



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ

ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΙΨΗ
ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΧΑΤΖΗΚΩΣΤΗ

1049808

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΒΑΣΙΛΗΣ ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΒΑΙΟΣ ΛΑΠΠΑΣ, ΚΩΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ, [Ιούνιος/2023]

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΩΝ

GEO	Geostationary Orbit	Γεωστατική Τροχιά
GTO	Geostationary Transfer Orbit	Γεωστατική Τροχιά Μεταφοράς
Km	Kilometer	Χιλιόμετρο
LEO	Low Earth Orbit	Χαμηλή Γήινη Τροχιά
MIN	Minute	Λεπτό
EP	Electric Propulsion	Ηλεκτρικό Προωθητικό
VLEO	Very Low Earth Orbit	Πολύ Χαμηλή Γήινη Τροχιά
SSO	Sun-synchronous Orbit	Ηλιοσύγχρονη Τροχιά

Βιβλιογραφική ανασκόπηση για σχεδιασμό νανο-δορυφόρου που κινείται σε πολύ γήινη τροχιά

Η παρούσα Σπουδαστική Εργασία έχει σκοπό τη μελέτη της βιβλιογραφίας για αποστολές δορυφόρων σε πολύ χαμηλή γήινη τροχιά. Οι συγκεκριμένοι δορυφόροι, βρίσκονται σε υψόμετρο κάτω των 450 χιλιομέτρων και έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλους δορυφόρους οι οποίοι βρίσκονται πιο απομακρυσμένοι από τη Γη, καθώς και ορισμένα μειονεκτήματα. Λόγο του ότι η περιοχή κάτω από 450 χιλιόμετρα είναι η λιγότερο μελετημένη περιοχή στο διάστημα αντιμετωπίζονται δυσκολίες στο προσδιορισμό του ατμοσφαιρικού μοντέλου αφού η ροή των μορίων του αέρα χαρικατιρίζεται ως ελεύθερη μοριακή ροή και δεν μπορεί να περιγράφει με τα μοντέλα εξισώσεων για συνεχή ροή. Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι, το μέγεθος τους αφού είναι μικρότεροι και αποστολές έχουν λιγότερο κόστος. Οι δορυφόροι σε πολύ χαμηλή γήινη τροχιά αντιμετωπίζουν επίσης δυσκολίες όπως η υψηλή οπισθέλκουσα αφού βρίσκονται μέσα στην ατμόσφαιρα της Γης και χρειάζονται συχνές διορθώσεις στην τροχιά τους. Ένα ακόμα μειονέκτημα τους είναι τ ότι φθείρονται περισσότερο λόγω των τριβών το οποίο μειώνει σημαντικά το προσδόκιμο ζωής τους. Βασικοί παράγοντες που θα μελετηθούν μέσα από τη βιβλιογραφία είναι, ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη, αλλά και η χρησιμότητα των συγκεκριμένων δορυφόρων.

Οι δορυφόροι όπως βλέπουμε και από την ιστορική αναδρομή αποτελούν σημαντικό κομμάτι στην ανάπτυξη των διαστημικών τεχνολογιών αλλά και στις επικοινωνίες.

Ο πρώτος δορυφόρος τέθηκε σε τροχιά το 1957 από τη Σοβιετική Ένωση και ονομαζόταν Σπούτνικ 1. Αυτή η πρωτοποριακή αποστολή οδήγησε και τις ΗΠΑ να ακολουθήσουν στον «αγώνα» για κυριαρχία στο χώρο του διαστήματος. Η πρώτη πρακτική χρήση των δορυφόρων ήρθε το 1962 με το πρώτο δορυφόρο που μπορούσε να αναμεταδώσει τηλεοπτικά σήματα πέρα από τον Αντλητικό Ωκεανό. Τα επόμενα χρόνια οι δορυφόροι χρησιμοποιούνταν για τη πρόβλεψη του καιρού, για καθοδήγηση αλλά και διάφορες επιχειρήσεις του στρατού με την πιο σημαντική ανάπτυξη να καταγράφεται το 1978 όταν και τέθηκε σε λειτουργία το Παγκόσμιο Σύστημα Θεσηθεσίας(GPS). Πλέον τον 21^ο αιώνα οι δορυφόροι έχουν γίνει πολύ μικρότεροι κοστίζοντας λιγότερα χρήματα να κατασκευαστούν αλλά και να εκτοξευθούν. Συγκεκριμένα οι δορυφόροι ανάλογα με την χρησιμότητα τους βρίσκονται σε διαφορετικά υψόμετρα αλλά όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω στη συγκεκριμένη εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με αποστολές σε πολύ χαμηλή γήινη τροχιά.

Πάρα πολύ σημαντικό ρόλο σε αυτές τις αποστολές έχουν τα προωθητικά συστήματα των δορυφόρων, για τη διατήρηση τη τροχιάς τα όποια χωρίζονται στα χημικά., τα ηλεκτρικά και τα υβριδικά.

Αρχικά μελετήθηκε η διδακτορική διατριβή του Κύριου Μανούδη για τα ηλεκτρικά προωθητικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σε χαμηλές και πολύ χαμηλές γήινες τροχιές. Βασική προϋπόθεση για την επιλογή του κατάλληλου προωθητικού συστήματος είναι αυτό που μεγιστοποιεί το ωφέλιμο φορτίο, και καλύπτει τα 3 διαφορετικά σενάρια που έχει επιλέξει ο συγγραφέας, επιτρέποντας έτσι μετά την επιλογή τη χρήση του σε οποιαδήποτε αποστολή στο μέλλον. Επιλέγοντας επίσης το κατάλληλο ηλεκτρικό προωθητικό σύστημα θα μειώσει σημαντικά τη χρήση του καυσίμου το οποίο θα καταλάμβανε μεγάλο ποσοστό του ωφέλιμου φορτίου. Κατά την αποστολή το προωθητικό σύστημα θα καλύψει τις ανάγκες όπως τη διατήρηση της τροχιάς του δορυφόρου αλλά και τις διάφορες μανούβρες που θα χρειαστεί να εκτελέσει.

Αφού έχουν επιλεγθεί τα κύρια χαρακτηριστικά γίνεται επιλογή από διαφορετικούς κατασκευαστές με αυτό που θα έχει την μεγαλύτερη απόδοση στην αποστολή.

Στη συνέχεια επιλέχθηκε το πρόγραμμα Discoverer το οποίο στοχεύει στην ανακατασκευή των δορυφόρων παρακολούθησης της Γης. Αυτό θα επιτευχθεί με τη κατασκευή νέων αεροδυναμικών υλικών, με καλύτερο αεροδυναμικό έλεγχο αλλά και με τη κατασκευή ενός νέου προωθητικού συστήματος που θα επιτρέψουν την κατασκευή φθηνότερων και μικρότερων δορυφόρων παρατήρησης της Γης από ότι τα προηγούμενα χρόνια. Στόχος επίσης του προγράμματος είναι να κατανοήσει το συγκεκριμένο περιβάλλον πτήσης του δορυφόρου και αν τα υλικά τα οποία θα κατασκευαστούν μπορούν να μειώσουν την οπισθέλκουσα πάνω στον δορυφόρο.

Το πρώτο κομμάτι της αποστολής είναι η κατασκευή του βασικού σώματος του δορυφόρου που θα είναι σαν ένας μικρός κύβος με πτερύγια εφαρμοσμένα πάνω σε αυτόν για τη δοκιμή των νέων υλικών στο διάστημα, καθώς θα λαμβάνει και μετρήσεις για το ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

Το δεύτερο κομμάτι της αποστολής είναι η κατασκευή του προωθητικού συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί την ιονίζουσα ατμόσφαιρα σαν καύσιμο. Αφού πλέον η χρήση καυσίμου δε θα είναι πρόβλημα για τις αποστολές θα δώσει νέες δυνατότητες στην εξερεύνηση του διαστήματος. Η πρώτη δοκιμή του συγκεκριμένου συστήματος έχει πραγματοποιηθεί το 2020.

Η επόμενη διδακτορική διατριβή η οποία έχει μελετηθεί είναι από το πανεπιστήμιο του Surrey και έχει ως βασικούς της στόχους την κατασκευή ενός ειδικού πανιού το οποίο θα

χρησιμοποιείται μετά το πέρας της αποστολής των δορυφόρων για την επιστροφή τους πίσω στη Γη καταπολεμώντας έτσι το πρόβλημα των διαστημικών σκουπιδιών μειώνοντας τον κίνδυνο αποστολών που θα πραγματοποιηθούν στο μέλλον. Ακόμα βασικός άλλος ένας στόχος της συγκεκριμένης διατριβής είναι η μελέτη τέτοιων μεθόδων μελετώντας τα σε βάθος και εφαρμόζοντας τα σε συγκεκριμένα σενάρια αποστολών.

Όπως και στις προηγούμενες αποστολές βασικό ρόλο έχει ο καθορισμός του περιβάλλοντος όπου βρίσκονται οι δορυφόροι. Βασικές υποθέσεις γίνονται για το πανί για να μπορούν να πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί. Η αποστολή θα έχει δύο διαφορετικά μοντέλα προσέγγισης. Το πρώτο μοντέλο μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για δορυφόρους που βρίσκονται σε χαμηλή γήινη τροχιά ενώ το δεύτερο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε δορυφόρους οι οποίοι βρίσκονται σε υψηλότερες τροχιές. Το τελευταίο κομμάτι έχει να κάνει με την επιλογής το μέγεθος του πανιού αλλά και ο χρόνος επιστροφής του δορυφόρου πίσω στη Γη.

Κλείνοντας την Σπουδαστική εργασία παραθέτω ένα παράδειγμα από την εφαρμογή των δορυφόρων σε χαμηλή γήινη τροχιά με το Σταρλινκ της SpaceX το οποίο αποτελείται από εκατοντάδες μικρούς δορυφόρους οι οποίοι προσφέρουν σύνδεση στο διαδίκτυο ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές. Ο πρώτος δορυφόρος της εταιρίας εκτοξεύθηκε το 2018 προσφέροντας έτσι γρήγορη σύνδεση στο διαδίκτυο με μικρότερες καθυστερήσεις. Το Σταρλινκ αποτελεί μεγάλο βήμα στην ανάπτυξη των συγκεκριμένων δορυφόρων, φέρνοντας επανάσταση στο τρόπο που άνθρωπος μπορεί να συνδεθεί στο διαδίκτυο.

Όπως βλέπουμε από την παραπάνω βιβλιογραφική ανασκόπηση η δορυφόροι σε πολύ χαμηλή γήινη τροχιά μπορεί να φέρουν την επανάσταση στο τρόπο που αντιμετωπίζουμε το διάστημα. Όμως υπάρχουν ακόμα δυσκολίες οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν ούτως ώστε να έχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα .

