή βιβλιογραφία, επιστημονικές δημοσιεύσεις και μελέτες αλλά και από ανακοινώσεις των ίδιων των κατασκευαστών που δραστηριοποιούνται στον τομέα των ψευδορορυφόρων. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η πλειονότητα των συστημάτων και των υποσυστημάτων που απαρτίζουν έναν ψευδορορυφόρο έχουν παρουσιαστεί στο πολύ πρόσφατο παρελθόν και το μεγαλύτερο ποσοστό τους δεν έχει ακόμη πιστοποιηθεί για εμπορική χρήση. Η περαιτέρω ανάλυση λοιπόν επιμέρους τεχνολογικών πτυχών όπως για παράδειγμα η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης και του machine learning κρίθηκε πως δεν εξυπηρετούν τον σκοπό της συγκεκριμένης εργασίας.

## 1.2 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία αποτελείται από δεκατρία κεφάλαια τα οποία οργανώνονται ως ακολούθως:

- **Κεφάλαιο 1:** Εισαγωγή
- **Κεφάλαιο 2:** Ιστορική αναδρομή της στρατοασφαιρικής τεχνολογίας
- **Κεφάλαιο 3:** Επιχειρησιακό περιβάλλον και προκλήσεις
- **Κεφάλαιο 4:** Βασικές κατηγορίες των HAPS
- **Κεφάλαιο 5:** Πηγές και διαχείριση ενέργειας των HAPS
- **Κεφάλαιο 6:** Ωφέλιμο φορτίο (Payload) των HAPS

- **Κεφάλαιο 7:** Επισκόπηση των εφαρμογών των HAPS
- **Κεφάλαιο 8:** Σύγκριση των HAPS με ανταγωνιστικές τεχνολογίες
- **Κεφάλαιο 9:** Οικονομικές επιπτώσεις των HAPS στη παγκόσμια αγορά
- **Κεφάλαιο 10:** Νομοθετικό πλαίσιο
- **Κεφάλαιο 11:** Το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον των HAPS
- **Κεφάλαιο 12:** Η Στρατηγική σημασία χρήσης των HAPS για την Ελλάδα
- **Κεφάλαιο 13:** Σύνοψη των κυριότερων ευρημάτων

Στο **πρώτο κεφάλαιο** και αμέσως μετά τον πρόλογο θα πραγματοποιηθεί η εισαγωγή στο κυρίως θέμα και θα καθοριστεί με σαφήνεια ο στόχος της διπλωματικής εργασίας. Αυτό το κεφάλαιο αποτελεί την αφετηρία της μελέτης και προσφέρει την πρώτη επαφή του αναγνώστη με το θέμα που πρόκειται να αναλυθεί.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** θα παρουσιαστεί μία ιστορική αναδρομή σχετικά με την πορεία της στρατοσφαιρική τεχνολογίας η οποία φαίνεται πως έχει τις ρίζες της στις αρχές του προηγούμενου αιώνα. Σκοπός της αναδρομής αυτής είναι να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο οι ανησυχίες και τα ερωτήματα των πρωτοπόρων στον χώρο της αεροναυπηγικής, κατάφεραν να μετουσιωθούν σε απαντήσεις σε θεμελιώδη ερωτήματα, παρέχοντας μας τα απαραίτητα εφόδια για να φτάσουμε σήμερα, στην αφετηρία μιας νέας εποχής, αυτής των ψευδο-δορυφόρων.

Στο **Τρίτο κεφάλαιο** θα εστιάσουμε την προσοχή μας στην περιοχή της ατμόσφαιρας στην οποία δραστηριοποιούνται οι ψευδορορυφόροι. Η ανάλυση των χαρακτηριστικών αυτής της περιοχής, θα επιτρέψει την κατανόηση των συνθηκών που επικρατούν εκεί και πως αυτές επηρεάζουν τη λειτουργία των ψευδορορυφόρων. Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι η ανάδειξη των ατμοσφαιρικών προκλήσεων με τις οποίες καλείται να αναμετρηθεί η βιομηχανίας των ψευδορορυφόρων προκειμένου να καταφέρει να εδραιωθεί στο στρατοσφαιρικό περιβάλλον

Στο **Τέταρτο κεφάλαιο** θα πραγματοποιηθεί μία επισκόπηση των κύριων κατηγοριών των ψευδο-δορυφόρων, θα αναφερθούμε στις τεχνολογικές αρχές με βάση τις οποίες προκύπτει η κατηγοριοποίηση τους, καθώς και στα επί μέρους χαρακτηριστικά που τους καθιστούν περισσότερο ή λιγότερο κατάλληλους σε

διάφορους τομείς εναερίων εφαρμογών. Μέσω αυτής της επισκόπησης θα γίνουν αντιληπτές από τον αναγνώστη οι νέες δυνατότητες που φέρνει η έλευση αυτής της νέας τεχνολογίας.

Στο **Πέμπτο κεφάλαιο** θα εξετάσουμε εκτενώς τον τρόπο με τον οποίο εξασφαλίζουν και διαχειρίζονται την ενέργειά τους οι ψευδο-δορυφόροι. Θα πραγματοποιηθεί μια ανάλυση των πηγών ενέργειας που έχουν δοκιμαστεί μέχρι σήμερα, καθώς και τον μηχανισμό με τον οποίο πραγματοποιείται η διαχείρησή της προκειμένου να επιμηκυνθεί κατά το δυνατό η παραμονή των ψευδο-δορυφόρων στη στρατοσφαιρική περιοχή.

Στο **Έκτο κεφάλαιο**, θα πραγματοποιηθεί μία ανάλυση των διαφόρων επιστημονικών οργάνων που μπορούν να μεταφέρουν οι ψευδοδορυφόροι, όπως, εξοπλισμός επικοινωνίας και παρατήρησης, αισθητήρες θερμότητας, συσκευές συλλογής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και άλλα. Με τον τρόπο αυτό ο αναγνώστης θα κατανοήσει τις δυνατότητες αλλά και τις αδυναμίες που παρουσιάζουν οι ψευδο-δορυφόροι στη δυνατότητα που έχουν να φέρουν σε πέρας μία σειρά εναερίων εφαρμογών.

Στο **Έβδομο κεφάλαιο** θα ασχοληθούμε με τις σημαντικότερες εφαρμογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ψευδοδορυφόροι όπως μπορεί να είναι η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, ο τομέας της ασφάλειας, της άμυνας, των τηλεπικοινωνιών κ.α.

Στο **όγδοο κεφάλαιο** θα επιχειρήσουμε να συγκρίνουμε τους ψευδοδορυφόρους με ανταγωνιστικές τεχνολογίες όπως αυτή των μη επανδρωμένων αεροσκαφών αλλά και των δορυφορικών συστημάτων σε επιμέρους ανταγωνιστικά πεδία όπως είναι η ικανότητα κάλυψης μιας περιοχής, η δυνατότητες μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου, οι επιδόσεις στο κομμάτι των δικτύων και της μετάδοσης δεδομένων, το επιχειρησιακό κόστος χρήσης αλλά και ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος. Μέσω της λεπτομερούς εξέτασης αυτών των παραμέτρων, στοχεύουμε στον εντοπισμό των συγκριτικών πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των HAPS σε σχέση με “τον ανταγωνισμό” ώστε τελικά να συμπεράνουμε για το αν και κατά πόσο αυτή η νέα τεχνολογία καλύπτει σημαντικές ανάγκες και παρέχει υπηρεσίες ικανές να τις διατηρήσει στο προσκήνιο.

Στο **ένατο κεφάλαιο** θα προσπαθήσουμε να εξετάσουμε τον οικονομικό αντίκτυπο που αναμένεται να φέρει η υιοθέτηση της νέας αυτής τεχνολογίας στην παγκόσμια αγορά . Η ανάλυση θα επικεντρωθεί γύρω από τις προοπτικές ανάπτυξης και επέκτασης που διαφαίνεται να έχει η αγορά που σχετίζεται με την βιομηχανία των HAPS., Μέσω αυτής της ανάλυσης, θα προσπαθήσουμε να αξιολογήσουμε την ανταγωνιστικότητα και τη δυναμική που παρουσιάζουν οι ψευδο-δορυφόροι ώστε να καταστεί δυνατή αρχικά η βιωσιμότητα και η μετέπειτα εξέλιξη τους στην παγκόσμια αγορά.

Στο **δέκατο κεφάλαιο** θα πραγματοποιηθεί μία επισκόπηση των προβλημάτων που άπτονται του νομικού πλαισίου που διέπει τον κλάδο των ψευδοδορυφόρων. Επι του παρόντος υφίσταται ένα νομικό κενό ως προς τον τρόπο χρήσης και λειτουργίας της αναδυόμενης τεχνολογίας των ψευδοδορυφόρων γεγονός που αποτελεί αντικείμενο ανησυχίας και χρήζει άμεσης αντιμετώπισης προκειμένου να διευθετηθεί μία σειρά ζητημάτων που επηρεάζουν κρίσιμους τομείς όπως η ασφαλής διεξαγωγή των πτήσεων, η προστασία της ιδιωτικότητας κ.α..

Στο **ενδέκατο κεφάλαιο** θα ασχοληθούμε με το παρελθόν αλλά και το παρόν της τεχνολογίας των HAPS. Πιο συγκεκριμένα θα επικεντρωθούμε σε προγράμματα που έλαβαν χώρα τις τελευταίες δεκαετίες και παρουσίασαν τη μεγαλύτερη επίδραση στην πρόοδο και την εξέλιξη της τεχνολογίας των ψευδο-δορυφόρων. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στα τρέχοντα προγράμματα - η πλειοψηφία των οποίων - βρίσκεται ένα βήμα πριν την ολοκλήρωση και την εμπορική τους εκμετάλλευση. Τέλος θα αναφερθούμε στις κυριότερες προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν Μέσα από αυτή την επισκόπηση θα αποκτήσουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με το παρόν της στρατοσφαιρικής τεχνολογίας.

Στο **δωδέκατο κεφάλαιο** θα επικεντρωθούμε στα στρατηγικά πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνολογία των ψευδοδορυφόρων σε διάφορους τομείς όπως είναι η επιτήρηση των θαλάσσιων συνόρων, η συμβολή σε αποστολές έρευνας διάσωσης ή στην αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών αυτή τη φορά όμως εστιάζοντας στον ελλαδικό χώρο. Επιπλέον θα διαπιστώσουμε τις πιθανές ευεργετικές προεκτάσεις που μπορεί να αποκομίσει η χώρα μας αν αποφασίσει να εμπλακεί σε αυτό το νέο κλάδο αεροσκαφών.

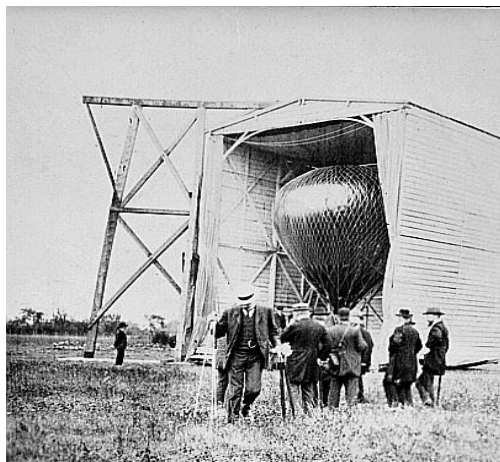
Στο **δέκατο τρίτο κεφάλαιο** θα επιχειρήσουμε να κάνουμε μία σύνοψη των κυριότερων ευρημάτων που προέκυψαν από την παρούσα εργασία και να προχωρήσουμε στην εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων σχετικά με την εφικτότητα εφαρμογής της στρατοσφαιρικής τεχνολογίας καθώς και τον αντίκτυπο που μπορεί αυτή να επιφέρει σε διάφορους τομείς. Στόχος του κεφαλαίου είναι να προσφέρει στον αναγνώστη “τη μεγάλη εικόνα” σχετικά με την επίδραση που αναμένεται να έχει η υιοθέτηση αυτής της καινοτόμου τεχνολογίας.



## 2 Ιστορική αναδρομή

Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας μελέτης θα πραγματοποιηθεί μια σύντομη αναδρομή στην ιστορία της στρατοσφαιρικής τεχνολογίας, η αρχή της οποίας εντοπίζεται στα τέλη του 19ου αιώνα και που από τότε εξελίσσεται με αργά αλλά σταθερά βήματα. Η επισκόπηση αυτή έχει σα στόχο να κατανοήσουμε την πορεία της στρατοσφαιρικής τεχνολογίας και τις προσπάθειές της για εδραίωση. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας αποτελεί σημαντικό κομμάτι της επιστημονικής και τεχνολογικής προόδου, καθώς προσδοκάτε να συμβάλει σημαντικά στη δυνατότητα συλλογής και παροχής υψηλής ποιότητας δεδομένων σε περιβάλλοντα υψηλής σημασίας.

Όπως έχει συμβεί και σε αρκετές ακόμη περιπτώσεις επαναστατικών τεχνολογικών επιτευγμάτων είναι δύσκολο να εντοπιστεί ο εφευρέτης ή η αφετηρία των ψευδοδορυφόρων. Η ιδέα της δημιουργίας μιας πλατφόρμας μεγάλου ύψους η οποία θα φέρει επιστημονικό εξοπλισμό και θα μπορεί να συλλέξει δεδομένα από το περιβάλλον φαίνεται πως εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1896 από τον Γάλλο μετεωρολόγο Leon Teisserenc De Bort. Η συνεχής και επίμονη προσπάθεια του να μελετήσει τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας τον οδήγησε στην επινόηση και κατασκευή των πρώτων μετεωρολογικών μπαλονιών (sounding balloon). Με τη βοήθεια αυτών των ιπτάμενων συσκευών και βασιζόμενος στα δεδομένα που κατάφερε να συλλέξει, ήταν αυτός που πρώτος καθόρισε τα στρώματα της κατώτερης ατμόσφαιρας, γνωστά σε εμάς σήμερα ως τροπόσφαιρα και στρατόσφαιρα. (Fonton, 2009)



Εικόνα 1 Χάρτινο μπαλόνι όγκου 113 m<sup>3</sup>

Πέρασαν αρκετά χρόνια μέχρι να καταγραφούν ουσιαστικές εξελίξεις στον τομέα της στρατοσφαιρικής τεχνολογίας. Πιο συγκεκριμένα στο τέλος της δεκαετίας του 1940, οι Otto C. Winzen και General Mills, οι οποίοι ως εργαζόμενοι σε ερευνητικά προγράμματα για λογαριασμό ενός αμερικανικού οργανισμού δημιούργησαν το Skyhook. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα βασισμένο σε αερόστατα τα οποία για μια σχεδόν δεκαετία κουβαλώντας ποικίλο εξοπλισμό (όπως κάμερες, μετεωρολογικούς αισθητήρες, συσκευές εντοπισμού μικροσωματιδίων κ.α.) πετώντας στο όριο του διαστήματος κατάφεραν να συλλέξουν πολύτιμα για την εποχή δεδομένα που αξιοποιήθηκαν μετέπειτα σε διάφορους ερευνητικούς σκοπούς. (Hogan, 1960)



*Εικόνα 2 Μπαλόني του προγράμματος Skyhook προετοιμάζεται για πτήση*

Τα επόμενα χρόνια (δεκαετία του 1950) ακολούθησαν νέα προγράμματα όπως το Genetrix το οποίο χρησιμοποιώντας ως πρόσχημα τη μελέτη της ατμόσφαιρας εκτελούσε αποστολές κατασκοπευτικού χαρακτήρα σχεδόν σε ολόκληρο τον τότε αναπτυγμένο κόσμο. (Huntigton, 2023) Αντίστοιχου χαρακτήρα ήταν και το πρόγραμμα Moby Dick το οποίο χρησιμοποιήθηκε από την Η.Π.Α. την περίοδο του ψυχρού πολέμου σε μια προσπάθεια συλλογής ευαίσθητων πληροφοριών που αφορούσαν την τότε Σοβιετική Ένωση. (Peebles, 1991)



*Εικόνα 3 10/1/1950 εκτόξευεται το πρώτο μπαλόνι του προγράμματος Genetrix*

Η πραγματική επανάσταση όμως στον τομέα των ψευδοδορυφόρων άρχισε να διαφαίνεται στα τέλη της δεκαετίας του 90 όταν η Skystation International, μία νέο-ιδρυθείσα εταιρεία σε συνεργασία με τη NASA και άλλους κορυφαίους ευρωπαϊκούς οργανισμούς, προσπάθησε να δημιουργήσει ένα επαναστατικό δίκτυο επικοινωνιών. Αυτό το δίκτυο θα απαρτιζόταν από έναν στόλο αερόπλοιων μήκους 200 μέτρων τα οποία θα μπορούσαν να πετάνε σε ύψη μεγαλύτερα των 20 χλμ για διάστημα μερικών μηνών με χρήση ηλιακής ενέργειας αλλά και τη χρήση κινητήρων ιόντων. Αν και η ιδέα της skystation βρήκε αρκετούς ένθερμους και οικονομικά επιφανείς υποστηρικτές και παρά τις επιτυχίες που κατάφεραν να σημειωθούν σε διάφορους επιμέρους τομείς τελικά δεν κατάφερε να υλοποιηθεί καθώς η τεχνολογία της τότε εποχής δεν ήταν επαρκής (ειδικά στο κομμάτι κατασκευής του αερόπλοιου) για την υλοποίηση αυτού το φιλόδοξου προγράμματος. (Lobner, Sky Station International Inc. – Sky Station HAPS, 2024) Την ίδια χρονική περίοδο και άλλες

αντίστοιχες προσπάθειες τόσο της Ιαπωνικής Υπηρεσίας Αεροδιαστημικής Εξερεύνησης (JAXA) όσο και του κορεάτικου Ινστιτούτου Αεροδιαστημικής Έρευνας (KARI) κατέληξαν να έχουν το ίδιο ατυχές αποτέλεσμα. Στα μέσα της ίδιας δεκαετίας, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος ξεκίνησε μια αρχική μελέτη που αφορούσε τη δομική αντοχή μη επανδρωμένων αεροσκαφών σε μεγάλα υψόμετρα και λίγο αργότερα το πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης σε συνεργασία με την Lindstranf Technologies κατάφεραν να εξασφαλίσουν μια χρηματοδότηση για την κατασκευή ενός μη επανδρωμένου αερόπλοιου το οποίο θα χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια. Δυστυχώς ούτε αυτή η προσπάθεια τελεσφόρησε μιας και η χρηματοδότηση αποδείχθηκε ανεπαρκής.

Στα αρχές της επόμενης δεκαετίας (2000-2010) μια κοινοπραξία με συντονιστή το Politecnico di Torino βραβεύτηκε και χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα. Στόχος ήταν η ανάπτυξη ενός ηλιακού μη επανδρωμένου αεροπλάνου - του HeliNet , που είχε σαν αποστολή να προσφέρει ευρυζωνικές επικοινωνίες, αλλά και να συνδράμει τόσο στον τομέα της τηλεπισκόπησης, όσο και στον τομέα της διαχείρισης της κυκλοφορίας. (Candida Spillard, 2022) Η συνέχεια ήρθε με το CAPANINA ένα έργο που επίσης χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή κοινότητα και συντονίστηκε από το Πανεπιστήμιο του York, UK. Το πρόγραμμα είχε ως στόχο να αξιοποιήσει και να εξελίξει το HeliNet αλλά εστιάζοντας στον τομέα της παροχής ευρυζωνικών επικοινωνιών. (Grace, School of Physics, Engineering and Technology, 2007) Την ίδια στιγμή στις Η.Π.Α. η NASA σε συνεργασία με ιδιωτικές εταιρείες ξεκίνησε μια συστηματική προσπάθεια για την εδραίωση των Pseudo Satellites στον στρατοσφαιρικό χώρο. Μέσω του προγράμματος ERAST (Environmental Research Aircraft and Sensor Technology) υπερκεράστηκαν σημαντικά τεχνολογικά εμπόδια. Παράλληλα, μέσω αυτού το προγράμματος, αναπτύχθηκαν νέες πλατφόρμες όπως το pathfinder, pathfinder plus και Helios στις οποίες θα αναφερθούμε εκτενέστερα στη συνέχεια της εργασίας. Το πρόγραμμα ERAST αποτελεί ουσιαστικά την αφετηρία της σύγχρονης εποχής των HAPS. (goebel, 2010)

### **3. Επιχειρησιακό περιβάλλον και προκλήσεις**

Το τρίτο κεφάλαιο της παρούσας μελέτης επικεντρώνεται στη παρουσίαση και μελέτη του περιβάλλοντος στην οποία δραστηριοποιούνται οι ψευδορυφόροι. Μέσα από την παρουσίαση των χαρακτηριστικών της στρατόσφαιρας, ο αναγνώστης θα κατανοήσει τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο κλάδος ανάπτυξης των ψευδορυφόρων, προκειμένου να ανταποκριθεί στις ιδιαίτερες απαιτήσεις που επιβάλλουν οι συνθήκες αυτής της περιοχής.

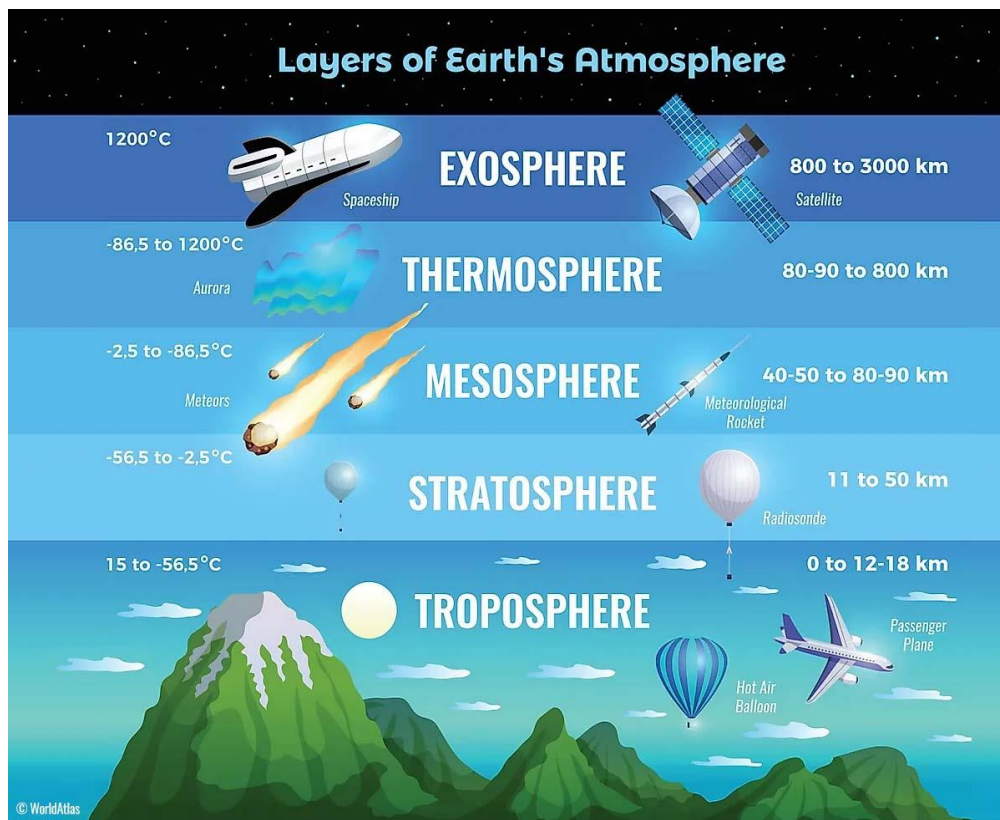
Η ατμόσφαιρα που περιβάλλει την επιφάνεια της Γης αποτελείται από μία σειρά στρωμάτων. Καθένα από αυτά καθορίζεται με βάση της φυσικές του ιδιότητες όπως είναι η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, η πυκνότητα του αέρα κ.α. Τα πέντε στρώματα της ατμόσφαιρας είναι τα εξής:

1. Troposphere (Τροπόσφαιρα): Είναι το πρώτο από της επιφάνειας της Γης στρώμα της ατμόσφαιρας. Το πάχος της φτάνει έως και τα 18 χιλιομέτρων την περιοχή του Ισημερινού, 10 - 13 χλμ. στα μέσα γεωγραφικά πλάτη και 7 χλμ. στις πολικές περιοχές. Το ανώτερο όριο της τροπόσφαιρας ονομάζεται τροπόπαυση. Κύριο χαρακτηριστικό της περιοχής αυτής είναι ο σχηματισμός νεφών και η ύπαρξη μετεωρολογικών φαινομένων. Η θερμοκρασία του αέρα στο στρώμα αυτό μειώνεται σταδιακά με την αύξηση του υψομέτρου. Σε αυτό το στρώμα της ατμόσφαιρας λαμβάνει χώρα σχεδόν το σύνολο των πτήσεων.

2. Stratosphere (Στρατόσφαιρα): Η στρατόσφαιρα είναι το δεύτερο σε σειρά στρώμα της ατμόσφαιρας της Γης. Η αφετηρία της εντοπίζεται περίπου 12 χλμ από την επιφάνεια της Γης και εκτείνεται έως περίπου τα 50 χλμ. Κύριο χαρακτηριστικό της στρατόσφαιρας είναι η ύπαρξη του όζοντος ( $O_3$ ) το οποίο απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία του ηλίου. Αυτή είναι και η αιτία της θερμοκρασιακής αναστροφής που παρατηρείται στην περιοχή και αποτελεί το κύριο χαρακτηριστικό της στρατόσφαιρας.

3. Mesosphere (Μεσόσφαιρα): Είναι το τρίτο (και μεσαίο) στρώμα της ατμόσφαιρας. Ξεκινά από τα 50 περίπου χλμ και εκτείνεται μέχρι τα 90 περίπου χλμ πάνω από την επιφάνεια της Γης. Στο στρώμα αυτό παρατηρείται δραματική πτώση της θερμοκρασίας σε σχέση με το ύψος. Η Μεσόσφαιρα είναι εκείνο το στρώμα στο οποίο συνήθως εξαερώνονται όσοι μετεωρίτες εισέρχονται στην γήινη ατμόσφαιρα.

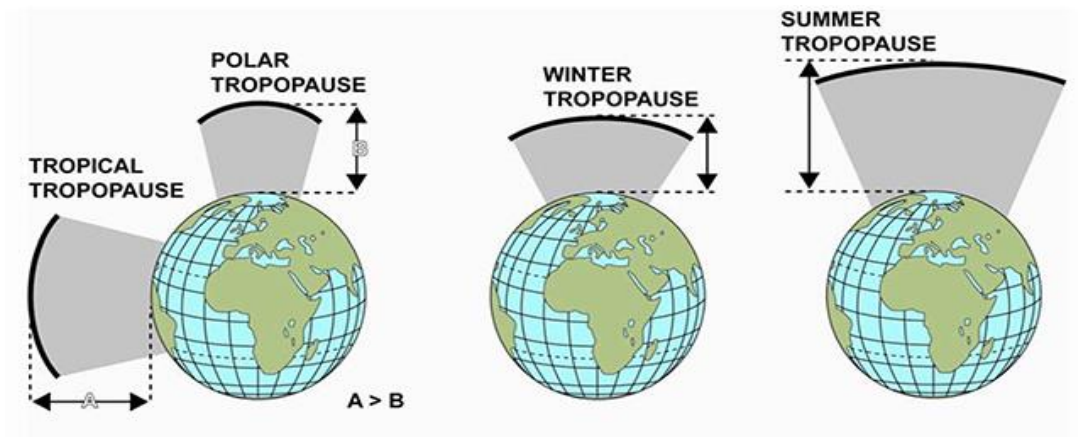
4. Thermosphere (Θερμόσφαιρα): Είναι το τέταρτο στρώμα της ατμόσφαιρας. Ξεκινά από τα 90 περίπου χλμ απο την επιφάνεια της Γης και συναντά ουσιαστικά τη γραμμή Karman που αποτελεί και το επίσημο όριο του διαστήματος. Κύριο χαρακτηριστικό της θερμόσφαιρας είναι οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες λόγω της απορρόφησης της υπεριώδους ακτινοβολίας.



Εικόνα 4 τα στρώματα της ατμόσφαιρας

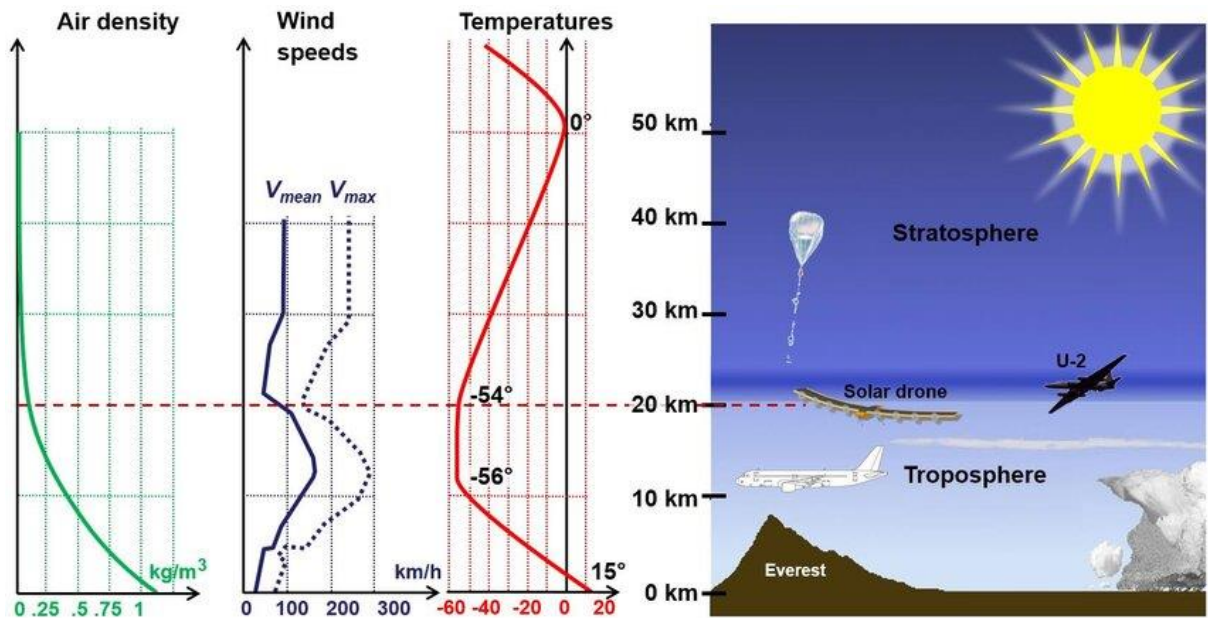
Η Στρατόσφαιρα είναι η περιοχή που δραστηριοποιούνται οι ψευδοδορυφόροι και θα προχωρήσουμε στην εξέταση των ειδικών χαρακτηριστικών της προκειμένου να γίνουν κατανοητές οι προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι κατασκευαστές των HAPS. Όπως είναι ευρέως γνωστό, όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται. Ωστόσο αυτό το φαινόμενο παύει να υφίσταται από κάποιο ύψος και έπειτα όπου η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Αυτή η περιοχή ονομάζεται τροπόπαυση το ύψος της οποίας μεταβάλλεται σημαντικά τόσο σε σχέση με την εποχή όσο και με το γεωγραφικό πλάτος. Ενδεικτικά η περιοχή της τροπόσφαιρας κατά τη διάρκεια του χειμώνα εντοπίζεται σε ύψος 7 Km πάνω από τους πόλους και μπορεί να ξεπεράσει τα 18 Km πάνω από τον ισημερινό.





Εικόνα 5 Η περιοχή της στρατόσφαιρας

Η τροπόπαυση αποτελεί το σημείο εκκίνησης της στρατόσφαιρας στην οποία εντοπίζεται το στρώμα του όζοντος. Το όζον ( $O_3$ ) λειτουργώντας ως “ασπίδα” για τη γήινη επιφάνεια, απορροφά την υπερϊώδη ακτινοβολία προκαλώντας μία σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας σε σχέση με το ύψος η οποία προσεγγίζει ξανά τους 0 βαθμούς κελσίου. Το στρώμα αυτό εντοπίζεται σε ύψος περίπου 50 χιλιομέτρων, ονομάζεται στρατόπαυση και είναι το φυσικό όριο μεταξύ στρατόσφαιρας και μεσοσφαιρας. Η θερμοκρασιακή αναστροφή που εμφανίζεται στην περιοχή της στρατόσφαιρας αποτρέπει ουσιαστικά την περαιτέρω ανύψωση αερίων μαζών. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την έλλειψη υγρασίας καθιστά τη στρατόσφαιρα απόλυτα σταθερή, προφυλαγμένη από το σχηματισμό νεφών και την ύπαρξη έντονων καιρικών φαινομένων. Ένα άλλο κομμάτι που αποτελεί αντικείμενο εξέτασης σε αυτά τα ύψη είναι η συμπεριφορά των ανέμων. Η ένταση των ανέμων καθώς και η κατεύθυνσή τους μεταβάλλεται συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους και της εποχής. Σύμφωνα με τα δεδομένα που συλλέγονται καθημερινά με τη βοήθεια μετεωρολογικών μπαλονιών η ένταση των ανέμων αυξάνεται σταδιακά σε συνάρτηση με το ύψος, μεγιστοποιούνται στην περιοχή της τροπόπαυσης και έπειτα αρχίζουν να μειώνονται ξανά. Σε ένα υψομετρικό εύρος μεταξύ 20 και 25 Km παρατηρείται μία σταθεροποίηση των τιμών της έντασης του ανέμου σε χαμηλά επίπεδα, πριν και πάλι παρουσιάσουν αυξητικές τάσεις, καθιστώντας την περιοχή αυτή την πλέον κατάλληλη για τη φιλοξενία των ψευδοδορυφόρων.



Εικόνα 6 Η θέση των HAPS στην ατμόσφαιρα

Συνοψίζοντας οι ψευδοδορυφόροι που κινούνται στην περιοχή της στρατόσφαιρας καλούνται να αντιμετωπίσουν ένα ιδιαίτερο απαιτητικό περιβάλλον με θερμοκρασίες που μπορεί να προσεγγίζουν τους  $-90^{\circ}\text{C}$ , υψηλά επίπεδα υπεριώδους και κοσμικής ακτινοβολίας καθώς και συνθήκες χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης (20 φορές περίπου μικρότερης σε σχέση με την ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας).



## 4 Βασικές Κατηγορίες των HAPS

Το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί μία επισκόπηση των κύριων κατηγοριών των ψευδοδορυφόρων. Στόχος του κεφαλαίου είναι ο αναγνώστης να κατανοήσει την αρχή λειτουργίας και τα βασικά γνωρίσματα αυτής της νέας τεχνολογίας.

Οι ψευδοδορυφόροι ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους μπορούν να διαιρεθούν σε δύο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από τις πλατφόρμες που είναι ελαφρύτερες από τον αέρα και είναι γνωστές ως LTAs (Lighter Than Air solutions) ενώ η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις πλατφόρμες που είναι βαρύτερες από τον αέρα και αναφέρονται ως HTAs (Heavier Than Air solutions). Η κατηγορία των LTAs, διαιρείται σε δύο υποομάδες, τα αερόστατα (balloons) και τα αερόπλοια (airships). Κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες, διαθέτει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία και θα αναλυθούν στη συνέχεια.

### 4.1 Lighter Than Air Solutions - HAPS

Η κατηγορία των LTAs, χαρακτηρίζεται από το γεγονός πως η παραγόμενη ανυψωτική δύναμη - με τη βοήθεια της οποίας παραμένουν στον αέρα - προέρχεται από τη χρήση ελαφρών αερίων. Πρόκειται ουσιαστικά για μία μοντέρνα εκδοχή των γνωστών μας αεροστάτων αφού η βασική τους δομή περιλαμβάνει ένα μεγάλο μπαλόνι που περιέχει το ανυψωτικό αέριο. Η ικανότητα πτήσης λοιπόν των LTAs βασίζεται στην αρχή του Αρχιμήδη (buoyancy effect) σύμφωνα με την οποία η άνοση που ασκείται σε ένα σώμα είναι μία δύναμη με αντίθετη φορά από αυτή της βαρύτητας και ισούται με το βάρος του εκτοπιζόμενου ρευστού. Η δύναμη  $F_b$  προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο:

$$F_b = \rho_{air} \cdot V \cdot g$$

Όπου  $F_b$  είναι η ανυψωτική δύναμη,  $\rho_{air}$  η πυκνότητα του περιβάλλοντος αέρα,  $V$  ο όγκος του εντοπιζόμενου αέρα και  $g$  η βαρυτική επιτάχυνση. Απαραίτητη προϋπόθεση λοιπόν για να υπάρχει ανυψωτικό αίτιο είναι η δύναμη  $F_b$  να είναι μεγαλύτερη από το βάρος του ψευδοδορυφόρου και άρα η χρήση αερίων με χαμηλότερη πυκνότητα από αυτή του περιβάλλοντος αέρα είναι απαραίτητη. Τα πιο δημοφιλή από αυτά συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Αέριο	Πυκνότητα στην Επιφάνεια της θάλασσας, 0°C
Αέρας	1.292 Kg/m <sup>3</sup>
Υδρογόνο, H <sub>2</sub>	0,08988 Kg/m <sup>3</sup>
Ήλιο, He	0,1786 Kg/m <sup>3</sup>
Μεθάνιο, CH <sub>4</sub>	0,717 Kg/m <sup>3</sup>
Αμμωνία, NH <sub>3</sub>	0,73 Kg/m <sup>3</sup>

Τα αέρια που χρησιμοποιούνται πιο συχνά στα LTAs είναι το υδρογόνο και το ήλιο. Αν και το βάρος του Ήλιου (He) είναι δύο φορές μεγαλύτερο από το βάρος του Υδρογόνου (H<sub>2</sub>), η ανυψωτική τους ικανότητα διαφέρει μόλις κατά 7%. Το μεγάλο πλεονέκτημα του υδρογόνου είναι το χαμηλό κόστος παραγωγής μιας και μπορεί να παραχθεί πολύ εύκολα με την ηλεκτρόλυση του νερού. Ωστόσο το γεγονός ότι είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο το καθιστά λιγότερο δημοφιλές σε σχέση με το ήλιο. Από την άλλη πλευρά το ήλιο λόγω του μικρού μεγέθους των μορίων του, διαφεύγει πιο εύκολα από το περίβλημα των μπαλονιών προς το περιβάλλον. Επιπρόσθετα η παραγωγή του είναι αρκετά πολύπλοκη και δαπανηρή σε σχέση με αυτή του υδρογόνου. Ορισμένες εναλλακτικές επιλογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ανυψωτικά αέρια είναι το μεθάνιο και η αμμωνία.

#### 4.1.1 LTA airship - HAPS

Η πρώτη υποκατηγορία των LTAs - HAPS είναι τα αερόπλοια ή Airships. Πρόκειται για περίπλοκες και ευμεγέθους κατασκευές που θυμίζουν αρκετά τα γνωστά μας ζέπελιν. Η ανθεκτικότητά τους στην υπεριώδη ακτινοβολία, η αντοχή τους στις χαμηλές θερμοκρασίες και ο περιορισμός της διαφυγής των ανυψωτικών αερίων από τον αεροθάλαμο αναδεικνύονται ως στοιχεία κρίσιμης σημασίας για την επιτυχημένη λειτουργία αυτών των ψευδοδορυφόρων. Ένας άλλος τομέας που αποτελεί πρόκληση για την λειτουργία των Airships είναι το γεγονός πως λόγω του μεγάλου μεγέθους τους (μπορεί να ξεπερνούν τα 150m σε μήκος) και της υψηλής αεροδυναμικής αντίστασης που παρουσιάζουν, επιβάλλουν την αντίστοιχη ικανότητα πρόωσης γεγονός δύσκολο να επιτευχθεί δεδομένης της επικρατούσας ατμοσφαιρική πυκνότητα στο ύψος της στρατόσφαιράς. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται προπέλες μεγάλης διαμέτρου οι οποίες έχουν και τις αντίστοιχες ενεργειακές απαιτήσεις. (Candida Spillard, 2022)

Τόσο το EuroHAPS το οποίο είναι υποστηριζόμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση (η χώρα μας δε συμμετέχει), όσο και το Sceye το οποίο αναπτύσσεται στις ΗΠΑ αποτελούν σημαντικά βήματα για την ανάπτυξη των Airships. Κύριο πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας ψευδορορυφόρων είναι η ικανότητα μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου που μπορεί να ξεπεράσει τα 300Kg καθιστώντας ικανούς να εκτελούν ένα μεγάλο εύρος αποστολών. (EUROPEAN DEFENCE FUND, 2021)



*Εικόνα 7 Το Airship Sceye απογειώνεται*

#### 4.1.2 LTA Balloons - HAPS

Στις αρχές του 2023 τα ειδησεογραφικά δίκτυα κατακλύστηκαν από μία ασυνήθιστη είδηση. Ένα μπαλόνι ύψους 61 μέτρων εντοπίστηκε στον εναέριο χώρο των ΗΠΑ σε ύψος 60000 ποδών. Ακολούθησε η θεαματική κατάρριψη του “εισβολέα” και ένα έντονο διπλωματικό επεισόδιο μεταξύ ΗΠΑ και Κίνας το οποίο απασχόλησε τη διεθνή κοινή γνώμη για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το ανιχνευθέν αντικείμενο που είχε εντοπιστεί ήταν ένα LTA Balloon που σύμφωνα με την πλευρά των ΗΠΑ, έφερε εξοπλισμό κατασκοπευτικού χαρακτήρα.



*Εικόνα 8 Η στιγμή της κατάρριψης του κινεζικού κατασκοπευτικού ψευδοδορυφόρου*

Όπως γίνεται αντιληπτό λοιπόν, και σε αντίθεση με τα Airships τα LTA-Balloons είναι μια δοκιμασμένη τεχνολογική λύση και ήδη προσφέρει τις υπηρεσίες της σε διάφορα επιστημονικά πεδία. Αξιοποιώντας τα νέας γενιάς μπαλόνια υπερπίεσης (Super Pressure Balloons) έχουν τη δυνατότητα να ρυθμίζουν το ύψος τους και να παραμένουν στον αέρα για αρκετούς μήνες. (NASA, n.d.) Η στρατόσφαιρα περιλαμβάνει πολλαπλά στρώματα με διακριτά μοτίβα ανέμου που φυσούν σε διαφορετικές κατευθύνσεις και ταχύτητες. Ωφελούμενα αυτού του φαινομένου, τα στρατοσφαιρικά μπαλόνια αυξομειώνουν το ύψος πτήσης τους κατά τέτοιο τρόπο ώστε “παρασυρόμενα” από τον άνεμο να παραμένουν στην επιθυμητή περιοχή. Αυτή η μέθοδος πλοήγησης είναι αρκετά απαιτητική καθώς προϋποθέτει την ύπαρξη αξιόπιστων προγνωστικών μοντέλων πρόγνωσης σε σχέση με τους ανέμους που επικρατούν στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Η χαμηλή ακρίβεια σε θέματα προήγησης περιορίζουν τη χρήση των LTA - Balloons κυρίως σε εφαρμογές τηλεπισκόπησης με μικρές απαιτήσεις κατευθυντικότητας, καθώς και για τη συλλογή ατμοσφαιρικών δεδομένων. (Candida Spillard, 2022)

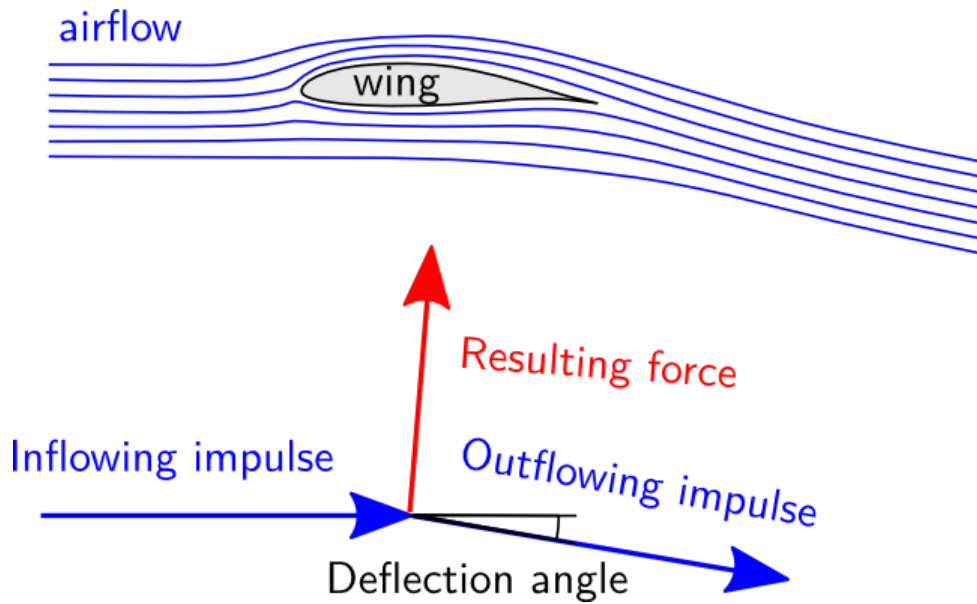
Παρακάτω παρατίθενται κάποια βασικά χαρακτηριστικά των LTAs:

- Τα LTAs δε χρειάζονται προχωρητική ταχύτητα για να παραμείνουν στον αέρα καθώς η ανυψωτική δύναμη προέρχεται από τις φυσικές ιδιότητες των ρευστών. Το γεγονός αυτό, τους παρέχει τη δυνατότητα να παραμένουν σταθερά στον χώρο.

- Η διαδικασία ανάπτυξης και αναδίπλωσης των Airships αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις λόγω του μεγάλου τους όγκου και της αυξημένης ευαισθησίας σε συνθήκες ανέμου.
- Η ταχύτητα πτήσης των Airships είναι χαμηλή και κυμαίνεται μεταξύ 36 και 54 χλμ/ω. Τα Balloons δεν διαθέτουν κινητήρες.
- Τα Airships είναι πλήρως επαναχρησιμοποιούμενα σε αντίθεση με τα Balloons των οποίων η ανάκτηση του ωφέλιμου φορτίου επιτυγχάνεται με τη χρήση κατευθυνόμενων αλεξιπτώτων.
- Τα LTAs μπορούν να φέρουν σημαντικό ωφέλιμο φορτίο που φτάνει τα 300 κιλά.
- Τα Airships δεν απαιτούν τη χρήση διαδρόμου αποπροσγείωσης, απαιτούν όμως την ύπαρξη ειδικών εγκαταστάσεων για τη φύλαξη και τη συντήρησή τους στο έδαφος. Τα Balloons από την άλλη, δεν απαιτούν την ύπαρξη ειδικών εγκαταστάσεων.

## **4.2 Heavier Than Air Solutions - HAPS**

Η τεχνολογική πρόοδος που σημειώθηκε στους επιμέρους επιστημονικούς κλάδους τα τελευταία χρόνια όπως η ανάπτυξη στον τομέα των σύνθετων υλικών, η βελτισποίηση των ηλιακών κελιών και η κατασκευή μεγαλύτερης ενεργειακής πυκνότητας μπαταριών έχουν φέρει νέες προοπτικές στον κλάδο της αεροναυπηγικής καθιστώντας την ανάπτυξη των HATs - HAPS ρεαλιστική. Πρόκειται ουσιαστικά για πολύ ελαφριές κατασκευές με εξαιρετικά αεροδυναμικά χαρακτηριστικά που θυμίζουν τα γνωστά μας ανεμόπτερα. Η ικανότητα τους να παραμένουν στον αέρα βασίζεται στην αρχή του Bernoulli σύμφωνα με τον οποίο η συνολική ενέργεια σε ένα σταθερό ρέον σύστημα ρευστού είναι σταθερή κατά μήκος της διαδρομής. Κατά συνέπεια όταν η ταχύτητα του ρευστού αυξάνεται, η πίεση του μειώνεται και αντίστροφα.



*Εικόνα 9 Μηχανισμός παραγωγής Άντωσης*

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα η επάνω επιφάνεια της αεροτομής παρουσιάζει μεγαλύτερη κυρτότητα σε σύγκριση με την κάτω επιφάνεια. Αυτό αναγκάζει τον αέρα να κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα στην επάνω πλευρά της πτέρυγας δημιουργώντας συνθήκες χαμηλότερης πίεσης σε σχέση με την κάτω πλευρά. Η διαφορά αυτής της πίεσης δημιουργεί ουσιαστικά τη δύναμη που στηρίζει τον ψευδορυφόρο στον αέρα.



*Εικόνα 10 Καλλιτεχνική απεικόνιση ενός HTA ψευδοδορυφόρου*

Οι HTAs - HAPS μπορεί να μην αντιμετωπίζουν τις προκλήσεις των αυξημένων διαστάσεων ή της πολυπλοκότητας της κατασκευής που έχουν να διαχειριστούν τα LTAs αεροσκάφη, αντιμετωπίζουν όμως περιορισμούς που αφορούν την ευθραυστότητα της δομής τους καθώς και τη μειωμένη ικανότητα μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου. Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα που καλούνται να αντιμετωπίσουν είναι η διαχείριση της ενέργειας μιας και αυτή είναι άμεσα συνυφασμένη με τη δυνατότητα τους να διατηρούνται στα επιθυμητά επίπεδα πτήση. Ως γενική αρχή λοιπόν τα HTAs - HAPS εκμεταλλευόμενα την παρουσία των ηλιακών ακτίνων, και αφού ολοκληρωθεί η αποθήκευση ενέργειας στις μπαταρίες τους, αρχίζουν σταδιακά να κινούνται σε μεγαλύτερα ύψη. Με τον τρόπο αυτό πέραν της χημικής αποθηκεύουν και δυναμική ενέργεια την οποία εκμεταλλεύονται κατά τη διάρκεια της νύχτας χάνοντας σταδιακά το πλεονάζον ύψος. Οι επιδόσεις που επιδεικνύουν μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τα γεωγραφικά πλάτος της περιοχής που επιχειρούν και την εποχή. Η ενσωμάτωση κυψελών υδρογόνου αποτελεί ένα τρόπο άμβλυνσης το προβλήματος της διαχείρισης ενέργειας, από την άλλη πλευρά όμως το αυξημένο βάρος που αυτές έχουν λειτουργεί ανασταλτικά στην ικανότητα μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου. Η εξέλιξη των HTAs - HAPS βρίσκεται στο τελικό στάδιο και σύντομα αναμένονται οι πρώτες εμπορικές δραστηριότητες. (Candida Spillard, 2022)

Παρακάτω παρατίθενται κάποια βασικά τους χαρακτηριστικά των HTAs:

- Τα HATs είναι αεροσκάφη σταθερών πτερύγων. Η αρχή λειτουργίας τους είναι είναι πανομοιότυπη με εκείνη των ανεμοπτέρων και απαιτείται η χρήση κινητήρων για την πρόωση τους και την παραγωγή άντωσης.
- Τα HATs προκειμένου να δαπανούν την ελάχιστη δυνατή ενέργεια κατά την πτήση τους και για να εξασφαλιστεί η στήριξή τους στην ιδιαίτερα αραιή ατμόσφαιρα στην οποία επιχειρούν, διαθέτουν μεγάλο εκπέτασμα πτερύγων (έως και 80μ.) πάνω στις οποίες συνήθως τοποθετούνται συστοιχίες ηλιακών συλλεκτών.
- Τα HATs κινούνται με ταχύτητες της τάξεως των 75 με 120 χλμ/ω.
- Τα HATs εκμεταλλευόμενα την ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας κινούνται σπυρωειδώς πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος κερδίζοντας συνεχώς ύψος το οποίο και χάνουν σταδιακά κατά τη διάρκεια της νύχτας.

## **5. Οι Ενεργειακές πηγές των Ψευδορυφών**

Ο τομέας των πηγών και της διαχείρισης ενέργειας αποτελεί μία από τις πιο κρίσιμες προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι ερευνητές και οι μηχανικοί στον τομέα των ψευδοδορυφών. Στην ενότητα αυτή θα εξετάσουμε τις διάφορες πηγές ενέργειας που έχουν προταθεί και εφαρμοστεί μέχρι σήμερα. Αυτές είναι οι παρακάτω τρεις:

- Οι συμβατικές πηγές ενέργειας (συμβατικά καύσιμα)
- Χρήση δέσμης μικροκυμάτων
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Ηλιακή ενέργεια σε συνδυασμό με μπαταρίες ή κυψέλες καυσίμου υδρογόνου)

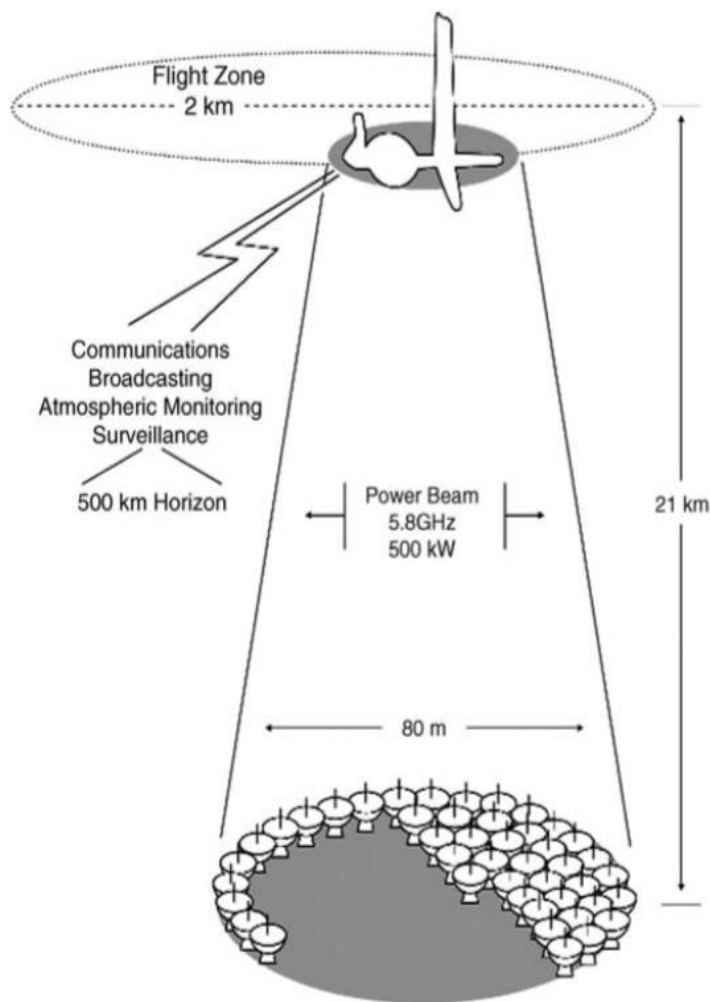
### **5.1 Συμβατικές πηγές ενέργειας**

Η ιδέα της χρησιμοποίησης συμβατικών πηγών ενέργειας απορρίφθηκε σχεδόν εκ τη γεννέση της. Δύο ήταν οι κύριες αιτίες που οδήγησαν σε αυτή την απόφαση. Η πρώτη αιτία αφορούσε την περιορισμένη αυτονομία που προσέφεραν τα συμβατικά καύσιμα, γεγονός που από μόνο του αντίκειται στην έννοια των ψευδοδορυφών οι οποίοι εξ ορισμού επιδιώκουν την ημιμόνιμη παραμονή τους στη περιοχή της στρατόσφαιρας. Η δεύτερη αιτία η οποία οδήγησε στην απόρριψη των συμβατικών καυσίμων ως πηγή ενέργειας ήταν οι ανησυχίες για τις μακροπρόθεσμες συνέπειες στη χημική - θερμοδυναμική ισορροπία που ενδέχεται να επιφέρει η εκπομπή καυσαερίων στην περιοχή της στρατόσφαιρας.

### **5.2 Χρήση δέσμης μικροκυμάτων**

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 στο πλαίσιο του προγράμματος SHARP (Stationary High Altitude Relay Platform) προτάθηκε μία επαναστατική - ακόμη και για την εποχή μας ιδέα - που αφορά την απομακρυσμένη παροχή ενέργειας σε έναν ψευδοδορυφόρο η οποία απεικονίζεται στην εικόνα 11.





Εικόνα 11 Σύστημα SHARP

Σύμφωνα λοιπόν με το σχεδιασμό, μία συστοιχία επίγειων κεραιών μεγάλης διαμέτρου, θα εκπέμπει μία πυκνή δέσμη μικροκυμάτων η οποία θα φτάνει σε έναν κατάλληλο συλλέκτη που είναι τοποθετημένος πάνω στον ψευδοδορυφόρο. Αυτός ο συλλέκτης θα έχει τη δυνατότητα να μετατρέπει αυτή την ακτινοβολία σε DC ρεύμα το οποίο θα εξασφάλιζε τόσο την ορθή λειτουργία του αεροσκάφους, όσο και τη φόρτιση των μπαταριών οι οποίες θα χρησιμοποιούνται ως εφεδρική πηγή ενέργειας. Παρόμοιες δοκιμές αλλά με τη χρήση laser έχουν πραγματοποιηθεί στις Ηνωμένες πολιτείες, στην Ιαπωνία και στο Ισραήλ. Παρόλο που η συγκεκριμένη τεχνολογία εξασφάλισε την απαιτούμενη ενεργειακή επάρκεια στις εναέριες πλατφόρμες, εγκαταλείφθηκε σύντομα λόγω του αναγνωρισμένου ρίσκου που ενέχει

η ακτινοβολία υψηλής ισχύος. Ως εκ τούτου δε θεωρείται ασφαλής και φιλική προς το περιβάλλον λύση και η ιδέα εγκαταλείφθηκε.

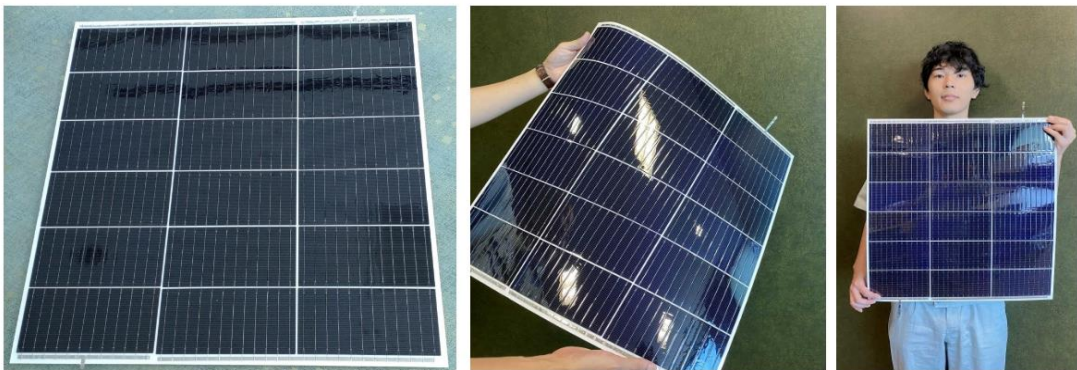
### 5.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας φαίνεται ως η επικρατέστερη επιλογή αυτή τη στιγμή ή στον τομέα των ψευδοδορυφόρων. Πιο συγκεκριμένα η χρήση της ηλιακής ενέργειας σε συνδυασμό με τη χρήση μπαταριών ή RFCs (Regenerative Fuel Cells), φαίνεται ότι αποτελεί την πλέον βιώσιμη επιλογή για την ενεργειακή τροφοδοσία των στρατοσφαιρικών αεροσκαφών. Οι ψευδοδορυφόροι διαθέτουν μεγάλες επιφάνειες που είναι ιδανικές για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων, ενώ το περιβάλλον στο οποίο επιχειρούν χαρακτηρίζεται από έλλειψη νεφοκάλυψης, επιτρέποντας στο ηλιακό φως να φτάνει ανεμπόδιστα στα solar cells. Με βάση πρόσφατες μετρήσεις, διαπιστώθηκε πως λόγω της χαμηλής πυκνότητας των ανώτερων ατμοσφαιρικών στρωμάτων, το στρατοσφαιρικό ηλιακό φως, περικλείει 1,36 φορές περισσότερη φωτεινή ενέργεια σε σχέση με αυτή που φθάνει στην επιφάνεια της Γης και είναι σχεδόν εφάμιλλη με τη φωτεινή ενέργεια που υπάρχει στο διαστημικό χώρο. Με την σημαντικά βελτιωμένη απόδοση των Solar Cells τα τελευταία χρόνια, η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που εξασφαλίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας φαίνεται να επαρκεί τουλάχιστον για τις περιοχές που βρίσκονται πλησίον του ισημερινού και σε μέσα γεωγραφικά πλάτη. (SoftBank, 2023)



Εικόνα 12

Οι ηλιακοί συλλέκτες που χρησιμοποιούνται στα HAPS πέραν της υψηλής ενεργειακής τους απόδοσης απαιτείται να διαθέτουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως ελαστικότητα, αλλά και χαμηλό βάρος. Σε έναν ψευδοδορυφόρο, υπάρχουν μερικές χιλιάδες ηλιακές κυψέλες. Όπως γίνεται λοιπόν αντιληπτό μία μικρή αύξηση στο βάρος μιας ηλιακής κυψέλης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στις επιδόσεις του αεροσκάφους. Εκτός των ανωτέρω οι ηλιακοί συλλέκτες πρέπει να επιδεικνύουν αυξημένη αντοχή στις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στην στρατόσφαιρα. Για την προστασία των ηλιακών συλλεκτών χρησιμοποιείται ένα λεπτό στρώμα ρητίνης. Τα υλικά που επιλέγονται για την κατασκευή των solar cells εκτός από ελαφριά πρέπει να είναι και οικονομικά βιώσιμα. Για το λόγο αυτό ως κύριο υλικό έχει επιλεγεί το κρυσταλλικό πυρίτιο, ένα υλικό 1000 φορές πιο φθινό σε σύγκριση με τα σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ηλιακών συλλεκτών στο διαστημικό χώρο. Εναλλακτικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι το αρσενίδιο του γαλλίου (GaAs) και το φωσφίδιο του γαλλίου (InGaP).

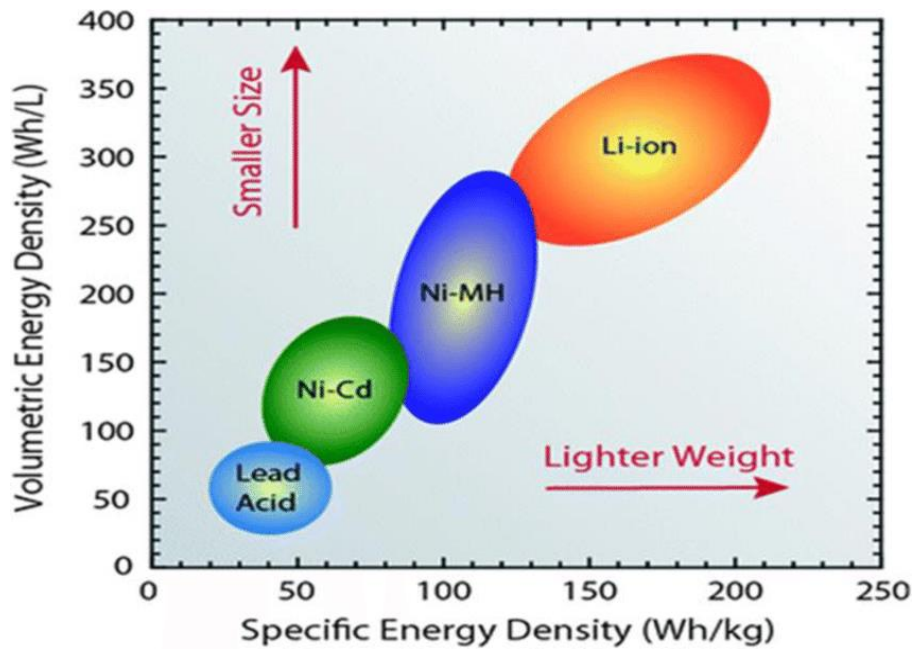


Εικόνα 13 Υπερ-ελαφρά Solar Modules

### 5.3.1 Μπαταρίες

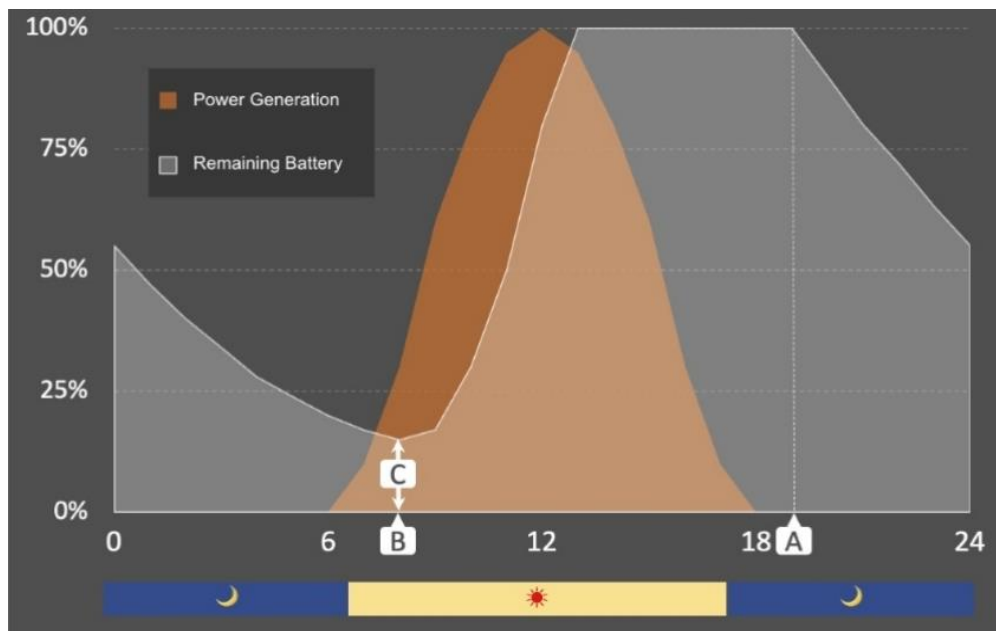
Οι μπαταρίες αποτελούν αναπόσπαστο υποσύστημα των ψευδοδορυφόρων και είναι αυτές που επιφορτίζονται με το καθήκον παροχής ενέργειας όλων των υποσυστημάτων κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών. Υπάρχουν διάφορα είδη μπαταριών με τις μπαταρίες LI-ion να ξεχωρίζουν λόγω των μοναδικών τους χαρακτηριστικών όπως είναι η χαμηλή εσωτερική αντίσταση, η αυξημένη διάρκεια ζωής και η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (μπορεί να ξεπεράσει τις 400Wh/Kg). . Τα

χαρακτηριστικά αυτά τις καθιστούν τις πλέον κατάλληλες για χρήση στο πεδίο των ψευδοδορυφόρων. (Puteh Melor Wesma Salehen's, 2017)



Εικόνα 14 Η επανάσταση των επαναφορτιζόμενων μπαταριών

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω κατά τη διάρκεια της ημέρας η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε χημική και αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η διακύμανση της αποθηκευμένης ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός τυπικού 24ώρου.

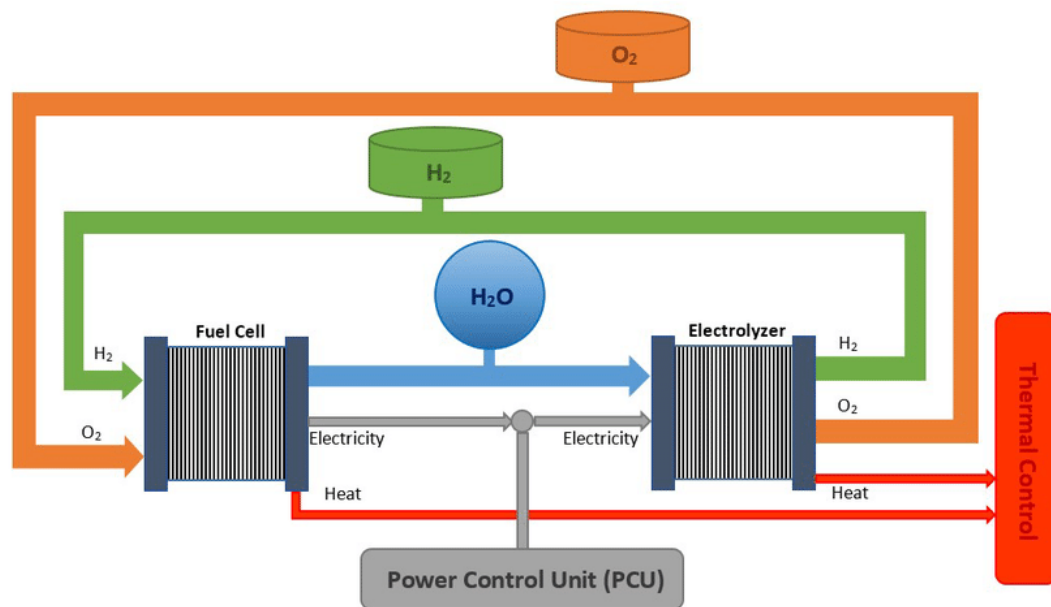


Εικόνα 15 Ενεργειακή διακύμανση κατά τη διάρκεια ενός 24 ωρου

Σύμφωνα με το διάγραμμα η αποφόρτιση της μπαταρίας ξεκινά μετά τη δύση του ηλίου σε χρόνο (A) και συνεχίζεται μέχρι την επόμενη ανατολή. Παρατηρούμε ότι η μπαταρία διατηρεί πάντα (σημείο B) ένα ποσοστό αποθηκευμένης ενέργειας προκειμένου να αντιμετωπιστούν απροσδόκητα γεγονότα όπως για παράδειγμα η ύπαρξη έντονων ανέμων. (SoftBank R&D, 2023)

### 5.3.2 Κυψέλες Υδρογόνου

Μία εναλλακτική μορφή εκμετάλλευσης της πλεονάζουσας ενέργειας είναι η αποθήκευση της σε regenerative fuel cells (RFC) στα Στην περίπτωση αυτή η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για τη λειτουργία ενός hydrolyser ο οποίος μέσα σε ένα κλειστό κύκλωμα λειτουργίας διασπά μία αποθηκευμένη ποσότητα νερού σε οξυγόνο και υδρογόνο. Στη συνέχεια, το υδρογόνο και το οξυγόνο αποθηκεύονται σε δύο ξεχωριστές δεξαμενές, διαθέσιμες για την τροφοδοσία των κυψελών καυσίμου όταν η ηλιακή ενέργεια από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι ανεπαρκής. Σε μια κυψέλη καυσίμου, η αντίστροφη χημική αντίδραση έχει ως αποτέλεσμα ηλεκτρισμό και νερό χωρίς παραπροϊόντα και χωρίς ρύπανση. (Jose Javier Brey, 2017)



Εικόνα 16 Αρχή λειτουργίας RFC συστήματος

Η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα του υδρογόνου επιτρέπει στις πλατφόρμες που το χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας βελτιωμένες επιδόσεις και μεγαλύτερη διάρκεια πτήσης σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη κατά την περίοδο του έτους με

περιορισμένη ηλιοφάνεια. Ωστόσο η ανάγκη αποθήκευσης υδρογόνου σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και η αυξημένη πολυπλοκότητα της όλης κατασκευής ενδέχεται να αποτελέσουν εμπόδια στην ευρύτερη υιοθέτηση αυτής της μορφής ενέργειας.

## Σύνοψη

Βρισκόμαστε στα πρόθυρα μιας νέας εποχής, όπου οι ψευδορορυφόροι βρίσκονται πολύ κοντά στην τελικό στάδιο πιστοποίησης τους. Οι ομάδες έρευνας και ανάπτυξης εκφράζουν με βεβαιότητα την πρόβλεψη ότι οι τεχνολογία των HAPS θα είναι σε θέση προσφέρει αξιόπιστες υπηρεσίες από το 2025, με ορισμένες πιθανές εξαιρέσεις που ενδέχεται να είναι εμπορικά διαθέσιμες στα τέλη του 2024. Ωστόσο, διάφοροι εξωγενείς παράγοντες όπως για παράδειγμα η έλλειψη παροχής αξιόπιστων μετεωρολογικών προβλέψεων στο στρατοσφαιρικό περιβάλλον ή το ασαφές νομικό πλαίσιο - όπως θα δούμε στη συνέχεια - παραμένουν σημαντικά εμπόδια και αποτελούν τροχοπέδη στην ορθή αξιοποίηση και ανάπτυξη της τεχνολογίας των HAPS.



## 6. Ωφέλιμο φορτίο (Payload) των HAPS

Οι ψευδοροδυφόροι αναμένεται να αποτελέσουν ένα σημαντικό εργαλείο στο πεδίο των εναέριων εφαρμογών τα προσεχή έτη. Πέρα από της πτητικές τους επιδόσεις, το κρίσιμο στοιχείο που καθορίζει την αξία και την αποτελεσματικότητά τους είναι το ωφέλιμο φορτίο (Payload), το σύνολο δηλαδή των επιστημονικών συσκευών και αισθητηρίων που μπορούν να φιλοξενήσουν. Η έρευνα και η ανάπτυξη στον τομέα του διαστήματος και των δορυφορικών εφαρμογών έχει δημιουργήσει μία σημαντική παρακαταθήκη για την ανάπτυξη επιστημονικών συσκευών και αισθητηρίων οργάνων με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που βασίζονται στο τρίπτυχο “χαμηλό βάρος - μικρό μέγεθος - υψηλές επιδόσεις”. Στη συνέχεια της παρούσας ενότητας θα πραγματοποιήσουμε μια επισκόπηση του ωφέλιμου φορτίου που μπορούν να φέρουν οι ψευδοροδυφόροι εστιάζοντας στην ανάλυση των δυνατοτήτων και της δυναμική τους στα πεδία της τηλεπισκόπησης και των επικοινωνιών.

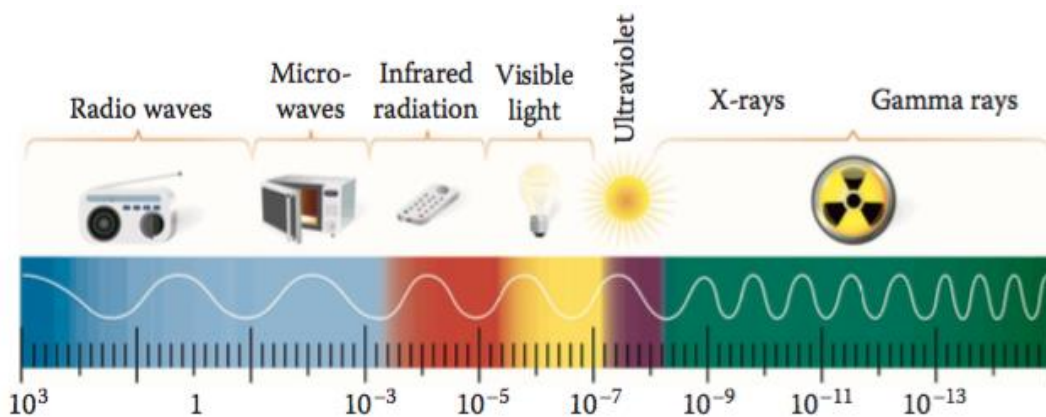
### 6.1 Εφαρμογές τηλεπισκόπησης (Remote Sensing)

Θα ξεκινήσουμε με μία προσπάθεια να ορίσουμε την έννοια της τηλεπισκόπησης. Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη που ασχολείται με την απομακρυσμένη συλλογή δεδομένων με τη βοήθεια αισθητήρων που συνήθως τοποθετούνται σε αεροσκάφη και δορυφόρους.



Εικόνα 17 Remote Sensing εφαρμογές

Οι εν λόγω αισθητήρες λειτουργούν ανιχνεύοντας την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία γνωστή και ως EM (electromagnetic radiation), συγκεντρώνοντας ένα πλήθος δεδομένων που αφορά την επιφάνεια του πλανήτη μας. Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ξεκινά από χαμηλής συχνότητας ραδιοκύματα/μεγάλου μήκους ραδιοκύματα, συνεχίζεται με τα μικροκύματα και ακολουθούν η υπέρυθη η ορατή και η υπεριώδης ακτινοβολία. Η αναγνώριση και ερμηνεία των δεδομένων που προκύπτουν από αυτές τις περιοχές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αποτελούν τον πυρήνα της τηλεπισκόπησης. Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις για την ανίχνευση και καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ενεργητική (active) και η παθητική (passive) τηλεπισκόπηση. Στη παθητική τηλεπισκόπηση ο αισθητήρας ανιχνεύει την ακτινοβολία που εκπέμπεται με φυσικό τρόπο από ένα αντικείμενο. Για παράδειγμα ένας αισθητήρας που καταγράφει στο υπέρυθρο φάσμα έχει την ικανότητα να ανιχνεύει την εκπεμπόμενη θερμότητα ενώ ένας αισθητήρας που λειτουργεί στην περιοχή του ορατού φάσματος έχει τη δυνατότητα να καταγράφει το εκπεμπόμενο φως όπως περίπου κάνει και το ανθρώπινο μάτι. Ένα άλλο είδος παθητικής τηλεπισκόπησης είναι τα ραδιόμετρα μικροκυμάτων τα οποία μπορούν να μετρήσουν παραμέτρους όπως η υγρασία του εδάφους ή την αλατότητα θαλάσσιων περιοχών.



Εικόνα 18 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Στην ενεργή τηλεπισκόπηση σε αντίθεση με την παθητική ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αυτή ανακλάται σε μία επιφάνεια και επιστρέφει πίσω προς την πηγή της. Με την καταγραφή διαφόρων χαρακτηριστικών αυτής της επιστροφής όπως την ισχύ ή την χρονική καθυστέρηση



του σήματος είναι δυνατό να αποκτηθεί ένα πλήθος πληροφοριών αναφορικά με το εκάστοτε αντικείμενο μελέτης. Ένα παράδειγμα μεθόδου ενεργητικής τηλεπισκόπησης είναι η τεχνολογία των RADAR (Radio Detection And Ranging) η οποία εκμεταλλεύεται την περιοχή των μικροκυμάτων για την ανίχνευση αντικειμένων.

Όπως γίνεται αντιληπτό ο τομέας της τηλεπισκόπησης αφορά ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών που καλύπτει διάδορους τομείς όπως ο τομέας της ασφάλειας, της άμυνας της επιστημονικής έρευνας και της περιβαλλοντικής μελέτης. Θα συνεχίσουμε με την παρουσίαση του εξοπλισμού και των αισθητήρων που μπορούν να φέρουν οι ψευδορυφόροι και αφορούν τον τομέα του Remote sensing. (Samantha Lavender, 2023)

#### 6.1.1 Οπτικές συσκευές

Οι οπτικές συσκευές αποτελούν το πιο σημαντικό εργαλείο για την παρατήρηση της Γης, προσφέροντας ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων ανάλογα με τις προδιαγραφές. Οι συσκευές αυτές μπορούν να ενσωματώνουν RGB αισθητήρες για την καταγραφή έγχρωμων εικόνων παρέχοντας αυξημένες πληροφορίες και λεπτομέρειες καθώς και μονοχρωματικούς αισθητήρες οι οποίοι λειτουργούν με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Επιπρόσθετα, αυτές οι συσκευές μπορούν να καταγράψουν εικόνες στο ορατό, στο κοντινό υπέρυθρο αλλά και στο υπέρυθρο φάσμα εξυπηρετώντας διαφορετικά είδη εφαρμογών όπως είναι η παρακολούθηση της βλάστησης, ο εντοπισμός νερού σε μια περιοχή ή την ανίχνευση κρυφών στόχων και στρατευμάτων. Η τελευταίας γενιάς κάμερες μπορούν να καλύπτουν μεγάλες περιοχές επιδεικνύοντας εξαιρετική διακριτική ικανότητα. Ενδεικτικά μία φωτογραφία που έχει σα σκοπό τη γενική σάρωση μιας περιοχής μπορεί να καλύψει μια επιφάνεια της τάξεων των 1000 km<sup>2</sup> με δυνατότητα διακριτικής ικανότητας 10 μέτρων. Ωστόσο αν επικεντρωθούμε σε μία συγκεκριμένη περιοχή κάλυψης και επιλέξουμε να καλύψουμε μια επιφάνεια με εμβαδό 1,5 km<sup>2</sup>, τότε η διακριτική ικανότητα μπορεί να φτάσει τα 18 cm.

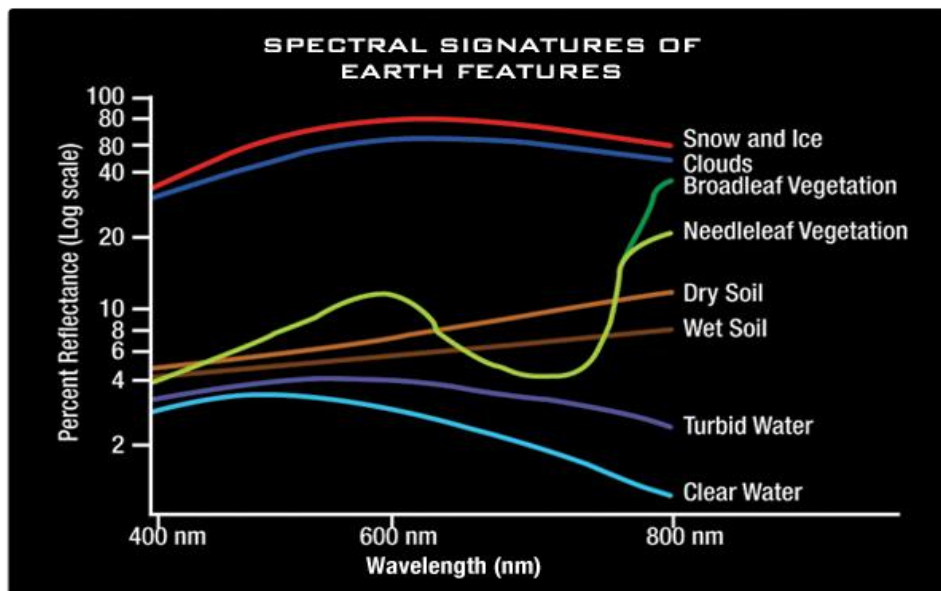


*Εικόνα 19 Η “δύναμη” της υψηλής ανάλυσης*

Αξίζει να τονιστεί πως ένα σημαντικό πλεονέκτημα των ψευδοδορυφόρων σε σχέση με τους δορυφόρους βασιζόμενοι στη δυνατότητα τους να παραμένουν σταθερά πάνω από μια περιοχή είναι η δυνατότητα αναμετάδοσης βίντεο σε πραγματικό χρόνο. (Samantha Lavender, 2023)

#### 6.1.2 Ηλεκτρο-οπτικοί αισθητήρες

Μία άλλη κατηγορία αισθητήρων που μπορεί να ενταχθεί στους οπτικούς αισθητήρες είναι οι ηλεκτρο-οπτικοί αισθητήρες. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και να την αναλύουν στο ορατό και το υπέρυθρο φάσμα. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές στρατιωτικής και πολιτικής επιτήρησης. Η δυνατότητα να καταγράφουν εικόνες στο υπέρυθρο φάσμα δημιουργώντας ουσιαστικά έναν χάρτη θερμότητας τους καθιστά ικανούς να καταγράφουν εικόνες σε συνθήκες ελλιπούς φωτισμού. Η χρήση των IR αισθητήρων παρουσιάζει μειωμένες δυνατότητες διακριτικής ικανότητας σε σχέση με τους αισθητήρες που καταγράφουν στο οπτικό φάσμα, παρ' όλα αυτά, λειτουργώντας συνεργατικά μπορούν να αποκαλύψουν σημαντικές πληροφορίες όπως η δυνατότητα αποκάλυψης κρυφών στόχων, στρατευμάτων, εγκαταστάσεων ή σκαφών. (Samantha Lavender, 2023) (Verbyla, 2022)



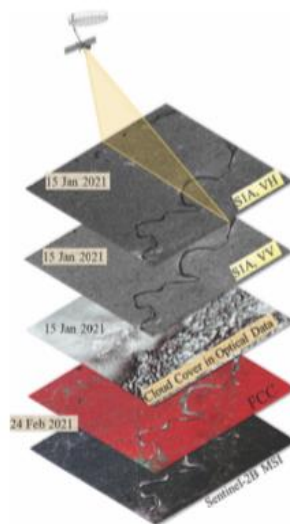
Εικόνα 20

### 6.1.3 Light Detection and Ranging (LIDAR)

Το LIDAR αποτελεί ένα ευρέως διαδεδομένο εργαλείο στον τομέα της τηλεπισκόπησης. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην εκπομπή παλμών λέιζερ οι οποίοι ανακλώνται και επιστρέφουν πίσω σε έναν αισθητήρα που είναι ενσωματωμένος στη συσκευή. Μέσω αυτής της διαδικασίας η ακριβής μέτρηση αποστάσεων μεταξύ αισθητήρα και στόχου δημιουργώντας έναν τρισδιάστατο χάρτη. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι LIDAR. Το τοπογραφικό (topographic) Lidar το οποίο χρησιμοποιείται για την χαρτογράφηση της γήινης επιφάνειας και το βαθυμετρικό Lidar (bathymetric) το οποίο χρησιμοποιώντας μία πράσινη δέσμη, έχει τη δυνατότητα να διεισδύει στο νερό και να χαρτογραφεί τον πυθμένα θαλασσών και λιμνών. Στο πεδίο των ψευδοδορυφόρων, το LIDAR χρησιμοποιείται για την παρατήρηση της επιφάνειας της Γης συνεισφέροντας σε διάφορους τομείς όπως η τοπογραφική χαρτογράφηση, η δασοκομία, ο πολεοδομικός σχεδιασμός και σε εφαρμογές που σχετίζονται με την ασφάλεια. Λόγω της υψηλής ευαισθησίας του στην ανίχνευση κινήσεων και της δυνατότητας ακριβούς παρακολούθησης μικρών αντικειμένων με την επαναληψιμότητα των ακτίνων λέιζερ αποδεικνύεται εξαιρετικά αποτελεσματικό για την εντοπισμό στόχων σε σύγκριση με τις τεχνολογίες ραντάρ. (FRONTEX, 2023) (Shashi Kumar, 2023)

#### 6.1.4 Synthetic Aperture Radar (SAR) and Distributed Imaging Radar Technology (DIRT)

Το Synthetic Aperture Radar (SAR) είναι μια ενεργή (active) συσκευή τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιεί παλμούς ραντάρ για την απόκτηση εικόνων υψηλής ανάλυσης της γήινης επιφάνειας. Η λειτουργία της συσκευής βασίζεται στην εκπομπή ακτινοβολίας μικροκυμάτων. Η φωτεινότητα των εικονοστοιχείων που προκύπτουν συνδέεται άμεσα με την ισχύ του σήματος επιστροφής. Επιφάνειες με μεγαλύτερη τραχύτητα παράγουν ισχυρότερες επιστροφές και τα εικονοστοιχεία που προκύπτουν εμφανίζονται πιο φωτεινά στις εικόνες. Με αυτό τον τρόπο το SAR έχει τη δυνατότητα δημιουργίας δισδιάστατων εικόνων ή μέσω της συνδιασμένης χρήσης επιπλέον εικόνων από διαφορετικό ύψος ή θέση έχει τη δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατων εικόνων. Η τεχνολογία του Synthetic Aperture Radar είναι ιδιαίτερα χρήσιμη καθώς δεν υπόκειται στους περιορισμούς των οπτικών μέσων. Η αρχή λειτουργίας του επιτρέπει τη λήψη δεδομένων μέσα από σύννεφα, ομίχλη ακόμη και τη νύχτα. Μία παραλλαγή του SAR είναι το Distributed Imaging Radar Technology (DIRT). Η κύρια διαφορά μεταξύ SAR και DIRT είναι ότι το SAR χρησιμοποιεί μια ενιαία κεραία ραντάρ υψηλής ισχύος για τη δημιουργία εικόνων υψηλής ανάλυσης μιας περιοχής, ενώ το DIRT χρησιμοποιεί ένα μικρό δίκτυο κεραιών επιτρέποντας την ταχύτερη σάρωση μεγάλων περιοχών. Συνήθως χρησιμοποιείται για εφαρμογές όπως η τοπογραφία, η ωκεανογραφία, η παγετολογία, η γεωλογία, και η δασοκομία. (FRONTEX, 2023)



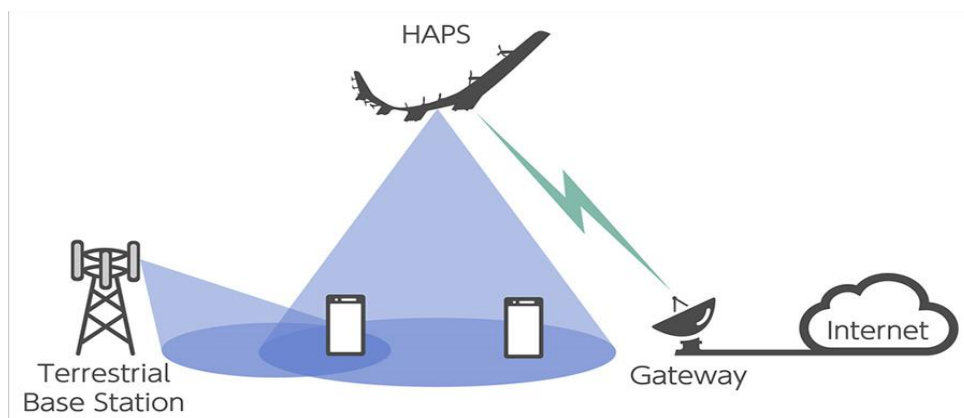
Εικόνα 21 Spaceborne Synthetic Aperture Radar Remote Sensing

### 6.1.5 Moving Target Indicator (MTI)

Τα συστήματα Moving Target Indicator (MTI) είναι σχεδιασμένα ειδικά για την ανίχνευση και παρακολούθηση κινούμενων αντικειμένων. Η αρχή λειτουργίας τους είναι βασισμένη στο φαινόμενο Doppler και έχουν την ικανότητα να διαχωρίζουν τα κινούμενα αντικείμενα σε σχέση με το περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η παρακολούθηση της κίνησης οχημάτων, στρατευμάτων και άλλων πιθανών απειλών. Στην ίδια αρχή λειτουργίας βασίζεται και ο MMTI (Maritime Moving Target Indicator) ο οποίος έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει και να παρακολουθεί την κίνηση πλοίων. Στις επιχειρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του Κοσόβου το 2002 ειδικά τροποποιημένα αεροσκάφη Boeing 707-300, συνδυάζοντας δεδομένα από αισθητήρες MTI και SAR RADAR συνέλεξαν εξαιρετικής σημασίας δεδομένα από το θέατρο επιχειρήσεων αναδεικνύοντας τις δυνατότητες αυτών των συσκευών. (Anthony B. Muccio, 2003)

## 6.2 Επικοινωνίες

Ζούμε σε μια εποχή που ο τομέας των επικοινωνιών καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την καθημερινότητά μας. Με την αύξηση των IoT (Internet of Things) συσκευών η απαίτηση για ταχύτερες και αποδοτικότερες επικοινωνίες αυξάνεται καθημερινά. Παράλληλα πολλές περιοχές του πλανήτη μας λόγω γεωγραφικών περιορισμών αλλά και της “περιορισμένης χωρητικότητας” των δορυφορικών επικοινωνιών παραμένουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα συνδεσιμότητας.



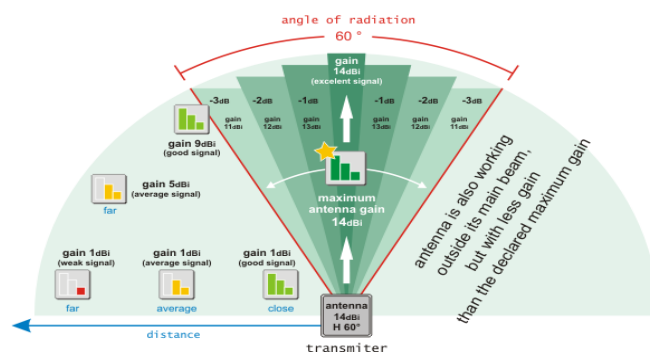
Εικόνα 22 Ένας ψευδοδορυφόρος σε ρόλο εναέριας κεραίας παροχής επικοινωνιών

Οι ψευδοδορυφόροι μέσα από δοκιμές αλλά και από κάποια projects που αποτέλεσαν ορόσημο - όπως το project Loon της Google - έδειξαν πως βρίσκονται πολύ κοντά

στο επιθυμητό τεχνολογικό επίπεδο προκειμένου να παρέχουν ολοκληρωμένες υπηρεσίες επικοινωνιών συνεισφέροντας σημαντικά στον κλάδο αυτό. Λόγω του περιβάλλοντος στο οποίο κινούνται οι ψευδοδορυφόροι μπορούν να συνδιάσουν τις υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων που παρέχουν οι επίγειοι σταθμοί και το μεγάλο εύρος γεωγραφικής κάλυψης που παρέχουν τα δορυφορικά συστήματα. Οι ψευδοδορυφόροι ανάλογα με το ωφέλιμο φορτίο μπορούν να καλύψουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών στον χώρο των τηλεπικοινωνιών όπως είναι τα ευρυζωνικά δίκτυα, τα Backup δίκτυα ή Backhaul υπηρεσίες. Οι τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές μπορούν να διαχωριστούν σε 2 μεγάλες κατηγορίες. Στις RF (Radio Frequency) και στις Laser Επικοινωνίες. (Majumdar, 2022)

### 6.2.1 RF Επικοινωνίες

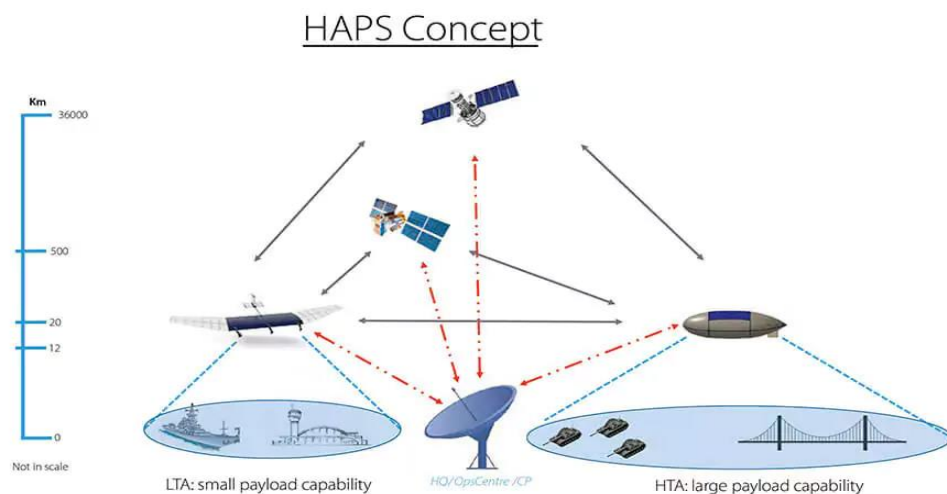
Οι RF επικοινωνίες είναι λιγότερο απαιτητικές ως προς την εφαρμογή τους. Πρόκειται ουσιαστικά για αναμετάδοση ραδιοσημάτων καθιστώντας δυνατή τη διασύνδεση μονάδων στο έδαφος. Πρόκειται για μια ώριμη τεχνολογία με χαμηλές απαιτήσεις ισχύος. Ένας περιορισμός αποτελεί η σχετικά χαμηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων καθιστώντας περιορισμένες τις δυνατότητες κρυπτογράφησης του σήματος. Περισσότερο απαιτητικές αποδεικνύονται οι υπηρεσίες που απαιτούν Active Beam Forming για τη διασύνδεση μεγαλύτερος αριθμός χρηστών. Τόσο ο αυξημένος αριθμός κεραιών, αλλά κυρίως η υψηλή κατανάλωση ενέργειας (εκατοντάδες Watts ανά κεραία) καθιστούν αυτού του είδους τις εφαρμογές δύσκολα υλοποιήσιμες. Κάτι που επίσης αποτελεί περιοριστικό παράγοντα είναι το γεγονός ότι η ισχύς του σήματος των κεραιών μειώνεται σημαντικά πέρα από ένα συγκεκριμένο γωνιακό εύρος και άρα ενδέχεται να απαιτηθεί η χρήση μεγαλύτερου αριθμού κεραιών για την κάλυψη της περιοχής ενδιαφέροντος. (FRONTEX, 2023)



Εικόνα 23 Σχηματική απεικόνιση της ισχύος μιας κεραιάς σε σχέση με τη γωνία

### 6.2.2 Laser Επικοινωνίες

Οι επικοινωνίες με τη χρήση Laser είναι ένας σχετικά νέος κλάδος επικοινωνιών με μοναδικά χαρακτηριστικά και σημαντικές προοπτικές ανάπτυξης. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο επικοινωνιών μπορεί να διασφαλίσει ταχύτητες δεδομένων που φτάνουν τα 10Gb/sec. Βασικός περιορισμός αποτελεί το γεγονός πως αυτό το είδος επικοινωνιών δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αν υφίστανται εμπόδια (όπως νέφη) μεταξύ του ψευδοδορυφόρου και του σταθμού εδάφους. Επιπρόσθετα για την επιτυχή μεταφορά δεδομένων μεταξύ πομπού και δέκτη απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στην ικανότητα εστίασης της δέσμης. Η ανάπτυξη ενός νέου είδους λογισμικού (software defined laser systems ή SDML) βρίσκεται ακόμη σε αρχικά στάδιο ανάπτυξης. Η ολοκλήρωσή του όμως θα επιτρέψει σε συσκευές όπως το LIDAR να εκτελούν πολλαπλές λειτουργίες μεταξύ των οποίων 3D χαρτογράφηση, παρακολούθηση εδάφους ή επικοινωνία μεταξύ ψευδοδορυφόρου και σταθμού εδάφους σε αποστάσεις έως 100 χιλιόμετρα. Οι Laser επικοινωνίες πέρα από τις υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, δεν απαιτούν άδεια χρήσης ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, και προσφέρουν ασφαλείς συνδέσεις εξαλείφοντας ταυτόχρονα την ανάγκη για κρυπτογράφηση ή διανομή κλειδιών. (FRONTEX, 2023)



Εικόνα 24 Σενάριο χρήσης ψευδοδορυφόρων για την υποστήριξη δικτύων επικοινωνίας

## 7 Επισκόπηση των Εφαρμογών των HAPS

Μετά από την επισκόπηση του ωφέλιμο φορτίο που δύνανται να μεταφέρουν οι ψευδοδορυφόροι θα πραγματοποιηθεί μια πιο πρακτική προσέγγιση του θέματος, με στόχο την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας τους σε συγκεκριμένα σενάρια αποστολών. Προτού όμως προχωρήσουμε σε αυτό, αξίζει να τονιστεί η δυνατότητα των ψευδοδορυφόρων να μεταφέρουν ταυτόχρονα διαφορετικά αισθητήρια όργανα, επιτρέποντάς τους να εκτελούν ταυτόχρονα ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών με τη χρήση μίας μόνο πλατφόρμας. Παράλληλα, είναι σημαντικό να αναφερθεί η ικανότητά τους να παραμένουν στη στρατόσφαιρα ακόμη και όταν δεν προσφέρουν τις υπηρεσίες τους τη δεδομένη στιγμή. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να ενεργοποιηθούν αν και εφόσον απαιτηθεί και να δράσουν εντός πολύ μικρού χρονικού διαστήματος. Παρακάτω θα παρουσιαστούν μερικές από τις κυριότερες εφαρμογές που μπορούν να φέρουν σε πέρας με επιτυχία οι ψευδοδορυφόροι.

### 7.1 Παρατήρηση της Γης

Η στρατόσφαιρα αποτελεί έναν εξαιρετικά ευνοϊκό χώρο για την παρατήρηση και την ανάλυση της επιφάνειας της Γης. Αποστολές συλλογής πληροφοριών, επιτήρησης, και αναγνώρισης (ISR) μπορούν να πραγματοποιηθούν με εξαιρετικά αποτελέσματα από τους ψευδοδορυφόρους. Η δυνατότητα των HAPS να παραμένουν σε συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος για μεγάλα χρονικά διαστήματα τους παρέχει μοναδικά πλεονεκτήματα, καθιστώντας τους πιο αποτελεσματικούς τόσο σε σχέση με τους τεχνητούς δορυφόρους όσο και με τα UAVs. Με την υφιστάμενη τεχνολογία, οι ψευδοδορυφόροι έχουν τη δυνατότητα να επιτυγχάνουν διακριτική ικανότητα μικρότερη των 10 cm. Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης σε συνδυασμό με τα υψηλής ποιότητας δεδομένα που μπορεί να συγκεντρώνουν οι ψευδοδορυφόροι αναμένεται να αποτελέσουν σημαντικά εργαλεία στον τομέα της τηλεπισκόπησης. Τομείς που επίσης εντάσσονται στην κατηγορία της τηλεπισκόπησης και μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά οι ψευδοδορυφόροι είναι η μετεωρολογία (ειδικότερα στην περιοχή της στρατόσφαιρας), η γεωλογία και η παρακολούθηση του περιβάλλοντος. (FRONTEX, 2023)

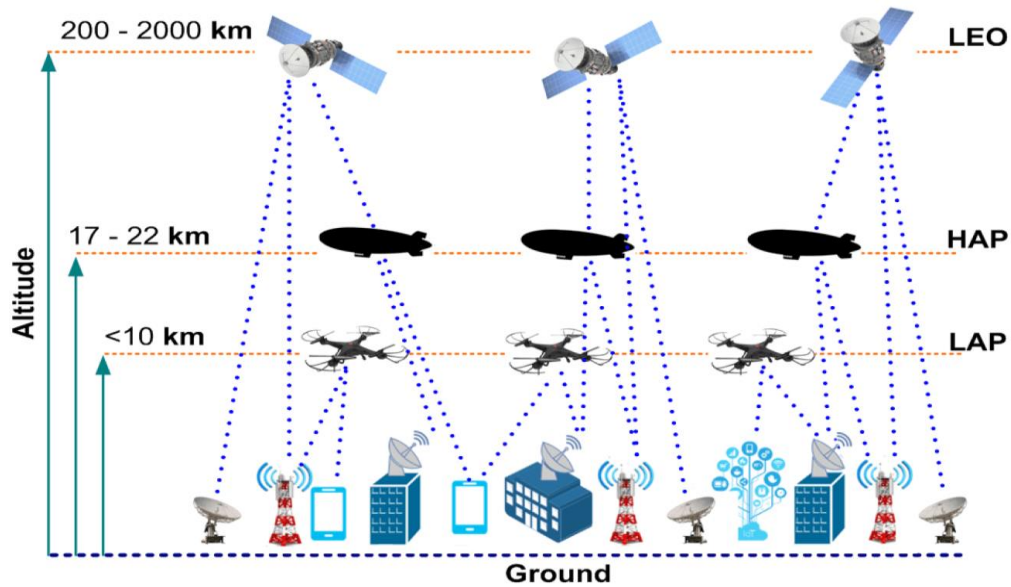




*Εικόνα 25 Καλλιτεχνική απεικόνιση ψευδοδορυφόρου*

## 7.2 Τηλεπικοινωνίες

Οι υπηρεσίες επικοινωνιών στη σύγχρονη εποχή διεξάγονται σχεδόν αποκλειστικά με τη χρήση δορυφορικών και επίγειων συστημάτων. Η επερχόμενη τεχνολογία των ψευδοδορυφόρων αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών λειτουργώντας συνεργατικά με την υπάρχουσα δορυφορική και επίγεια υποδομή. Οι ψευδοδορυφόροι προσφέρουν μία νέα προοπτική στις αμφίδρομες επικοινωνίες παρέχοντας D2D (Direct to Device) υπηρεσίες. Σε σύγκριση με παρόμοιες δορυφορικές λύσεις, τα HAPS μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερες ταχύτητας σύνδεσης, χαμηλότερο Latency, βελτιωμένες επιδόσεις συνδεσιμότητας εσωτερικών χώρων και αυξημένη χωρητικότητα δικτύου, καλύπτοντας σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό χρηστών ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Η ικανότητά τους να προσγειώνονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα επιτρέπει την αναβάθμιση του εξοπλισμού τους. Ένας ψευδοδορυφόρος μπορεί να καλύψει μία περιοχή διαμέτρου 50-100 χιλιομέτρων ως εκ τούτου η δημιουργία ενός εναέριου δικτύου ψευδοδορυφόρων μπορεί να προσφέρει υψηλής ποιότητας υπηρεσίες σε μεγάλες εκτάσεις. (Alejandro Arago'n-Zavala, 2008)



Εικόνα 26 Δίκτυο επικοινωνιών αποτελούμενο από δορυφορικά συστήματα, HAPS, UAVs

Οι ψευδοδορυφόροι δεν έρχονται να ανταγωνιστούν το υπάρχον επίγειο δίκτυο αλλά για να το αντικαταστήσουν σε περιπτώσεις που δεν είναι δυνατόν ή πρακτικό να κατασκευαστεί (θαλάσσιες επιχειρήσεις, απομακρυσμένες περιοχές κ.α.) ή και να το ενισχύσουν όπου αυτό απαιτείται. Οι επιδόσεις των υπηρεσιών που θα παρέχουν οι ψευδοδορυφόροι αναμένεται να προσεγγίζουν την απόδοση των επίγειων 5G δικτύων. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ψευδοδορυφόροι μπορούν να δημιουργήσουν ένα ασφαλές δίκτυο επικοινωνιών που είναι δύσκολο να υποκλαπεί ή να μπλοκαριστεί καθώς τα δεδομένα δεν χρειάζεται να μεταδοθούν από δορυφόρους τρίτων. (Alejandro Arago'n-Zavala, 2008)

### 7.3 Υπηρεσίες Πλοήγησης

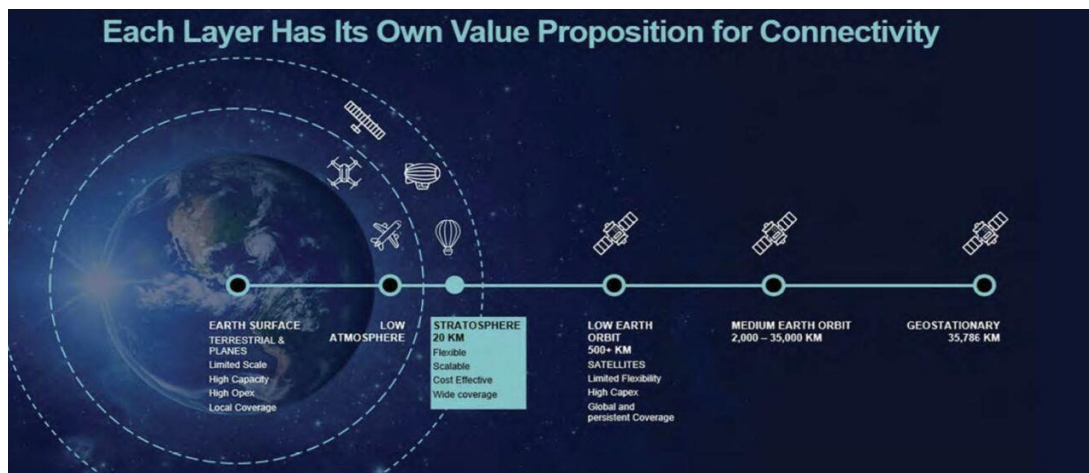
Τα τελευταία χρόνια η δυνατότητες πλοήγησης που μας παρέχουν τα δορυφορικά συστήματα έχουν αλλάξει σε μεγάλο βαθμό την καθημερινότητά μας. Οι απαιτήσεις και οι εφαρμογές που άπτονται αυτής της τεχνολογίας αυξάνονται διαρκώς. Ήδη αυτόνομα οχήματα όπως οι γεωργικοί ελκυστήρες ή τα ψεκαστικά drones βρίσκονται στο στάδιο παραγωγής, η απόδοση των οποίων βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ακρίβεια θέσης που λαμβάνουν από τα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης. Ένας άλλος τομέας που βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ακρίβεια των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης είναι ο κλάδος της αεροπλοΐα. Τη δεδομένη

χρονική στιγμή και όταν πρόκειται για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ακρίβεια όπως η δυνατότητα αυτόνομης προσγείωσης τα αεροσκάφη βασίζονται στην παρουσία επίγειου εξοπλισμού προκειμένου να έχουν ακριβή επίγνωση της θέσης τους στον χώρο. Η έλευση της τεχνολογίας των ψευδοδορυφόρων αναμένεται να συνδράμει σημαντικά στην αύξηση της ακρίβειας των συστημάτων πλοήγησης επιτρέποντας στο δορυφορικό σήμα να φτάσει στον χρήστη με μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με αυτό που εκπέμπεται από το επίπεδο τροχιάς των δορυφόρων. Σημαντική αναβάθμιση των υφιστάμενων υπηρεσιών αναμένεται να παρατηρηθεί σε περιοχές με υψηλή “πυκνότητα” και εμπόδια, όπως τα κέντρα των πόλεων με ψηλά κτίρια, οι ορεινές κοιλάδες και τα δάση. Ο συνδυασμός της δυνατότητας ανάλυσης εικόνων και ακρίβειας πλοήγησης από το HAPS μπορεί στα επόμενα χρόνια να επιτρέψει και εφαρμογές που μοιάζουν σήμερα με επιστημονική φαντασία όπως η αναγνώριση και η απομακρυσμένη καθοδήγηση ενός οχήματος προς τον πλησιέστερο διαθέσιμο χώρο στάθμευσης σε μια πόλη. Συμπερασματικά οι ψευδοδορυφόροι αναμένεται να αποτελέσουν μια σημαντική προσθήκη στο υπάρχον πλαίσιο, προσφέροντας αυξημένη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα στην υφιστάμενη υποδομή πλοήγησης. (FRONTEX, 2023)

Πέρα των ανωτέρω βασικών αποστολών οι οποίες αναμένεται να προσελκύσουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, διάφορα άλλα μεμονωμένα ερευνητικά προγράμματα αναμένεται να αναπτυχθούν τα επόμενα χρόνια όπως για παράδειγμα το πρόγραμμα ASTHROS (short for Astrophysics Stratospheric Telescope for High Spectral Resolution Observations at Submillimeter-wavelengths) το οποίο αναμένεται να ξεκινήσει στο τέλος του 2024. Στόχος του προγράμματος είναι να μεταφέρει με τη βοήθεια ενός στρατοσφαιρικού μπαλονιού ένα τηλεσκόπιο που λειτουργεί στην υπέρυθη περιοχή, με απώτερο σκοπό τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου χάρτη του γαλαξιακού μας πυρήνα. (Jet Propulsion Laboratory, 2023)

## 8 Σύγκριση των HAPS με ανταγωνιστικές τεχνολογίες

Όπως έχει ήδη επισημανθεί οι ψευδοδορυφόροι αποτελούν μία νέα και πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, με πρωτοποριακά χαρακτηριστικά. Οι πλατφόρμες αυτές δεν αποβλέπουν στο να ανταγωνιστούν τα υπάρχοντα εναέρια και διαστημικά μέσα, αλλά εκμεταλλευόμενες τα μοναδικά χαρακτηριστικά που διαθέτουν έρχονται να δώσουν μία νέα δυναμική και προοπτική στις απ' αέρος εφαρμογές. Σε αυτή την ενότητα θα γίνει μία σύντομη επισκόπηση των υπόλοιπων αεροσκαφών και διαστημικών συσκευών που επιχειρούν στο ίδιο πεδίο ενδιαφέροντος μετά τα HAPS και στη συνέχεια θα επιχειρηθεί μία σύγκριση μεταξύ τους προκειμένου να διαπιστωθεί η πραγματική αξία των ψευδοδορυφόρων και αν υπάρχει πράγματι χώρος στον ουράνιο θόλο για αυτούς.



Εικόνα 27 Η θέση των HAPS στον ουρανό

### 8.1 Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)

Τα μη επανδρωμένα οχήματα (UAVs) έχουν κάνει ιδιαίτερα αισθητή την παρουσία τους τα τελευταία 20 χρόνια σχεδόν σε κάθε εναέριο κλάδο εφαρμογών. Πρόκειται για εναέρια οχήματα που μπορούν να επιχειρούν είτε αυτόνομα είτε δεχόμενα εντολές από κάποιο εξωτερικό χειριστή. Οι συγκεκριμένες πλατφόρμες μπορεί να ζυγίζουν από λίγα γραμμάρια (Black Hornet Nano) και να επιχειρούν εντός κτιρίων, μέχρι μερικούς τόνους (Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk) το οποίο μπορεί να επιχειρούν στα όρια της στρατόσφαιρας. Τα μεγαλύτερα από αυτά τα εναέρια οχήματα μπορούν να μεταφέρουν αντίστοιχο εξοπλισμό και να πραγματοποιούν μια σειρά αποστολών που βρίσκονται σε κοινό πεδίο με αυτό των ψευδοδορυφόρων. Θα

επιχειρήσουμε μία σύγκριση της τελευταίας αυτής κατηγορία UAVs με τα HAPS. (FRONTEX 2, 2023)

#### Πλεονεκτήματα UAVs έναντι των HAPS

- Η κατασκευή, η λειτουργία και η συντήρηση των UAVs, απαιτούν λιγότερους χρηματικούς πόρους σε σχέση με τα HAPS που χρησιμοποιούν προηγμένες μορφές τεχνολογίας και υλικών
- Παρέχουν αυξημένη ευκινησία και ευελιξία καθώς μπορούν να μετακινηθούν πιο εύκολα και γρήγορα στην περιοχή ενδιαφέροντος σε σχέση με τα HAPS
- Τα UAVs βασίζονται σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, διαθέτουν περισσότερη ισχύ, μπορούν να μεταφέρουν μεγαλύτερο φορτίο και να κινηθούν με μεγαλύτερες ταχύτητες.
- Λόγω του αυξημένου τους βάρους και την πιο συμπαγής κατασκευής τους επιδεικνύουν μεγαλύτερη αντοχή στις καιρικές συνθήκες.
- Λόγω του ότι ίπτανται σε χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας έχουν μικρότερο latency (έως και 1 millisecond για στρατιωτικές εφαρμογές) σε σχέση με τους ψευδορορυφόρους (10 milliseconds).
- Λόγω της μικρότερης απόστασης από την επιφάνεια της Γης μπορούν να εξασφαλίσουν πιο λεπτομερείς εικόνες και σε σχέση με τα HAPS.
- Τα UAVs είναι μια δοκιμασμένη τεχνολογία και παρέχει αξιόπιστες υπηρεσίες σε αντίθεση με τα HAPS που ακόμη βρίσκονται σε στάδιο εξέλιξης.

#### Πλεονεκτήματα HAPS έναντι των UAVs

- Τα HAPS μπορούν να παραμείνουν στην περιοχή ενδιαφέροντος για αρκετούς μήνες ενώ τα UAVs μπορούν να παραμείνουν μερικές μόνο ώρες.
- Τα HAPS διέπονται από λιγότερο αυστηρό νομικό πλαίσιο μιας και επιχειρούν σε περιβάλλον που δεν εμπλέκονται άλλα ιπτάμενα συστήματα.
- Τα HAPS χρησιμοποιούν ανακυκλώσιμες πηγές ενέργειας και είναι φιλικά προς το περιβάλλον.

- Τα HAPS έχουν τη δυνατότητα να εναλλάσσουν το ωφέλιμο φορτίο τους εκτελώντας πολλαπλές αποστολές σε αντίθεση με τα UAVs που είναι σχεδιασμένα για να εκτελούν συγκεκριμένο είδος αποστολών.

## 8.2 Τεχνητοί Δορυφόροι

Η τεχνολογία των τεχνητών δορυφόρων προσφέρει τις υπηρεσίες της με συνέπεια τις τελευταίες δεκαετίες. Πρόκειται για πλατφόρμες που με τη βοήθεια ρουκετών τοποθετούνται σε τροχιά γύρω από τη Γη παρέχοντας υπηρεσίες από το χώρο του διαστήματος όπως οι τηλεπικοινωνίες, η παρατήρηση της Γης, η πλοήγηση, η επιστημονική έρευνα κ.α. Όπως και στον κλάδο των UAVs έτσι και στον κλάδο των τεχνητών δορυφόρων υπάρχει ένα μεγάλο εύρος μεγεθών και αποστολών που μπορούν να εκτελέσουν. Μπορεί να χωράνε στην παλάμη του χεριού μας (Nanosatellites) και να φτάνουν το μέγεθος ενός ποδοσφαιρικού γηπέδου (ISS). Οι τεχνητοί δορυφόροι κατηγοριοποιούνται σε τρεις βασικές υποομάδες. Τους τεχνητούς δορυφόρους Χαμηλής Τροχιάς (LEO - Low Earth Orbit) που κινούνται μεταξύ 160 και 2.000 χλμ από την επιφάνεια της Γης, τους δορυφόρους Μεσαίας τροχιάς (MEO - Medium Earth Orbit) που κινούνται μεταξύ 2.000 και 35.758 χλμ από την επιφάνεια της Γης και τους δορυφόρους Υψηλής τροχιάς (GEO - Geostationary Earth Orbit) που κινούνται σε ύψος περίπου 35.786 χλμ από την επιφάνεια της Γης. Παρακάτω θα επιχειρήσουμε μία σύγκριση τους LEO Satellites οι οποίοι εκτελούν ένα κοινό εύρος αποστολών με αυτό των ψευδοδορυφόρων.

Πλεονεκτήματα των LEO Satellites έναντι των HAPS.

- Οι LEO δορυφόροι βρίσκονται εκτός ατμόσφαιρας και δεν υπόκεινται σε μετεωρολογικούς περιορισμούς.
- Καθώς οι ψευδοδορυφόροι κινούνται κοντά στην επιφάνεια της Γης μπορούν να καλύψουν πολύ μικρότερες περιοχές σε σχέση με τους δορυφόρους.
- Τα δορυφορικά συστήματα είναι δοκιμασμένα παρέχοντας αξιόπιστες υπηρεσίες τις τελευταίες δεκαετίες σε αντίθεση με την τεχνολογία των HAPS που βρίσκεται ακόμη σε δοκιμαστικό στάδιο.

Πλεονεκτήματα των HAPS έναντι των LEO Satellites



- Τα HAPS κινούνται πιο κοντά στην επιφάνεια της Γης. Ως εκ τούτου, έχουν μικρότερο latency (10 milliseconds) σε σχέση με τους LEO satellites ( $\approx 40$  milliseconds)
- Τα HAPS έχουν τη δυνατότητα συλλογής περισσότερων δεδομένων για ISR (intelligence, Surveillance, and Reconnaissance) σκοπούς καθώς πετούν πιο κοντά στην επιφάνεια της Γης.
- Η διάρκεια ζωής των LEO δορυφόρων κυμαίνεται μεταξύ των 5-10 ετών και δεν είναι επαναχρησιμοποιούμενοι σε αντίθεση με τα HAPS που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά.
- Τα HAPS έχουν τη δυνατότητα μετά την προσγείωση τους να αλλάξουν το φορτίο τους και να εκτελέσουν μία ποικιλία αποστολών σε αντίθεση με τους δορυφόρους που σχεδιάζονται και εκτελούν μία συγκεκριμένη αποστολή.
- Τα HAPS μπορούν να αναπτυχθούν σε διαφορετικές περιοχές ανάλογα με τις τρέχουσες απαιτήσεις σε αντίθεση με τους LEO satellites που από τη στιγμή που θα τεθούν σε τροχιά έχουν πολύ περιορισμένης δυνατότητας αλλαγών.
- Αν και το κόστος λειτουργίας (Operating Expenditures - OPEX), ενός ψευδοδορυφόρου είναι μεγαλύτερο σε σύγκριση με αυτό των τεχνητών δορυφόρων το συνολικό κόστος (Capital Expenditures - CAPEX) που περιλαμβάνει για παράδειγμα το κόστος κατασκευής και της εκτόξευσης ενός δορυφόρου είναι σημαντικά μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό των HAPS.
- Τα HAPS μπορούν να παραμείνουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα πάνω από μια περιοχή ενώ οι LEO satellites μόνο μερικά λεπτά μέχρι την επόμενη διέλευσή τους που μπορεί να πραγματοποιηθεί αρκετές ώρες μετά.
- Η λειτουργία των HAPS βασίζεται σε ανακυκλώσιμες πηγές ενέργειας και είναι περισσότεροι φιλικόι προς το περιβάλλον σε αντίθεση με τους LEO satellites τόσο κατά τη διαδικασία εισόδου τους σε τροχιά όσο και μετά το τέλος της ζωής τους έχουν ένα σημαντικό οικολογικό αποτύπωμα.

Όπως τονίστηκε και στην αρχή αυτής της ενότητας οι ψευδοδορυφόροι δεν έρχονται για να αντικαταστήσουν τις υπάρχουσες εναέριας πλατφόρμες που έτσι κι αλλιώς έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αξιόπιστες και αποτελεσματικές. Έρχονται όμως να

καλύψουν τον εναέριο χώρο και τις δυνατότητες που αυτός προσφέρει μεταξύ των UAVs και των LEO satellites. Ωστόσο η τεχνολογία των HAPS βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη και υπάρχουν αρκετά περιθώρια βελτίωσης σχεδόν σε κάθε έκφασή της. Συνοψίζοντας οι ψευδοδορυφόροι παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αυτονομία, τη μεγαλύτερη ευελιξία ως προς την εναλλαγή φορτίων και έχουν το μικρότερο οικολογικό αποτύπωμα σε σχέση με τους “ανταγωνιστές” τους. Με βάση τα παραπάνω θεωρείται σχεδόν βέβαιο, πως οι ψευδοδορυφόροι δικαιούνται μίας θέσης στον ουράνιο χώρο παρέχοντας τις υπηρεσίες τους, από την περίοπτη θέση της στρατόσφαιρας.

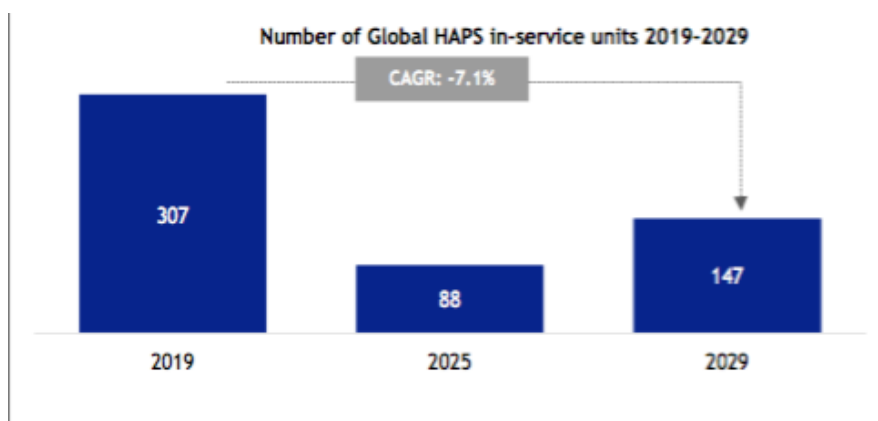


## 9. Οικονομική αξία και επιπτώσεις στην παγκόσμια οικονομία

Αν και η τεχνολογία των ψευδοδορυφόρων βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης θα προσπαθήσουμε να εξετάσουμε τις τάσεις που τείνουν να διαμορφωθούν σε αυτό το νέο κλάδο. Η NSR (Northern Sky Research) είναι μία εταιρεία που δραστηριοποιείται στις υπηρεσίες έρευνας και συμβουλευτικών υπηρεσιών στον τομέα της δορυφορικής και διαστημικής αγοράς. Πιο συγκεκριμένα η NSR ειδικεύεται στην ανάλυση ευκαιριών ανάπτυξης σε τέσσερις βασικούς κλάδους της βιομηχανίας: Δορυφορικές Επικοινωνίες, Δορυφορικές & Διαστημικές Εφαρμογές, Χρηματοοικονομική Ανάλυση και Δορυφορική και Διαστημική Υποδομή. Στο πλαίσιο αυτό τον Ιούλιο του 2020 η NSR συνέταξε και δημοσιοποίησε μια μελέτη σχετικά με την αναδυόμενη τεχνολογία των ψευδοδορυφόρων. Με βάση τη μελέτη αυτή θα προσπαθήσουμε να εξερευνήσουμε τη δυναμική ανάπτυξης και το μέλλον της τεχνολογίας των ψευδοδορυφόρων.

### 9.1 Γενική εικόνα της παγκόσμιας αγοράς

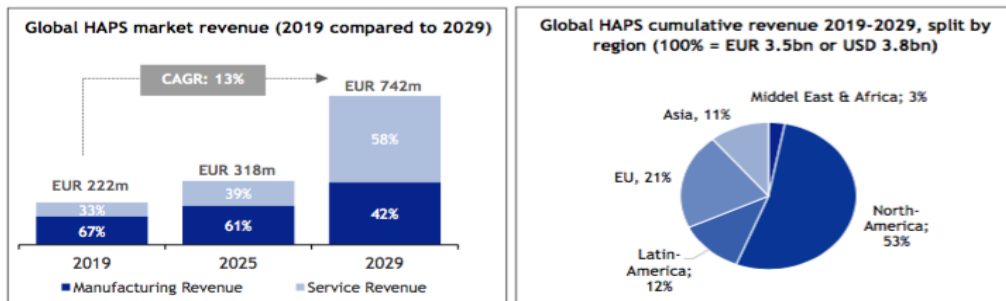
Ξεκινώντας με τα σημαντικότερα γεγονότα των τελευταίων ετών, η περίοδος της πανδημίας οδήγησε σε παύση αρκετών προγραμμάτων έρευνας και εξέλιξης. Σημαντικό πλήγμα για την παγκόσμια αγορά ήταν επίσης ο τερματισμός του φιλόδοξου προγράμματος Loon της Google. Τα γεγονότα αυτά, οδήγησαν σε μία σημαντική πτώση των μονάδων HAPS που επιχειρούν αυτή τη στιγμή παγκοσμίως.



Εικόνα 28

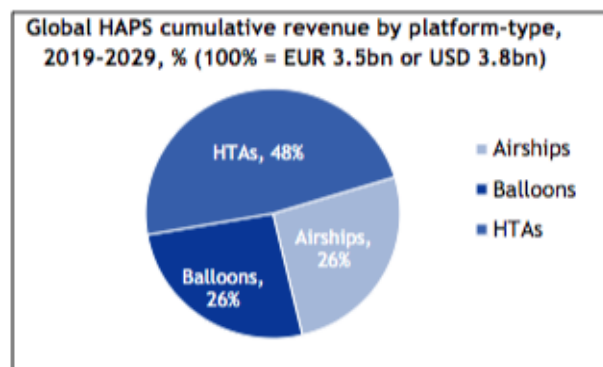
Η ωρίμανση της ήδη υπάρχουσας τεχνολογίας στα Balloons σε συνδυασμό με την εξέλιξη των Air-Ships και των HTAs αναμένεται να φέρουν σημαντική ώθηση στην

ανάκαμψη της παγκόσμιας αγορά των HAPS, προσελκύοντας επενδυτές από περισσότερα πεδία. Την εκτίμηση αυτή έρχεται να επιβεβαιώσει και η NSR, καθώς σύμφωνα με την αναφορά της, τα επόμενα χρόνια αναμένεται μία σημαντική ανάκαμψη στον τομέα των ψευδοδορυφόρων με τον αριθμό των μονάδων που επιχειρούν να διπλασιάζεται.



Εικόνα 29

Η τεχνολογική ωρίμανση και ανάπτυξη της αγοράς των ψευδοδορυφόρων αναμένεται με τη σειρά της να οδηγήσει σε σημαντικά κέρδη τόσο για τους κατασκευαστές, όσο και στους παρόχους υπηρεσιών. Προβλέπεται ότι μέχρι το τέλος της δεκαετίας ο μέσος όρος ετήσιου ποσοστού αύξησης (CAGR) θα είναι της τάξεως του 13%. Το συνολικό ποσό εσόδων που αναμένεται να καταγραφεί στην παγκόσμια αγορά το χρονικό διάστημα 2019 έως το 2029 αναμένεται να αγγίξει τα 3.5 δισεκατομμύρια Ευρώ. Το μεγαλύτερο εμπορικό ενδιαφέρον αναμένεται να επικεντρωθεί στη Βορεια Αμερικη αντιπροσωπεύοντας το 53% της παγκόσμιας αγοράς ενώ ακολουθεί η Ευρώπη με 21% και έπειτα η Λατινική Αμερική, η Ασία, με τη Μέση ανατολή και την Αφρική να συγκεντρώνουν ένα ποσοστό της τάξεως του 3%.

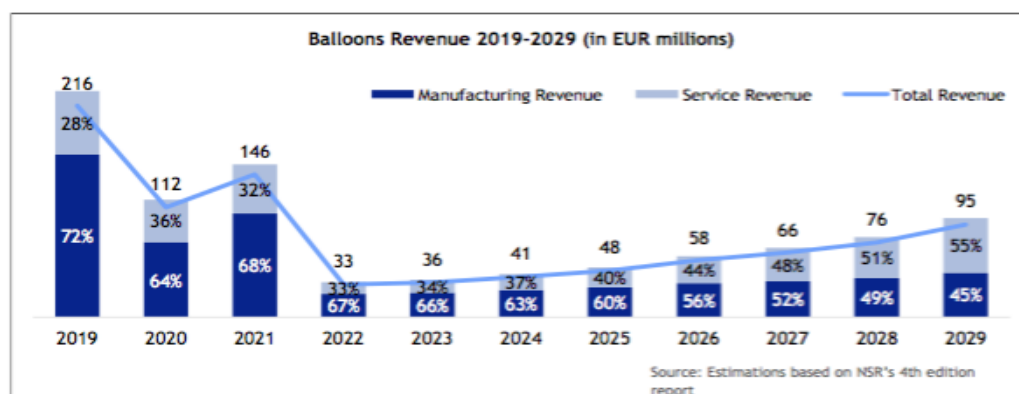


Εικόνα 30

Αν επιχειρήσουμε να κατατάξουμε την εμπορική δραστηριότητα με βάση το είδος του ψευδορυφώρου το μεγαλύτερο ενδιαφέρον φαίνεται ότι προσελκύουν τα HTAs HAPS με 48%, και ακολουθούν τα αερόπλοια και τα αερόστατα τα οποία μοιράζονται το 52% της συνολικής πίτας κερδών.

## 9.2 Η αγορά στον κλάδο των Balloons

Τα αερόστατα αποτελούν μέχρι και σήμερα τη πιο ώριμη τεχνολογικά λύση έχοντας αποδείξει την αξία τους σε δεκάδες εμπορικού τύπου δραστηριότητες - κυρίως στην περιοχή της Βόρειας Αμερικής. Ο κλάδος των αεροστάτων δέχτηκε μεγάλο πλήγμα με τον τερματισμό του προγράμματος Loon της Google. Παρ' όλα αυτά, το συγκεκριμένο πρόγραμμα, έδρασε ως καταλύτης στην εξέλιξη των ψευδορυφώρων αυτής της κατηγορίας. Το εμπορικό ενδιαφέρον αναμένεται να αναζωπυρωθεί με τις προσθήκες και την ενσωμάτωση νέας γενιάς μπαλονιών (Super Pressure balloons) με τη βοήθεια των οποίων θα αποκτήσουν βελτιωμένες ικανότητες πλοήγησης αλλά και αυξημένους χρόνους παραμονής στη στρατόσφαιρα. Τα αερόστατα, αναμένεται να χρησιμοποιηθούν κυρίως για ISR αποστολές καθώς και για ερευνητικούς σκοπούς δημιουργώντας συνθήκες οικονομικής ανάπτυξης.

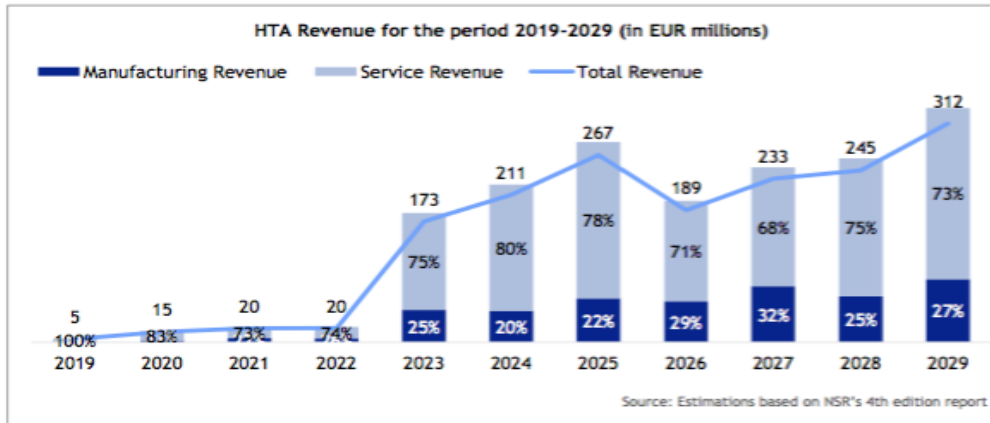


Εικόνα 31

## 9.3 Η Αγορα στον κλάδο των HTAs

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 32, Ο κλάδος των HTAs αναμένεται να κυριαρχήσει σε σχέση με τις υπόλοιπες πλατφόρμες το αγοραστικό ενδιαφέρον. Η πρόσφατες εξελίξεις στους τομείς των μπαταριών και των ηλιακών συλλεκτών αναμένεται να ενισχύσουν σημαντικά την αυτονομία των HATs. Η αυξημένη ταχύτητα και ευελιξία που μπορούν να επιτύχουν σε σχέση με τον ανταγωνισμό, καθιστά τη πλατφόρμα

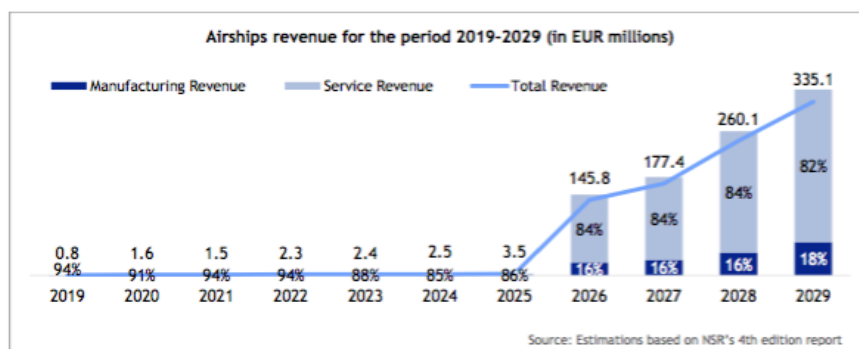
αυτή ιδιαίτερα δημοφιλή για ISR και Remote Sensing εφαρμογές. Σύμφωνα με την πρόβλεψη της NSA ο τομέας των HTAs αναμένεται να αναπτυχθεί σημαντικά αποκομίζοντας σημαντικά κέρδη. Η πτώση που ενδιαφέροντος που παρατηρείται το έτος 2026 οφείλεται στην εκτιμώμενη είσοδο στην αγορά των Airships



Εικόνα 32

#### 9.4 Η αγορά στον τομέα των Airships

Τα αερόπλοια είναι αντικειμενικά η πλατφόρμα με τις περισσότερες δυνατότητες. Έχει την ικανότητα να μεταφέρει μεγάλης μάζας φορτία, αλλά ενώ παράλληλα έχει την ικανότητα να ελίσσεται αντιμετωπίζοντας με επιτυχία τις περιαντολογικές προκλήσεις. Από την άλλη πλευρά όμως η τεχνολογική τους εξέλιξη βρίσκεται σε αρκετά πρώιμο στάδιο. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με κάποια αρκετά σημαντικά ατυχήματα καθιστούν ακόμη δύσπιστους τους επίδοξους επενδυτές. Αυτή είναι και η αιτία που η ανάπτυξη του συγκεκριμένης πλατφόρμας αναμένεται να εμφανιστεί στο δεύτερο μισό της τρέχουσας δεκαετίας.

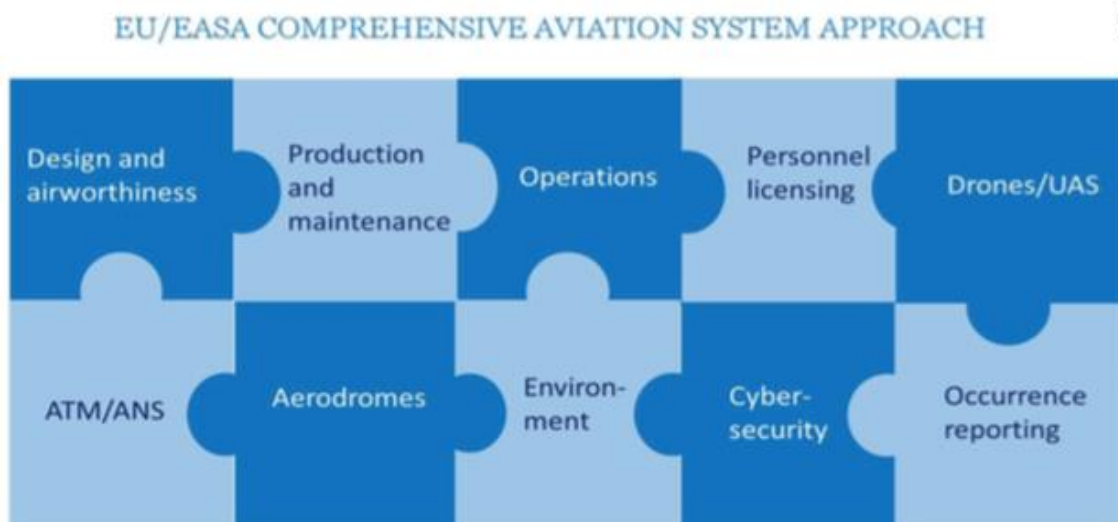


Εικόνα 33

Συνοψίζοντας την ανάλυση σχετικά με τις οικονομικές επιπτώσεις των HAPS στην παγκόσμια οικονομία μπορούμε να εκφράσουμε με βεβαιότητα πως η νέα αυτή τεχνολογία αναμένεται να συμβάλει στην οικονομική ανάπτυξη. Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα διαχείρισης ενέργειας και των επικοινωνιών αναμένεται να παίξουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των HAPS καθιστώντας τους ελκυστική επιλογή για επενδύσεις και επιχειρηματικές δραστηριότητες. (FRONTEX 2, 2023)

## 10. Νομοθετικό πλαίσιο

Η σημερινή νομοθεσία που διέπει τον εναέριο χώρο πάνω από τον οποίο διεξάγεται το σύνολο των εναέριων δραστηριοτήτων (συμβατικά ορίζονται τα 55.000 πόδια) χαρακτηρίζεται από ασάφεια και έλλειψη πληρότητας. Η ταχύτατη εξέλιξη που παρατηρείται στον τομέα των ψευδοδορυφόρων απαιτεί από τους αρμόδιους ρυθμιστικούς φορείς να ανταποκριθούν σε αυτή τη νέα πραγματικότητα εισάγοντας ένα σαφές νομικό πλαίσιο που θα ρυθμίζει τη λειτουργία και τη χρήση των ψευδοδορυφόρων. Η υφιστάμενη νομοθεσία που αφορά τα UAVs κρίνεται ανεπαρκής καθώς οι ιδιαιτερότητες αυτών των νέων συστημάτων και οι προκλήσεις που διέπονται μέσα από αυτές είναι διαφορετικές. Παρακάτω θα παραθέσουμε τους τομείς που χρήζουν μελέτης και ανάγκης θέσπισης ενός νομοθετικού πλαισίου (EASA, 2023)



Εικόνα 34

### 10.1 Κίνδυνοι και προκλήσεις κατά τη διάρκεια πτήσεων των HAPS

Οι ψευδοδορυφόροι μπορεί να έρθουν αντιμέτωποι με διάφορους κινδύνους σε οποιοδήποτε στάδιο της πτήσης. Δε θα πρέπει να παραβλέψουμε αρχικά πώς τόσο κατά τη μετάβαση, όσο και κατά την επιστροφή τους από την περιοχή της στρατόσφαιρας, οι ψευδοδορυφόροι διέρχονται μέσα από ένα πυκνό περιβάλλον εναέριας κυκλοφορίας. Η χαμηλή ταχύτητα των HAPS καθώς και η μειωμένη ικανότητα να ελίσσονται στην “εχθρική” περιοχή της τροπόσφαιρας εγείρει ανησυχίες όπως μία πιθανή σύγκρουση με άλλο αεροσκάφος. Η τεχνολογία των

HAPS όπως και κάθε νέα τεχνολογία είναι πολύ πιθανό να εμφανίσει θέματα αξιοπιστίας στο αρχικό της στάδιο θέτοντας σε κίνδυνο τρίτα πρόσωπα και ιδιοκτησίες στο έδαφος. Πέραν όμως των φυσικών κινδύνων μπορεί να προκύψουν επιπλέον απειλές από ενδεχόμενη κακόβουλη χρήση των ψευδοδορυφόρων όπως θέματα ασφάλειας και κυβερνοασφάλειας (Security and cyber-security risks). Τέλος θα πρέπει να μελετηθούν ενδεχόμενες περιβαλλοντικές απειλές όπως μπορεί για παράδειγμα να είναι η διαταραχή του στρώματος του όζοντος στην περιοχή της στρατόσφαιρας.

## **10.2 Σχεδιασμός - Κατασκευή των Ψευδορυφόρων**

Ένας σημαντικός τομέας που θα πρέπει να εξεταστεί από τις ρυθμιστικές αρχές είναι ο σχεδιασμός (design) των HAPS. Για να εξασφαλιστεί η πτητική καταλληλότητα (airworthiness) των ψευδοδορυφόρων απαιτείται η δημιουργία τεχνικών προδιαγραφών και προϋποθέσεων πιστοποίησης (special conditions). Λόγω των νέων και ασυνήθιστων χαρακτηριστικών σχεδιασμού τους οι ψευδοδορυφόροι δεν καλύπτονται επαρκώς από τις υφιστάμενες προδιαγραφές πιστοποίησης.

## **10.3 Εκπαίδευση και αξιολόγηση προσωπικού**

Πέρα από την νομοθετικό πλαίσιο που επικεντρώνεται στις προδιαγραφές σχεδίασης και αξιοπιστίας των ψευδοδορυφόρων προβληματισμός επικρατεί και για θέματα που άπτονται της κατάρτιση και του τρόπου δανειοδότησης του προσωπικού που θα διαχειρίζεται αυτή τη νέα τεχνολογία. Κρίνεται συνεπώς αναγκαία η δημιουργία ενός νομικού πλαισίου πάνω στο οποίο θα βασιστεί ο σχεδιασμός των προγραμμάτων εκπαίδευσης και αξιολόγησης προκειμένου το προσωπικό να αποκτήσει τις αναγκαίες δεξιότητες για την επιχειρησιακή χρήση των ψευδορυφόρων.

## **10.4 Εγκαταστάσεις**

Εκτός από τον τομέα του προσωπικού είναι αναγκαίο να δημιουργηθεί και ένα αντίστοιχο νομοθετικό πλαίσιο που θα αφορά το ζήτημα των επίγειων υποδομών για την φιλοξενία τη λειτουργία και την συντήρηση των HAPS. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορες πτυχές όπως η τοποθεσία καθώς και η δυνατότητα αντιμετώπισης

προκλήσεων (π.χ. μία πυρκαγιά) που μπορεί να προκύψουν ώστε να διασφαλιστεί η ομαλή και ασφαλής λειτουργία των επιχειρήσεων.

Είναι, συνεπώς, προφανές ότι η ανάπτυξη μιας βιώσιμης και ασφαλούς νέας τεχνολογικής βιομηχανίας απαιτεί ένα ολοκληρωμένο νομοθετικό πλαίσιο. Σε αυτήν την προσπάθεια, κρίσιμο ρόλο θα διαδραματίσει η δημιουργία μιας κοινής πλατφόρμας πλαισίου μεταξύ των συμβαλλομένων φορέων, επιτρέποντας την ανταλλαγή γνώσεων, απόψεων και εμπειριών. Αυτή η διαδικασία θα οδηγήσει στη δημιουργία ενός σαφούς και εύχρηστου νομοθετικού πλαισίου που θα υποστηρίξει την ανάπτυξη του νέου αυτού τομέα.



## **11. Το παρελθόν και το παρόν και το μέλλον των HAPS**

Σε αυτό το ενδέκατο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στο παρελθόν, το παρόν αλλά και στις τάσεις που τείνουν να διαμορφωθούν στο πεδίο των ψευδορυφόρων. Στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος βρίσκονται προγράμματα που διαμόρφωσαν το τοπίο της τεχνολογίας των ψευδορυφόρων κατά τις τελευταίες δεκαετίες, ασκώντας μεγάλη επίδραση στην πρόοδο και την εξέλιξή της. Στη συνέχεια, εξετάζουμε τα τρέχοντα προγράμματα, πολλά από τα οποία βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο και προσεγγίζουν την ολοκλήρωσή τους και την εμπορική εκμετάλλευσή τους. Τέλος, εξετάζουμε τις κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι ψευδορυφόροι, προκειμένου να καθιερωθούν στην παγκόσμια αγορά.

### **11.1 Τα σημαντικότερα προγράμματα HAPS του πρόσφατου παρελθόντος**

Σε μία προσπάθεια να κατανοήσουμε τις προκλήσεις και τις τάσεις που δημιουργούνται στον τομέα των ψευδοδορυφόρων θα ακολουθήσει μία επισκόπηση των πιο σημαντικών προγραμμάτων έρευνας και ανάπτυξης που επιχειρήθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες και αποτέλεσαν ορόσημα στην εξέλιξη των HAPS.

#### **11.1.1 Πρόγραμμα Stationary High Altitude Relay Platform (SHARP) (1980 - 1987)**

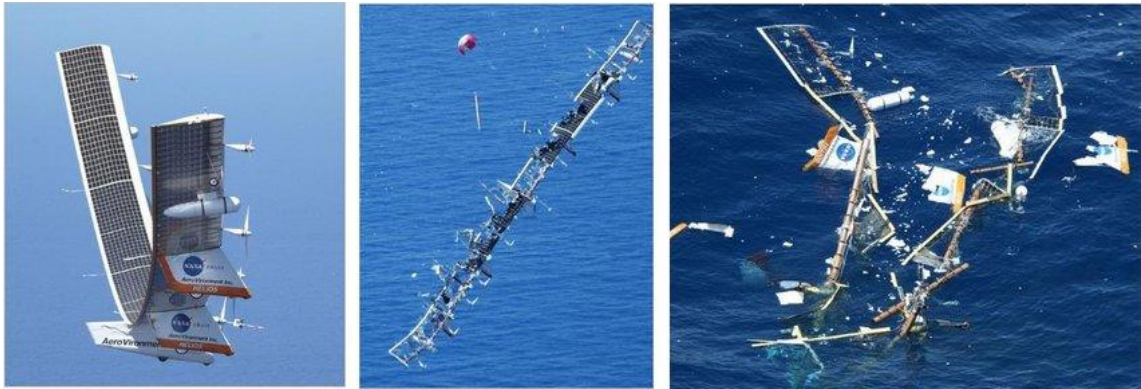
Το Stationary High Altitude Relay Platform (SHARP) αποτέλεσε ένα από τα πιο φιλόδοξα και πρωτοποριακά προγράμματα στην ιστορία της αεροπλοΐας. Πρόκειται για μία πειραματική ιδέα ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους που αναπτύχθηκε από το Communications Research Centre Canada (CRC). Το SHARP χρησιμοποιούσε ως πηγή ενέργειας μία δέσμη μικροκυμάτων που προερχόταν από μία συστοιχία επίγειων κεραιών. Ο βασικός του στόχος ήταν να πετάει στο ύψος της στρατόσφαιρας, παρέχοντας υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών. Το αεροσκάφος πραγματοποίησε δύο επιτυχημένες δοκιμαστικές πτήσεις. Το υψηλό κόστος χρήσης όμως σε συνδυασμό με τον περιορισμένο διαθέσιμο προϋπολογισμό οδήγησε σε τερματισμό του προγράμματος (Jull, 1996)



*Εικόνα 35 Το αεροσκάφος HAPS*

#### 11.1.2 Πρόγραμμα ERAST 1994-2003

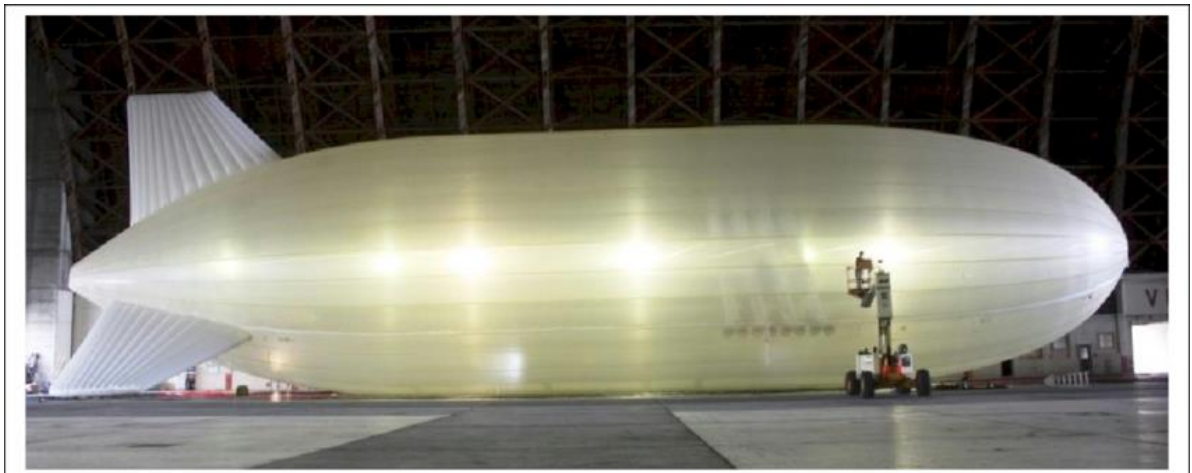
Τα σκαφη Pathfinder, Centurion και Helios αποτέλεσαν μία σειρά ερευνητικών σκαφών που αναπτύχθηκαν από την AeroVironment στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος ERAST (Environmental Research Aircraft and Sensor Technology). Σκοπός του προγράμματος ήταν η έρευνα και η εξέλιξη σκαφών τα οποία με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας θα μπορούσαν να διατηρούνται στη στρατόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Το σκάφος Pathfinder το 1998, κατάφερε να φτάσει στο ύψος των 80.000 ft. Το σκάφος Pathfinder plus το 2002 έγινε ο πρώτος ψευδορυφόρος που κατάφερε να παρέχει υπηρεσίες επικοινωνίας (HDTV signal, high-speed, 3g network, internet connectivity). Το πρόγραμμα ERAST τερματίστηκε μετά την πτώση και την καταστροφή του πρωτότυπου HELIOS το 2003 λόγω αναταράξεων που αντιμετώπισε σε ύψος 853 μέτρων. Η συνεισφορά του προγράμματος ERAST ήταν καθοριστική για την εξέλιξη της τεχνολογίας των ψευδορυφόρων. (NASA, 2020)



*Εικόνα 36 Το HAPS HELIOS στην τελευταία του πτήση*

### 11.1.3 Πρόγραμμα HISENTINEL(1996 - 2012)

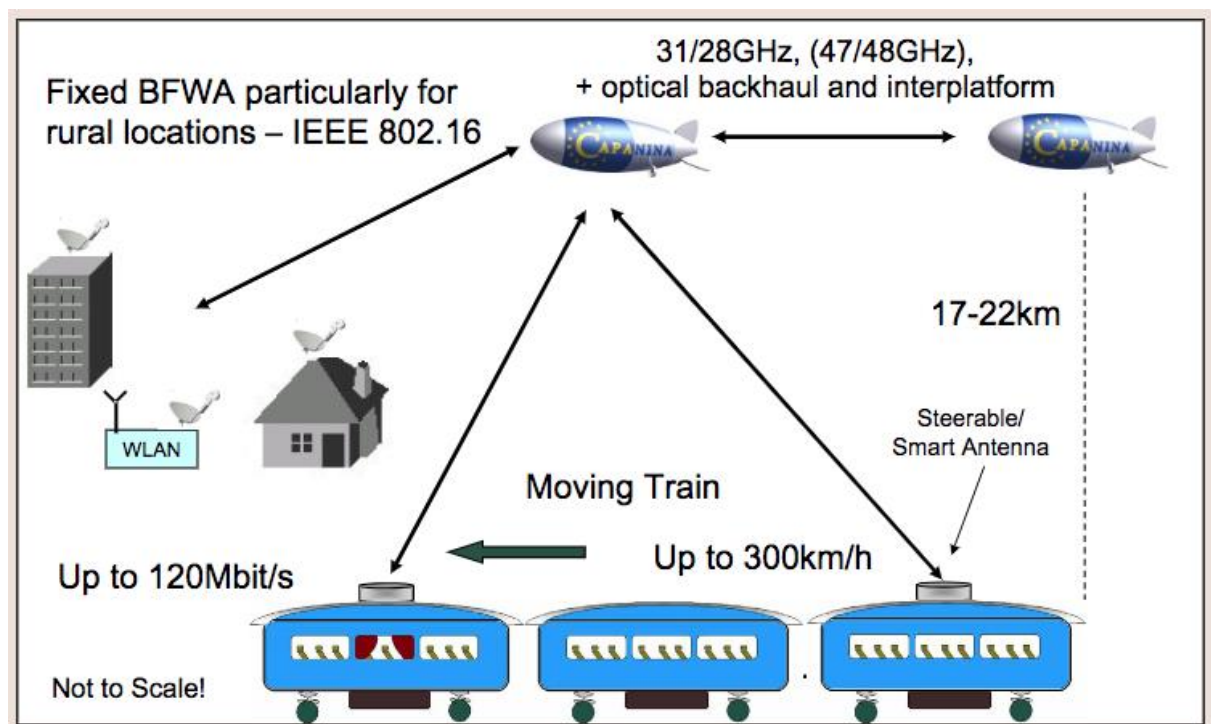
Το Αμερικανικό Υπουργείο Εθνικής Άμυνας προέβη στη χρηματοδότηση και ανάπτυξη του προγράμματος HISENTINEL. Στόχος αυτού του προγράμματος ήταν η διερεύνηση των επιπτώσεων που ενδέχεται να επιφέρουν οι ψευδοδορυφόροι στο περιβάλλον, καθώς και η αξιολόγηση των δυνατοτήτων που μπορούν αυτοί να παρέχουν στο θέατρο επιχειρήσεων. Το πρόγραμμα περιλάμβανε τον σχεδιασμό ενός Air-SHIP, το οποίο σχεδιάστηκε για να διατηρείται σε υψόμετρο άνω των 65.000 ποδιών και να παραμένει περισσότερο από 24 ώρες. Το πρόγραμμα ολοκληρώθηκε με επιτυχία, παρέχοντας σημαντικά δεδομένα που συνέβαλαν στην κατανόηση του μελλοντικού ρόλου των ψευδοδορυφόρων. Η προσπάθεια αυτή στέφθηκε με επιτυχία και ολοκληρώθηκε το 2012. (Ira Steve Smith, 2011)



*Εικόνα 37 Το Hiseintinel επιθεωρείται στο αεροδρόμιο Moffett*

#### 11.1.4 Πρόγραμμα CAPANINA (2003-2006)

Το πρόγραμμα CAPANINA αντιπροσωπεύει ένα πολύ-συλλογικό πρόγραμμα ανάπτυξης ενός ψευδοδορυφόρου που χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο συντονισμός του προγράμματος ανατέθηκε στο Πανεπιστήμιο York του Ηνωμένου Βασιλείου. Κύριος στόχος του προγράμματος ήταν η παροχή υπηρεσιών ευρυζωνικής επικοινωνίας χαμηλού κόστους σε οικιακούς χρήστες. Το CAPANINA κατάφερε να καλύψει μια περιοχή ακτίνας 64 Km παρέχοντας δεδομένα με ταχύτητα 1.25 Gbps. Η διάρκεια του προγράμματος ήταν τριετής και ολοκληρώθηκε το 2006. (Grace, School of Physics, Engineering and Technology, 2008)



Εικόνα 38 Ένα από σενάρια χρήσης του CAPANINA

#### 11.1.5 Πρόγραμμα HALE-D (2008-2011)

Το HALE - D ήταν ένα πρόγραμμα που ανέλαβε να υλοποιήσει η Lockheed Martin για λογαριασμό των αμερικανικών ενόπλων δυνάμεων. Ο κύριος στόχος του ήταν η κατασκευή ενός πρωτοποριακού AirShip που θα είχε τη δυνατότητα να ενσωματώσει το ωφέλιμο φορτίο και πιο συγκεκριμένα ένα ASEA (Active Electronically Scanned Array) Radar εντός του μπαλονιού. Το πρόγραμμα ολοκληρώθηκε με μερική επιτυχία καθώς το αεροσκάφος δεν κατάφερε να υπερβεί τα 32.000 πόδια. Παρείχε όμως σημαντικά δεδομένα και πληροφορίες που

συνέβαλαν στην περαιτέρω εξέλιξη των ψευδοδορυφόρων. (Lobner, DARPA / Lockheed Martin - ISIS stratospheric airship, 2023)



***ISIS airship exploded view showing the location of the ASEA radar within the hull, and the solar photovoltaic array on the top of the hull. Source, both graphics: Lockheed Martin***

*Εικόνα 39 Καλλιτεχνική απεικόνιση του HALE-D*

#### 11.1.6 LOON 2011-2021

Το πρόγραμμα Loon ξεκίνησε ως ένα ερευνητικό πρόγραμμα της Google X το 2011, στη συνέχεια όμως εξελίχθηκε σε εμπορικό πρόγραμμα με στόχο την παροχή επικοινωνιών σε περιοχές όπου δεν υπήρχε πρόσβαση σε κάποιο επίγειο δίκτυο τηλεπικοινωνιών, όπως η Κένυα. Η συνδεσιμότητα αυτή θα επιτυγχάνονταν με τη χρήση στρατοσφαιρικών μπαλονιών τα οποία θα λειτουργούσαν ως πύργοι εναέριων κυψελών. Αν και το κάθε μπαλόνι κατάφερε να παρέχει ικανοποιητική κάλυψη σε μια περιοχή με διάμετρο 80 Km και ταχύτητες επικοινωνίας εφάμιλλες ενός 4G δικτύου, η προσπάθεια αυτή δεν κατάφερε να πείσει τους επενδυτές, οι οποίοι εξέφρασαν ανησυχίες αναφορικά με την αξιοπιστία του προγράμματος. Οι ψευδοδορυφόροι του προγράμματος Loon κατάφεραν να συμπληρώσουν πάνω από



ένα εκατομμύριο ώρες στον αέρα. Το πρόγραμμα παρότι δεν αποδείχτηκε εμπορικά βιώσιμο ολοκληρώθηκε το 2021 συγκεντρώνοντας ωστόσο πολύτιμα δεδομένα και έφερε επαναστατικές λύσεις στη διαχείριση και ναυτιλία των LTA - Balloons Μία από τις σημαντικότερες επιτυχίες του προγράμματος Loon ήταν η επίτευξη σταθερής σύνδεσης επικοινωνιών με τη χρήση λέιζερ μεταξύ δύο μπαλονιών που απείχαν μεταξύ τους 62 Ναυτικά μίλια. (Medium, 2019)



*Εικόνα 40 LTAs Balloons του προγράμματος LOON*

### 11.1.7 Πρόγραμμα Aquila (2014 -2018)

Το ερευνητικό πρόγραμμα Aquila ήταν μία προσπάθεια που χρηματοδοτήθηκε από την εταιρεία Facebook. Στόχος του προγράμματος ήταν η δημιουργία ενός ΗΤΑ ψευδοδορυφόρου που θα μπορούσε να παραμείνει σε ύψη μεταξύ 60 και 90 χιλιάδων ποδιών για χρονικό διάστημα 3 μηνών. Στόχος του προγράμματος ήταν η παροχή τηλεπικοινωνιών αρχικά στην υποσαχάρια περιοχή. Το όχημα είχε περίπου το ίδιο άνοιγμα φτερών με ένα Boeing 737 και με βάρος μόλις 400 κιλά, η απαιτούμενη ισχύς για να διατηρηθεί στο επίπεδο πτήσης περιοριζόταν στα μόλις 5000 watts. Το πρόγραμμα επίσημα δεν τερματίστηκε ποτέ. Το 2018 όμως ανακοινώθηκε πως το πρωτότυπο όχημα θα μεταφερόταν στο Victoria And Albert museum. Εντωμεταξύ λίγους μήνες νωρίτερα με ανακοίνωση της η Facebook έκανε γνωστό, ότι η συνέχιση των προσπαθειών εξέλιξης ενός ΗΤΑ ψευδοδορυφόρου θα συνεχιζόταν σε συνεργασία με την Airbus. (Etherington, 2017)



*Εικόνα 41Το ΗΤΑ Aquila της Facebook*

<https://engineering.fb.com/2017/10/26/connectivity/aquila-what-s-next-for-high-altitude-connectivity/>

## 11.2 Το παρόν στον τομέα των HAPS

Μετά την παρουσίαση των σημαντικότερων προγραμμάτων που αποτέλεσαν ορόσημο στην εξέλιξη των ψευδοδορυφόρων, θα επικεντρωθούμε στην παρούσα κατάσταση, παρουσιάζοντας τις σημαντικότερες υπό εξέλιξη προσπάθειες που βρίσκονται σε τελικό στάδιο δοκιμών.

### 11.2.1 Zephyr-s

Το Zephyr-s έκανε τη πρώτη του δημόσια εμφάνιση στο Farnborough Air Show το 2018 και είναι η τελευταία εξέλιξη της οικογένειας Zephyr (προηγήθηκαν τα Zephyr 1 έως 7). Το συγκεκριμένο πρόγραμμα ξεκίνησε το 2001 από την QinetiQ ωστόσο την επιμέλεια και τη μετέπειτα αξιοποίηση του έχει αναλάβει η Airbus. Πρόκειται για ένα HTA - HAPS με άνοιγμα πτερύγων 25 m, βάρους 75 κιλών και μπορεί να παραμείνει στην περιοχή της στρατόσφαιρας για χρονικό διάστημα μέχρι και 100 ημέρες. Η κατασκευή της ατράκτου είναι βασισμένη σε ανθρακονήματα.



*Εικόνα 42 Το Zephyr-s*



Το Zephyr-s τροφοδοτείται ενεργειακά, μέσω μία συστοιχία ηλιακών συλλεκτών της Airbus με την επωνυμία “Epitaxial Lift Off Solar Panels” η οποία σύμφωνα με την εταιρεία επιτυγχάνει ένα εντυπωσιακό energy density της τάξεως των 1.000Wh/Kg. Το Zephyr-s μπορεί να φέρει ωφέλιμο φορτίο της τάξεως των 5 κιλών και βασιζόμενο στην πλατφόρμα OPAZ της airbus είναι σε θέση να εκτελεί μία πληθώρα αποστολών γύρω από τους τομείς της αναγνώρισης, της επιτήρησης και των επικοινωνιών. Η Airbus έχει έρθει ήδη σε συμφωνία με σημαντικούς επενδυτές όμως εξακολουθεί να βρίσκεται σε αναζήτηση νέων πηγών εσόδων προκειμένου να προχωρήσει στην περαιτέρω εξέλιξη του προγράμματος. (AIRBUS, 2024)

### 11.2.2 PHASA-35

Το Persistence High Altitude Solar Aircraft γνωστό ως PHASA 35 αποτελεί ένα υπό εξέλιξη project της BAE systems και της Prismatic company. Πρόκειται για ένα HTA ψευδοδορυφόρο η δομή του οποίου είναι βασισμένη στο πρόγραμμα Zephyr. Το PHASA-35 βρίσκεται ακόμη σε στάδιο δοκιμών. Διαθέτει άνοιγμα φτερών 35 μέτρων, έχει διπλάσιο βάρος από αυτό του Zephyr (150 kg), και έχει την ικανότητα να φιλοξενεί ωφέλιμο φορτίο της τάξεως των 15 Kg. Έπειτα από σχεδόν 2 χρόνια ανάπτυξης το PHASA-35 πραγματοποίησε την παρθενική του πτήση στις 17 φεβρουαρίου του 2020. Προορίζεται να εκτελεί ISR (Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance) αποστολές καθώς και να παρέχει υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών. Σε δοκιμαστική πτήση που έλαβε χώρα στις 14 Ιουλίου του 2023 κατάφερε να παραμείνει σε ύψος 66.000 ft για περισσότερο από 24 ώρες ενώ σε συνθήκες εξομοίωσης έχει καταφέρει να παραμείνει σε πτήση 72 ώρες. (Tom Bell, 2024)



Εικόνα 43 Το phasa-35

### 11.2.3 Qimingxing-50, ή “Morning Star”

Το πρόγραμμα Qimingxing-50, ή αλλιώς “Morning Star” αποτελεί ίσως την πιο φιλόδοξη προσπάθεια της Κίνας να εισέλθει στην τεχνολογία των HAPS. Πρόκειται για ένα HTA ψευδοδορυφόρο, που στοχεύει να ενισχύσει τον τομέα άμυνας και επιτήρησης της χώρας. Με άνοιγμα φτερών 50 m, μπορεί να επιχειρεί από το ύψος των 20 περίπου χιλιομέτρων και βασιζόμενο στην ηλιακή ενέργεια μπορεί να παραμείνει στον αέρα για περισσότερο από 30 συναπτές ημέρες. Το πρόγραμμα εξελίσσεται με σκοπό να χρησιμοποιηθεί από τις κινεζικές αρχές και δεν έχουν αποδευμεντεί περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την ικανότητα μεταφοράς φορτίου και του είδους των αποστολών που πρόκειται να εκτελεί. (Airshow China , 2016)



*Εικόνα 44 Το Qimingxing-50*

### 11.2.4 STRATOBUS

Το Stratobus είναι ένα project της “Thales Alenia Space”. Πρόκειται για έναν ψευδοδορυφόρο που εντάσσεται στην πολλά υποσχόμενη κατηγορία των AirShip. Το Stratobus λειτουργεί χρησιμοποιώντας ένα υβριδικό σύστημα διαχείρισης ενέργειας το οποίο χρησιμοποιεί ως κύρια πηγή την ηλιακή ακτινοβολία ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας αντλεί την ενέργειά με τη βοήθεια του υδρογόνου που είναι αποθηκευμένο στις regenerative fuel cells (RFC). Με τον τρόπο αυτό στόχος είναι να μπορεί να παραμένει στον αέρα έως και 12 μήνες. Με μήκος 140 μέτρα, διάμετρο 32 μέτρα και το βάρος του αγγίζει τους 9 τόνους, το Stratobus έχει την ικανότητα να μεταφέρει ωφέλιμο φορτίο της τάξεως των 250 κιλών. Οι δυνητικές εφαρμογές του Stratobus περιλαμβάνουν ISR αποστολές, την παρακολούθηση του

περιβάλλοντος, τις τηλεπικοινωνίες, και την παροχή υπηρεσιών πλοήγησης. Τον Ιανουάριο του 2020 η Thales Alenia Space ήρθε σε συμφωνία με το γραφείο άμυνας και προμηθειών της Γαλλίας προκειμένου να έρθουν σε από κοινού δοκιμές οι οποίες αναμένονται να ξεκινήσουν στα τέλη του 2024. (Lobner, Peter Lobner, 2022)



*Εικόνα 45 To Stratobus*

#### 11.2.5 ApusDuo

Το ApusDuo είναι ένας ψευδοδορυφόρος που αναπτύχθηκε από την εταιρεία UAVOS. Διακρίνεται για τον καινοτόμο σχεδιασμό του και το πρωτοποριακό σύστημα ελέγχου που το καθιστά ικανό να πετάει σε ασταθείς ατμοσφαιρικές συνθήκες αλλάζοντας την κλίση των πτερύγων. Παρά τις σχετικά μικρές διαστάσεις του με άνοιγμα φτερών 15 μέτρων, βάρος 15 κιλά έχει την ικανότητα μεταφοράς ωφέλιμου φορτίο 3.6 κιλών. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή το ApusDuo θα έχει τη δυνατότητα παραμονής στον αέρα για διάστημα έξι μηνών. Λόγω των μικρών του διαστάσεων απαιτεί περιορισμένο επίγειο εξοπλισμό καθιστώντας το ιδιαίτερα λειτουργικό σε σχέση με τον ανταγωνισμό. Το ApusDuo Έχει ολοκληρώσει με επιτυχία έναν κύκλο δοκιμών 1000 ωρών πτήσης στην περιοχή της κεντρικής Ευρώπη. Το επόμενο στάδιο δοκιμών αναμένεται να συνεχιστεί στην Αργεντινή. Το πεδίο που αναμένεται να δραστηριοποιηθεί είναι, οι τηλεπικοινωνίες, η παρατήρηση

της Γης και RF sensing αποστολές όπως είναι για παράδειγμα ο γεωεντοπισμός πομπού. (MIRA AEROSPACE, 2023)

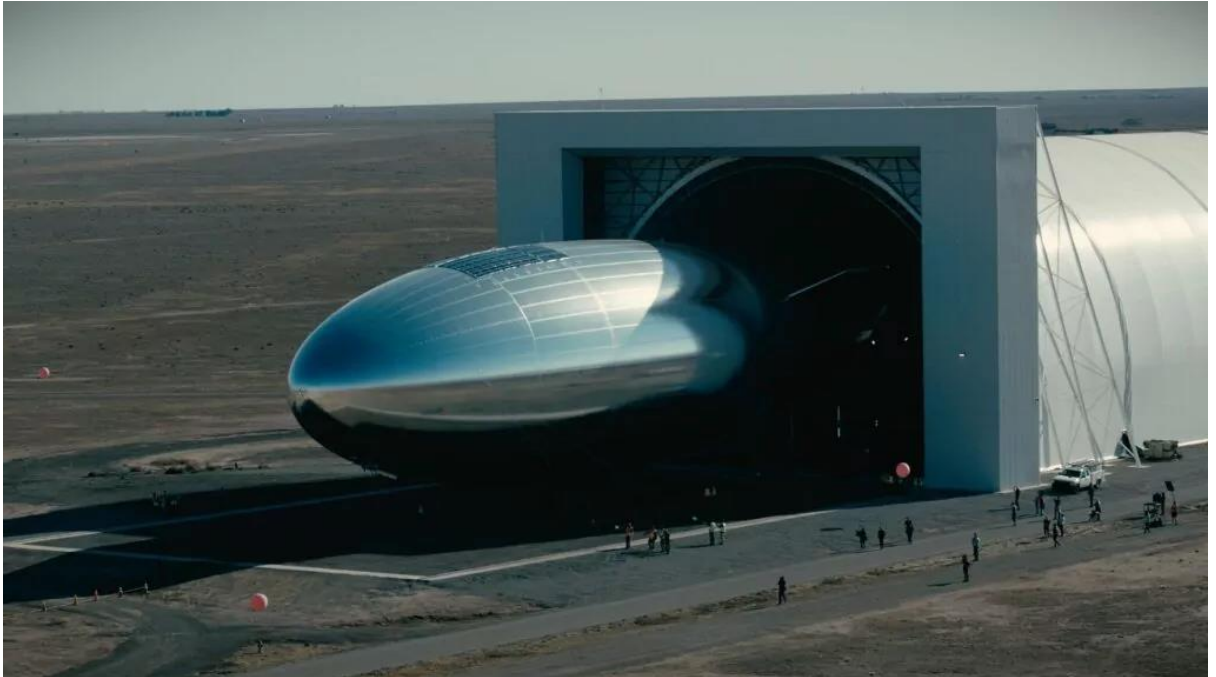


*Εικόνα 46 Το ApusDuo*

#### 11.2.6 Sceye

Ο ψευδοδορυφόρος της εταιρείας Sceye είναι ένα από τα πιο φιλόδοξα και υποσχόμενα προγράμματα. Αν και δεν έχουμε πληροφορίες ως προς τις ακριβείς του δυνατότητες, η εταιρεία έχει επιδείξει μια σειρά επιτυχιών με αποκορύφωμα αυτή του Οκτωβρίου του 2021 όταν με τη χρήση μίας Multiple Input - Multiple Output κεραίας κατάφερε από την περιοχή της στρατόσφαιρας να συνδεθεί απευθείας με συσκευές κινητής τηλεφωνίας από απόσταση 140 Km το οποίο αποτελεί και ρεκόρ για την Open Radio Access Network εποχή. Το Μάρτιο του 2022 η Sceye κατάφερε να πιστοποιήσει ένα νέο αυτόνομο σύστημα πλοήγησης το οποίο αυξάνει την αξιοπιστία του ψευδοδορυφόρου ειδικά κατά τις κρίσιμες φάσεις της αναδίπλωσης

και την ανάκτησης. Η εταιρεία ισχυρίζεται πως η συγκεκριμένη πλατφόρμα έχει την ικανότητα να φέρει το μεγαλύτερο ωφέλιμο φορτίο σε σχέση με τους εμπορικούς ανταγωνιστές της. (Sceye, 2023)



*Εικόνα 47 Το Sceye*

### **11.3 Οι σημαντικότερες προκλήσεις στο οικοσύστημα των HAPS.**

Στην εισαγωγή του κεφαλαίου αναφερθήκαμε σε προηγούμενες προσπάθειες που πραγματοποιήθηκαν στον τομέα των ψευδορορυφόρων. Όπως έγινε αντιληπτό η κύρια αιτία που οδήγησε στον τερματισμό αυτών των προγραμμάτων ήταν οι αξεπέραστες τεχνολογικές προκλήσεις. Σε αυτή την ενότητα θα προσπαθήσουμε να εξετάσουμε αυτές τις προκλήσεις που καλείται να ξεπεράσει ο νεοσύστατος αυτός κλάδος, προκειμένου να καταφέρει να εδραιωθεί και να συνεισφέρει με αξιοπιστία και ασφάλεια σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών.

#### **11.3.1 Ενεργειακές πηγές**

Το μεγαλύτερο ίσως στοίχημα το οποίο καλούνται να αντιμετωπίσουν οι κατασκευαστές στη διαρκή προσπάθεια εξέλιξης των ψευδοδορυφόρων προκειμένου αυτοί να καταστούν βιώσιμοι είναι η διαχείριση του Power Budget, της δυνατότητας δηλαδή ελέγχου και διαχείρισης της παραγωγής και της δαπάνης ενέργειας προκειμένου να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη λειτουργία των ψευδοδορυφόρων στο



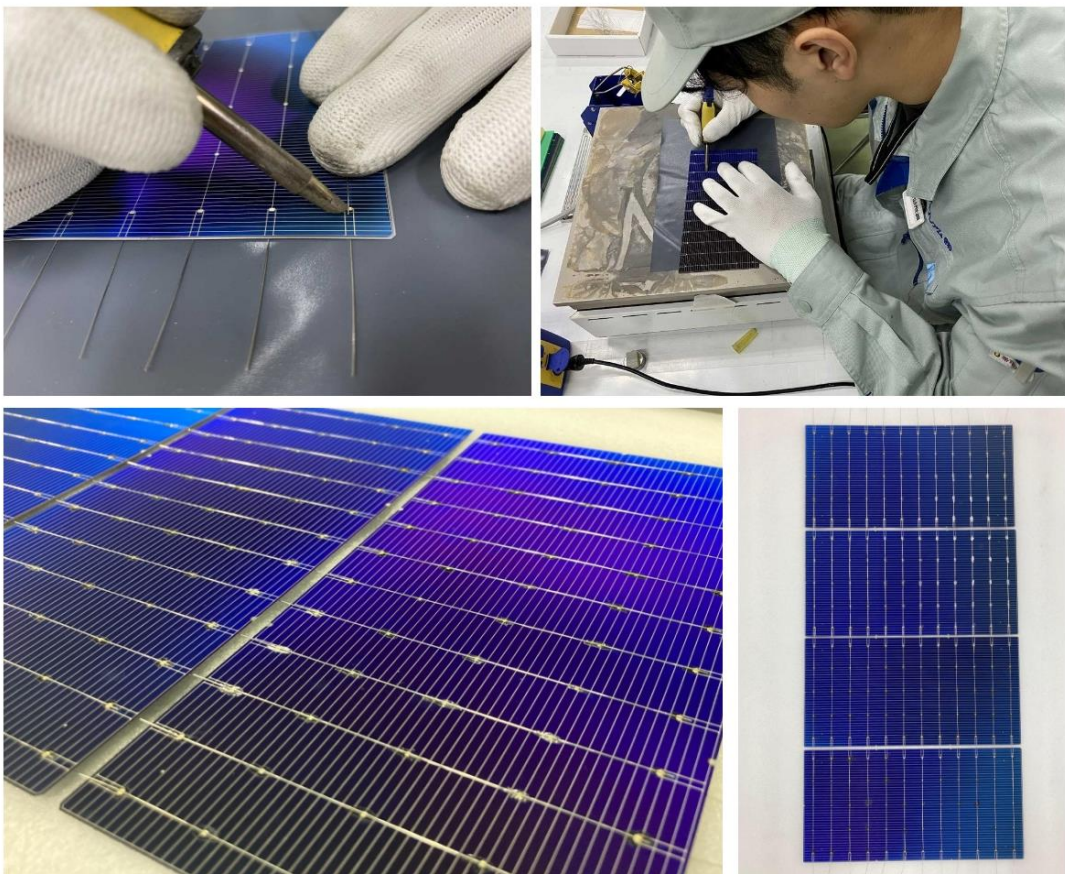
απαιτητικό περιβάλλον της στρατόσφαιρας. Η ηλιακή αποτελεί σήμερα τον πιο δημοφιλή επιλογή πηγής ενέργειας. Οι μεγάλες επιφάνειες των ψευδοδορυφόρων επιτρέπουν την τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών (solar cells) που σε συνδυασμό με την συνεχή ηλιοφάνεια που επικρατεί στο περιβάλλον της στρατόσφαιρας καθιστούν αυτή την επιλογή ιδιαίτερα αποτελεσματική.



*Εικόνα 48 Τοποθέτηση ηλιακών κυψελών στην πτέρυγα του Helios*

Όπως έχει αναλυθεί και σε προηγούμενη ενότητα τα HAPS που χρησιμοποιούν την ηλιακή ως κύρια πηγή ενέργειας για να συνεχίσουν να επιχειρούν κατά τη διάρκεια της νύχτας απαιτείται η ύπαρξη μιας συστοιχίας επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Οι μπαταρίες αυτές πρέπει να διαθέτουν υψηλό energy density (τουλάχιστον 400Wh/Kg) για να μπορέσουν να καλύψουν τις ενεργειακές απαιτήσεις. Η βιομηχανία στην προσπάθειά αυτή επικεντρώνεται στην έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών όπως είναι οι μπαταρίες lithium – Sulphur ή την ανάπτυξη μπαταριών που δεν περιέχουν καλωδίωση αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την ενεργειακή τους πυκνότητα. Στις αρχές του 2023 μία νέα γενιά μπαταριών (Lithium - Metal) ξεκίνησε δοκιμές επιτυγχάνοντας energy density της τάξεως των 439 Wh/Kg. Παρ' όλα αυτά θα χρειαστούν αρκετοί ακόμη κύκλοι δοκιμών προκειμένου αυτή η τεχνολογία μπαταριών να πιστοποιηθεί στο πεδίο των ψευδοδορυφόρων. Σημαντική συνεισφορά στο πεδίο εξέλιξης των μπαταριών αναμένεται να προσφέρει και ο κλάδος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που τα τελευταία χρόνια κερδίζει ολοένα και μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς. (SAMPSON, 2023)

Εκτός από τον τομέα των μπαταριών αντίστοιχες προσπάθειες εξέλιξης πραγματοποιούνται και στον τομέα των ηλιακών συλλεκτών. Τα τυπικά ηλιακά πάνελ που χρησιμοποιούνται σε καθημερινές εφαρμογές ζυγίζουν από 11 έως 17 kg/m<sup>2</sup>. Για πολύ συγκεκριμένες εφαρμογές όπως για παράδειγμα οι αγώνες ηλιακών αυτοκινήτων οι κατασκευαστές έχουν καταφέρει να περιορίσουν το βάρος των ηλιακών πάνελ σε 800 με 1000 g/m<sup>2</sup>. Στόχος των κατασκευαστών είναι τα επόμενα χρόνια να μειωθεί το βάρος των μπαταριών στο μισό (300 με 600 g/m<sup>2</sup>). (SoftBank R&D, 2023)



*Εικόνα 49 Διαδικασία σύνδεσης solar cells με τη χρήση πολύ λεπτών καλωδιώσεων*

### 11.3.2 Μείωση του βάρους - αύξηση της δομικής αντοχής

Ο δεύτερος σημαντικότερος παράγοντας για τον έλεγχο του Power Budget είναι άμεσα συνυφασμένος με τη διαχείριση του βάρους. Η διαδικασία της σχεδίασης και ανάπτυξης ενός ψευδοδορυφόρου είναι μια απαιτητική διαδικασία καθώς πρέπει να

πληρούνται κάποια θεμελιώδη χαρακτηριστικά. Όπως έχει ήδη γίνει κατανοητό τα HAPS και ιδιαίτερα τα HTAs προκειμένου να επιτύχουν τις καλλιστες αεροδυναμικές επιδόσεις χρησιμοποιούν ιδιαίτερα λεπτές και μακριές πτέρυγες καθιστώντας τα ευάλωτα στις περιβαλλοντικές συνθήκες που καλούνται να αντιμετωπίσουν ειδικά στην περιοχή της τροπόσφαιρας από την οποία πρέπει να διέλθουν τόσο κατά την αναχώρησή τους, όσο και κατά την επιστροφή τους στο έδαφος. Για να επιτύχουν τα απαιτούμενα επίπεδα αντοχής και να διατηρηθεί παράλληλα το βάρος τους σε χαμηλά επίπεδα οι ψευδορορυφόροι ανάλογα με το είδος τους χρησιμοποιούν και τα ανάλογα υλικά. Τα HATs χρησιμοποιούν σύνθετα υλικά όπως είναι το ανθρακόνημα, τα αερόστατα χρησιμοποιούν πλαστικό πολυαιθυλενίου ενώ τα airships ένα πολυστρωματικό υλικό με ενισχυμένο στρώμα ινών. (Candida Spillard, 2022) Οι προσπάθειες της βιομηχανίας για ανθεκτικά και ελαφριά υλικά συνεχίζεται. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η εταιρεία Sceye η οποία ανέπτυξε το Sceye Skin. Πρόκειται για ένα ύφασμα 5 φορές πιο ανθεκτικό από τα παραδοσιακά και χρησιμοποιείται για την κατασκευή των μπαλονιών (envelopes). Ταυτόχρονα το νέο αυτό υλικό υπόσχεται προστασία από την υπερϊώδη ακτινοβολία και πολύ μικρότερη διαπερατότητα εξασφαλίζοντας μειωμένη ποσότητα διαφυγής του αερίου που περιέχει. (Sceye, 2023)

### 11.3.3 Απαιτήσεις επίγειων υποδομών - Stratoports

Οι ψευδορορυφόροι λόγω των ιδιαίτερων δομικών χαρακτηριστικών τους διαθέτουν μειωμένη ευελιξία σε σχέση με τα υπόλοιπα αεροσκάφη καθιστώντας τις φάσεις της απογείωσης και της προσγείωσης αρκετά απαιτητικές. Επιπρόσθετα λόγω του μεγάλου τους όγκου και του χαμηλού βάρους είναι αρκετά ευάλωτοι και στις περιβαλλοντολογικές συνθήκες που επικρατούν στο έδαφος. Οι παραπάνω προβληματισμοί οδήγησαν στη δημιουργία του όρου “stratosport” Πρόκειται για τη δημιουργία εγκαταστάσεων και υποδομών προκειμένου οι ψευδορορυφόροι να μπορούν να φιλοξενηθούν, να συντηρηθούν και να επιχειρούν από εκεί με ασφάλεια. Οι εγκαταστάσεις αυτές θα πρέπει ιδανικά να βρίσκονται μακριά από μεγάλα αεροδρόμια και πυκνοκατοικημένες περιοχές. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το Stratoport που κατασκευάζεται στην περιοχή των Καναρίων Νήσων. Αυτό περιλαμβάνει την ύπαρξη διαδρόμου μήκους 900 μέτρων και μία κυκλική επιφάνεια



ακτίνας 500 μέτρων η οποία θα επιτρέπει στα HAPS να προσεγγίζουν και να αναχωρούν προς κάθε κατεύθυνση. (sUAS News, 2023)



*Εικόνα 50 Κατασκευή Statoport στους Κανάριους Νήσους*

Κάποιες από τις βασικές δυνατότητες που πρέπει να ενσωματώνουν τα stratoports είναι:

- Ύπαρξη σταθμού ελέγχου και επικοινωνιών μέσω του οποίου θα εξασφαλίζεται η καθοδήγηση και ο έλεγχος του ψευδορυφόρου.
- Σύστημα παρακολούθησης καιρού προκειμένου να υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα σε σχέση με τις υπάρχουσες περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Η ύπαρξη δυνατότητας άμεσης επέμβασης σε περίπτωση ατυχήματος ή έκτακτης ανάγκης όπως για παράδειγμα η δυνατότητα πυρόσβεσης.

Θα πρέπει να σημειωθεί πως οι γενικές απαιτήσεις και προδιαγραφές μπορεί να διαφοροποιηθούν σημαντικά ανάλογα με το είδος της πλατφόρμας, και της αποστολής.

#### 11.3.4 Περιβαλλοντικές προκλήσεις

Οι ψευδορυφόροι πέρα από τις δομικές και τις ενεργειακές προκλήσεις, καλούνται να επιχειρούν σε ένα αφιλόξενο περιβαντολογικά περιβάλλον. Ένα από τα προβλήματα που καλούνται να διαχειριστούν είναι οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις οι οποίες παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια ενός 24 ώρου και έχουν άμεσο αντίκτυπο τόσο στη συμπεριφορά του ανυψωτικού αερίου, όσο και στην απόδοση των μπαταριών. Για να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις οι κατασκευαστές καλούνται να ενσωματώσουν μονωτικά υλικά ή κατάλληλες συσκευές προκειμένου να εξισορροπούν αυτές τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Ένα άλλο σημαντικό θέμα το οποίο πρέπει να αντιμετωπιστεί, είναι η έλλειψη αξιόπιστων μοντέλων πρόβλεψης του στρατοσφαιρικού καιρού. Το γεγονός αυτό επιβαρύνει σημαντικά την αυτονομία των HAPS καθώς η μη αποδοτική εκμετάλλευση των ρευμάτων αέρα απαιτεί τη δαπάνη επιπλέον ενέργειας προκειμένου οι ψευδορυφόροι να μπορούν να κινούνται σταθερά στην περιοχή ενδιαφέροντος.

#### 11.3.5 Κοινό Νομοθετικό Πλαίσιο

Όπως επισημάνθηκε και στο δέκατο κεφάλαιο, την παρούσα χρονική στιγμή δεν υφίσταται κάποιο ολοκληρωμένο κανονιστικό πλαίσιο που να ρυθμίζει μία σειρά σημαντικών ζητημάτων όπως είναι οι προδιαγραφές των εγκαταστάσεων, η εκπαίδευση και αδειοδότηση του προσωπικού, η κατανομή συχνοτήτων και άλλων ζητημάτων τα οποία αναμένεται να επηρεάσουν την ανάπτυξη της βιομηχανίας των ψευδορυφόρων. Για να αντιμετωπιστεί το υφιστάμενο νομοθετικό κενό, δημιουργήθηκε η HAPS Alliance. Πρόκειται για μία σύμπραξη των μεγαλύτερων εταιρειών που δραστηριοποιούνται σε θέματα τηλεπικοινωνιών, αεροναυπηγικής και αεροδιαστημικής και έχει ως κύριο στόχο τη δημιουργία κοινών κανονιστικών πλαισίων προκειμένου να καταστεί δυνατή η οικοδόμηση ενός ασφαλούς και αμερόληπτου οικοσυστήματος ανάπτυξης αυτής της νέας τεχνολογίας. (HAPS ALLIANCE, n.d.)

### 11.3.6 Ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών

Η βιωσιμότητα του τομέα των ψευδορορυφόρων είναι άμεσα συνυφασμένη με την αξιοπιστία των παρεχόμενων υπηρεσιών. Πόσο γρήγορη μπορεί να είναι η αποκατάσταση μιας βλάβης και σε τι βαθμό θα επηρεαστούν οι παρεχόμενες υπηρεσίες σε ένα δίκτυο τηλεπικοινωνιών κατά πόσο θα έχει αντίκτυπο στην ποιότητα παροχής υπηρεσιών μία ημέρα με διαταραγμένες ατμοσφαιρικές συνθήκες; Αυτά είναι μόνο μερικά από τα ερωτήματα τα οποία χρήζουν περαιτέρω μελέτης. Οι παραπάνω προβληματισμοί σε συνδυασμό με τις τελευταίες εξελίξεις στον διαστημικό χώρο (starlink) αναμένεται να δημιουργήσουν ένα άκρως ανταγωνιστικό περιβάλλον στον τομέα των επικοινωνιών.

## **12. Η Στρατηγική σημασία της τεχνολογίας HAPS για τη χώρα μας**

Σε αυτό το κεφάλαιο, μέσω παρουσίασης κάποιων ρεαλιστικών σεναρίων που αφορούν τα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες της χώρας μας, θα γίνει μια προσπάθεια να αποτυπωθούν τα στρατηγικά πλεονεκτήματα που θα μπορούσε να επιφέρει η χρήση των ψευδορορυφόρων σε σύγκριση με τις υφιστάμενες δομές και υπηρεσίες.

### **12.1 Επιτήρηση Συνόρων**

Η Ελλάδα διαθέτει μία τεράστια ακτογραμμή. Η επιτήρηση των θαλάσσιων συνόρων αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα για την διασφάλιση της εθνικής κυριαρχίας. Την αποστολή αυτή, έχει επωμιστεί πρωτίστως το Λιμενικό Σώμα. Τα τελευταία χρόνια η Ελλάδα βρίσκεται αντιμέτωπη με μία δυσάρεστη πραγματικότητα. Σχεδόν σε καθημερινή βάση μεγάλος αριθμός μεταναστών επιχειρεί να εισέλθει παράνομα στη χώρα μέσω των θαλασσίων οδών. Για το σκοπό αυτό η Ε.Ε. και η frontex ενισχύει σημαντικά με υλικοτεχνικό και ανθρώπινο δυναμικό την προσπάθεια επιτήρησης των θαλάσσιων συνόρων της χώρας μας. Η χρήση ψευδορορυφόρων θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά στην προσπάθεια αυτή. Διαθέτοντας στο οπλοστάσιο τους μία σειρά αισθητηρίων οργάνων όπως είναι οι πολυφασματικές κάμερες και οι (Maritime Moving Target Indicator) θα μπορούσαν να καλύψουν με αποτελεσματικότητα μεγάλες περιοχές κατα μήκος των θαλασσίων συνόρων όλο το 24ωρο εξοικονομώντας πολύτιμους πόρους. Επιπρόσθετα από την προνομιακή θέση της της στρατόσφαιρας θα μπορούν να εντοπίζουν έγκαιρα τους επίδοξους εισβολείς.

### **12.2 Αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών**

Η κλιματική αλλαγή έχει φέρει τη χώρα μας τα τελευταία χρόνια αντιμέτωπη με πρωτόγνωρες προκλήσεις. Κάθε καλοκαίρι οι ακραίες θερμοκρασίες οδηγούν σε εκδήλωση εκατοντάδων εστιών δασικών πυρκαγιών σε όλη την ελληνική επικράτεια. Κάθε καλοκαίρι δαπανώνται τεράστια ποσά σε μία προσπάθεια αντιμετώπισης αυτών των ακραίων καταστάσεων. Οι ψευδορορυφόροι είναι σε θέση να συνεισφέρουν σημαντικά στην πρόληψη τέτοιων καταστάσεων καθώς έχουν να δυνατότητα να καλύπτουν αδιάλειπτα καθ όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού

τεράστιες δασικές εκτάσεις και να εντοπίζουν έγκαιρα εστίες φωτιάς πριν αυτές λάβουν ανεξέλεγκτες διαστάσεις. Επίσης με τη δυνατότητα παροχής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο συνεισφέρουν σημαντικά στον έγκαιρη και αποτελεσματική διαχείριση των δυνάμεων πυρόσβεσης.

### **12.3 Αποστολές Έρευνας - Διάσωσης**

Ένας ακόμη ευαίσθητος τομέας για τη χώρα μας που απορρέει από το διεθνές δίκαιο είναι η αποτελεσματική παροχή υπηρεσιών έρευνας και διάσωσης εντός του FIR. Οι ψευδορουφόροι έχοντας τη δυνατότητα να βρίσκονται μόνιμα στον αέρα και να παρακολουθούν συνεχώς μία περιοχή είναι σε θέση να παρέχουν άμεσα τις υπηρεσίες τους σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Πέρα από τον οπτικό εξοπλισμό, οι ψευδορουφόροι είναι εξοπλισμένοι με μια σειρά διαφορετικών αισθητήρων όπως συστήματα Radar και θερμικής απεικόνισης τα οποία μπορούν να συνεισφέρουν στον εντοπισμό και την παρακολούθηση ατόμων ή αντικειμένων ενισχύοντας σημαντικά το έργο των επίγειων και των υπόλοιπων εναέριων δυνάμεων.

### **12.4 Παροχή Υπηρεσιών ISR & Remote Sensing**

Η έλλειψη ουσιαστικής παρουσίας της Ελλάδας στο διαστημικό περιβάλλον είναι ένας παράγοντας που αξίζει να ληφθεί υπόψη. Παρά τη σημαντική γεωγραφική της θέση η χώρα μας στερείται αυτονομίας στον τομέα των διαστημικών επιχειρήσεων. Η υφιστάμενη δραστηριότητα βασίζεται κυρίως στην μίσθωση υπηρεσιών από ιδιωτικές εταιρείες, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται ένα σημαντικό έλλειμμα σε συγκεκριμένους τομείς, και ιδιαίτερα στον τομέα της τηλεπισκόπησης. Η έλλειψη πρόσβασης σε δορυφορικές υπηρεσίες μειώνει τη δυνατότητα της χώρας να παρακολουθεί επαρκώς τις εξελίξεις σε τομείς όπως η παρακολούθηση της επιφάνειας της γης, η διαχείριση κρίσεων και η ασφάλεια των συνόρων. Επομένως, είναι αναγκαίο να εξεταστούν διάφορες επιλογές για την αντιμετώπιση αυτής της έλλειψης, μεταξύ των οποίων είναι και η συμμετοχή της χώρας σε προγράμματα ανάπτυξης ψευδορουφόρων.

### 13. Σύνοψη των Κυριότερων Ευρημάτων

Στο δέκατο τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο θα προσπαθήσουμε να συνοψίσουμε τα σημαντικότερα σημεία αυτής της εργασίας προκειμένου να αποκτήσουμε μία ολοκληρωμένη εικόνα για το οικοσύστημα των HAPS.

Λίγο πάνω από την επιφάνεια της Γης και κάτω από τα επίσημα όρια του διαστημικού χώρου εντοπίζεται μια αναξιοποίητη περιοχή με τεράστιες δυνατότητες. Τις τελευταίες δεκαετίες ο συνδυασμός της προόδου σε διάφορους τεχνολογικούς κλάδους όπως ο τομέας της τεχνολογίας υλικών, της διαχείρισης ενέργειας, των επικοινωνιών καθώς και του νέου σχετικά κλάδου των Μη Επανδρωμένων Συστημάτων κατάφερε να κάνει πραγματικότητα, κάτι που λίγα χρόνια πριν έμοιαζε αδύνατο.

Οι ψευδορορυφόροι είναι προηγμένα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα που ίπτανται σε υψόμετρο που κυμαίνεται μεταξύ 18 και 25 χιλιομέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Με τη βοήθεια εξελιγμένων συστημάτων ελέγχου πτήσης και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν την ικανότητα να παραμένουν στον αέρα για αρκετές εβδομάδες ή και μήνες. Μπορούν να φέρουν μία ποικιλία αισθητήρων καλύπτοντας ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών που εστιάζεται κυρίως στους τομείς των, σε Remote Sensing εφαρμογες στον τομέα των επικοινωνιών.

Η ιδέα για την κατασκευή μιας πλατφόρμας η οποία θα μπορεί να πετά σε ύψη μεγαλύτερα των 20 χιλιομέτρων και να συλλέγει πληροφορίες εντοπίζεται στα τέλη του 19ου αιώνα. Παρά τις πολλές επιτυχημένες προσπάθειες η δυνατότητα παραμονής σε αυτά τα ύψη δεν ξεπερνούσε τις μερικές ώρες. Η πρώτες ουσιαστικές προσπάθειες για την ανάπτυξη ενός αεροσκάφους που θα έχει τη δυνατότητα ημιμόνιμης παραμονής στην περιοχή της στρατόσφαιρας εντοπίζονται στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Δεκάδες ερευνητικά προγράμματα σε Αμερική, Ευρώπη Ιαπωνία και Νότια Κορέα προσπάθησαν να διερευνήσουν τις δυνατότητες των ψευδορορυφόρων στα πεδία των τηλεπικοινωνιών καθώς και σε εφαρμογές τηλεπισκόπησης.

Οι ψευδορορυφόροι διαιρούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες στα balloons, Στα Airships και στα airplanes. Τα Balloons είναι δοκιμασμένες λύσεις έχουν ήδη πιστοποιηθεί και είναι έτοιμα να παρέξουν τις υπηρεσίες τους. Τα airplanes

βρίσκονται στο τελικό στάδιο ανάπτυξης και αναμένονται με ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς διαθέτουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά πτήσης και πλοήγησης σε σχέση με τα balloons. Τέλος τα airships είναι πιο πολύπλοκες κατασκευές. Τα πρώτα εξ αυτών αναμένεται να λάβουν την τελική πιστοποίηση για εμπορικές εφαρμογές στα τέλη του 2025.

Μεγαλύτερο εμπόδιο προκειμένου να γίνει εφικτή η συνεπής παρουσία των ψευδοδορυφόρων στη στρατόσφαιρα, στάθηκε το κομμάτι της διαχείρισης ενέργειας. Έπειτα από πολυετής δοκιμές και πειραματισμούς διαφαίνεται ότι η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί μονόδρομο για την επίτευξη μακροχρόνιας παραμονής στο στρατοσφαιρικό περιβάλλον. Η χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας ως κύρια πηγή ενέργειας σε συνδυασμό με τη χρήση μπαταριών ή εναλλακτικά τη χρήση κυψελών υδρογόνου ως υποστηρικτική πηγή ενέργειας, αποτελούν την επιλογή όλων των υπό εξέλιξη προγραμμάτων ανάπτυξης.

Οι ψευδοδορυφόροι διαθέτουν στο οπλοστάσιό τους μία σειρά από παθητικούς και ενεργητικούς αισθητήρες όπως είναι οι πολυφασματικές και ηλεκτροπτικές κάμερες, IR αισθητήρες, διάφορα είδη RADAR, όπως το Lidar και το DIRT, αισθητήρες που μελετούν την ατμόσφαιρα, πομποδέκτες που επιτρέπουν την ασύρματη ζεύξη κ.α.. Με τη βοήθεια αυτού του εξοπλισμού μπορούν να συνεισφέρουν αποτελεσματικά σε στρατιωτικές και σε πολιτικές εφαρμογές. Μερικές από τις πιο δημοφιλείς είναι η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, η παρατήρηση της Γης, η παροχή υπηρεσιών επιτήρησης και η παροχή επικοινωνιών σε δυσπρόσιτες περιοχές.

Η σύγκριση των ψευδοδορυφόρων με τα UAS και τα δορυφορικά συστήματα σε τομείς όπως το κόστος χρήσης, η τεχνολογική ωριμότητα αλλά και η επιχειρησιακή ικανότητα έδωσε σημαντικές πληροφορίες ως προς το επίπεδο βιωσιμότητας που μπορεί να επιδείξει αυτή η νέα τεχνολογία. Πιο συγκεκριμένα οι ψευδοδορυφόροι φαίνεται να υπερέχουν σε σχέση με τις ανταγωνιστικές τεχνολογίες σε τομείς όπως τη δυνατότητα να φιλοξενούν ευρεία γκάμα ωφέλιμου φορτίου αλλά και τη δυνατότητα να παραμένουν πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος για παρατεταμένα χρονικά διαστήματα. Το επιχειρησιακό κόστος λειτουργίας τους είναι υψηλότερο σε σχέση με τα UAS αλλά παραμένει σημαντικά χαμηλότερο σε σχέση με τους δορυφόρους. Τέλος οι τομείς στους οποίους οι ψευδοδορυφόροι υστερούν σε σχέση

με τον ανταγωνισμό είναι το ανεπαρκές νομοθετικό πλαίσιο που περιβάλλει την ανάπτυξη και την ασφαλή λειτουργία των ψευδοδορυφόρων. Το γεγονός επίσης πως βρίσκονται ακόμη σε πρώιμο στάδιο τεχνολογικής ωριμότητας σε σχέση με τις υπόλοιπες πλατφόρμες που έχουν αποδείξει την αξία τους εγείρει ερωτηματικά ως προς την αξιοπιστία των παρεχομένων υπηρεσιών.

Στη συνέχεια της εργασίας εξετάστηκε η επιρροή που αναμένεται να ασκήσει στην παγκόσμια αγορά η έλευση της τεχνολογίας των ψευδοδορυφόρων. Η πανδημία σε συνδυασμό με την αποτυχία των πρωτοπόρου εμπορικού προγράμματος Loon δημιούργησαν αμφιβολίες στον επενδυτικό κόσμο και επιβράδυναν σημαντικά την ανάπτυξη της νέας στρατοσφαιρικής τεχνολογίας. Η εξέλιξη όμως σε επιμέρους τομείς όπως ο κλάδος της ενέργειας και η υιοθέτηση νέων μεθόδων πλοήγησης, σε συνδυασμό με τον ερχομό των HTAs και σε δεύτερο χρόνο των Airships, αναζωπύρωσε το ενδιαφέρον. Έτσι μέχρι το τέλος της δεκαετίας η βιομηχανία των HAPS αναμένεται να αναπτυχθεί ραγδαία με τα κέρδη για τους κατασκευαστές και τους παρόχους υπηρεσιών να αγγίζουν τα 4 δισεκατομμύρια δολάρια. Το σημαντικότερο μερίδιο της αγοράς αναμένεται να προσελκύσουν τα HTAs ενώ πρωτοπόρος οικονομικά δύναμη στον τομέα των HAPS αναδεικνύεται η βόρεια Αμερική η οποία αναμένεται να εισπράξει το 48% των συνολικών κερδών.

Η επισκόπηση γύρω από τα σημαντικότερα υπό εξέλιξη προγράμματα ανάπτυξης ψευδοδορυφόρων αποτέλεσε σημαντική πηγή πληροφοριών και βοήθησε σημαντικά στη κατανόηση της τρέχουσας κατάστασης στον τομέα της στρατοσφαιρικής τεχνολογίας. Όπως διαπιστώθηκε τα περισσότερα προγράμματα βρίσκονται στην τελική φάση δοκιμών. Εξαιρετική αποτελούν τα Airships τα οποία θα χρειαστούν περισσότερο χρόνο μέχρι να επιτευχθεί η πιστοποίηση της χρήσης τους. Εντύπωση προκαλεί η τεχνολογική ετοιμότητα στα θέματα των αισθητήρων τόσο για τις εξαιρετικές επιδόσεις που επιτυγχάνουν όσο και για το γεγονός πως στο σύνολο τους σχεδόν έχουν αναπτυχθεί με “εξατομικευμένα” χαρακτηριστικά ώστε να παρουσιάζουν υψηλή συμβατότητα και με την εκάστοτε πλατφόρμα.

Τέλος εξετάζοντας τα ιδιαίτερα γεωγραφικά αλλά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας, έγινε μια προσπάθεια να εξεταστεί αν και κατά πόσο οι ψευδοδορυφόροι θα μπορούσαν να έχουν μία θέση στο ελληνικό “θέατρο



επιχειρήσεων”. Η χώρα μας τυγχάνει να βρίσκεται σε ένα ευαίσθητο γεωπολιτικό περιβάλλον και έρχεται αντιμέτωπη καθημερινά με προκλήσεις και απειλές τόσο κατά μήκος, όσο και εντός των συνόρων της. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη μηδενική σχεδόν παρουσία της χώρας τόσο στην περιοχή του διαστήματος, όσο και στον τομέα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών θα καθιστούσε τους ψευδοδορυφόρους πολύτιμους συμμάχους σε μία σειρά ευαίσθητων εφαρμογών όπως η επιτήρηση συνόρων, η αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών και στην έρευνα και διάσωση σε στεριά και θάλασσα.

## **Επίλογος**

Έπειτα από προσπάθειες δεκαετιών φαίνεται πως έφτασε το πλήρωμα του χρόνου οι ψευδοδορυφόροι να πάρουν τη θέση τους στην περιοχή της στρατόσφαιρας. Πρόκειται για μία υποσχόμενη τεχνολογία που αναμένεται να αναβαθμίσει τομείς που μέχρι στιγμής καλύπτονται κυρίως από δορυφορικά συστήματα. Μένει βέβαια όλα αυτά να επιβεβαιωθούν και στην πράξη μιας και πολλά υποσχόμενα προγράμματα στο πρόσφατο παρελθόν δεν κατάφεραν να καταστούν βιώσιμα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με μία σειρά ατυχημάτων δημιουργούν ερωτηματικά ως προς την αξιοπιστία αυτής της τεχνολογίας. Ανησυχία επίσης προκαλεί και η έλλειψη σαφούς νομικού πλαισίου το οποίο θα συμβάλει στην εναρμόνιση των νομικών προτύπων αναπτύσσοντας ένα ασφαλές περιβάλλον για την ανάπτυξη και την χρήση των HAPS. Τέλος αξίζει να αναφερθεί πως η έλευση αυτής της νέας τεχνολογίας, αποτελεί μιας πρώτης τάξεως ευκαιρία για τη χώρα μας να συμμετάσχει - κυρίως μέσω ευρωπαϊκών προγραμμάτων - στην ανάπτυξη και χρήση των ψευδοδορυφόρων. Με τον τρόπο αυτό θα ενισχυθεί ο η τεχνογνωσία και η καινοτομία γύρω από αυτό τον αναδυόμενο κλάδο και παράλληλα θα καλυφθεί σε σημαντικό βαθμό το χαμένο έδαφος τόσο στον χώρο των μη επανδρωμένων αεροσκαφών όσο και στο χώρο του διαστήματος σε σχέση με τις γειτονικές μας χώρες. Παράλληλα η χρήση αυτών των συστημάτων αναμένεται να βοηθήσει σημαντικά στην αντιμετώπιση των κρίσιμων προκλήσεων που αντιμετωπίζει η χώρα σε διάφορους νευραλγικούς τομείς.

## Βιβλιογραφία - Αναφορές

- AIRBUS. (2024). *Zephyr The world's most advanced solar-powered High Altitude Platform Station*. Ανάκτηση από <https://www.airbus.com/en/products-services/defence/uas/uas-solutions/zephyr>
- Airshow China . (2016, Νοέμβριος). *Air Recognition*. Ανάκτηση από [https://www.airrecognition.com/index.php/airshow-china-2016/3069-airshow-china-avic-unveils-morning-star-solar-powered-hale-uav.html?utm\\_content=cmp-true](https://www.airrecognition.com/index.php/airshow-china-2016/3069-airshow-china-avic-unveils-morning-star-solar-powered-hale-uav.html?utm_content=cmp-true)
- Alejandro Arago'n-Zavala, J. L.-R.-P. (2008). *High-Altitude Platforms*. Singapore: WILEY.
- Anthony B. Muccio, T. B. (2003). *Moving Target Indicator (MTI)*. Ανάκτηση από <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA445229.pdf>
- Candida Spillard, D. G. (2022, Ιούνιος -). *Broadband communications from HeliNet high altitude platforms*. Ανάκτηση από [https://www.researchgate.net:https://www.researchgate.net/publication/234191362\\_Broadband\\_communications\\_from\\_HeliNet\\_high\\_altitude\\_platforms](https://www.researchgate.net:https://www.researchgate.net/publication/234191362_Broadband_communications_from_HeliNet_high_altitude_platforms)
- EASA. (2023). *Proposal For a Roadmap on Higher Airspace Operations*. EASA.
- Etherington, D. (2017, Ιούνιος 29). *Techcrunch*. Ανάκτηση από Facebook's Aquila drone completes its second test flight, lands well this time: <https://techcrunch.com/2017/06/29/facebooks-aquila-drone-completes-it-second-testflight-lands-well-this-time/?gucounter=2>
- EUROPEAN DEFENCE FUND. (2021). *defence-industry-space*. Ανάκτηση από EuroHAPS: [https://defence-industry-space.ec.europa.eu/system/files/2022-07/Factsheet\\_EDF21\\_EuroHAPS.pdf](https://defence-industry-space.ec.europa.eu/system/files/2022-07/Factsheet_EDF21_EuroHAPS.pdf)
- Fonton, M. (2009, Μάρτιος 27). <https://web.archive.org>. Ανάκτηση από Clouds, sounding balloons and stratosphere; Teisserenc de Bort: a life in: [https://web.archive.org/web/20090327054609/http://www.meteohistory.org/2004poling\\_preprints/docs/abstracts/fonton\\_abstract.pdf](https://web.archive.org/web/20090327054609/http://www.meteohistory.org/2004poling_preprints/docs/abstracts/fonton_abstract.pdf)
- FRONTEX 2. (2023). *HAPS MARKET REPORT*. Warsaw: FRONTEX.
- FRONTEX. (2023). *HAPS TECHNOLOGICAL ASSESSMENT REPORT*. FRONTEX.
- goebel, g. (2010, Μάρτιος 1). *The NASA ERAST HALE UAV Program*. Ανάκτηση από [https://web.archive.org:https://web.archive.org/web/20120111210137/http://www.vectorsite.net:80/twuav\\_15.html](https://web.archive.org:https://web.archive.org/web/20120111210137/http://www.vectorsite.net:80/twuav_15.html)
- Grace, D. (2007, Ιανουάριος). *School of Physics, Engineering and Technology*. Ανάκτηση από <https://www.york.ac.uk:https://www.york.ac.uk/physics-engineering-technology/research/communication-technologies/projects/capanina/>
- Grace, D. (2008). *School of Physics, Engineering and Technology*. Ανάκτηση από Communications from Aerial Platform Networks delivering 'Broadband for All': <https://www.york.ac.uk/physics-engineering-technology/research/communication-technologies/projects/capanina/>
- HAPS ALLIANCE. (χ.χ.). *HAPS ALLIANCE - HIGH Altitude PLATFORM STATION*. Ανάκτηση από HAPS ALLIANCE.
- Hogan, B. W. (1960, Απρίλιος 20). *INTERNET ARCHIVE*. Ανάκτηση από <https://archive.org:https://archive.org/details/NavyMedicalNewsletter19600422/page/n29/mode/2up>

- Huntigton, T. (2023, Φεβρουάριος 3). *SPYING WITH BALLOONS? IT'S BEEN DONE BEFORE*. Ανάκτηση από <https://www.historynet.com/>:  
<https://www.historynet.com/balloon-spies/>
- Ira Steve Smith, M. L. (2011, September). *HiSentinel80: Flight of a High Altitude Airship*. Ανάκτηση από Research Gate:  
[https://www.researchgate.net/publication/268574048\\_HiSentinel80\\_Flight\\_of\\_a\\_High\\_Altitude\\_Airship](https://www.researchgate.net/publication/268574048_HiSentinel80_Flight_of_a_High_Altitude_Airship)
- Jet Propulsion Laboratory. (2023). <https://www.jpl.nasa.gov/missions/asthros>. Ανάκτηση από [www.jpl.nasa.gov](http://www.jpl.nasa.gov): <https://www.jpl.nasa.gov/missions/asthros>
- Jose Javier Brey, D. M. (2017, Ιανουάριος). *ResearchGate*. Ανάκτηση από <https://www.researchgate.net/>: [https://www.researchgate.net/figure/Regenerative-fuel-cell-system-schema\\_fig2\\_317119586](https://www.researchgate.net/figure/Regenerative-fuel-cell-system-schema_fig2_317119586)
- Jull, G. (1996). *Stationary High Altitude Relay Platform*. Friends of CRC.
- Lobner, P. (2022). *Peter Lobner*.
- Lobner, P. (2023). *DARPA / Lockheed Martin - ISIS stratospheric airship*.
- Lobner, P. (2024, Ιανουάριος 12). *Sky Station International Inc. – Sky Station HAPS*. Ανάκτηση από <https://lynceans.org/>: <https://lynceans.org/wp-content/uploads/2021/04/Sky-Station-International.pdf>
- Majumdar, A. K. (2022). *Laser*. Σον Ντιέγκο: Springer Nature Switzerland .
- Medium. (2019, ιούλιος 23). Ανάκτηση από Innovations from the Machines Navigating Loon's Balloons: <https://blog.x.company/1-million-hours-of-stratospheric-flight-f7af7ae728ac>
- MIRA AEROSPACE. (2023). *MIRA AEROSPACE*. Ανάκτηση από ApusDuo aircraft: <https://miraerospace.com/>
- Mohorcic, D. G. (2011). *BroadBand Communications Via High Altitude Platforms*. Noida, India: Wiley.
- NASA. (2020). *ERAST Environmental Research Aircraft*. California: National Aeronautics and.
- NASA. (χ.χ.). *Types of Scientific Balloons*. Ανάκτηση από [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov): <https://www.nasa.gov/scientificballoons/types-of-balloons/>
- Peebles, C. (1991). *The Moby Dick Project: Reconnaissance Balloons over Russia*. -: Smithsonian Books.
- Puteh Melor Wesma Salehen's, M. S. (2017, Ιανουάριος). *ResearchGate*. Ανάκτηση από <https://www.researchgate.net/>: [https://www.researchgate.net/figure/Commercial-evolution-of-rechargeable-batteries-to-higher-density-11\\_fig3\\_311777982](https://www.researchgate.net/figure/Commercial-evolution-of-rechargeable-batteries-to-higher-density-11_fig3_311777982)
- Samantha Lavender, A. L. (2023). *Practical Handbook of Remote Sensing*. Boca Raton: CRC Press.
- SAMPSON, B. (2023, Μάρτιος 17). *Aerospace Testing International*. Ανάκτηση από HAPSMobile tests lithium-metal battery in stratosphere: <https://www.aerospacetestinginternational.com/news/drones-air-taxis/hapsmobile-tests-next-generation-lithium-metal-battery-in-stratosphere.html>
- Sceye. (2023). *Introducing Sceye*. Ανάκτηση από Sceye: <https://www.sceye.com/>
- Shashi Kumar, P. S. (2023). *Spaceborne Synthetic Aperture - Techniques and Applications*. Οξφόρδη: CRC Press.

- SoftBank. (2023, Φεβρουάριος 22). *www.softbank.jp*. Ανάκτηση από Toward the Early Realization of Flying Base Stations “HAPS”:  
<https://www.softbank.jp/en/corp/technology/research/story-event/001>
- SoftBank R&D. (2023, Νοέμβριος 1). *Exploring HAPS' Long-Duration Flight from an Energy Perspective*. Ανάκτηση από <https://www.softbank.jp/>:  
<https://www.softbank.jp/en/corp/technology/research/story-event/028/>
- SoftBank R&D. (2023). *The Challenge of Ultra-Lightweight Solar Modules for HAPS*. Ανάκτηση από SoftBank R&D:  
<https://www.softbank.jp/en/corp/technology/research/story-event/030/>
- sUAS News. (2023, Απρίλιος). Ανάκτηση από Canarias Stratoport for HAPS & UAS:  
<https://www.suasnews.com/2023/04/canarias-stratoport-for-haps-uas-a-project-to-provide-operational-airspace-and-support-facilities-for-haps-and-uas/>
- Tom Bell. (2024). *PHASA 35*. Ανάκτηση από [www.baesystems.com](http://www.baesystems.com):  
<https://www.baesystems.com/en/product/phasa-35>
- Verbyla, D. L. (2022). *SATELLITE REMOTE SENSING OF NATURAL RESOURCES*. Λονδίνο: CRC Press.