

Ηλεκτρικά Αεροσκάφη! Είναι Εφικτό:

<=====>

Στα μέσα του Ιανουαρίου, ακούστηκε η είδηση ότι η Τζέιν Φόντα, 82 ετών πλέον, συνελήφθη από την αστυνομία της Ουάσιγκτον για τρίτη φορά, λόγω υπερβολών στα πλαίσια ακτιβιστικής κίνησης! Ψάχνοντας την είδηση λίγο περισσότερο, βρήκα ότι πράγματι η Τζέιν Φόντα μετακόμισε στην Ουάσιγκτον όπου και παρέμεινε για ένα διάστημα και δημιούργησε την ομάδα "Fire Drill Friday". Την ομάδα αυτή, ομάδα ακτιβισμού κατά της "κλιματικής αλλαγής", ίδρυσε η Φόντα "εμπνεόμενη από την Γκρέτα Τούνμπεργκ" και για έξη συνεχόμενες Παρασκευές, συγκέντρωνε έναν αριθμό ομοϊδεατών της και διοργάνωνε ομιλίες και πορείες προς το Καπιτώλιο. Μερικές από τις εκδηλώσεις ξεπέρασαν κάποια όρια και η ηθοποιός κατέληξε ισάριθμες φορές στο τοπικό κρατητήριο [1].

Θα το θεωρούσα ανούσια σαν είδηση, αλλά εξετάζοντας τις φωτογραφίες των εκδηλώσεων παρατήρησα ότι ορισμένοι από τους διαμαρτυρομένους κρατούσαν κάτι περίεργες για μένα πινακίδες (πλακάτ στα ελληνικά), όπως "STOP THE MAGLEV" και "NO NEW FOSSIL FUELS" ` περίεργες, γιατί δεν φαινόταν να έχουν κάποια λογική συνοχή. Κάποια από αυτές τις πινακίδες μου έκανε ιδιαίτερη εντύπωση μια και το θέμα μου ήταν τελείως άγνωστο. Η πινακίδα έγραφε: "GREEN NEW DEAL NOW!". Το μήνυμα κέντρισε την περιέργειά μου και έψαξα να μάθω τί είναι αυτό το "GREEN NEW DEAL". Ανακάλυψα λοιπόν ότι το "GREEN NEW DEAL" είναι ένα μανιφέστο, ή αν θέλετε, πρόταση σχεδίου νόμου, της βουλευτού των δημοκρατικών στην περιφέρεια της Νέας Υόρκης Alexandria Ocasio-Cortez. Το σχέδιο αυτό, προβλέπει την μετεξέλιξη των ΗΠΑ σε περιοχή απελευθερωμένη από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (κάτι από Αργυρούπολη μου θύμισε αυτό !) **μέσα στα επόμενα 10 χρόνια (!)** χωρίς όμως την χρήση πυρηνικής ενέργειας (!!!). Για το σκοπό αυτό προτείνει πολλά μέτρα, ορισμένα των οποίων είναι:

- η ενεργειακή αναβάθμιση όλων ανεξαιρέτως των κτιρίων εντός της επικράτειας!
- η κατάργηση όλων των οχημάτων που κινούνται με μηχανές εσωτερικής καύσεως!
- η αντικατάσταση των αεροσκαφών από τρένα υψηλής ταχύτητας! (πως αυτό ταιριάζει με το "STOP THE MAGLEV" που κρατά ο άλλος κύριος δίπλα, με ξεπερνάει!)
- η πλήρης οικονομική εξασφάλιση όλων όσων είναι ανίκανοι ή απρόθυμοι για εργασία! (αυτό το "απρόθυμοι" το διέγραψε εσπευσμένα μετά από το σχετικό "κράξιμο" στα social media!)

Άσχετα με το οικονομικά και μηχανολογικά ανέφικτο των πιο πάνω δράσεων, στο τρίτο σημείο κόλλησα λίγο παραπάνω, λόγω και του επαγγέλματος! "Γιατί βρε κοπέλα

μου θέλεις να καταργήσεις τα αεροσκάφη; εμείς τί θα γίνουμε, δεν μας σκέφτεσαι;". Άσε που, αν πραγματοποιηθεί αυτή η ιδέα, οι χρόνοι μετακίνησης μέσα στις ΗΠΑ θα τετραπλασιαστούν και ανάλογη θα είναι η ταλαιπωρία των ταξιδιωτών! Η οικονομία των ΗΠΑ θα καταρρεύσει και μόνο μετά από μια τέτοια κίνηση! Τέλος, τί θα γίνει με τα διηπειρωτικά ταξίδια; Θα καταργηθούν;

Μήπως καλύτερα να εξετάζαμε την αντικατάσταση των κινητήρων των αεροσκαφών με άλλους ηλεκτρικούς όπως δειλά-δειλά γίνεται αυτή την εποχή με τα αυτοκίνητα; Στην περίπτωση αυτή βέβαια, εκτός από τους κινητήρες θα χρειαζόταν η αντικατάσταση της πηγής ενέργειας, από δεξαμενές με κηροζίνη σε ηλεκτρικές μπαταρίες. Σκέφτηκα λοιπόν να διερευνήσω κατά πόσον θα μπορούσε να γίνει αυτό το τελευταίο!

Σαν παράδειγμα ξεκινώ με ένα αεροσκάφος για υπερατλαντικά ταξίδια, το A-320 της Airbus: Το αεροσκάφος αυτό λοιπόν, γεμίζει με κηροζίνη περίπου 20000 kg για να πραγματοποιήσει ένα ταξίδι με πλήρες φορτίο γύρω στις 7 με 8 ώρες [2], [3]. Η περιεκτικότητα της κηροζίνης σε ενέργεια (θερμογόνος δύναμη) είναι 36,656 MJ/m³, ή περίπου 44 MJ/kg [4]. Η αντίστοιχη ειδική ενέργεια των σύγχρονων ηλεκτρικών συσσωρευτών λιθίου στο εμπόριο, είναι σήμερα 0,85 MJ/kg, ενώ δοκιμάζονται μπαταρίες στα 1,26 MJ/kg και υπολογίζεται ότι σε 5 με 10 χρόνια θα φτάσουμε στα 1,8 MJ/kg! [5] Γίνεται λοιπόν προφανές ότι το βασικότερο πρόβλημα για την μετατροπή μεγάλων αεροσκαφών σε ηλεκτρικά είναι η αδυναμία αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας. Διότι ένα αεροσκάφος του τύπου A-320 για παράδειγμα, μπορεί να φορτώσει και καταναλώσει ενέργεια υπό μορφή καυσίμου έως 880 GJ (44 MJ/kg x 20000 kg), ενώ με την ίδια μάζα συσσωρευτών η συνολική ενέργεια θα ήταν μόνο 36 GJ και αυτό την επόμενη δεκαετία! Δηλαδή με άλλα λόγια ένα αεροσκάφος του μεγέθους του A-320 με την παρούσα τεχνολογία δεν θα μπορούσε να πετάξει πάνω από μισή ώρα και τούτο παραβλέποντας το γεγονός ότι το βάρος του καυσίμου μειώνεται συνεχώς καθώς καταναλώνεται, ενώ το βάρος των συσσωρευτών θα παραμένει το ίδιο σε όλο το ταξίδι. Διηπειρωτικά ταξίδια με τις συνθήκες αυτές λοιπόν, αποκλείονται.

Στην πραγματικότητα εδώ θα έπρεπε να σταματήσω, αλλά όλο και κάποιος θα αναρωτηθεί: "Και γιατί δεν βάζουμε παραπάνω μπαταρίες; Έστω και με μερική επανασχεδίαση; δεν θα βελτιώναμε την κατάσταση λίγο;". Για να απαντηθεί ένα τέτοιο ερώτημα θα χρειαστεί κάτι περισσότερο από μια απλή σύγκριση μεταξύ κηροζίνης και μπαταριών. Θα χρειαστεί να επισκεφθώ για λίγο τη μηχανική της πτήσης και να κάνω λίγους "μπακαλίστικους" έστω υπολογισμούς, με στόχο να σας δείξω πως μεταβάλλεται η απαιτούμενη ενέργεια και ο χρόνος πτήσεως, όταν προσθέτουμε επιπλέον μπαταρίες σε ένα αεροσκάφος! Το να καταφέρω να το εξηγήσω αυτό στο πίσω μέρος ενός πακέττου τσιγάρων για να γίνει κατανοητό, όπως υποστήριζε ο πολύς Dr Eli Brookner της RAYTHEON κάποτε, το βρίσκω μάλλον απίθανο· πάντως θα προσπαθήσω να το

παρουσιάσω όσο πιο απλά μπορώ, ώστε την συνέχεια να μπορεί να παρακολουθήσει ακόμη και ένας μαθητής του λυκείου! Εν πάση περιπτώσει, όσοι δεν θέλουν να με ακολουθήσουν σ' αυτήν την περιήγηση, μπορούν να παραλείψουν όλο το κείμενο που περιέχει μαθηματικές εξισώσεις και να συνεχίσουν στην σελίδα 10.

Ξεκινώ καταρχήν με μια υπενθύμιση των νόμων της Νευτώνειας Μηχανικής, που είναι σημαντικοί για την συζήτηση :

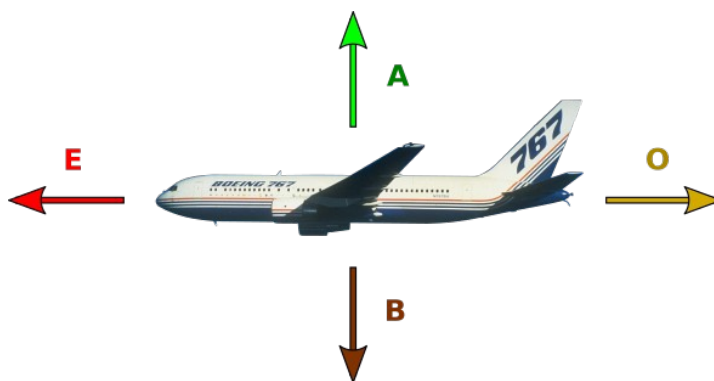
1ος Νόμος: *Αν σε ένα σώμα δεν ασκούνται δυνάμεις ή ασκούνται δυνάμεις των οποίων η συνισταμένη είναι μηδενική, τότε το σώμα είτε παραμένει σε ηρεμία, είτε κινείται ευθύγραμμα και ομαλά.*

2ος Νόμος: *Ο ρυθμός μεταβολής της ορμής ενός σώματος, ισούται με τη δύναμη που ασκείται στο σώμα και έχει τη διεύθυνση και τη φορά αυτής ή στην απλή περίπτωση, η δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα ισούται με το γινόμενο της μάζας του επί την επιτάχυνση του, που έχει την ίδια διεύθυνση και φορά με την ασκούμενη δύναμη.*

3ος Νόμος: *Οι δυνάμεις εμφανίζονται κατά ζεύγη. Για κάθε δράση υπάρχει και μια ίση αντίδραση.*

Για περισσότερα όσον αφορά τους νόμους της Νευτώνειας μηχανικής εδώ : [6]

Βασισμένοι στους νόμους του Νεύτωνα, μπορούμε να καταλάβουμε τις βασικές αρχές της πτήσης. Ξεκινώ λοιπόν από την εικόνα 1 και τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα:



Εικόνα 1: Βασικές Δυνάμεις Ισορροπίας

Όταν η πτήση ενός αεροσκάφους χαρακτηρίζεται ως "ευθεία και οριζοντία", εννοούμε ότι πετά σε ευθεία γραμμή, στο ίδιο πάντα ύψος και χωρίς να στρέφει ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα, επομένως, έχει εφαρμογή. Οι βασικές δυνάμεις που διακρίνουμε να

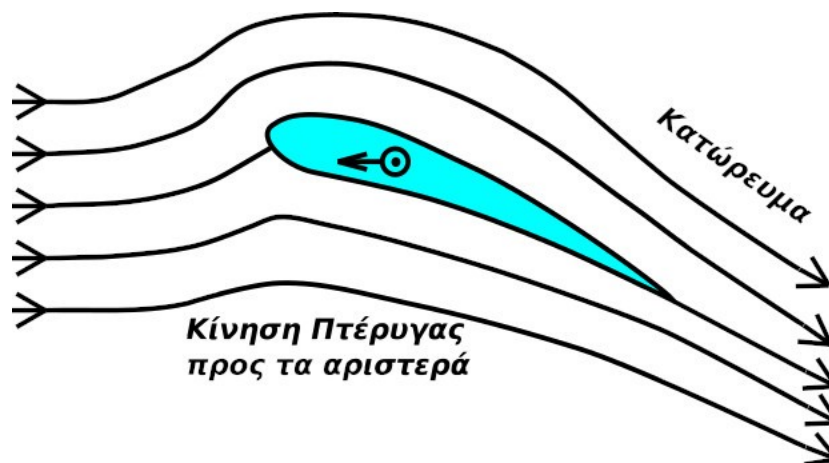
εξασκούνται επάνω στο αεροσκάφος, είναι το βάρος του "B", η άντωση (η αεροδυναμική δύναμη που το κρατά στον αέρα δηλαδή) "A", η έλξη του κινητήρα του "E" και η συνολική αντίσταση στην κίνηση, η οπισθέλκουσα "O_π". Σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα λοιπόν:

$$A=B \text{ (1α) και } E=O_{\pi} \text{ (1β)}$$

Ας επικεντρωθούμε στην εξίσωση 1α. Το βάρος είναι γνωστό στους περισσότερους πως υπολογίζεται. Σύμφωνα με την απλή περίπτωση του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα, αν η μάζα του αεροσκάφους είναι M_{pl} και η επιτάχυνση της βαρύτητας g , τότε :

$$B=M_{pl} \times g \text{ (2)}$$

Έτσι, το επόμενο ερώτημα είναι, πώς δημιουργείται η Άντωση και πόση περίπου είναι. Την απάντηση παίρνουμε με βάση την εικόνα 2, παρακάτω.



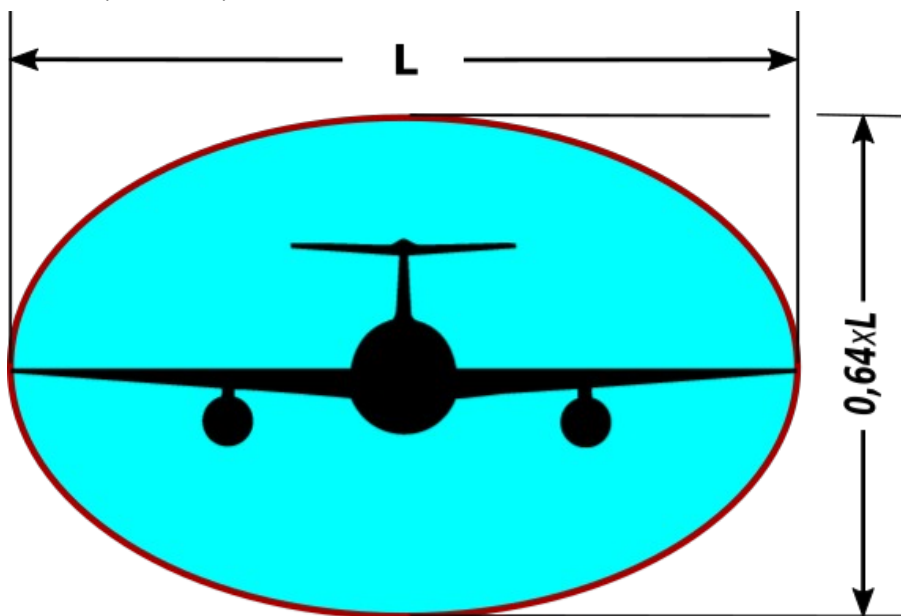
Εικόνα 2 : Λειτουργία Πτέρυγας

Αν και όλο το σκάφος είναι σχεδιασμένο για να συμβάλει στην Άντωση, το κατά πολύ μεγαλύτερο ποσοστό της παράγεται από την πτέρυγα. Η πτέρυγα είναι μια μηχανική διάταξη η οποία ανακατευθύνει τον αέρα που συναντά στο δρόμο της, προς τα κάτω. Περισσότερα στην σελίδα 18, κεφάλαιο "The Physical Description of Lift" [7]. Για να κατευθύνει τον αέρα προς τα κάτω, η πτέρυγα πρέπει να εξασκήσει σε αυτόν κάποια δύναμη, πράγμα που σημαίνει, σύμφωνα με τον τρίτο νόμο, ότι αυτόματα θα εμφανιστεί "εξ αντιδράσεως" μια ίση και αντίθετη δύναμη, η Άντωση, που θα σπρώξει την πτέρυγα προς τα πάνω. Μιά και τα επιμέρους χαρακτηριστικά των αεροσκαφών δεν τα γνωρίζω, θα υπολογίσω την Άντωση προσεγγιστικά.

Σύμφωνα με την γενική περίπτωση του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα, η Άντωση θα είναι ίση με το ρυθμό μεταβολής της ορμής του αέρα, ή με άλλα λόγια θα είναι ίση με την ροή της μάζας αέρα που ανακατευθύνεται από την πτέρυγα ($\frac{\Delta M_{air}}{\Delta t}$) επί την τελική ταχύτητά του προς τα κάτω (v_d). Ακόμη πιο απλά: Η άντωση είναι ανάλογη με το πόσον αέρα σαρώνει η πτέρυγα στην μονάδα του χρόνου και με πόση ταχύτητα τον στέλνει προς τα κάτω:

$$A = \frac{\Delta M_{air}}{\Delta t} \times v_d \quad (3)$$

Ξεκινώ προσεγγίζοντας τον όρο $\frac{\Delta M_{air}}{\Delta t}$. Ο προσεγγιστικός υπολογισμός που παραθέτω στην συνέχεια ξεκινά από μια ιδέα των David F. Anderson και Scott Eberhardt, σελίδες 31 με 34, κεφάλαιο 2 του [7]. Η ίδια ιδέα, κάπως διαφοροποιημένη εξερευνάται στα [8], [9] και [10]. Η ιδέα έχει ως εξής: Φανταστείτε το αεροσκάφος σαν μια ηλεκτρική σκούπα με μια χοάνη μπροστά, που ρουφάει τον αέρα που συναντά και με την βοήθεια της πτέρυγας τον ανακατευθύνει προς τα κάτω. Στην εικόνα 3 υποθέτω ότι η είσοδος της "χοάνης" (ούτως ειπείν) είναι ελλειπτικής διατομής και καλύπτει όλη την πτέρυγα, πράγμα που είναι μια καλή προσέγγιση. Όσο για τον μικρό άξονα, τον θέτω κάπως αυθαίρετα περίπου 0,64 του μεγάλου L (το γιατί 0,64 και όχι 0,6 παραδείγματος χάριν, θα το πω παρακάτω!).



Εικόνα 3 : Επίδραση Πτέρυγας

Πριν προχωρήσω, μια παρατήρηση είναι απαραίτητη. Η χοάνη είναι ένα φανταστικό κατασκεύασμα. Η πτέρυγα δεν επηρεάζει μόνο τον αέρα που περνάει από την υποθετική χοάνη και αφήνει τον υπόλοιπο ανεπηρέαστο. Στην πραγματικότητα η επιρροή της πτέρυγας είναι μεγαλύτερη στην γειτονιά της και μειώνεται συνεχώς όσο απομακρυνόμαστε από αυτήν, μέχρι να μηδενιστεί σε μεγάλη απόσταση. Η εισαγωγή της ιδέας της χοάνης απλοποιεί τους υπολογισμούς εφόσον η ακρίβεια των αποτελεσμάτων δεν είναι ιδιαίτερης σημασίας.

Μετά από αυτήν την επεξήγηση να πως υπολογίζω πόσος περίπου είναι ο μικρός άξονας. Η απάντηση δίνεται με βάση την εικόνα 4. Παρατηρώντας φωτογραφίες αεροσκαφών σαν και αυτήν, βλέπουμε ότι επάνω από την πτέρυγα εμφανίζεται μια συμπύκνωση υδρατμών. Αυτό συμβαίνει διότι η πίεση στο επάνω μέρος της πτέρυγας πέφτει απότομα λόγω της λειτουργίας της πτέρυγας που ανακατευθύνει τον αέρα προς τα κάτω. Επειδή η πτώση της πίεσης ξεπερνά το σημείο δρόσου, εάν στην ατμόσφαιρα υπάρχει αρκετή υγρασία, εμφανίζονται υδρατμοί. Παρόμοιο φαινόμενο δεν παρατηρούμε στο κάτω μέρος της πτέρυγας γιατί η πίεση αυξάνεται, δεν μειώνεται. Η συμπύκνωση των υδρατμών μας δείχνει κατά προσέγγιση την περιοχή που επηρεάζει η πτέρυγα στο επάνω μέρος της. Παρόμοια θα είναι η επίδραση και προς τα κάτω, αν και δεν υπάρχει κάτι που να μας το δείχνει.



Εικόνα 4 : Συμπύκνωση υδρατμών επάνω σε πτέρυγες

Η εμφάνιση των υδρατμών μας δίνει λοιπόν μια ιδέα για το ύψος της χοάνης στο επάνω μέρος της πτέρυγας. Με το μάτι υπολογίζω ότι το ύψος αυτό θα είναι περίπου 0,32 L. Υποθέτοντας ότι παρόμοια είναι και η προς τα κάτω επίδραση βάζω τον μικρό άξονα της έλλειψης στο 0,64 του L. Ενδεχομένως το ύψος αυτό να θεωρηθεί υπερβολικό από ορισμένους, αλλά στην προς εξέταση περίπτωση, είναι καλλίτερα να υπερ-υπολογίσω την Άντωση παρά το αντίθετο.

Η επιφάνεια εισόδου της χοάνης λοιπόν μπορεί να υπολογισθεί στο περίπου ως το εμβαδόν μιας έλλειψης με άξονες L και $0,64L$:

$$A_{sweep} = \frac{L \times (0,64L) \times \pi}{4} \approx 0,5 \times L^2$$

(να και η εξήγηση γιατί έβαλα $0,64$ ακριβώς! βγαίνει ένα ωραίο αποτέλεσμα!).
Συνεχίζοντας,

$$\frac{\Delta M_{air}}{\Delta t} = A_{sweep} \times \rho_{air} \times v_{flight} = 0,5 \times L^2 \times \rho_{air} \times v_{flight} \quad (4).$$

Όπου ρ_{air} είναι η πυκνότητα του αέρα στο ύψος της πτήσης και v_{flight} είναι η ταχύτητα πτήσης, δηλαδή η σχετική ταχύτητα μεταξύ του κεντρικού άξονα του αεροσκάφους και του αέρα. Η εξίσωση (4) αιτιολογείται με την λογική ότι η μάζα του αέρα είναι ανάλογη με τον όγκο επί την πυκνότητά του.

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (1a), (2), (3) και (4), μπορώ τώρα να υπολογίσω την Άντωση:

$$A = \frac{\Delta M_{air}}{\Delta t} \times v_d = 0,5 \times L^2 \times \rho_{air} \times v_{flight} \times v_d = B = M_{pl} \times g \quad (5)$$

Αφού κατέληξα σε μια εξίσωση για την Άντωση, μπορώ να προχωρήσω λίγο παρακάτω τον συλλογισμό. Αναδιατάσσοντας την εξίσωση (5), μπορώ να απαντήσω στο επόμενο ερώτημα, δηλαδή πόση είναι η ταχύτητα του ρεύματος αέρα που η πτέρυγα σπρώχνει προς τα κάτω και είναι ως εξής:

$$v_d = \frac{2 \times M_{pl} \times g}{(L^2 \times \rho_{air} \times v_{flight})} \quad (6)$$

Η σχέση αυτή μου χρειάζεται για να υπολογίσω την ισχύ που απαιτείται να καταναλώνεται για να διατηρείται το αεροσκάφος στον αέρα. Με βάση τον ορισμό της ισχύος, αυτή ισούται με την δύναμη που εξασκείται από την πτέρυγα στον αέρα που κατευθύνει προς τα κάτω, επί την ταχύτητα που προσδίδει στον αέρα αυτόν. Επειδή η δύναμη αυτή ισούται με την Άντωση και συνεπώς με το Βάρος όπως εξήγησα προηγουμένως:

$$P_{lift} = M_{pl} \times g \times v_d \quad (7) \text{ ή αντικαθιστώντας το } v_d \text{ με την (6):}$$

$$P_{lift} = \frac{2 \times M_{pl}^2 \times g^2}{L^2 \times \rho_{air} \times v_{flight}} \quad (8)$$

Η ισχύς αυτή είναι η ισχύς που απαιτείται για να διατηρηθεί το αεροσκάφος στον αέρα, όμως δεν είναι η συνολικά απαιτούμενη ισχύς. Στην ισχύ αυτή θα πρέπει να προστεθεί η ισχύς που απαιτείται για να υπερνικήσει τις τριβές κατά την κίνηση. Ή αλλιώς $P_{drag} = P_{lift} + P_{friction}$.

Από παρατηρήσεις και πειράματα έχει βρεθεί ότι η απαιτούμενη ισχύς είναι μικρότερη όταν $P_{lift} \approx P_{friction}$. Άρα μπορώ να προσεγγίσω την ολική ισχύ τροποποιώντας την εξίσωση (8).

$$P_{drag} \approx P_{lift} + P_{friction} = 2 \times P_{lift} = \frac{4 \times M_{pl}^2 \times g^2}{L^2 \times \rho_{air} \times v_{flight}} \quad (9)$$

Το μόνο που μένει τώρα είναι να συσχετίσω τον χρόνο πτήσεως με την μάζα των μπαταριών! Αυτό μπορεί να γίνει ως εξής: Η ολική ενέργεια που απαιτείται για το ταξίδι είναι ίση με $W_{total} = P_{drag} \times T_{trip}$. Η συνολική ενέργεια W_{total} , μπορεί να υπολογισθεί επίσης και με τον τρόπο που έδειξα στην αρχή, δηλαδή σαν το γινόμενο της ειδικής ενέργειας των μπαταριών (w_{spb}) επί την μάζα τους (M_{batt}).

$$\text{Επομένως} \quad : \quad W_{total} = w_{spb} \times M_{batt} = P_{drag} \times T_{trip} = \left(\frac{4 \times (M_{0fuel} + M_{batt})^2 \times g^2}{L^2 \times \rho_{air} \times v_{flight}} \right) \times T_{trip} \quad \text{και}$$

αναδιατάσσοντας και λύνοντας ως προς T_{trip} παίρνω τελικά:

$$T_{trip} = \frac{(w_{spb} \times L^2 \times \rho_{air} \times v_{flight})}{(4 \times g^2)} \times \left[\frac{M_{batt}}{(M_{batt} + M_{0fuel})^2} \right] \quad (10)$$

Η εξίσωση (10) ήταν και ο τελικός στόχος. Με την εξίσωση αυτή μπορούμε να ετοιμάσουμε ένα διάγραμμα που να μας δίνει το χρόνο πτήσεως σε σχέση με τη μάζα των μπαταριών. Μια και έχω τη σχέση αυτή έτοιμη, αποφάσισα να υπολογίσω το αποτέλεσμα σε δύο περιπτώσεις αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους ώστε να δω τις ενδεχόμενες διαφορές. Οι δύο περιπτώσεις που διάλεξα είναι για το αεροσκάφος της Airbus A320 και για το μικρότερο, τετραθέσιο Cessna 172. Προχωρώ λοιπόν υπολογίζοντας πρώτα τον λόγο $k = \frac{(w_{spb} \times L^2 \times \rho_{air} \times v_{flight})}{(4 \times g^2)}$ για τις δύο ξεχωριστές περιπτώσεις με δεδομένα:

α. Γενικά, ανεξάρτητα των αεροσκαφών

$$w_{spb} = 1.800.000 \text{ J/kg} \quad \text{όπως στο [5]}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad (\text{περίπου } 9,77 \text{ για ύψος } 12000 \text{ m})$$

β. Ειδικά, για το κάθε αεροσκάφος

Χαρακτηριστικό	Airbus A-320	Cessna 172
	Specs:[2],[3]	Specs:[11],[12],[13]
$\rho_{air} =$	0,312 kg/m³ (Ύψος πτήσεως 12000m)	0,82 kg/m³ (Ύψος πτήσεως 4000m)
$L^2 =$	34,09²=1.162,1281m²	10,88²=118,36m²
$v_{flight} =$	829 km/h=230,28 m/s	95 knots=49 m/s

Επομένως υπολογίζοντας για το Airbus A-320:

$$k_{320} = \frac{1800000 \times 1162,1281 \times 0,312 \times 230,28}{4 \times 9,8^2} = 391.223.720 \frac{sJ}{m} \text{ και απλοποιώντας:}$$

$$T_{trip320} = 391.223.720 \cdot \left(\frac{s \cdot J}{m \cdot kg} \right) \times \left\| \frac{M_{batt}}{(M_{batt} + 64500)^2} \right\| \text{ και τέλος για λύση σε ώρες:}$$

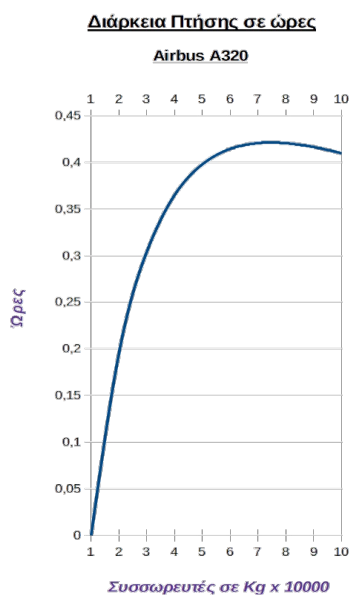
$$T_{trip320} = 108.673 \times \left\| \frac{M_{batt}}{(M_{batt} + 64500)^2} \right\| \cdot (h) \quad (11) = \text{Εξίσωση για το Airbus A-320.}$$

Αντίστοιχα για το Cessna 172:

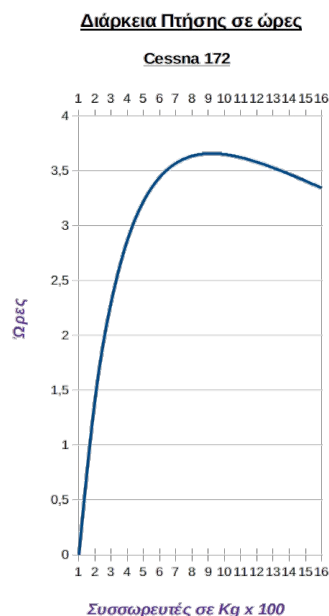
$$k_{172} = \frac{1800000 \times 118,36 \times 0,82 \times 95}{4 \times 9,8^2} = 43.201.893 \frac{sJ}{m} \text{ επομένως:}$$

$$T_{trip172} = 12.000 \times \left\| \frac{M_{batt}}{(M_{batt} + 820)^2} \right\| \cdot (h) \quad (12) = \text{Εξίσωση για το Cessna 172.}$$

Από τις εξισώσεις (11) και (12) και με την βοήθεια του CALC (το αντίστοιχο του EXCELL στο LibreOffice) κατέληξα στα διαγράμματα της επόμενης σελίδας:



Εικόνα 5



Εικόνα 6

Τα πιο πάνω διαγράμματα δείχνουν προσεγγιστικά τις ώρες πτήσεως που θα επιτυγχάναμε σε σχέση με τη μάζα των μπαταριών που θα τοποθετούσαμε σε δύο αεροσκάφη πολύ διαφορετικά μεταξύ τους, το μεγάλο A-320 και το μικρό Cessna-172, θεωρώντας ότι η ισχύς του κινητήρα επαρκεί.

Παρατηρούμε ότι προσθέτοντας μπαταρίες, λίγο επηρεάζεται ο χρόνος πτήσης του A-320, που μένει κάτω από μισή ώρα ακόμα και όταν φτάνουμε τα 65.000 κιλά! Αντιθέτως, συνεχίζοντας να του προσθέτουμε ακόμη περισσότερες μπαταρίες, ο χρόνος πτήσης αρχίζει να μειώνεται.

Από την άλλη σε ένα μικρό αεροσκάφος τα πράγματα αποδεικνύονται πολύ διαφορετικά! Το τετραθέσιο θα μπορούσε να πετάξει γύρω στις 3,5 ώρες με 600 κιλά μπαταριών και 2,5 ώρες με 400 κιλά! Αν και οι προδιαγραφές του CESSNA δίνουν παραμονή στον αέρα με τον κινητήρα εσωτερικής καύσεως για περίπου 6 με 7 ώρες, τα αποτελέσματα είναι αρκετά ενθαρρυντικά για μετατροπή του σε ηλεκτρικό!

Εύκολα λοιπόν βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα:

1ον. Τα μεγάλα μεταφορικά θα εξακολουθήσουν να σχίζουν τους αιθέρους για πολλές δεκαετίες ακόμη, τουλάχιστον μέχρις ότου το πετρέλαιο γίνει είδος εν ανεπαρκεία, ή αν ξαφνικά και αναπάντεχα μια καινούργια εφεύρεση εμφανιστεί που θα αντικαταστήσει τους κινητήρες Jet! Τούτο βέβαια προς μεγάλη απογοήτευση των οπαδών της λεγόμενης

“κλιματικής αλλαγής”, αλλά μάλλον προς αγαλλίαση των απανταχού “ψεκασμένων” οι οποίοι θα συνεχίσουν να απασχολούνται ψάχνοντας με μανία να βρουν τί βλαπτικές ουσίες περιέχονται στις γραμμές αποτόνωσης των καυσαερίων, σκοτεινό έργο των μυστήριων “άλλων” (μυστικές εταιρείες, νεφελίμ, κάτοικοι του Σείριου και λοιποί) που απεργάζονται την υποταγή και το κακό μας!

2ον. Σε μια δεκαετία περίπου είναι δυνατόν να δούμε καθαρά ηλεκτρικά, μικρά αεροσκάφη των 2 έως 4 ατόμων να πουλιούνται στο εμπόριο, εφόσον κατασκευαστούν κατάλληλοι κινητήρες. (Η πραγματικότητα είναι ότι για την κατηγορία των 2 ατόμων φαίνεται ότι ήδη υπάρχουν κατάλληλοι κινητήρες, αλλά αυτό θα το δούμε κάποια άλλη φορά!).

Υπενθυμίζω ότι η ανάλυση έγινε με βάση την γνωστή ως σήμερα και στο εγγύς μέλλον ικανότητα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας και χωρίς να με απασχολήσει η αντικατάσταση των κινητήρων Jet των μεγάλων αεροσκαφών από κάποιον άλλο, άγνωστο επί του παρόντος κινητήρα με παρόμοιες δυνατότητες! Η μηχανική είναι γεμάτη εκπλήξεις και το μέλλον είναι πράγματι άγνωστο. Ένας τελείως διαφορετικός κινητήρας ή ένας καλύτερος τρόπος αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας θα μας αποδέσμευε από το πετρέλαιο, όχι γιατί κινδυνεύουμε από το διοξείδιο του άνθρακα όπως πιστεύουν πολλοί ρομαντικοί, αλλά γιατί νομοτελειακά, το πετρέλαιο αργά ή γρήγορα θα τελειώσει και αν δεν θέλουμε να ακυρωθεί ο σημερινός τεχνολογικός πολιτισμός, πρέπει να προετοιμαζόμαστε γι' αυτό!

Με αγωνιστικούς χαιρετισμούς προς τους συμπολεμιστές του κορωνοϊού!

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΚΑΤΕΛΟΥΖΟΣ

5 ΑΠΡΙΛΙΟΥ 2020

Βιβλιογραφία

- 1: Sarah Kaplan, "‘We’re building an army’: Jane Fonda caps off weeks of climate protest in D.C.", Washington Post , 2020, January 11, <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2020/01/10/were-building-an-army-jane-fonda-caps-off-weeks-climate-protest-dc/>.
- 2: Wikipedia, "Airbus A320 family", 2020, February 25, https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_A320_family#Specifications.
- 3: Modern Airlines, "Airbus A320 Specs – What is behind one of the most popular short haul airliners?", -, -, <http://www.modernairliners.com/airbus-a320-introduction/airbus-a320-specs/>.
- 4: The Engineering ToolBox, " Fossil and Alternative Fuels - Energy Content", 2008, -, https://www.engineeringtoolbox.com/fossil-fuels-energy-content-d_1298.html.
- 5: Dr Marcel MEEUS, "Overview of Battery Cell Technologies", 2018, January 11-12.
- 6: Πέτρος Ιωάννου, Θεωχάρης Αποστολάτος, "Νευτώνεια Μηχανική", 2016
- 7: David F. Anderson, Scott Eberhardt, "Understanding Flight", 2001
- 8: Landell-Mills J, Aeronaut Airspace Eng., "Buoyancy Explains How Airplanes Fly", 2016, .
- 9: David Esker , "The Science of Flight and the Paradox of Flying Pterosaurs", 2017, , <https://dinosaurtheory.com/flight.html>.
- 10: Landell-Mills J, Aeronaut Airspace Eng., "Calculation of Air Displaced by a Wing", 2017, .
- 11: Flyer Association, "CESSNA 172 SPECIFICATIONS", -, , <https://www.cessnaflyer.org/specifications-172.html>.
- 12: GlobalAir.com, "Cessna 172, Technical Specifications", -, , <https://www.globalair.com/aircraft-for-sale/Specifications?specid=131>.
- 13: Flugzeuginfo.net, "Cessna 172 SkyhawkTrainer / Touring Aircraft", , , https://www.flugzeuginfo.net/acdata_php/acdata_cessna172_en.php.