

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΑΕΡΟΣΤΡΩΜΝΑ ΣΚΑΦΗ (HOVERCRAFT) -

ΙΣΤΟΡΙΚΗ

ΑΝΑΔΡΟΜΗ,ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ,ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ,ΜΕΛΕΤΗ

ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΓΙΑΓΚΟΥ ΣΤΑΥΡΟΣ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΣΟΡΜΠΑΤΖΙΔΗΣ Α., ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΟΣ ΜΗΧ.

ΜΗΧ/ΚΟΣ

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

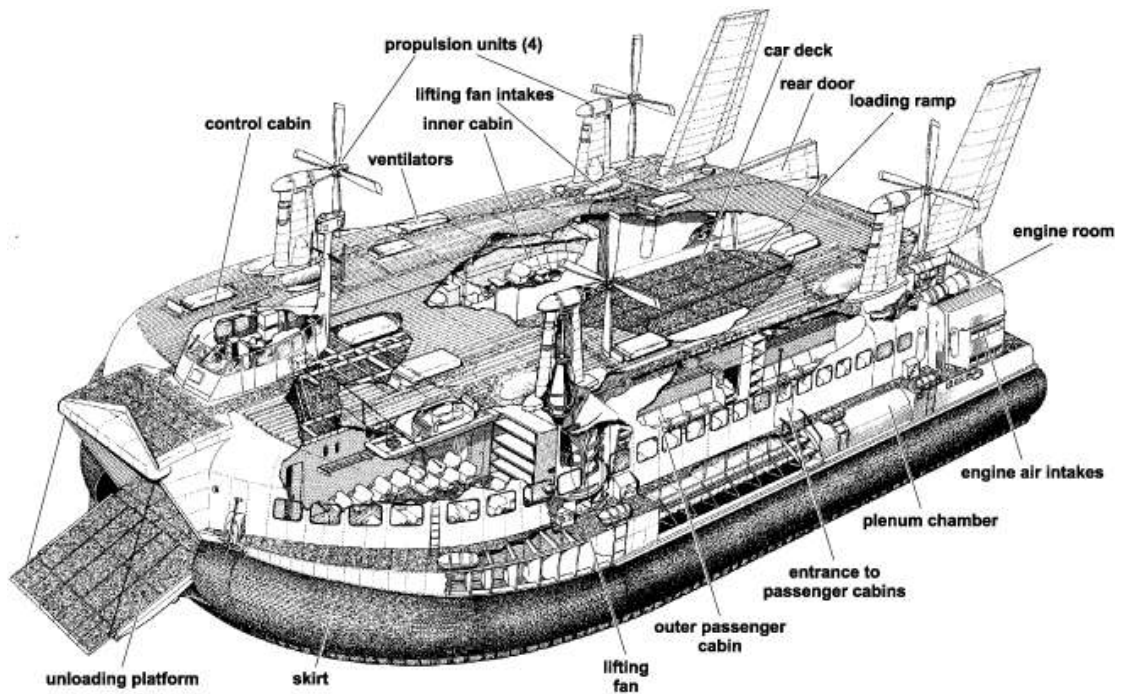
**ΘΕΜΑ : ΑΕΡΟΣΤΡΩΜΝΑ ΣΚΑΦΗ (HOVERCRAFT) -
ΙΣΤΟΡΙΚΗ
ΑΝΑΔΡΟΜΗ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ, ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ,
ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΓΙΑΓΚΟΥ ΣΤΑΥΡΟΣ
ΑΜ : 4607**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής



Περίληψη

Έχουν περάσει πολλά χρόνια από τις θαλάσσιες δοκιμές του πρώτου hovercraft. Το hovercraft είναι ένα νέο μέσο μεταφοράς, και έτσι τα μηχανήματα, εξοπλισμός και δομικά υλικά έπρεπε να είναι προσαρμοσμένα για την επιτυχή χρήση σε ειδικό περιβάλλον λειτουργίας τους, η οποία διαφέρει από ότι στον τομέα των αερομεταφορών και για τα άλλα θαλάσσια σκάφη. Μια κάπως δύσκολη τεχνική και οικονομική πορεία αποτέλεσε αντικείμενο διαπραγμάτευσης από τους προγραμματιστές της hovercraft τεχνολογία μέχρι σήμερα. Επί του παρόντος, χιλιάδες πλοία είναι σε λειτουργία για εμπορικές μεταφορές σε νερό, αναψυχής, σκοπούς κοινής ωφελείας και στρατιωτικές εφαρμογές σε όλο τον κόσμο. Έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο για μια σειρά στρατιωτικών αποστολών και να παρέχουν χρησιμότητα μεταφοράς σε έναν αριθμό εφαρμογών οι οποίες είναι αρκετά μοναδικές.

Τα hovercraft στην Κίνα και στις Η.Π.Α έχουν αναπτυχθεί από δοκιμές στη δεκαετία του 1960, με την πρακτική να χρησιμοποιείται στα πορθμεία και στα στρατιωτικά σκάφη. Περισσότερα από 60 είδη hovercraft έχουν κατασκευαστεί ή εισάγονται για χρήση. Λόγω της σχετικά γρήγορης ανάπτυξη της τεχνολογίας μαξιλαριού σε σχέση με άλλες στη μεταφορά νερού, οι θεωρίες και οι μέθοδοι σχεδιασμού που εφαρμόζονται για τα σκάφη τύπου hovercraft συνεχίζουν να αναπτύσσονται μέχρι σήμερα. Για παράδειγμα, διάφορες στατικές θεωρίες του aircushion (μαξιλαριού-αέρα) προέκυψαν στη δεκαετία του 1960, αλλά μόλις το εύκαμπτο χιτώνιο είχε αναπτυχθεί, οι υδροδυναμικές και αεροδυναμικές δυνάμεις που ασκούνται στα hovercraft άλλαξαν τόσο πολύ έτσι ώστε οι προηγούμενες θεωρίες και οι τύποι δεν θα μπορούσαν να συνεχίσουν να υπηρετούν σε πρακτική. Η θεωρία της απόδοσης aircushion έχει αλλάξει σημαντικά, από το 1960. Από τη μία πλευρά πολλές τεχνικές αναφορές και ορισμένες τεχνικές περιλήψεις και εγχειρίδια όσον αφορά την τεχνολογία aircushion είναι διαθέσιμα για να μεταφράσουν τη φυσική των φαινομένων αλλά από την άλλη, λόγω των διαφορετικών μεθόδων έρευνας και αντικειμένων σημαίνει ότι, υπάρχουν πολλές διαφορετικές μέθοδοι που προτείνουν πώς να ασχοληθούμε με τέτοιες θεωρίες. Μέχρι στιγμής δεν έχουν

οριστικοποιηθεί οι κανόνες και κανονισμοί για την κατασκευή hovercraft. Επιπλέον, οι μελέτες ασχολούνται με τη σταθερότητα, την ναυσιπλοΐα και τον υπολογισμό τύπων και μεθόδων που προσδιορίζουν τη στατική και δυναμική παραμόρφωση και δεν είχαν φθάσει σε δημόσια βιβλιογραφία, τουλάχιστον μέχρι να οριστικοποιηθούν τα τελικά αποτελέσματα.

Abstract

It is many years since sea trials of the first hovercraft. Hovercraft are a new means of transportation, and so machinery, equipment and structural materials have had to be adapted for successful use in their special operating environment, which differs from that in aviation and for other marine vessels. A somewhat difficult technical and economic path has been negotiated by the developers of hovercraft technology to date. Currently thousands of crafts are in operation for commercial water transportation, recreation, utility purposes and military applications around the world. They have taken a key role for a number of military missions, and provide utility transportation in a number of applications which are quite unique.

Hovercraft in China and U.S.A. have developed from prototype tests in the 1960s, to practical use as ferries and military craft. More than 60 hovercraft types have been constructed or imported for operation. Due to the relatively quick development of the cushion technology relative to other water transportation, the theories and design methods applied to hovercraft design and operations are continuing to develop at present. For instance various quasi-static theories of the air jet cushion were derived in the 1960s, but once the flexible skirt was developed, the hydrodynamic and aerodynamic forces acting on hovercraft changed so significantly that these earlier theories and formula could not continue to serve in practice. The theory of air cushion performance has therefore changed significantly since the 1960s. On one hand a lot of technical references and some technical summaries and handbooks with respect to air cushion technology are available to translate the physical phenomena but on the other, owing to different research methods and objects, there are many different methods which suggest how to deal with such theories. So far no finalized rules and regulations for hovercraft construction can be stated. In addition regulatory documents concerned with stability, navigation and the calculation methods determining the static and dynamic deformation had not reached at publicity yet, at least until the final results.

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει γραφτεί για να συνοψίσει την εμπειρία στην τεχνολογία aircushion (μαξιλάρι-αέρα) μέχρι σήμερα, με στόχο τη βελτίωση της κατανόησης της τεχνολογίας αυτής.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται ιστορική αναδρομή στην χρήση της θάλασσας ως μέσο μεταφοράς από την αρχαιότητα ακόμη καθώς και την εμφάνιση των hovercrafts, που γενικά αναφέρονται και ως Air Cushion Vehicles (ACV), στην ναυτική βιομηχανία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά και ανάλυση της θεωρίας των Air Cushion Vehicles (ACV) οχημάτων δηλαδή που χρησιμοποιούν την τεχνολογία μαξιλάρι-αέρα για την ισορροπία τους πάνω στην επιφάνεια της θάλασσας.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι μορφές αντίστασης που εμφανίζονται και πρέπει να υπερκεράσουν τα Air Cushion Vehicles κατά την κίνηση τους στην θάλασσα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα είδη της ευστάθειας που εμφανίζονται στα Air Cushion Vehicles και πώς επιδρούν στην ισορροπία τους κατά την κίνησή τους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφονται τα διάφορα είδη φούστας των Air Cushion Vehicles.

Στο έκτο κεφάλαιο αναφέρεται η ανάπτυξη της τεχνολογίας σχεδίασης των ACV σε προηγμένες χώρες όπως οι Η.Π.Α. και η Κίνα.

Στο έβδομο κεφάλαιο αναφέρονται ορισμένες βασικές σχεδιαστικές αρχές.

Στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται οι γενικές απαιτήσεις σχεδιασμού ενός Air Cushion Vehicle-hovercraft.

Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να συνοψίσει την τεχνική εμπειρία, τόσο στην Μεγάλη Βρετανία, στις Η.Π.Α. στην Κίνα και σε άλλες χώρες, για να περιγράψει συστηματικά τη θεωρία και το σχεδιασμό των hovercraft, και θα προσπαθήσει να συνδέσει τις θεωρίες με την πρακτική για την επίλυση πρακτικών προβλημάτων στο σχεδιασμό hovercraft. Επίσης, οι εικόνες και οι πίνακες σε αυτή

την εργασία μπορούν να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε κάποιους από τους τύπους που χρησιμοποιούνται σε υδροδυναμικές δυνάμεις και τη σταθερότητα.

Στο τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου για τις γνώσεις τους που μετέδωσαν σε όλους μας αυτά τα τέσσερα χρόνια για να γίνουμε καλοί μηχανικοί μελλοντικά στην βιομηχανία της εμπορικής ναυτιλίας.

Κεφάλαιο 1

1 Ιστορική αναδρομή

1.1 Η αρχαιότερη εθνική οδό

Η ανάπτυξη του παγκόσμιου πολιτισμού συνέβη από μια άποψη λόγω της θάλασσας και των ποταμών. Από την αρχή της ανθρώπινης ιστορίας, η δυνατότητα μεταφοράς ανθρώπων και εμπορευμάτων μέσω του νερού, έχει ονομάσει τη θάλασσα την αρχαιότερη εθνική οδό μας.

Χωρίς ένα μέσο για την μεταφορά αγαθών μέσω της θάλασσας, οι αρχαίοι ναυτικοί δεν θα μπορούσαν να εξερευνήσουν τον κόσμο ή να ανταλλάσουν αγαθά. Οι πολιτισμοί που τελειοποίησαν την κατασκευή και πλεύση σκαφών ευημέρησαν ως κέντρα του εμπορίου, του πολιτισμού και της δύναμης και δεν είναι τυχαίο ότι οι πρώτες πόλεις βρέθηκαν πλησίον θαλάσσιων ακτών. Τα πλεονεκτήματα της μεταφοράς διαμέσω του ύδατος σε σύγκριση με την αντίστοιχη επίγεια μεταφορά ήταν τόσο προφανή ακόμη και για τους πρώιμους πολιτισμούς με αποτέλεσμα ένα από τα πρώτα επιτεύγματα της εφαρμοσμένης μηχανικής για την ανθρωπότητα να είναι η κατασκευή καναλιών.

Ένα σκάφος με πλήρωμα έξι έως οκτώ άτομα μπόρεσε να μεταφέρει την ίδια τουλάχιστον ποσότητα αγαθών με 50 βαγόνια εμπορευμάτων που υποστηρίζονταν από εκατοντάδες ατόμων και 400 αλόγα και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η επικοινωνία μέσω του ύδατος ήταν πάντοτε η λιγότερο ακριβή μορφή μεταφοράς. Η μεταφορά αγαθών μέσω του ύδατος απαιτεί λιγότερο εργατικό δυναμικό από το χερσαίο ταξίδι και μπορεί να μεταφέρει σε μεγάλες αποστάσεις περισσότερα και βαρύτερα φορτία από ότι τα βαγόνια εμπορευμάτων, τα ζώα ή τα πιο πρόσφατα οχήματα επίγειων μεταφορών.

1.2 Το υδάτινο φράγμα

Καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας, η ανθρωπότητα είναι προσηλωμένη στην εύρεση τρόπων μεταφοράς όλο και μεγαλύτερων φορτίων και στην αύξηση της ταχύτητας μετακίνησής τους. Από την πρώτη τους εφαρμογή, τα επίγεια και τα εναέρια μέσα μεταφοράς έχουν αυξήσει την ταχύτητά τους με συνεχή και εντυπωσιακό τρόπο. Κάτι αντίστοιχο δεν έχει συμβεί με τα σκάφη που ταξιδεύουν στο νερό, επειδή πρέπει να αντιμετωπίσουν την ισχυρή αντίσταση του ύδατος: το υδάτινο φράγμα.

Ένας παράγοντας που δημιουργεί το υδάτινο φράγμα είναι η πυκνότητα του νερού, η οποία είναι 815 φορές μεγαλύτερη από την πυκνότητα του αέρα. Όσο ένα σκάφος αυξάνει την ταχύτητά του, η αντίσταση του νερού αυξάνει εκθετικά, προκαλώντας τεράστιες απαιτήσεις ισχύος για μικρό κέρδος στην ταχύτητα. Όταν ένα φορτίο κινείται μέσω του νερού, οι διάφορες αντιστάσεις αυξάνονται ανάλογα με την ταχύτητα, και η απαιτούμενη ενέργεια για την συνεχή αύξηση της ταχύτητας μεταβάλλεται εκθετικά με συντελεστή μεταξύ 3-3.5!

Ένας άλλος τρόπος να εξεταστεί αυτό το πρόβλημα είναι ο λόγος *lift-to-drag* (L/D). Το φορτίο πρέπει να επιπλεύσει ή να ανυψωθεί από το νερό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση αντίστασης όταν ξεκινά η κίνηση. Μια βάρκα έχει λόγο L/D περίπου δέκα φορές μικρότερο από μια χαλύβδινη ρόδα που κινείται σε μια χαλύβδινη ράγα. Ο μόνος τρόπος να βελτιωθεί ο λόγος L/D της βάρκας είναι να ανυψωθεί η γάστρα και το φορτίο της εντελώς πάνω από το νερό, το οποίο θα έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του κυματισμού και της αντίστασης του σκάφους. Σε μια διαχρονική προσπάθεια για την αντιμετώπιση του υδάτινου φράγματος, για τη βελτίωση του λόγου L/D και τη μείωση της αντίστασης του νερού, έχουν εφευρεθεί πολλά οχήματα, ειδικά κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριών αιώνων. Είναι αρκετά παλαιά η ιδέα της παροχής αέρα κάτω από τη γάστρα ενός σκάφους προκειμένου να μειωθεί η αντίσταση, αλλά οι προφανείς και απλές προσεγγίσεις αυτής της ιδέας δεν λειτουργούν, γιατί ολόκληρη η γάστρα πρέπει να ανυψωθεί από την επιφάνεια. Η πλειοψηφία των σύγχρονων εφευρέσεων είναι βασισμένη σε αυτή την ιδέα. Από αυτές ξεχωρίζουν τα υδροπλάνα, τα υδροπτέρυγα και τα Air Cushion Vehicles ή ACVs. (Τα αερόστρωμα είναι ένας τύπος ACV). Μεταξύ αυτών, τα αερόστρωμα

έχουν τον βέλτιστο λόγο L/D από οποιοδήποτε όχημα που κινείται μέσα στο νερό για ταχύτητες άνω των 35 mph.

Υπάρχει εμπειρία που εκτείνεται πάνω από 40 χρόνια με hovercraft σε στρατιωτική και εμπορική υπηρεσία σε ένα ευρύ φάσμα του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Η μελέτη εξέτασε την ιστορία της λειτουργίας hovercraft σε ψυχρά κλίματα κυρίως στις συνθήκες της Αρκτικής, από υπηρεσίες όπως οι εξής:

- Η Βόρεια Εταιρεία Μεταφορών (Mackenzie Delta) 1974-1977.
- Καναδική Ακτοφυλακή (St. Lawrence River) 1974 έως σήμερα.
- Βασιλικό Ναυτικό (UK στη Σουηδία) 1972.
- Sohio Petroleum (Αλάσκα Beaufort Sea) 1983-1984.
- Scandinavian Airlines (Σουηδία με τη Δανία) 1984-1994.
- Cominco Μέταλλα 1991-1994.
- Agip KCO (Βόρεια Κασπία Θάλασσα) 2003 έως σήμερα.
- Αλάσκα Hovercraft Ventures (Lynden A.E.) το 1993 έως σήμερα.
- British Petroleum (Prudhoe Bay, Αλάσκα) 2003 έως σήμερα.
- Ανατολική Aleutians Borough (Cold Bay, Αλάσκα) 2007 έως σήμερα.

1.3 Η γένεση των Air Cushion Vehicles

Όταν αναφερόμαστε σε ιπτάμενες μηχανές, εύκολα συμπεραίνουμε ότι οι ρίζες τους βρίσκονται στην αρχαία Ελλάδα. Αυτό όμως δεν ισχύει και για τα ACVs. Το πρώτο καταγεγραμμένο σχέδιο για ένα τέτοιο όχημα ήταν το 1716 από τον Emanuel Swedenborg, ένα Σουηδό σχεδιαστή, φιλόσοφο και θεολόγο. Το σχέδιο του Swedenborg δημοσιεύτηκε στην τέταρτη έκδοση του πρώτου επιστημονικού

περιοδικού της Σουηδίας, *Daedulus Hyperboreus*, και είναι η πρώτη λεπτομερής τεχνική περιγραφή μιας ιπτάμενης μηχανής οποιουδήποτε τύπου.

Η πλατφόρμα του Swedenborg, η οποία ήταν ουσιαστικά ένα κυκλικό αεροσκάφος, παρέπεμπε σε μια βάρκα γυρισμένη ανάποδα με ένα πιλοτήριο στο κέντρο ή έναν "ιπτάμενο δίσκο". Η συσκευή του απαιτούσε τον πιλότο να χρησιμοποιεί ένα σετ ιδιόμορφων κουπιών για να ωθεί αέρα κάτω από το όχημα προκειμένου να ανυψωθεί η γάστρα του σκάφους έξω από το νερό. Δυστυχώς δεν κατασκευάστηκε ποτέ κάποιο λειτουργικό μοντέλο αυτού του σχεδίου, επειδή ο Swedenborg σύντομα συνειδητοποίησε ότι ένας άνθρωπος δεν θα μπορούσε να παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για να ανυψώσει τη βάρκα.

Το σχέδιό του απαιτούσε μια πηγή ενέργειας πολύ μεγαλύτερη από όλες όσες ήταν διαθέσιμες εκείνη την περίοδο. Όπως ακριβώς συνέβη και με άλλες μορφές μεταφοράς, η πρόοδος έπρεπε να περιμένει μέχρι την ανάπτυξη μιας ελαφριάς μηχανής η οποία συνέβη το δέκατο ένατο αιώνα. Το 1865, ο William Froude του Βρετανικού Ναυαρχείου έστειλε μια επιστολή στον B.J. Tideman, ο οποίος ήταν ο επικεφαλής του κατασκευαστικού τομέα του Βασιλικού Ολλανδικού Ναυτικού, και του πρότεινε την αρχή της λίπανσης μέσω αέρα (air lubrication).

Στα μέσα της δεκαετίας του 1870, ο Βρετανός μηχανικός Sir John Thornycroft κατασκεύασε διάφορα μοντέλα *μηχανών επίγειας επίδρασης (ground effect machines)* βασισμένα στη θεωρία του ότι ένα σύστημα προσκεφάλων αέρα θα μείωνε την αντίσταση του ύδατος στις βάρκες και τα σκάφη. Η θεωρία του ήταν ότι εάν σχεδιαστεί η γάστρα ενός σκάφους με ένα κοίλο πυθμένα στον οποίο θα μπορούσε να διατηρηθεί ένα στρώμα αέρα μεταξύ της γάστρας και του ύδατος, αυτό θα δημιουργούσε σημαντικά μικρότερη αντίσταση. Πήρε αρκετά διπλώματα ευρεσιτεχνίας που αναφέρονται σε γάστρες της ανωτέρω θεωρίας μέχρι το 1877. Η μηχανή εσωτερικής καύσεως δεν είχε εφευρεθεί ακόμα, εντούτοις, η απαιτούμενη τεχνολογία για την τροφοδότηση των εφευρέσεών του δεν υπήρχε ακόμα. Επιπλέον, κανένας δεν είχε ανακαλύψει ακόμα κάποια πρακτική λύση στο πρόβλημα για το πώς να κρατήσει "παγιδευμένο" ένα στρώμα αέρα κάτω από ένα σκάφος.

Το 1876, ο John B. Ward από το Σαν Φρανσίσκο των ΗΠΑ, πρότεινε μια πλατφόρμα αλουμινίου με περιστροφικούς ανεμιστήρες για να οδηγούν τον αέρα

κάτω και προς τα πίσω, αλλά για την ώθηση της συσκευής χρησιμοποιούνταν τροχοί οι οποίοι θα ωθούσαν τη συσκευή εμπρός. Για τις "εναέριες μηχανές" του έλαβε τα αμερικανικά διπλώματα ευρεσιτεχνίας 185465 και 195860. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τη χρήση του αέρα ως μέσου ανύψωσης στη Μεγάλη Βρετανία απονεμήθηκε σε έναν άλλο Σουηδό μηχανικό, τον Gustaf de Laval, το 1882 αλλά επειδή η μέθοδος για τη διατήρηση του στρώματος αέρα δεν είχε ακόμα επιλυθεί, ο de Laval δεν ήταν επιτυχής στα πειράματά του. Το βρετανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας 5841 αναφέρεται σε ένα σκάφος κατασκευασμένο με βάση τις ιδέες του de Laval. Το 1888, το αμερικανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας 624271 δόθηκε στον James Walker από το Τέξας ο οποίος κατασκεύασε κανάλια/οδηγούς αέρα κατά μήκος του κάτω μέρους των βαρκών τα οποία και αναπλήρωναν τον αέρα που διέφευγε. Το αμερικανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας 608757, που έλαβε το 1897 ο Culbertson, περιλαμβάνει μια ιδέα που οδήγησε στην πρώτη πρόταση για οχήματα προσκεφάλων αέρα πλευρικών τοιχωμάτων (sidewall air cushion vehicles).

Η χρήση αέρα ως μέσο λίπανσης έχει βρεί αρκετές εφαρμογές στο βιομηχανικό τομέα, συμπεριλαμβανομένων και των σιδηροδρόμων.

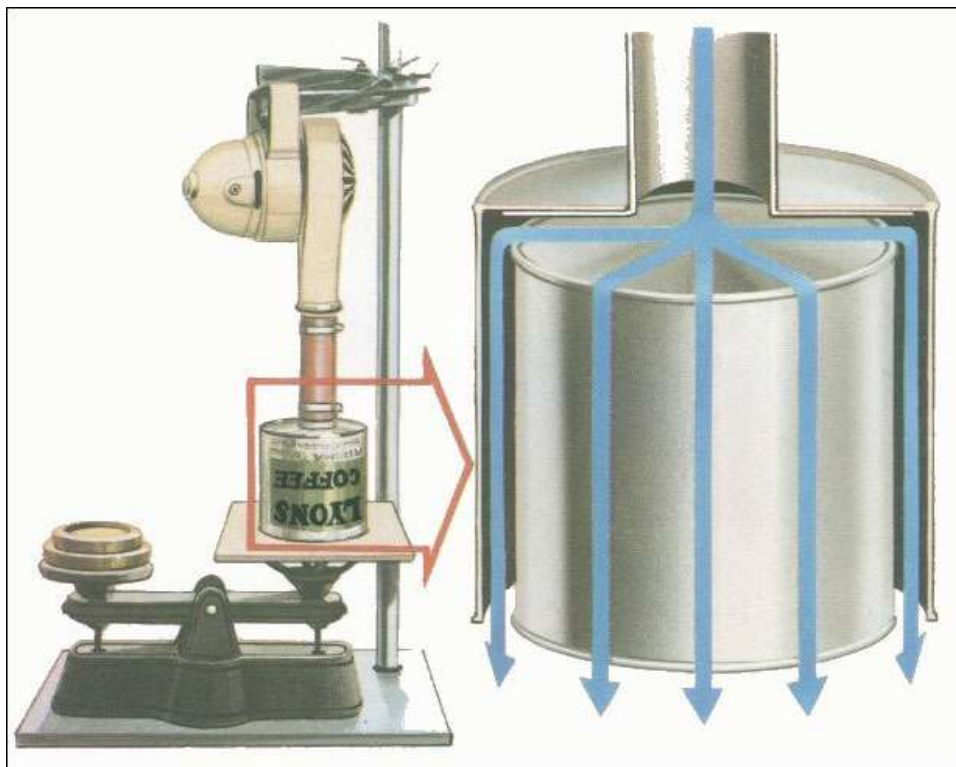
1.4 Η γέννηση της βιομηχανίας αερόστρωμων οχημάτων (hovercrafts)

Η επιτυχής χρήση της επίγειας επίδρασης στον Β' Παγκόσμιο πόλεμο ενέπνευσε Βρετανούς, Αμερικανούς, Ρώσους και Ελβετούς μηχανικούς για να ερευνήσουν εντατικά και να αναπτύξουν καινοτόμους τρόπους εφαρμογής της. Τα πολλά μοντέλα που προέκυψαν πριν από τη δεκαετία του '50 αναπτύχθηκαν ως ιπτάμενα σκάφη παρά ως αληθινά αερόστρωμα, και ήταν γνωστά ως *μηχανές επίγειας επίδρασης (ground effect machines)*. Οι όροι αερόστρωμο όχημα και *hovercraft* δεν χρησιμοποιήθηκαν μέχρι τη δύση της δεκαετίας του '50.

Η πρακτική ανάπτυξη του σημερινού αερόστρωμου σκάφους άρχισε στα μέσα της δεκαετίας του '50 στη Μεγάλη Βρετανία, όταν ο Christopher Cockerell, ο οποίος θεωρείται και ο εφευρέτης του hovercraft, άρχισε να ερευνά τη χρήση του αέρα ως λιπαντικό μέσο για να μειώσει την υδροδυναμική έλξη (drag). Ο Cockerell ήταν ένας λαμπρός ραδιο-μηχανικός, συνταξιούχος του στρατού που διατηρούσε ένα ναυπηγείο μικρών σκαφών στο Norfolk. Κατά τη διάρκεια της ζωής του, στον Cockerell χορηγήθηκαν περισσότερα από 70 διπλώματα ευρεσιτεχνίας για τις

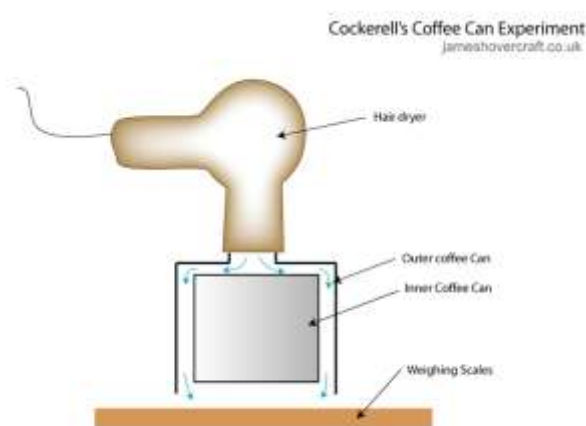
εφευρέσεις του, οι περισσότερες από τις οποίες σχετίζονται με το hovercraft. Η θεωρία του Sir Christopher Cockerell ήταν ότι εάν αντί του κενού θαλάμου (plenum chamber)-ένα ανοικτό στο κάτω μέρος κενό κιβώτιο όπως είχε επινοήσει ο Thornycroft-μπορούσε να υπάρξει παροχή αέρα σε μια στενή περιφερειακή σήραγγα στην κάτω πλευρά του σκάφους, ο παρεχόμενος αέρας θα έρεε προς το κέντρο, και το δημιουργούμενο στρώμα θα ήταν πολύ πιο αποτελεσματικό. Με αυτό το τρόπο η πίεση του αέρα θα αυξανόταν τόσο ώστε να εξισωθεί με το βάρος του σκάφους και δεδομένου ότι ο αέρας θα παγιδευόταν, η πίεση θα ανύψωνε το σκάφος πάνω από την επιφάνεια.

Ο Cockerell εξέτασε τη θεωρία του με ένα πρότυπο δοκιμής που αποτελούνταν από δύο κενά δοχεία κονσέρβας, ένα βιομηχανικό ανεμιστήρα αέρα και μία ζυγαριά κουζίνας. Με την τοποθέτηση μιας κονσέρβας από γατοτροφή μέσα σε μία κονσέρβα από καφέ, παρέχοντας ταυτόχρονα αέρα στον ενδιάμεσο χώρο μεταξύ των δύο δοχείων, απέδειξε ότι ήταν δυνατό να αυξηθεί η απόσταση μεταξύ των κουτιών (ύψος αιώρησης) και να κατασκευαστεί ένα όχημα που θα μπορούσε να ταξιδέψει πάνω σε ένα στρώμα αέρα.



Η εφεύρεση του Cockerell

Αρχικά, ο Cockerell είχε μιμηθεί προηγούμενα σχέδια που χρησιμοποιούσαν ανεμιστήρες για την παροχή αέρα από το κατάστρωμα στον κενό θάλαμο, που σήμαινε ότι ο αέρας έπρεπε να παρέχεται αδιάλειπτα προκειμένου να αντικαθιστά συνεχώς την αντίστοιχη ποσότητα που διέφευγε. Επινόησε έπειτα ένα νέο σύστημα: κατέστησε τη γάστρα του σκάφους κοίλη και τοποθέτησε οδηγούς αέρα υπό γωνία από την περιφέρεια προς το κέντρο του σκάφους για να δημιουργήσει ένα συνεχές ρεύμα αέρα. Με αυτό το τρόπο έλυσε αποτελεσματικά το πρόβλημα της διαφυγής του αέρα από το κάτω μέρος του σκάφους, κράτησε την πίεση του σταθερή και αύξησε το ύψος αιωρήσεως.



Το 1955, ο Cockerell κατασκεύασε ένα λειτουργικό μοντέλο και απέκτησε το βρετανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας 854211 για ένα όχημα που δεν ήταν ούτε ένα αεροπλάνο, ούτε βάρκα, ούτε τροχοφόρο σκάφος εδάφους. Ο Cockerell περιέγραψε την εφεύρεσή του ως "μια πολύ ακριβή ρόδα αυτοκινήτου με μια μόνιμη οπή." Το ονόμασε hovercraft, το οποίο καταχώρησε ως εμπορικό όνομα, και έτσι δεν ήταν διαθέσιμο για γενική χρήση μέχρι αργότερα όταν έδωσε γενναιόδωρα το όνομα στο δημόσιο τομέα.



Αυτό το πρότυπο, που συνδύασε το δακτυλιοειδές σύστημα με περιφερειακούς οδηγούς αέρα με το αντίστοιχο που έκανε χρήση γωνιακών οδηγών αέρα, οδήγησε στη γέννηση της βιομηχανίας αερόστρωμων οχημάτων hovercrafts. Στις προσπάθειές του να μετατρέψει την εφεύρεσή του σε εμπορικό προϊόν, ο Cockerell παρουσίασε την εφεύρεσή του στους Βρετανούς αξιωματούχους το 1956, οι οποίοι το ταξινόμησαν αμέσως ως «μυστικό», σταματώντας ουσιαστικά την εμπορική εκμετάλλευση για το επόμενο έτος.

Στο άκουσμα των νέων ότι άλλες χώρες προσπαθούσαν με εντατικούς ρυθμούς να εξελίσσουν το hovercraft, η βρετανική κυβέρνηση συνειδητοποίησε ότι η Μεγάλη Βρετανία θα θυσίαζε τη θέση της ως παγκόσμιου ηγέτη σε αυτήν την νέα τεχνολογία εάν δεν συνέχιζε την ανάπτυξή της. Έτσι έδωσε στον Cockerell την άδεια να προσεγγίσει την εθνική εταιρία ερευνητικής ανάπτυξης (NRDC), μια χρηματοδοτούμενη από την κυβέρνηση εταιρεία που θα μπορούσε να υποστηρίξει την περαιτέρω ανάπτυξη του hovercraft εάν αυτό ελευθερωνόταν από το «μυστικό κατάλογο».

Το 1958, η εφεύρεση του Cockerell αφαιρέθηκε από το «μυστικό κατάλογο», επιτρέποντας την ανάπτυξη του hovercraft για εμπορική χρήση. Το μόνο που απέμενε ήταν η κατάδειξη της αξίας του hovercraft στο στρατιωτικό τομέα. Η NRDC

συνεργάστηκε έπειτα με το τμήμα Saunders-Roe της επιχείρησης αεροσκαφών Westland για να κατασκευάσει ένα πραγματικού μεγέθους hovercraft από την ιδέα του Cockerell, το οποίο ονομάστηκε το Saunders Roe Nautical One (SRN1).



Οι πρώτες δοκιμές εν πλώ

Στις 25 Ιουλίου του 1959, πενήντα έτη από την ημέρα που ο Louis Bleriot έκανε το πρώτο πέρασμα του στενού του Ντόβερ με αεροπλάνο, το SR N1, διέσχισε το αγγλικό κανάλι από το Calais της Γαλλίας στο Ντόβερ της Αγγλίας. Ο Παγκόσμιος Τύπος θαύμασε αυτή τη νέα εφεύρεση, η οποία απέσπασε την προσοχή όλων. Το SR N1 έφερε μόνο τρεις επιβάτες.



Το SR N1

Λόγω του χαμηλού ύψους αιωρήσεως (1ft), το SR N1 υπέφερε από την επίδραση του κυματισμού. Ένας άλλος Βρετανός εφευρέτης, ο C.H. Latimer-Needham, είχε παρακολουθήσει τις καινοτομίες του Cockerell και συνειδητοποίησε ότι το πρόβλημα του κυματισμού θα μπορούσε να επιλυθεί με μία «φούστα» από λάστιχο η οποία θα περικλείει το στρώμα του αέρα, μια «εύκαμπτη φούστα».



Το SR N1 στο νερό

Η εισαγωγή της εύκαμπτης φούστας στα hovercraft ήταν μια κρίσιμη και σημαντική ανακάλυψη. Το SR N1 (χωρίς εύκαμπτη φούστα) του 1959 μπορούσε μόνο να επιχειρήσει σε μικρό ύψος κύματος και σε χαμηλές ταχύτητες. Αφότου εγκαταστάθηκε στο SR N1 μια εύκαμπτη φούστα 4 ποδιών το 1962, μπορούσε να αντιμετωπίσει άνετα τα κύματα ύψους 6-7 ποδιών, να διασχίζει ελώδεις περιοχές και να υπερκερνά εμπόδια με ύψος άνω των 3 ποδιών . Επιπλέον, το SR N1 μπορούσε τώρα να επιχειρήσει με βάρος διπλάσιο από το αρχικό του χωρίς καμία αύξηση στην ισχύ των ανεμιστήρων αιωρήσεως. Μόλις μια δεκαετία μετά από την εισαγωγή του hovercraft από τον Cockerell, οι απόγονοί του, πενήντα φορές βαρύτεροι και τρεις φορές ταχύτεροι, θα μετέφεραν το ένα τρίτο του συνόλου των επιβατών και των αυτοκινήτων από το αγγλικό κανάλι και για χρονικό διάστημα περίπου τριάντα ετών.

Για την κατανόηση της λειτουργίας των αερόστρωμων σκαφών δημιουργήθηκαν αρκετές θεωρίες, ορισμένες εκ των οποίων, αν και σήμερα θεωρούνται παρωχημένες, χρησιμοποιούνται για την αρχική ανάπτυξη σύγχρονων ACV's.

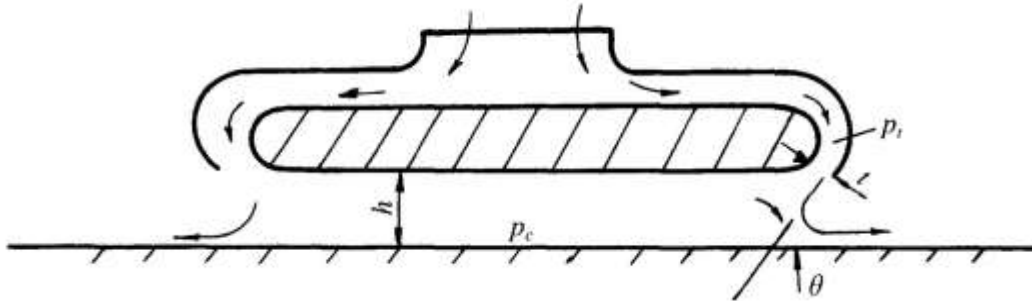


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2 Θεωρία ACV

2.1 Εκθετική θεωρία

Η εκθετική θεωρία για τη λειτουργία του στρώματος αέρα πάνω σε σταθερή επιφάνεια αναπτύχθηκε από τον κ. Stanton-Jones του BHC (British Hovercraft Corporation), ο οποίος διαπίστωσε ότι η ταχύτητα εξόδου του αέρα από ένα περιφερειακό ακροφύσιο δεν έχει σταθερή κατανομή. Συγκεκριμένα, σε ένα αερόστρωμνο, θεώρησε την πίεση του αέρα στην πλευρά του ακροφυσίου που βρίσκεται προς την ατμόσφαιρα, ίση με την ατμοσφαιρική πίεση και την πίεση που βρίσκεται στην εσωτερική πλευρά του ακροφυσίου ίση με την P_c . Έτσι, προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις για την πίεση του ανεμιστήρα αιωρήσεως και την παροχή του αέρα, οι οποίες έδωσαν αποτελέσματα που βρίσκονται αρκετά κοντά στις πειραματικές διαδικασίες.



Σχήμα 1: Ο θάλαμος αέρα ενός ACV

$$x = (1 + \cos\theta)t/h$$

$$Q = [2/pa] \{ljht 0.5[1 - (1 - pc/pt)0,5]/(1+\cos\theta)\}$$

Όπου lj το μήκος του ακροφυσίου

2.2 Θεωρία θαλάμου κενού (plenum chamber)

Η θεωρία αυτή υποθέτει ότι ο αέρας είναι ασυμπίεστο και χωρίς τριβές ρευστό. Ο αέρας εισέρχεται μέσω οχετών σε ένα κεντρικό θάλαμο και συγκρατείται

μέσω πλευρικών τοιχωμάτων. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα στρώμα αέρα που μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει σταθερή κατανομή πίεσης καθ' όλη την έκταση του. Ως εκ τούτου, προκύπτει η παρακάτω σχέση για την παροχή του αέρα κατά μήκος της περιφέρειας του σκάφους:

$$\text{Όπου: } Q = \sqrt{[2p_c/\rho_a] \Phi l_j \mu(j) h(j) dj}$$

$\mu(j)$: Συντελεστής κατάθλιψης λόγω των περιφερειακών στεγανοποιητικών (0,5-1,0)

$h(j)$: Διάκενο κατά μήκος της περιφέρειας του σκάφους

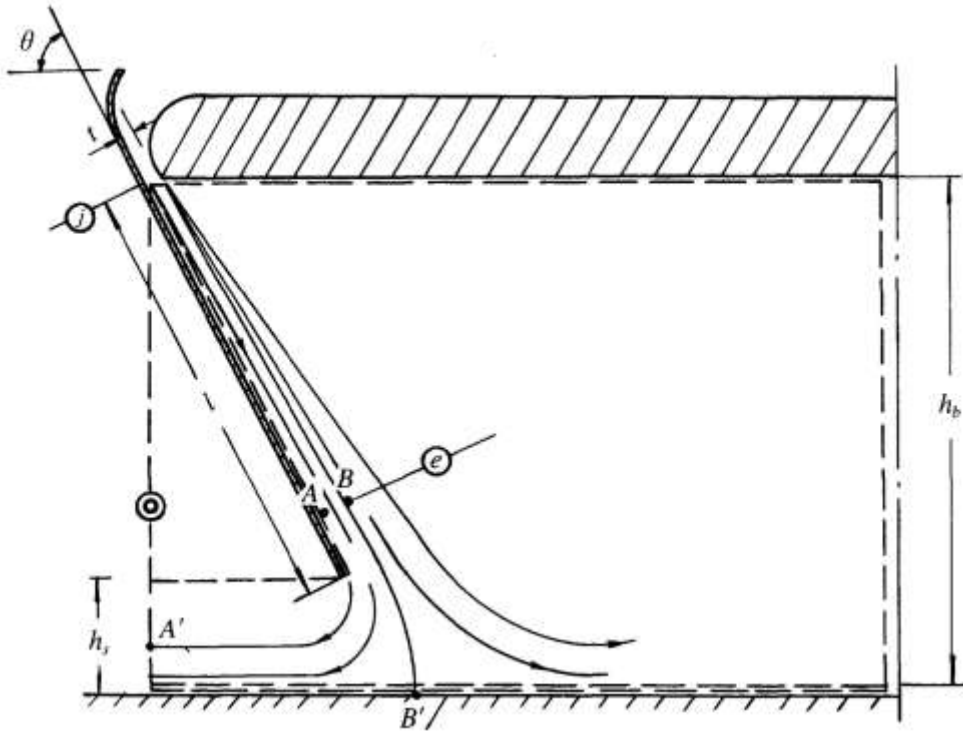
2.3 Η θεωρία του A.A. West ή απλού τοιχώματος (single wall)

Στα σύγχρονα ACV/SES χρησιμοποιούνται ελαστικές φούστες για τη συγκράτηση του αέρα στο θάλαμο. Ο A.A. West υπέθεσε ότι η ροή συγκρατείται στην εσωτερική επιφάνεια της φούστας και έκανε τις ακόλουθες παραδοχές:

α) Η κατανομή της πίεσης στο ακροφύσιο είναι σταθερή.

β) Στο σχήμα 2, το σημείο Β' είναι σημείο αποχωρισμού της ροής. Έτσι, έχουμε τη δημιουργία δύο περιοχών, όπου στη μία η ροή συγκρατείται στο εσωτερικό του θαλάμου και στην άλλη η ροή διαφεύγει προς το περιβάλλον.

γ) Η στατική πίεση στο ακροφύσιο είναι επίσης σταθερή (Σημείο j).



Σχήμα 2 : Οι γραμμές ροής από τη θεωρία του A.A WEST

Η ορμή της ροής του αέρα προς το θάλαμο ανά μονάδα μήκους

$$M_j = \rho_a V_j^2 t$$

του ακροφυσίου είναι:

Από την εξίσωση του Bernoulli, το άθροισμα της στατικής και της δυναμικής (κινηματικής) πίεσης του αέρα στο ακροφύσιο είναι:

$$p_t = p_c + 0.5\rho_a V_j^2$$

Έτσι προκύπτει: $M_j = 2(p_t - p_c)t$

Όπου:

V_j : Ταχύτητα της ροής στο ακροφύσιο

t : Το πάχος της ροής

p_c : Η πίεση του θαλάμου

Pt: Συνολική πίεση της ροής στο ακροφύσιο.

Επίσης θεώρησε ότι η ροή ανά μονάδα μήκους πάνω στις γραμμές ροής AA' και BB' παραμένει σταθερή και ότι η στατική πίεση κατά μήκος του εσωτερικού της φούστας είναι αμετάβλητη, καταλήγοντας με τη βοήθεια της εξίσωσης του Νεύτωνα στον παρακάτω τύπο:

$$M_j (\cos \theta + M_e/M_j) = (p_c - p_0) h_s$$

Βασιζόμενος στην κατανομή της ταχύτητας κατά Mayer και στη θεωρία του πάχους οριακού στρώματος τυρβώδους ροής, κατέληξε στο λόγο των ορμών της ροής για τις περιοχές e και o του σχήματος 2.

Η ισχύς ανυψώσεως ανά μονάδα επιφάνειας προκύπτει:

$$N[\rho_a/(p_c - p_0)^3]^{0.5} = (2^{0.5} t/h_s)[1 + \{h_s/[2t \cos \theta + 2.75 ((h_b - h_s)/t \sin \theta)^{-0.45}]\}]^{0.5}$$

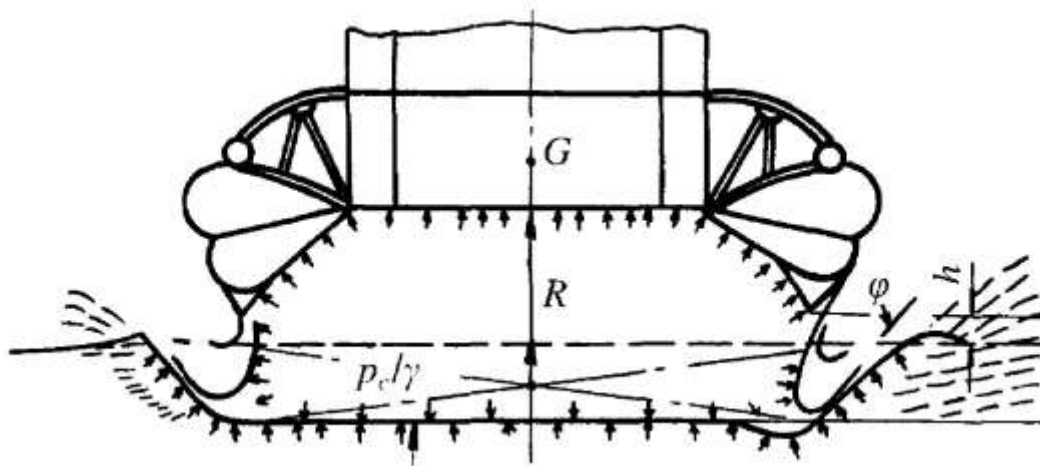
$$\times \{h_s/[2t \cos \theta + 2.75 ((h_b - h_s)/t \sin \theta)^{-0.45}]\}^{0.5}$$

2.4 Στατική ισορροπία ACV πάνω στην επιφάνεια της θάλασσας.

Θεωρώντας ένα ACV που αιωρείται πάνω στην επιφάνεια του νερού αντιλαμβανόμαστε ότι, το ύψος αιωρήσεως ουσιαστικά είναι η απόσταση μεταξύ του κάτω άκρου της φούστας και της επιφάνειας του νερού σε ηρεμία. Επίσης η άνοση του σκάφους θα είναι:

$$W = p_c S_c$$

$$S_c = l_c B_c$$



Σχήμα 3: Στατική αιώρηση αερόστρωμνου πάνω σε νερό

Στη συνέχεια, αξίζει να σημειωθεί ο μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο το σκάφος από θέση εκτοπίσματος περνά σε θέση αιωρήσεως πάνω από το νερό.

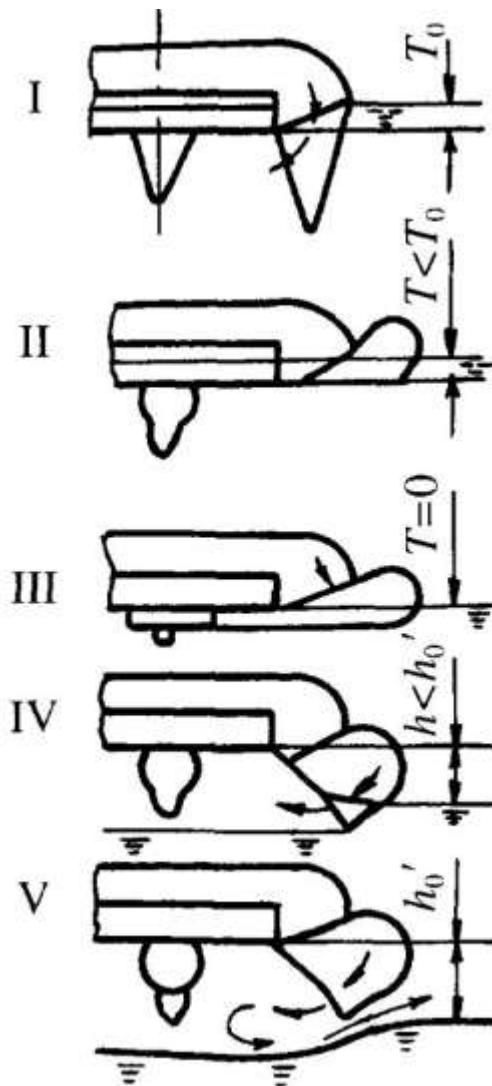
Θέση I. Το σκάφος επιπλέει στο νερό σε βύθισμα T_0 .

Θέση II. Οι ανεμιστήρες ανυψώσεως λειτουργούν σε χαμηλές στροφές, το σκάφος ισορροπεί σε $T < T_0$ στηριζόμενο κατά ένα μέρος στην δύναμη ανυψώσεως λόγω του στρώματος αέρα.

Θέση III. Αυξάνεται η ταχύτητα των ανεμιστήρων, το σκάφος περνά σε $T=0$, οπότε το βάρος του στηρίζεται εξ ολοκλήρου στο στρώμα αέρα.

Θέση IV. Περαιτέρω αύξηση των στροφών των ανεμιστήρων, θα κρατήσει σταθερή την πίεση P_c , ενώ αυξάνεται η παροχή της ροής του αέρα και η φούστα ανυψώνεται. Εμφανίζεται διάκενο h μικρότερο από το υπολογισθέν ύψος αιωρήσεως h_0 .

Θέση V. Το σκάφος ισορροπεί με ύψος αιωρήσεως h_0 και έχουμε σημαντικό μέρος του αέρα που διαφεύγει από την φούστα.



Σχήμα 4 : Φάσεις ισορροπίας αερόστρωμνου

2.5 Το Φαινόμενο Αντλησης Κυμάτων (Wave Pumping Effect)

Εδώ εισάγουμε μια έννοια, την άντληση κυμάτων, η οποία εξετάζει την ακραία συμπεριφορά αιώρησης του σκάφους σε κυματισμό. Θεωρούμε ένα αερόστρωμνο το οποίο βρίσκεται πάνω σε ημιτονοειδές κύμα. Υποθέτουμε ότι το ποσοστό εισροής αέρα στο θάλαμο του σκάφους παραμένει σταθερό, ίσο με το αντίστοιχο όταν το σκάφος αιωρείται στατικά. Κατά συνέπεια η ροή του αέρα προς το θάλαμο θα αλλάζει ανάλογα με τον όγκο που καταλαμβάνεται από το κύμα το οποίο περνά από το σκάφος στη μονάδα του χρόνου. Επομένως, η πίεση του θαλάμου θα αυξομειώνεται λόγω της διακύμανσης στην εκροή του αέρα από το θάλαμο (με

την προϋπόθεση ότι ο αέρας έχει σταθερό ποσοστό εισροής και είναι ασυμπίεστος). Το φαινόμενο που παρατηρείται από την διακύμανση της πίεσης του θαλάμου ονομάζεται "wave pumping". Στην πραγματικότητα μπορούμε να υποθέσουμε ότι ένα ACV μπορεί να επιχειρήσει με έναν από τους τρεις τρόπους που περιγράφονται παρακάτω:

2.5.1 Πρώτος τρόπος λειτουργίας

Ο πρώτος τρόπος λειτουργίας προϋποθέτει ότι η πίεση του αέρα και η κάθετη θέση του υγρού καταστρώματος παραμένουν σταθερά, επομένως και η κάθετη επιτάχυνση θα είναι σταθερή. Αυτή είναι και η ιδανική κατάσταση λειτουργίας του σκάφους για τον σχεδιαστή. Εντούτοις, ο χειριστής πρέπει να ρυθμίσει την ισχύ των ανεμιστήρων και το ποσοστό εισροής του αέρα για να κρατήσει την πίεση του θαλάμου σταθερή. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας απαιτεί και το μεγαλύτερο όγκο του αέρα.

Θεωρούμε ότι το ACV κινείται πάνω σε απότομα κύματα μικρού ύψους. Καθώς οι κορυφές των κυμάτων περνούν η πίεση του θαλάμου αυξάνεται, και όταν μια κοιλία κύματος περνά, αυξάνεται το διάκενο αέρα κάτω από τη φούστα και η πίεση του θαλάμου μειώνεται. Το αποτέλεσμα είναι μια συνεχής και γρήγορη ταλάντωση στους ανεμιστήρες η οποία γίνεται αισθητή στους χειριστές με τη μορφή κραδασμών. Εάν η ισχύς των ανεμιστήρων δεν αυξηθεί, η αντίσταση της φούστας θα αυξηθεί, η ταχύτητα του σκάφους θα μειωθεί και αρκετά συχνά το σκάφος θα πλέει με έμπλωρη διαγωγή η οποία με τη σειρά της μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενο plough-in.

Σε μικρές καταστάσεις θαλάσσης μπορούν να προκληθούν μικρές δονήσεις, οι οποίες είναι παρόμοιες με την οδήγηση ενός αυτοκινήτου σε πέτρινο δρόμο (cobblestone), ως εκ τούτου το φαινόμενο καλείται "cobblestoning". Συνήθως αυτό εμφανίζεται σε σκάφη που έχουν μεγάλο ποσοστό ροής αέρα. Οι μελετητές καταφεύγουν συνήθως σε απλούς τύπους για τον υπολογισμό της πρόσθετης ισχύος των ανεμιστήρων για την αντιμετώπιση του ανωτέρω φαινομένου, όπως ο παρακάτω:

$$(dV/dt)_{\max} = -BcHv \sin ar = -BcHv \sin ar$$

όπου:

dV/dt : η μεταβολή του όγκου του ύδατος μεταξύ πλήρης και πρύμνης στη μονάδα του χρόνου

v : η σχετική ταχύτητα του σκάφους ως προς τα κύματα

H : το ύψος των κυμάτων

B_c : το πλάτος του θαλάμου

A_r : ο μέγιστος στιγμιαίος ρυθμός άντλησης του κυματισμού (wave pumping)

2.5.2 Δεύτερος τρόπος λειτουργίας-σταθερός όγκος μαξιλαριών

Εάν το ποσοστό ροής αέρα και ο όγκος του θαλάμου είναι σταθερά, κρατώντας την ισχύ των ανεμιστήρων στο ελάχιστο, η άντληση των κυμάτων θα προκαλέσει κάθετη επιτάχυνση στο σκάφος. Κατά συνέπεια η μέγιστη κάθετη επιτάχυνση που μπορεί να παρατηρηθεί υπολογίζεται ως εξής:

$$(d_z^2/dt^2)_{max} = [\pi v^2]/[10 \times l_c]$$

Αυτός ο υπολογισμός είναι κατά προσέγγιση, επειδή έχουν γίνει αρκετές υποθέσεις. Ειδικότερα, δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι κινήσεις ανύψωσης και διατοιχισμού του σκάφους στα κύματα και της διαρροής του αέρα από τις πλευρές του θαλάμου, επομένως ο υπολογισμός είναι πολύ απλός και δεν καταδεικνύει την ποιότητα πλεύσης του σκάφους. Εντούτοις, δείχνει την επιτάχυνση που θα εμφανιστεί εάν το σκάφος ακολουθήσει το προφίλ του κύματος, όπου δεν υφίσταται επιπλέον ισχύς στους ανεμιστήρες ή εισροή αέρα στο θάλαμο.

Για να μειωθεί αυτό, είναι απαραίτητο η φούστα να αποκριθεί στα κύματα, κάτι που θα επιτρέψει στη συνέχεια την εξάντληση του αέρα από το θάλαμο. Είναι λοιπόν ιδιαίτερα κρίσιμο για τους σχεδιαστές να υπολογίσουν το απόθεμα της ισχύος των ανεμιστήρων που απαιτείται για την εξάλειψη των ακραίων κινήσεων ενός σκάφους που επιχειρεί σε θάλασσες με μεγάλο ύψος κύματος.

2.5.3 Τρίτος τρόπος λειτουργίας-συνδυασμός πρώτου και δεύτερου τρόπου

Η πίεση, ο όγκος του θαλάμου και το ύψος του υγρού καταστρώματος από την επιφάνεια του νερού αλλάζουν ταυτόχρονα, δηλαδή έχουμε συνδυασμό και των δύο προηγούμενων κινήσεων. Στην πράξη, αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο τα ACVs λειτουργούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3 Αντίσταση ACV

3.1 Εισαγωγή

Τα ACVs και τα SES δημιουργούν δυνάμεις έλξης (αντίστασης) καθώς κινούνται πάνω από την επιφάνεια του νερού. Οι μελετητές έχουν αναπτύξει διάφορες μεθόδους για την πρόβλεψη των δυνάμεων έλξης ενός ACV, η μεθοδολογία μίας εξ αυτών περιγράφεται ως κάτωθι:

Καταρχήν λαμβάνουμε τη συνολική αντίσταση από δοκιμές ενός προτύπου (μοντέλου) σε μια δεξαμενή. Υπολογίζουμε μερικές άλλες κύριες συνιστώσες της αντίστασης με τη βοήθεια αξιόπιστων και πρακτικών μεθόδων, π.χ. με τη βοήθεια της αναλογικής θεωρίας του Reynolds για την πρόβλεψη της αεροδυναμικής αντίστασης σε σήραγγες αέρα. Στη συνέχεια η υπόλοιπη αντίσταση μπορεί να καθοριστεί με την αφαίρεση των επιμέρους συνιστωσών από τη συνολική αντίσταση που υπολογίσθηκε με τις δοκιμές του μοντέλου. Γενικά, η συνολική αντίσταση ενός αερόστρωμνου σκάφους μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$R_{acv} = R_w + R_a + R_m + R_{sk} + R_{a''}$$

όπου:

R_{acv} : η συνολική αντίσταση

R_w : η αντίσταση κυματισμού λόγω του θαλάμου αέρα

R_a : η αεροδυναμική αντίσταση

R_m : η αεροδυναμική αντίσταση λόγω μεταβολής της ορμής

R_{sk} : η αντίσταση λόγω της φούστας

Ra'' : η αντίσταση λόγω της διαφοράς στη διαρροή του αέρα από το πλωριό και το πρυμνιό μέρος της φούστας

3.2 Η αεροδυναμική αντίσταση λόγω μεταβολής της ορμής

Λόγω της συνεχούς διαρροής του αέρα από τη φούστα προς το περιβάλλον, πρέπει απαραίτητα αυτός να αντικαθίσταται από ίσης μάζας αέρα για να μπορέσει να διατηρηθεί η πίεση στο θάλαμο. Κατά συνέπεια, η μάζα του αέρα που εγκλωβίζεται στο "μαξιλάρι" θα επιταχυνθεί στην ταχύτητα του σκάφους. Η αντίσταση λόγω της μεταβολής της ορμής σε αυτή τη μάζα του αέρα καλείται αεροδυναμική αντίσταση ορμής και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$R_m = Q \rho_a V$$

Όπου:

R_m : η αεροδυναμική αντίσταση λόγω μεταβολής της ορμής

Q : η παροχή του αέρα

ρ_a : η πυκνότητα του αέρα

V : η ταχύτητα του σκάφους

3.3 Αντίσταση λόγω μεταβολής της ορμής του αέρα (από τη διαρροή του) από τα πλωραία και πρυμναία διάκενα της φούστας ($R_{a''}$)

Σύμφωνα με τη θεωρία της ορμής, αυτή η αντίσταση μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$R_{a''} = \rho_a (\phi h_1 B_c P - \phi h_2 B_c P) P \approx W a''$$

Όπου:

Φ : συντελεστής διαρροής αέρα (συνήθως 0.5-0.6)

h_1 : το πλωραίο διάκενο της φούστας

h_2 : το πρυμναίο διάκενο της φούστας

$$P = \sqrt{2P_c \cdot Pa}$$

α'' : η γωνία μεταξύ της ισάλου και της νοητής ευθείας που ενώνει τα κάτω άκρα του πλωραίου και πρυμναίου τμήματος της φούστας

Η αντίσταση $R_{\alpha''}$ εξαρτάται από το λόγο του μήκους προς το πλάτος του σκάφους, από τον αριθμό Fr, από το λόγο πίεσης προς το μήκος του θαλάμου αέρα (παράγοντες που επηρεάζουν το προφίλ της ισάλου), τη θέση του κέντρου βάρους (που επηρεάζει το trim του σκάφους) και από το πλωραίο και πρυμναίο διάκενο της φούστας με το νερό.

Για τη μείωση της αντίστασης οι χειριστές μπορεί να αυξήσουν το πρυμναίο διάκενο, οπότε η $R_{\alpha''}$ μπορεί να γίνει μικρότερη του μηδενός. Οι σχεδιαστές των αερόστρωμων σκαφών κατ' εκτίμηση λαμβάνουν τη γωνία $\alpha' = 0.25-0.5$, η οποία παρ' όλα αυτά μπορεί να υπολογισθεί με τη βοήθεια προτύπων.

Στο σχήμα 5 η ευθεία AB ενώνει το πλωραίο με το πρυμναίο άκρο της φούστας και ψ' είναι η γωνία μεταξύ του επιπέδου της θάλασσας και της AB. Η γωνία της εσωτερικής επιφάνειας του κύματος παριστάνεται ως α' και R_w είναι η αντίσταση κυματισμού.

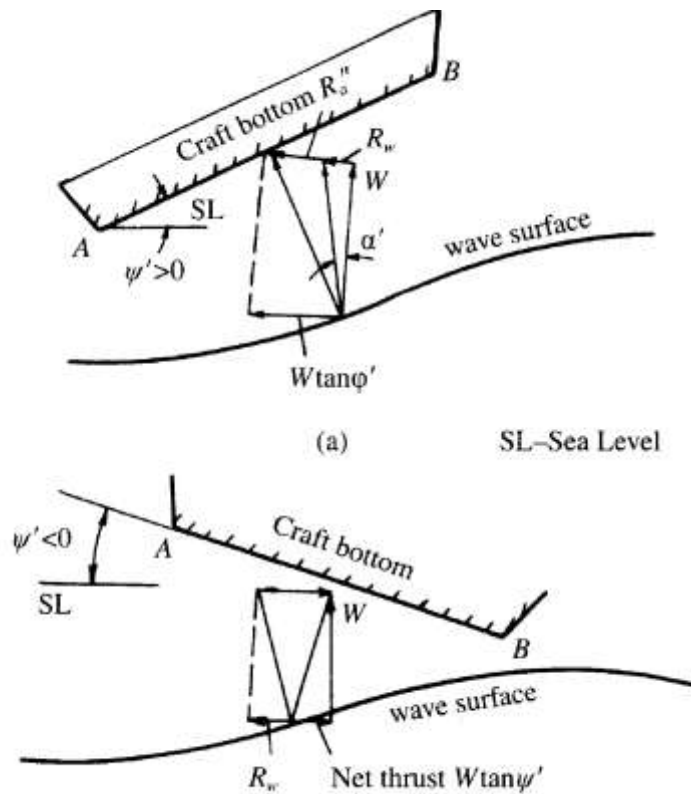
- Όταν $\psi' < 0$ το σκάφος έχει διαγωγή έμπρυμη και θα ισχύει:

$$R_{\alpha''} = W \tan \psi' - R_w$$

- Όταν $\psi' > 0$ το σκάφος έχει διαγωγή έμπλωρη και θα ισχύει:

$$R_{\alpha''} = -W \tan \psi' - R_w < 0$$

Που σημαίνει ότι η $R_{\alpha''}$ γίνεται ωστική.



Σχήμα 5 : Αντίσταση λόγω μεταβολής της ορμής του αέρα που διαφεύγει από το θάλαμο.

3.4 Η αντίσταση της φούστας

Η σύνθεση της αντίστασης της φούστας μπορεί να υπολογισθεί με τον κάτωθι τύπο:

$$R_{sk} = R_{sf} + R_{sp} + R_{ss} + R_{si}$$

όπου R_{sk} είναι η συνολική αντίσταση της φούστας, R_{sf} η τριβή της φούστας με το νερό, R_{sp} η αντίσταση λόγω της πίεσης της φούστας, R_{ss} η αντίσταση λόγω του αφρού (spray) της φούστας και R_{si} η αντίσταση αδράνειας της φούστας (R_{si} είναι η επαγόμενη αντίσταση κυματισμού που προκαλείται από την υψηλής συχνότητας ταλάντωση της φούστας). Για αυτόν τον λόγο, αυτή η αντίσταση είναι ανάλογη της μάζας της φούστας, και καλείται αντίσταση αδρανείας. Η αντίσταση R_{sp} είναι το αποτέλεσμα της πίεσης του θαλάμου αέρα και των εσωτερικών φορτίων που δημιουργούνται από την παραμόρφωση του μέρους της φούστας που βρίσκεται επάνω από τη στάθμη της θάλασσας και εξισορροπεί την πίεση του νερού που επενεργεί στο μέρος της φούστας που βρίσκεται κάτω από τη στάθμη της θάλασσας.

Η αντίσταση της φούστας δεν εξαρτάται μόνο από το ποσοστό της φούστας που είναι βυθισμένο, αλλά και από το υλικό που αυτή είναι κατασκευασμένη. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο η πρόβλεψή της είναι ιδιαίτερα δύσκολη με τη βοήθεια θεωρητικών μεθόδων και συνήθως προτιμούνται πειραματικά μοντέλα. Όσον αφορά τα ACV, η τριβή της φούστας με την επιφάνεια του νερού είναι μία μεγάλη συνιστώσα της συνολικής αντίστασης, εξαιτίας της υψηλής πυκνότητας του ύδατος (800 φορές μεγαλύτερη από αυτή του αέρα). Το μεγαλύτερο ποσοστό της φούστας βρίσκεται σε μικρή επαφή με το νερό, ενώ το πρυμναίο τμήμα μπορεί να προκαλέσει ένα αρκετά μεγάλο ποσό αντίστασης "εκσκαφής" σε χαμηλές ταχύτητες (ιδιαίτερα κάτω από την humpspeed ή $Fr < 0.75$). Από αυτό το φαινόμενο μπορεί να προκληθεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα κατά την διέλευση από την humpspeed όταν η γεωμετρία της φούστας είναι δυσμενής.

Πάνω από την humpspeed το πρυμναίο τμήμα της φούστας είναι το σημαντικότερο τμήμα για τον καθορισμό της αντίστασης της φούστας. Μερικές φορές η αντίσταση της φούστας θα αυξηθεί σημαντικά σε περίπτωση πλεύσης με μη μηδενικό trim, όταν είτε το πλωραίο τμήμα έρχεται σε επαφή με το νερό (LCG ΠΡ) είτε οι άκρες του πρυμναίου τμήματος της φούστας έρχονται σε επαφή με το νερό προκαλώντας το φαινόμενο της "εκσκαφής" του ύδατος (water scooping) (LCG). Αξίζει να σημειωθεί ότι η αντίσταση της φούστας κατέχει αρκετά σημαντικό ποσοστό της συνολικής αντίστασης του σκάφους που μπορεί να φθάσει και το 55%. Οι συνιστώσες της αντίστασης της φούστας είναι δύσκολο να προσεγγιστούν με

υπολογιστικές μεθόδους. Γι'αυτόν ακριβώς το λόγο έχουν αναπτυχθεί ορισμένοι εμπειρικοί τύποι:

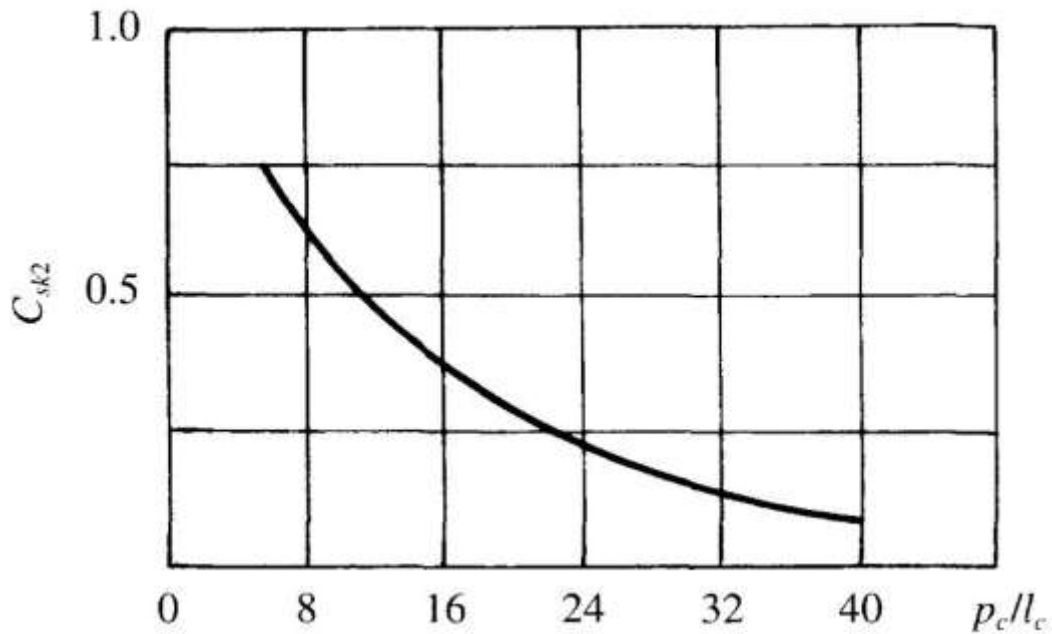
$$R_{sk} = R_{sk1} + R_{sk2}$$

$$R_{sk1} = C_{sk1} \times 10^{-6} (h/l_j)^{-0.34} l_j S_c^{0.5} q_w$$

$$R_{sk2} = C_{sk2} R_w$$

$$C_{sk2} = \{ [2.8167 (p_c/l_c)^{-0.259}] - 1 \}$$

όπου R_{sk} είναι η συνολική αντίσταση της φούστας, R_{sk1} η αντίσταση του βρεχόμενου μέρους της φούστας, R_{sk2} η επαγόμενη αντίσταση κυματισμού λόγω της φούστας, h η μέση τιμή του διακένου της φούστας με το νερό όπου $h = S_j/l_j$ σε συνθήκες στατικής αιώρησης (το S_j αναφέρεται στην επιφάνεια από την οποία διαρρέει ο αέρας από τη φούστα), l_j το μήκος της περιφέρειας της φούστας, R_w η αντίσταση κυματισμού λόγω του θαλάμου αέρα, S_c η επιφάνεια του ανωτέρω θαλάμου, q_w ο υδροδυναμικός όρος λόγω της ταχύτητας του σκάφους, $C_{sk1}=2.5-3.5$ ο συντελεστής της υδροδυναμικής αντίστασης και C_{sk2} ο συντελεστής της επαγόμενης αντίστασης κυματισμού λόγω της φούστας ο οποίος προκύπτει από το παρακάτω διάγραμμα:



Συντελεστής της επαγόμενης αντίστασης κυματισμού

3.5 Αντίσταση τριβής της φούστας

Για τη μελέτη αυτής της συνιστώσας θα αναλύσουμε τον τύπο φούστας bag-finger προκειμένου να γίνει κατανοητή η δύναμη που ασκείται στις φούστες λόγω τριβής με το νερό. Υποθέτουμε ότι το ύφασμα της φούστας είναι τέλεια εύκαμπτο. Αυτό σημαίνει ότι το ύφασμα της φούστας έχει τη δυνατότητα να παραμορφωθεί και να γίνει επίπεδο και παράλληλο με την επιφάνεια του νερού. Η παραμόρφωση αυτή δίνεται από τον κάτωθι τύπο:

$$L_1 + L_2 = [d + R(1 - \cos \theta)/\sin \theta$$

όπου το L_1 είναι το μήκος του τόξου της φούστας που βρίσκεται σε επαφή με την επιφάνεια του νερού L_2 το μέρος της φούστας που είναι στο ίδιο επίπεδο με την επιφάνεια του ύδατος, R η ακτίνα της κυρτότητας λόγω της κάμψης της φούστας, d η βύθιση της φούστας και θ η γωνία απόκλισης της φούστας.

Η τριβή της φούστας ισορροπεί με τις τάσεις στο ύφασμά της, η οποία μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$D = (p_c - p_0)R = p_c R = R_{sf}$$

όπου το D είναι η τάση του υφάσματος της φούστας ανά μονάδα πλάτους, P_c η πίεση του θαλάμου, P_0 η ατμοσφαιρική πίεση που θεωρείται ίση με μηδέν και R_{sf} η τριβή της φούστας με το νερό ανά μονάδα πλάτους. Στην περίπτωση του υπολογισμού της τριβής στο πρυμναίο τμήμα της φούστας, ο προσδιορισμός της είναι στην πραγματικότητα ιδιαίτερα πολύπλοκος λόγω του μεγάλου ψεκασμού (spray).

3.6 Υπολογισμός της συνολικής αντίστασης της φούστας

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι για τον υπολογισμό της συνολικής αντίστασης της φούστας ενός αερόστρωμνου. Μία σύγκριση τριών εξ αυτών παρατίθεται στον ακόλουθο πίνακα:

Drag components	Method 1 Estimation	Method 2 Conversion from model tests	Method 3 Interpretative
Aerodynamic profile drag		$R_a = 0.5 \rho_a C_d S_a v^2$	
Aerodynamic momentum drag		$R_m = \rho_a Q v$	
Momentum drag due to differential leakage from bow and stern skirts		$R_w = C_w \rho_c^2 B_d (\rho_w g)$	C_w can be obtained from Figs 3.2 and 3.3
Wave-making drag	$R_w = W a''$	R_w is included in R_r	$R_w = W a''$
Skirt drag or residual drag	$R_s = (0.5 \sim 0.7) (R_w + R_m + R_a + R_r)$	$R_r = (R_{im} - R_{sm} - R_{wm} - R_{sc}) (W/W_m)$	$R_{sk} = C_{sk1} \times 10^{-6} (h/l)^{-0.34} l_j q_w S_c^{0.5} + \{ [2.8167 (p_c/l_c)^{-0.250}] - 1 \} R_w$ $C_{sk1} = 1.35 + 0.112 P_c/l_c$
Total drag	$R_T = K_T (R_a + R_m + R_w + R_r)$ where $K_T = 1.5 \sim 1.7$	$R_T = R_a + R_m + R_w + R_r$	$R_T = K'_T (R_a + R_m + R_w + R_r + R'_{sc})$
Remarks	See Note 1	See Note 1	See Note 2

Note 1: In methods 1 and 3 a'' denotes the angle between the inner water surface and the line linking the lower tips of bow and stern skirts.

Note 2: In method 3, normally $K'_T = 1.15-1.25$, but where a large amount of references and experimental data are available, then K'_T may be reduced to 1.0-1.1.

Πίνακας : Μέθοδοι υπολογισμού της αντίστασης ενός ACV

Παρατηρήσεις

- Η μέθοδος 1 περιέχει αρκετές παραδοχές γι'αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά το αρχικό στάδιο σχεδίασης. Η μέθοδος 3 είναι ακριβέστερη από τη

No1, παρόλα αυτά όμως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί πέραν του αρχικού σταδίου σχεδίασης.

- Η μέθοδος 2 είναι κατάλληλη για τα στάδια λεπτομερούς σχεδίασης.
- Η αντίσταση των εξαρτημάτων που βρίσκονται πάνω από την ίσαλο (πηδάλια αέρα, κάθετα και οριζόντια πτερύγια) συμπεριλαμβάνεται στην αντίσταση λόγω μορφής του σκάφους.
- Σε αναλογία με τα συμβατικά σκάφη, ισχύει η μέθοδος του Froude για τον υπολογισμό της αντίστασης του σκάφους από πειραματικές μετρήσεις με μοντέλα.

3.7 Προβλήματα-Δυσκολίες Των Αερόστρωμων Σκαφών στη Φάση της Απογείωσης

Η ικανότητα επιτάχυνσης ενός ACV μέσω της humpspeed είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό σχεδιασμού. Οι σχεδιαστές και οι χρήστες ανησυχούν επομένως συχνά για την ικανότητα "απογείωσης" ενός αερόστρωμου που επιχειρεί πάνω από το νερό, επειδή η humpspeed είναι περίπου στο ένα τρίτο με το ένα πέμπτο της ταχύτητας σχεδίασης. Humpspeed καλείται η τιμή της ταχύτητας του σκάφους όπου παρατηρείται η μέγιστη τιμή της επαγόμενης αντίστασης κυματισμού. Το σκάφος κινείται αρκετά γρήγορα, αλλά όχι τόσο ώστε να ανυψωθεί πάνω από το νερό. Όταν υπερβαίνει αυτήν την ταχύτητα, το εκτόπισμα του σκάφους μειώνεται (λόγω της αιώρησής του) επομένως η αντίστασή του μειώνεται. Ένα παράδειγμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Μετάβαση από τη hump speed για το U22

Ορισμένα χαρακτηριστικά αυτής της απογείωσης παρουσιάζονται εδώ καθώς και μερικά σχόλια για τη βελτιστοποίηση των σκαφών πάνω σε αυτό το θέμα. Όταν η ταχύτητα του σκάφους αυξάνεται σε Fr περίπου 0,38 το σκάφος βρίσκεται μεταξύ

των δύο κορυφών του κύματος. Το μέσον λοιπόν του σκάφους βρίσκεται στο κοίλο του κύματος και παρατηρείται μεγάλη εκροή αέρα από το θάλαμο. Στη συνέχεια μειώνεται το κενό αέρα κάτω από την πλώρη και την πρύμνη, το οποίο θα οδηγούσε σε επαφή του σκάφους με την επιφάνεια του νερού σε αυτά τα σημεία και θα εμφανιστεί μια νέα πηγή αντίστασης που θα ενεργήσει στο σκάφος. Στην περίπτωση κακής σχεδίασης της φούστας ή των στεγανοποιητικών, η μέγιστη αντίσταση μπορεί να παρουσιαστεί σε αριθμούς Fr μεγαλύτερους από 0,38 (φθάνουν και σε 0,56 που είναι το σημείο της κύριας αντίστασης humpspeed).

Επιπρόσθετα, η εγκάρσια ευστάθεια θα μειωθεί σημαντικά. Το σκάφος θα τείνει να λειτουργήσει με έμπλορη διαγωγή όταν το πρυμνίο μέρος της φούστας είναι άκαμπτο και το πλωριό μέρος εύκαμπτο. Το σκάφος θα αποκτήσει μεγάλη γωνία παρέκλισης και ο χειριστής του θα είναι υποχρεωμένος να χρησιμοποιεί το πηδάλιο συχνότερα. Επίσης, θα παρατηρηθεί αρκετά μεγάλο ποσό ψεκασμού από το μέσον του πλοίου ο οποίος θα παρεμποδίζει την ορατότητα του οδηγού και θα καθιστά το χειρισμό του σκάφους ακόμα δυσκολότερο.

Η λειτουργία θα γινόταν πιθανώς πολύ περίπλοκη εάν η θάλασσα ήταν κυματώδης. Τέτοια φαινόμενα είναι χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός σκάφους που αποτυγχάνει να επιταχύνει επιτυχώς μέσω της δευτερεύουσας humpspeed.

Εάν το σκάφος μπορεί ή όχι να περάσει από τη humpspeed εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά της φούστας, την αναλογία μήκους-πίεσης του θαλάμου αέρα, την εγκάρσια ευστάθεια και το σωστό χειρισμό του σκάφους. Από την οπτική μεριά της αντίστασης του σκάφους, οι παράγοντες που επηρεάζουν την απογείωση (take-off) μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

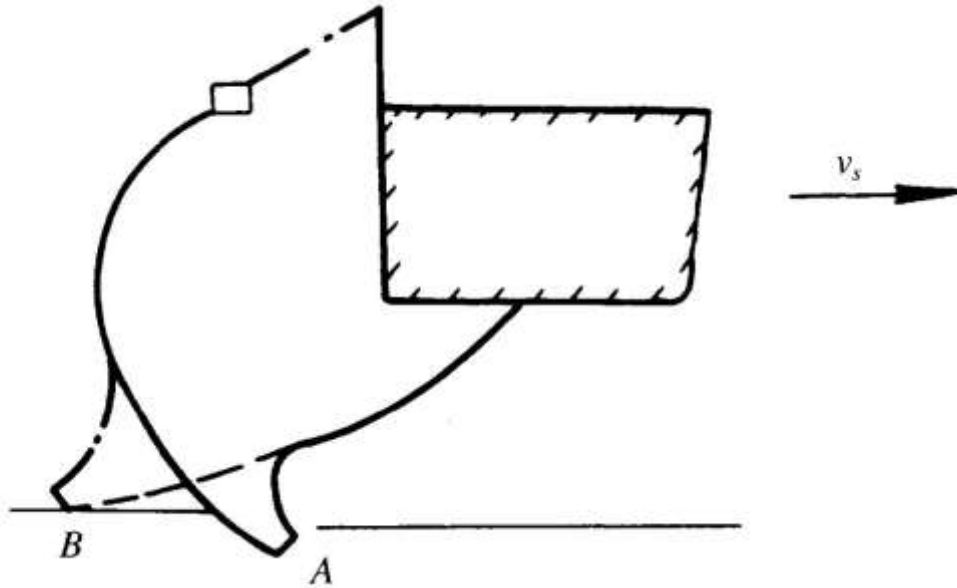
- Το πλάτος της μέγιστης αντίστασης, ειδικά στη δευτερεύουσα humpspeed ($Fr = 0.38$), η πρόσθετη αντίσταση κυματισμού λόγω της φούστας στη δευτερεύουσα humpspeed και η ευελιξία των φουστών να αποκρίνονται στα κύματα χωρίς φαινόμενα εκσκαφής.
- Η ικανότητα του σκάφους να έχει σταθερότητα στην δοθείσα πορεία (coursestability) και καλή εγκάρσια ευστάθεια κατά τη διάρκεια της απογείωσης από την humpspeed.

Δεν είναι δύσκολο να βελτιωθεί η δυνατότητα επιτυχούς διέλευσης μέσω της humpspeed εάν οι ανωτέρω παράγοντες ληφθούν υπόψη κατά τη σχεδίαση. Σύμφωνα με την ερευνητική εμπειρία του οργανισμού MARIC, παρακάτω παρατίθενται μερικά παραδείγματα για την επεξήγηση αυτών των παραγόντων.

1. Το μοντέλο ACV 711, το πρώτο κινεζικό αμφίβιο hovercraft δοκιμής, δυσκολεύτηκε ιδιαίτερα κατά τη διάβαση μέσω της humpspeed το 1965. Το σκάφος, που ζυγίζει 4t, είχε εξοπλιστεί με σύστημα πρόωσης ισχύος 191 kW και έλαβε ώθηση 5000N κατά τη διάρκεια της απογείωσης. Αυτό σήμανε ότι η αναλογία ώθησης/άνωσης ήταν περίπου 1/8. Έτσι, παρατηρήθηκε εκσκαφή ύδατος από το πρυμνίο τμήμα του σκάφους με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλης αντίστασης. Μετά από ένα χρόνο, ο MARIC τοποθέτησε μια βαλβίδα ελέγχου στον αεραγωγό για να ρυθμίσει την επιχειρησιακή συμπεριφορά του σκάφους προκειμένου να μειωθεί η αντίσταση από την επαφή του ύδατος με τη φούστα. Το σκάφος πέρασε επιτυχώς από την humpspeed.

2. Στη συνέχεια, στο μοντέλο 711 τοποθετήθηκε μια εύκαμπτη φούστα. Η ικανότητα απογείωσης του σκάφους βελτιώθηκε σημαντικά λόγω της διεύρυνσης της περιοχής του θαλάμου αέρα, η οποία μείωσε την πίεση του θαλάμου και το λόγο πίεσης-μήκους θαλάμου, και επίσης λόγω της δυνατότητας της εύκαμπτης φούστας να αποκρίνεται καλά στον κυματισμό. Η αντίσταση κυματισμού στη δευτερεύουσα humpspeed μειώθηκε από τις ίδιες τροποποιήσεις.

3. Το τροποποιημένο μοντέλο 711 με τις εύκαμπτες φούστες βρέθηκε περιστασιακά να αντιμετωπίζει δυσκολίες στη διάβαση από την humpspeed.



Σχήμα 6: Εκσκαφή ύδατος λόγω της μορφής της φούστας

Η φούστα στο πρυμνίο τμήμα κατά τη διάρκεια της απογείωσης έλαβε μια μορφή που επέτρεπε την εκσκαφή ύδατος (σχήμα 6). Μία σημαντική «καινοτομία» συνέβη όταν αυτό το τμήμα της φούστας έσπασε (αστόχησε) και πήρε το σχήμα που φαίνεται στο σχέδιο 6 (σημείο B).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4 Ευστάθεια

4.1 Εισαγωγή

Τα hovercraft είναι μάλλον διαφορετικά από τα συμβατικά σκάφη δεδομένου ότι λειτουργούν σε διάφορες καταστάσεις:

1. Επιπλέον στηριζόμενα εξ' ολοκλήρου στη γάστρα τους όπως μια βάρκα
2. Σε κατάσταση ημιαιωρήσεως όπως σκάφη εκτοπίσματος κάτω από την humpspeed
3. Σε κατάσταση αιωρήσεως στην επιφάνεια του νερού πάνω από την humpspeed
4. Να επιχειρούν σε διαφορετικές συνθήκες όπως σε πάγο, σε χιόνι, σε έλη, κλπ.

Επιπλέον, η μετάβαση μεταξύ των καταστάσεων 2 και 3 δημιουργεί σημαντικές εγκάρσιες κλίσεις καθώς και δυναμικά φορτία στο σύστημα της φούστας που καθιστούν το σκάφος λιγότερο σταθερό. Η ασφαλής λειτουργία του σκάφους σε κυματισμό ενώ αυτό βρίσκεται στην κατάσταση 3 επίσης απαιτεί προσοχή στην επίδραση της φούστας στην ευστάθεια του σκάφους. Δεν είναι λίγα τα παραδείγματα που αποδεικνύουν τα όσα αναφέρθηκαν ανωτέρω. Το σοβαρότερο ίσως από αυτά ατύχημα συνέβη στο hovercraft επιβατών Hovertravel, SR N6-012, που λειτουργούσε μεταξύ του Πόρτσμουθ και του Ryde στη Νήσο Wight τον Μάρτιο του 1972. Το αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης του αέρα και των κυμάτων σε μία ξαφνική θύελλα, οδήγησε στο θάνατο πέντε επιβατών.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα διερευνήσουμε πολλά προβλήματα που μπορούν να οδηγήσουν στην ανατροπή του hovercraft λόγω της δυναμικής αστάθειας. Ένα hovercraft απαιτεί έναν ελάχιστο θετικό μοχλοβραχίονα ευστάθειας κατά το pitch και το roll είτε αυτό επιπλέει ή αιωρείται στατικά είτε κινείται. Όταν βρίσκεται σε κίνηση, πρέπει να υπάρχει ευστάθεια κατά το yaw (γωνία παρέκλισης) και ικανοποιητική ροπή επαναφοράς για την σταθεροποίηση των δυναμικών φορτίων.

Μερικοί απλοί κανόνες ευστάθειας δίνονται παρακάτω:

Στατική ευστάθεια

Pitch: $h/Lc > 0.05Pc$ (μέτρα)

Roll: $h/Bc > 0.08Pc$

Δυναμική ευστάθεια

Pitch: $h/Lc > 0.05Pc$

Roll: $h/Bc > 0.08Pc$

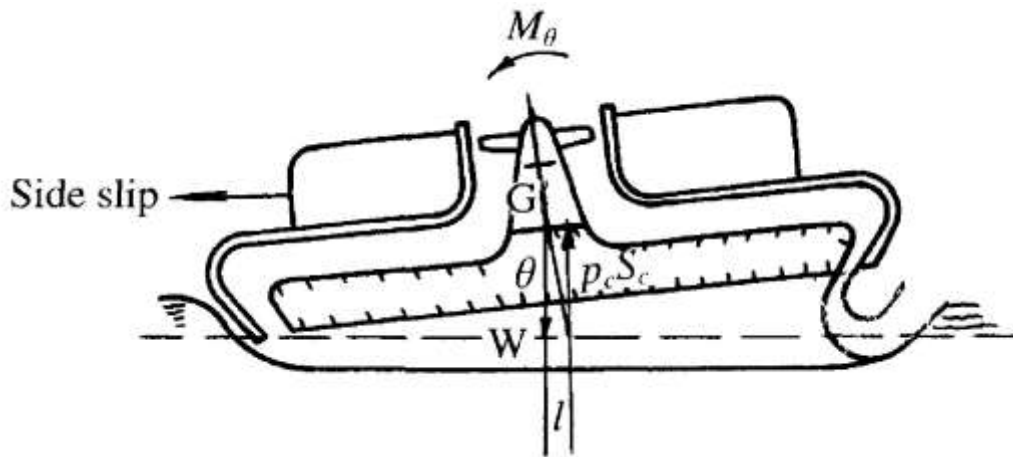
Yaw: $h/Lc > 0.02Pc$

Σημείωση: Η τιμή του Pc μετριέται σε μέτρα μανομετρικού ύψους στήλης νερού. Η δυναμική ευστάθεια μετριέται στην ταχύτητα σχεδίασης του σκάφους.

4.2 Εγκάρσια Ευστάθεια

Ένα ACV δεν έχει καμία φυσική ροπή επαναφοράς από το θάλαμο αέρα όταν αποκτά κλίση σε κατάσταση αιωρήσεως. Όταν ένα αερόστρωμο σκάφος στο οποίο δεν υφίσταται διαμερισματοποίηση του θαλάμου αέρα, αποκτά κλίση λόγω πιθανής μετακίνησης φορτίου, δημιουργείται ροπή ανατροπής χωρίς παράλληλη εμφάνιση ροπής επαναφοράς γιατί η πίεση του αέρα στο θάλαμο θεωρείται σταθερή καθόλο το μήκος του.

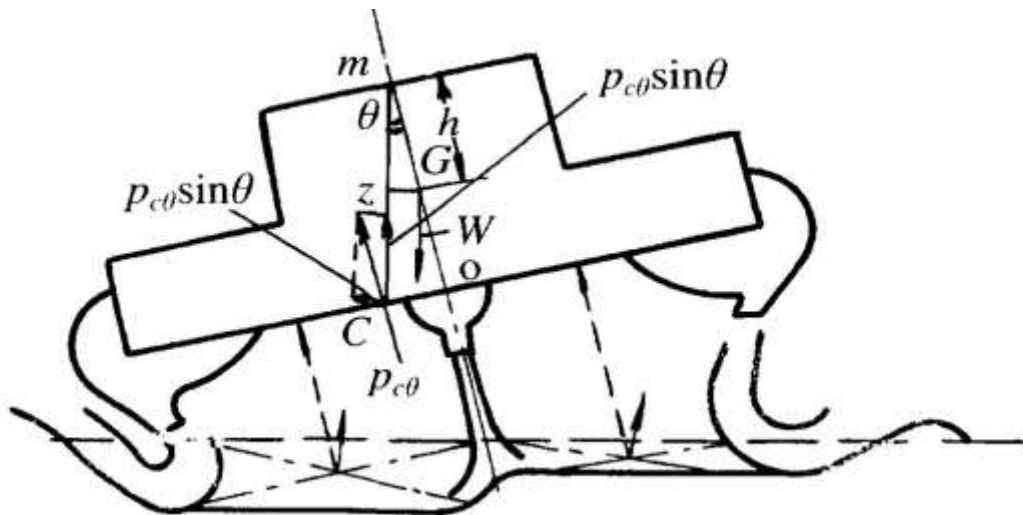
Η γεωμετρία της φούστας και ιδιαίτερα ο λόγος Pl/Pc έχουν σημαντική επιρροή στη ροπή επαναφοράς για ένα αερόστρωμο. Όταν το σκάφος επιχειρεί σε ταχύτητες κάτω από την humpspeed, η ακαμψία της φούστας θα αλληλεπιδράσει με τον όγκο του εντοπιζόμενου ύδατος στην πλευρά του σκάφους που κατεβαίνει δημιουργώντας ροπή επαναφοράς. Σε ταχύτητες πάνω από την humpspeed, η επιφάνεια της φούστας πλανάει στο νερό και η δύναμη που δημιουργείται περιορίζεται σε τιμή λόγω του υλικού κατασκευής της φούστας.



Σχήμα 7: Εγκάρσια κλίση σκάφους χωρίς διαμερισματοποίηση

4.3 Διαμερισματοποίηση Hovercraft

Στην περίπτωση όπου ένα ACV χωρισμένο σε δύο διαμερίσματα, κατά το διαμήκες, αποκτήσει εγκάρσια κλίση θα παρατηρηθεί μείωση της πίεσης στο θάλαμο αέρα της πλευράς που ανεβαίνει λόγω της μεγάλης διαφυγής αέρα από αυτή και αύξηση της πίεσης του αέρα στο θάλαμο που κατεβαίνει λόγω μειωμένης ροής. Έτσι, η διαφορά μεταξύ των δύο πιέσεων θα δημιουργήσει ροπή επαναφοράς μετακινώντας ταυτόχρονα το κέντρο της πίεσης προς τα κάτω. Εν τω μεταξύ, η εγκάρσια συνιστώσα $P_c \sin \theta$ της συνισταμένης πίεσης των θαλάμων $P_c \theta$ θα οδηγήσει επίσης σε παρέκκλιση του σκάφους. Για αυτόν τον λόγο, γενικότερα στην περίπτωση που ένα αερόστρωμνο αποκτήσει εγκάρσια κλίση, παρατηρείται ταυτόχρονη κίνηση παρέκκλισης του σκάφους. Το ίδιο ακριβώς φαινόμενο εμφανίζεται όταν το σκάφος κινείται πάνω σε νερό (σχέδιο 8). Παρατηρούμε ότι η επιφάνεια του νερού σε κάθε διαμέρισμα δεν είναι στο ίδιο επίπεδο. Ο όγκος του εκτοπιζόμενου νερού είναι ίσος με την άνωση που προκαλείται από την πίεση του αέρα σε κάθε θάλαμο.



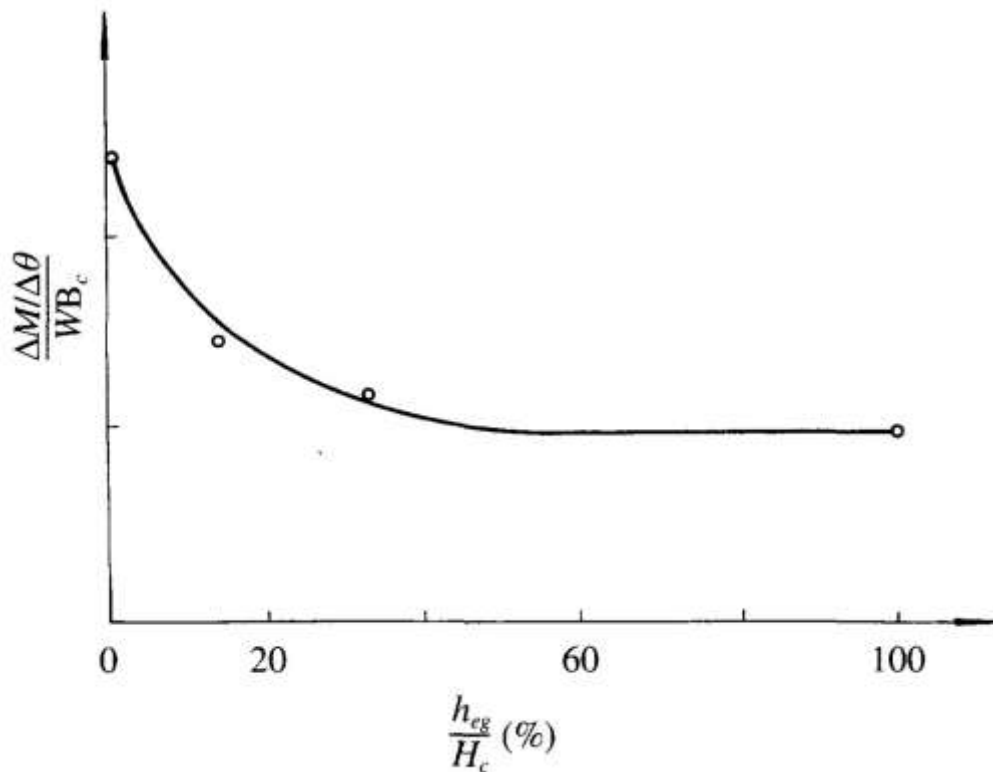
Σχήμα 8: Εγκάρσια κλίση αερόστρωμνου σε άκαμπτη επιφάνεια

4.4 Συστήματα Ανύψωσης της Φούστας

Η αρχή λειτουργίας των συστημάτων ανύψωσης της φούστας αναπτύχθηκε από την εταιρεία Hovercraft Development Limited στο Ηνωμένο Βασίλειο. Η φούστα μπορεί να μετατοπιστεί στην εγκάρσια κατεύθυνση αλλάζοντας το κέντρο της πίεσης και δημιουργώντας ροπή επαναφοράς. Τέτοια συστήματα έχουν εφαρμοστεί κυρίως για την υποβοήθηση των χειρισμών ενός αερόστρωμνου σε στροφή. Η φούστα ανασηκώνεται στην πλευρά του σκάφους που βρίσκεται στην εσωτερική και μειώνεται έτσι η παρέκλιση του.

4.5 Επίδραση του διακένου (heg) της φούστας ευσταθείας

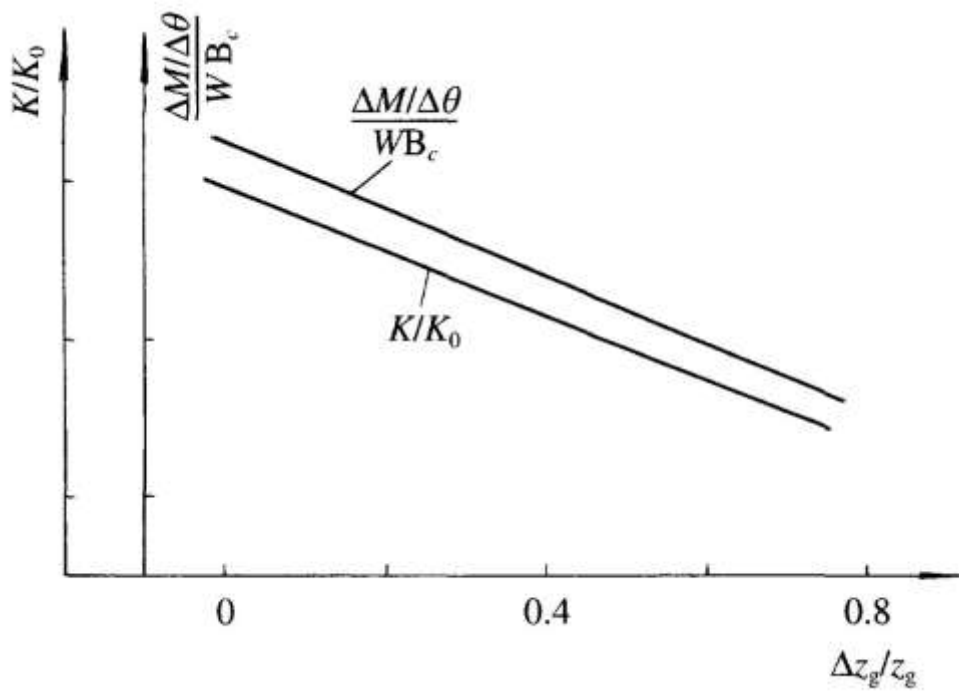
Το διάκενο της διαμήκουσ φούστας ευσταθείας έχει σημαντική επίδραση στην εγκάρσια ευστάθεια. Στο σχήμα 9 φαίνεται ότι η αποδοτικότητα της διαμερισματοποίησης του θαλάμου αέρα θα μειωθεί όταν το διάκενο heg αυξηθεί πάνω από 30% του συνολικού ύψους του θαλάμου αέρα στο CG. Γενικά, το heg είναι ίσο με το 10-20% του ύψους του θαλάμου στο CG, και οι φούστες ευσταθείας τύπου + είναι πιο ευαίσθητες από τις αντίστοιχες τύπου T.



Σχήμα 9: Επίδραση του διακένου της φούστας

4.6 Επίδραση του κατακόρυφου κέντρου βάρους (VCG)

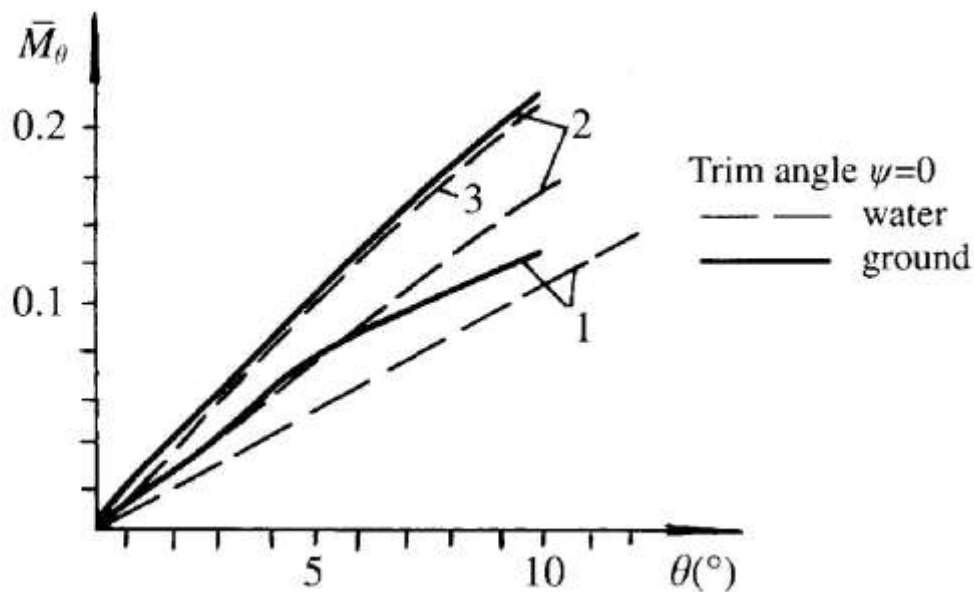
Στο σχήμα 10 φαίνεται ότι το VCG συσχετίζεται άμεσα με το ύψος της φούστας, επομένως ο μελετητής πρέπει να κάνει έναν προσεκτικό έλεγχο της εγκάρσιας ευστάθειας κατά τη φάση της σχεδίασης του ύψους της φούστας. Εάν προτιμήσει φούστες με μεγάλο ύψος ίσως λόγω των απαιτήσεων εκκαθάρισης εμποδίων θα πρέπει να λάβει υπόψη του ότι θα απαιτηθούν ειδικά μέτρα για την εξασφάλιση ικανοποιητικής ευστάθειας.



Σχήμα 10: Επίδραση του κατακόρυφου κέντρου βάρους

4.7 Επίδραση του ποσοστού ροής των ανεμιστήρων

Στο σχήμα 11 φαίνεται ότι η εγκάρσια ευστάθεια ενός αερόστρωμνου είναι ανάλογη με το ποσοστό ροής των ανεμιστήρων, (στα SES συμβαίνει το αντίθετο).



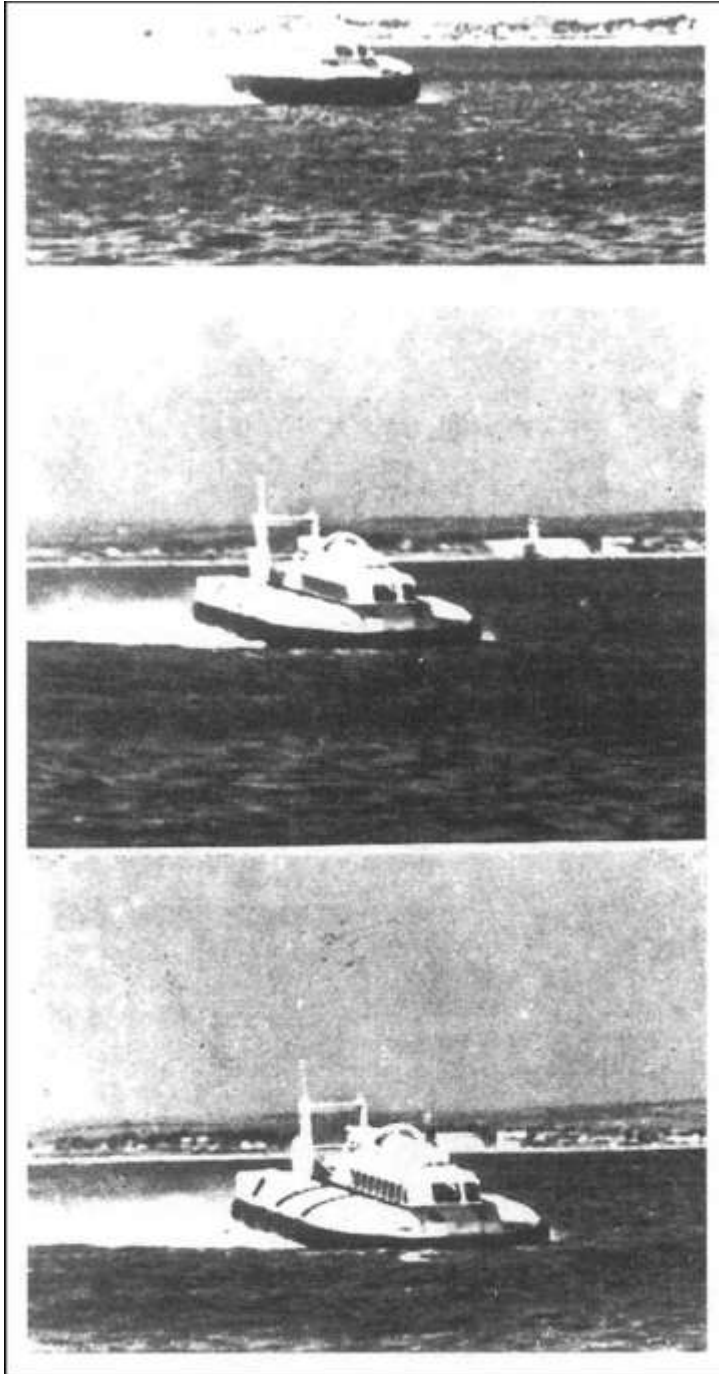
Σχήμα 11: Επίδραση του ποσοστού ροής των ανεμιστήρων

4.8 Δυναμική Ευστάθεια, το Φαινόμενο Plough-In και ανατροπή ενός Αερόστρωμνου

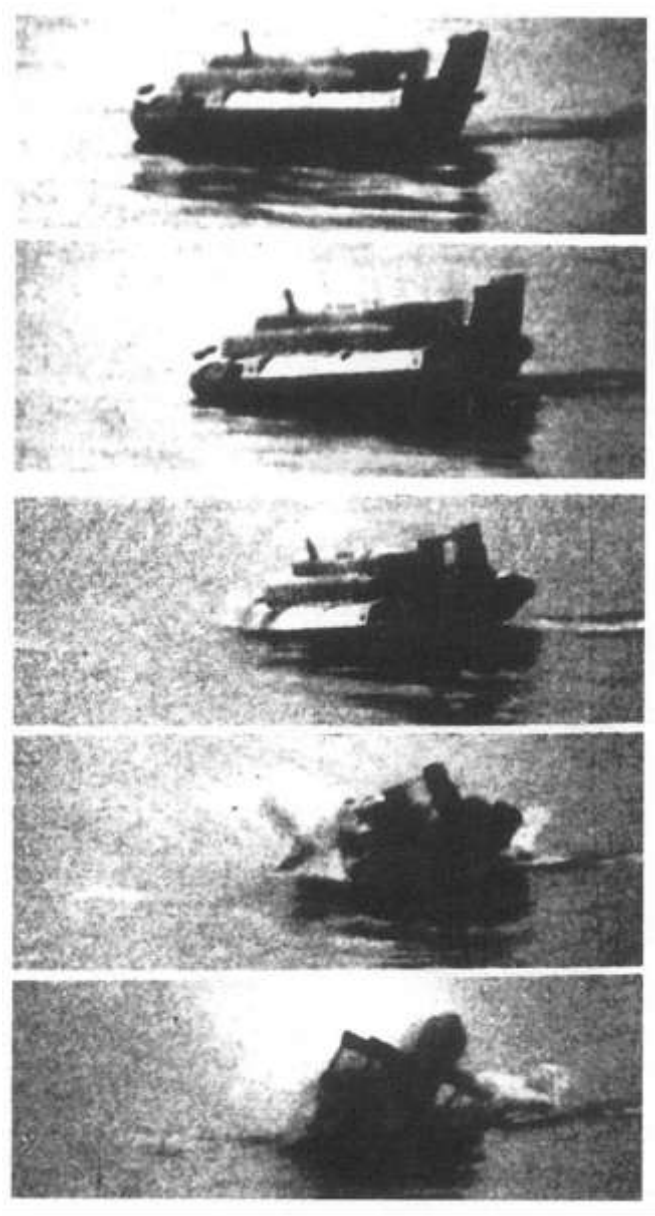
Κατά τα πρώτα χρόνια ανάπτυξης των hovercrafts παρατηρήθηκε ότι αυτά είχαν πολύ περιορισμένη ευστάθεια. Η κατάσταση βελτιώθηκε μόλις εισήχθησαν οι εύκαμπτες φούστες. Κατά τη λειτουργία ενός σκάφους πάνω από το νερό, οι δυνάμεις που επάγονται από τη διαβροχή του κάτω μέρους της φούστας προκαλούν σημαντικές αλλαγές στη διαγωγή. Παλαιότερα, η σχεδίαση της φούστας ήταν τέτοια που αυτές οι αλλαγές της διαγωγής προκαλούσαν μείωση της ροπής επαναφοράς. Ο χειριστής έπρεπε να ενεργήσει έτσι ώστε να επαναφέρει το σκάφος στη σωστή διαγωγή, διαφορετικά θα οδηγούταν αρχικά σε plough-in και στη συνέχεια σε πιθανή ανατροπή.

Δυστυχώς έχουν παρατηρηθεί διάφορα τέτοια ατυχήματα. Για παράδειγμα ένα πειραματικό αερόστρωμνο τύπου 711 κινέζικης προέλευσης, ανετράπη κατά τη διάρκεια μιας δοκιμής τον Μάιο του 1966. Το σκάφος ταξίδευε με ταχύτητα 50 km/h και έπρεπε να κάνει μια ξαφνική στροφή προκειμένου να αποφύγει τη σύγκρουση με μια μικρή βάρκα. Όταν έκανε τη στροφή, το σκάφος παρέκκλινε από την πορεία του, πήρε κλίση και τελικά ανετράπη. Συνήθως, η διαδικασία που οδηγεί σε ανατροπή

είναι η ακόλουθη: η πλώρη πέφτει προς τα κάτω, το σκάφος παρεκκλίνει της πορείας του, παίρνει κλίση plough-in και τελικά ανατρέπεται. Το σχήμα 12 παρουσιάζει το φαινόμενο plough-in του βρετανικού ACV SR N6 και το σχήμα 13 παρουσιάζει το plough-in που οδήγησε σε ανατροπή ενός μοντέλου ACV .



Σχήμα 12: Το φαινόμενο plough-in του Βρετανικού SR N6 κατά τις δοκιμές



Σχήμα 13: Ανατροπή αερόστρωμνου

Η ακούσια πλευρική πλεύση (drift) μπορεί να προκαλέσει δραματική αύξηση της αντίστασης του σκάφους, λόγω της επαφής των πλευρών της φούστας με το νερό. Για την αντιμετώπιση του ανωτέρω φαινομένου είναι δραστική η μετατόπιση του κέντρου βάρους (CG) αντίθετα από την πλευρά της πλεύσης. Από αυτή την άποψη, η παροχή των ανεμιστήρων ή οι μηχανισμοί ανύψωσης της φούστας του σκάφους μπορούν να είναι πολύ σημαντικοί παράγοντες για τη διατήρηση της δυναμικής ευστάθειας. Βέβαια, οι απαιτούμενες μετατοπίσεις του CG είναι πάρα πολύ μεγάλες και το χρονικό διάστημα που θα πρέπει να συμβούν πολύ μικρό ιδιαίτερα για

μεγαλύτερα σκάφη, τα οποία θα στηριχθούν περισσότερο στη διαμερισματοποίηση του θαλάμου αέρα για την εξασφάλιση ευστάθειας.

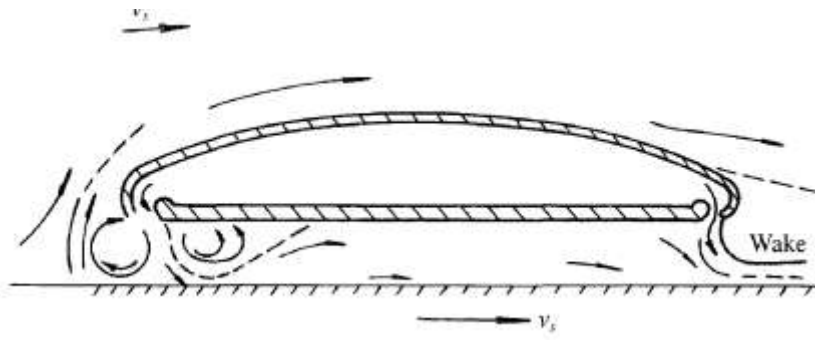
Η αυξανόμενη υδροδυναμική δύναμη (και ροπή) που οφείλεται στην επαφή της εύκαμπτης φούστας με την επιφάνεια του ύδατος είναι ο κύριος λόγος που οδηγεί στο φαινόμενο plough-in. Πριν από την ανάπτυξη της γεωμετρίας της φούστας, το φαινόμενο plough-in μπορούσε να αποφευχθεί μόνο μέσω της ικανότητας των χειριστών. Κατά συνέπεια μπορεί να φανεί ότι είναι πολύ σημαντικό να μελετηθεί η λογική του plough-in και του φαινομένου της ανατροπής.

4.9 Κυριότεροι λόγοι των φαινομένων plough-in και της Ανατροπής.

Ο κάτωθι πίνακας παρουσιάζει τα κυριότερα στοιχεία που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια δοκιμών plough-in ενός μοντέλου σκάφους.

Time (s)	Trim angle	Bow cushion pressure	Stern cushion pressure	Situation
1 – start	1.78	1160	1130	Normal travel
2	1.08	1200	1100	Finger contacts water surface
2.5	0.90	1180	1100	Light tuck-under
3	0.62	1150	1100	Moderate tuck-under
3.5	0.03	1050	1040	Serious tuck-under
4	-0.05	900	950	Tuck-under unstable
4.5	-1.16	250	630	Plough-in begins
5	-3.94	-1200	350	Bow structure touches
5.5	-1.14	-1000	600	Recovery of skirt
9 – end	+1.60	1200	1130	Normal trim

Όσο η ταχύτητα του σκάφους αυξάνεται, το ρεύμα του αέρα εμποδίζει την εκροή του αέρα από το θάλαμο (σχήμα 14). Κατά συνέπεια εμφανίζεται διασταύρωση ροών στο θάλαμο, η οποία θα αυξηθεί λόγω του οριακού στρώματος στο θάλαμο. Έτσι, όπως φαίνεται στο σχήμα 14, η πίεση του πλωραίου μέρος του θαλάμου θα μειωθεί ενώ η αντίστοιχη στο πρυμναίο θα αυξηθεί καθώς το σκάφος επιταχύνεται το οποίο θα οδηγήσει στη μετατόπιση του κέντρου της πίεσης προς τα πρύμα. Αυτό είναι το εσωτερικό αίτιο του plough-in.



Σχήμα 14: Γραμμές ροής του αέρα ενός αερόστρωμνου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5 Σύστημα Φούστας ACV



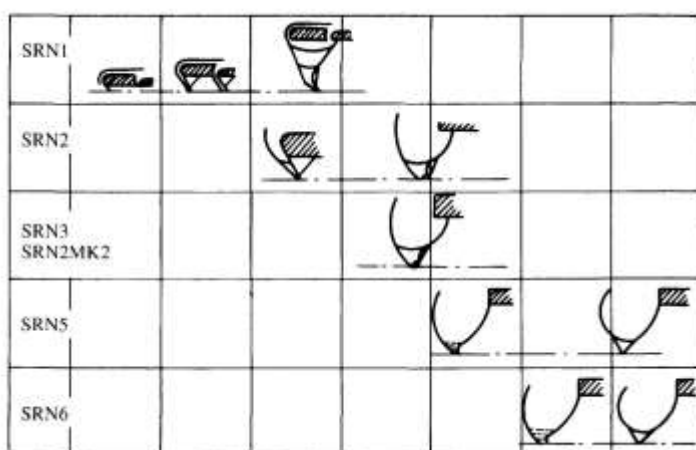
5.1 Σχεδίαση των Φουστών ενός Αερόστρωμνου

Στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης των ACV, πριν η εύκαμπτη φούστα θεωρηθεί απαραίτητη, χρησιμοποιούνταν ισχυροί ανεμιστήρες για να μπορέσει το σκάφος να αποκτήσει ένα διάκενο της τάξης των 50-150χιλ. Τα σκάφη αυτά είχαν ικανοποιητική αμφίβια ικανότητα και κάθετη εκκαθάριση εμποδίων, αλλά αντιμετώπισαν προβλήματα σε περιπτώσεις όπου το έδαφος είχε ανωμαλίες (π.χ. κοιλότητες στο έδαφος, βράχοι). Αρκετά συχνά η γάστρα τους συγκρουόταν με το έδαφος. Για αυτό το λόγο, θα μπορούσαν μόνο να λειτουργήσουν σε αρκετά ομαλό έδαφος ή σε ήρεμο νερό. Αυτά τα αεριοθούμενα σκάφη φαίνονταν αρκετά εντυπωσιακά, και παρέπεμπαν σε "ιπτάμενους δίσκους" καθώς εμφανίζονταν κυριολεκτικά να αιωρούνται.

Το σκάφος για να αιωρείται απαιτούσε υψηλά επίπεδα ισχύος και ήταν πολύ "ευαίσθητο" στον έλεγχο. Ένας λογικός τρόπος να αυξηθεί το ύψος εκκαθάρισης

εμποδίων του σκάφους, προκειμένου να βελτιωθεί η ευστάθειά του ήταν η κατασκευή και τοποθέτηση εύκαμπτων μεμβρανών περιφερειακά σε κάθε προστόμιο αέρα. Αυτή ήταν πράγματι η μέθοδος που υιοθετείται αρχικά στην εταιρεία Saunders Roe στη Μεγάλη Βρετανία.

Το 1958 ο C. H. Latimer Needham επινόησε την έννοια της εύκαμπτης φούστας η οποία τοποθετήθηκε το 1960 στο SR N1 με δραστικά αποτελέσματα όσον αφορά τη βελτίωση της εκκαθάρισης εμποδίων. Ουσιαστικά αυτή η εφεύρεση έδωσε στο αερόστρωμο πραγματικές αμφίβιες ικανότητες. Αργότερα σε αυτή την εφεύρεση προστέθηκε μια διογκωμένη εύκαμπτη μεμβράνη (φούστα) γύρω από το σκάφος προκειμένου η κατανομή του αέρα να γίνει ομοιόμορφη. Στο σχήμα 15 φαίνεται η χρονική εξέλιξη των ποδιών από το πρώτο μοντέλο μέχρι την τύπου bag-finger φούστα του SR N6.



Σχήμα 15: Εξέλιξη των τύπων φούστας

Τα πλεονεκτήματα των εύκαμπτων φουστών μπορούν να περιγραφούν ως εξής:

1. Σημαντική μείωση της απαιτούμενης ισχύος των ανεμιστήρων
2. Αύξηση του ύψους εκκαθάρισης εμποδίων
3. Μειωμένη αντίσταση σε ήρεμο νερό, ιδιαίτερα στην humpspeed

4. Βελτιωμένη ικανότητα ελιγμών μέσω συστημάτων ανύψωσης και μετατόπισης της φούστας
5. Βελτιωμένη πλοϊμότητα σε ακολουθούντες κυματισμούς (ιδιαίτερα για σχέδια τρίτης γενιάς όπως οι φούστες χαμηλής πίεσης)
6. Βελτιωμένες δυνατότητες συντήρησης, δεδομένου ότι οι εύκαμπτες φούστες μπορούν να εξαρμωσθούν και να αντικατασταθούν εύκολα.

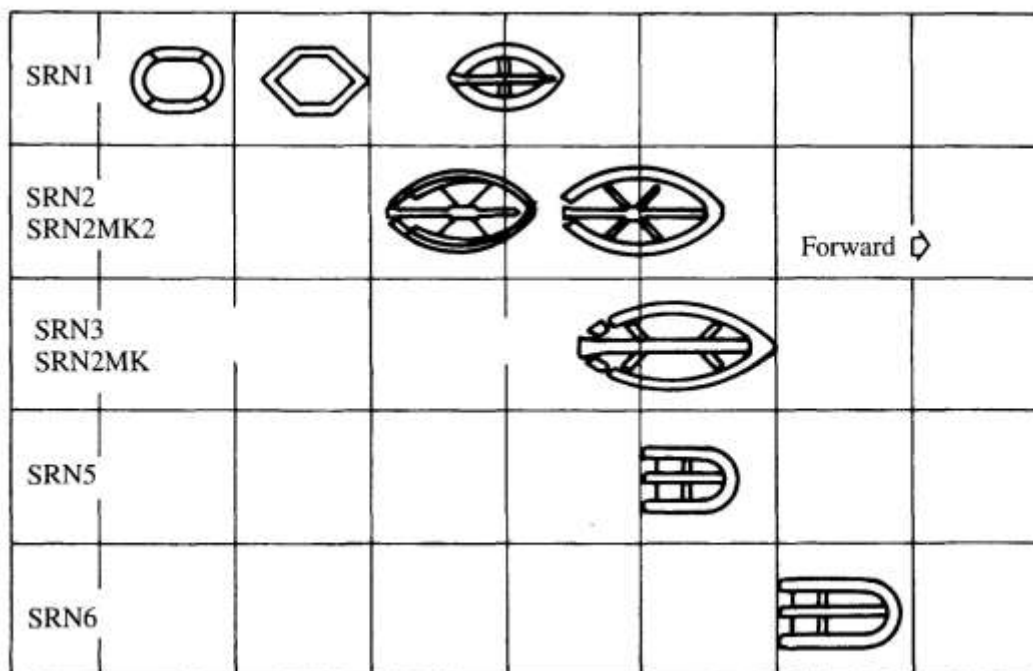
Δεν είναι παράλογο να ισχυριστεί κανείς ότι η φούστα για το hovercraft είναι εξίσου σημαντική όσο και τα ελαστικά για ένα αυτοκίνητο. Η εξέλιξη των εύκαμπτων φουστών βελτίωσε βαθμιαία την εκκαθάριση εμποδίων του σκάφους χωρίς να είναι απαραίτητη η ύπαρξη μεγάλου κενού αέρα κάτω από τις φούστες επειδή η στατική και δυναμική παραμόρφωσή τους πάνω από τις ανωμαλίες των επιφανειών τους επέτρεπε να διατηρούν ένα ικανοποιητικό διάκενο αέρα και να ελαχιστοποιήσουν την αντίσταση καθώς το hovercraft υπερπηδούσε τα φυσικά εμπόδια με ευκολία.

Το 1962 ο Dennis Bliss του Hovercraft Development Ltd με τη συνδρομή του Sir Christopher Cockerell, εφεύρε την φούστα τμημάτων (segmented skirt). Με αυτόν τον τρόπο, μείωσε σημαντικά τις δυνάμεις αντίστασης λόγω της ιδιότητας των τμημάτων να παραμορφώνονται ξεχωριστά πάνω από κάθε ανώμαλη επιφάνεια. Έτσι, το διάκενο αέρα κάτω από τη φούστα και η απαιτούμενη ισχύς των ανεμιστήρων μειώθηκε ακόμα περισσότερο. Δεν ήταν πλέον απαραίτητο να χρησιμοποιούνται περιφερειακά προστόμια αέρα προκειμένου να διατηρηθεί το ορατό κενό αέρα κάτω από τη φούστα ούτε και οι υψηλές πιέσεις στο ανώτερο τμήμα της φούστας.

Με το πέρασμα του χρόνου οι σχεδιαστές πειραματίζονταν με ολοένα και χαμηλότερες υπερπιέσεις στο θάλαμο αέρα κάτω από τη γάστρα του σκάφους, για να μπορέσουν να εξοικονομήσουν περαιτέρω ισχύ από τους ανεμιστήρες. Διαπιστώθηκε ότι όταν ο λόγος p_j/p_c λάμβανε τιμές κάτω από 1.2 το ανώτερο μέρος της φούστας αποκρινόταν καλύτερα στις ανομοιομορφίες των επιφανειών, προσδίδοντας στους επιβάτες του σκάφους μεγαλύτερη άνεση. Ήταν η αρχή της τεχνολογίας των "φουστών απόκρισης", η οποία από τότε αναπτύσσεται συνεχώς στην Κίνα, όπως και στη Μεγάλη Βρετανία.

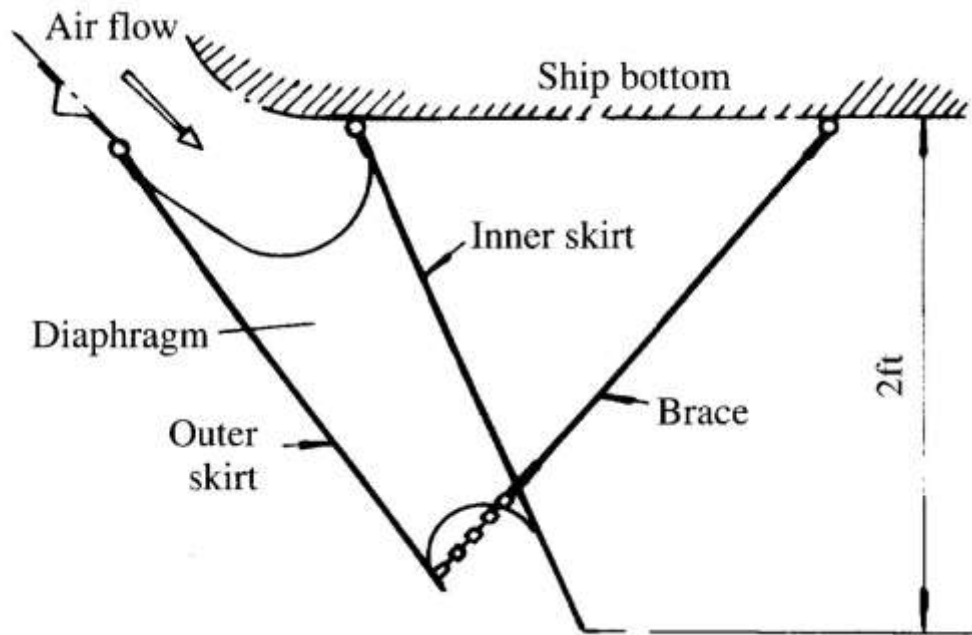
5.2 Διατάξεις Φούστας

Στο παρόν κεφάλαιο θα μελετήσουμε την εξέλιξη των φουστών κινεζικής και βρετανικής κατασκευής, λόγω του ότι οι περισσότεροι από τους τύπους φουστών που εγκαθίστανται παγκοσμίως σε ACVs είναι μέχρι και σήμερα παρόμοιοι με αυτούς.



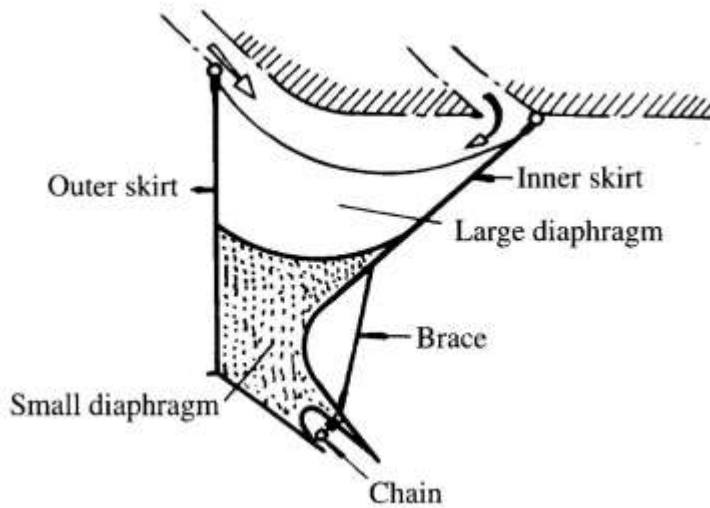
Σχήμα 16: Διατάξεις φούστας-διαμερισματοποίησης αερόστρωμων

Αρχικά η εύκαμπτη φούστα εμφανίστηκε ως ένας τρόπος επέκτασης των ακροφυσίων. Η φούστα του σκάφους SR N1 παρουσιάζεται στο σχήμα 16. Η αντίσταση του σκάφους και η αστάθειά του στην humpspeed δεν ήταν ικανοποιητική σε αυτές τις πρώτες σχεδιάσεις. Αυτός ο τύπος φούστας ήταν επίσης εγκατεστημένος στο κινεζικής σχεδίασης ACV 711-1 το 1965.



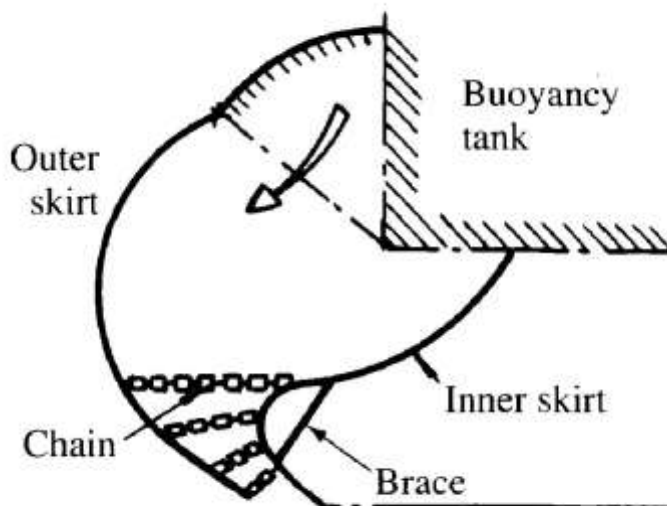
Σχήμα 17: Φούστα με διάταξη εύκαμπτου προφυσίου

Το σχήμα 17 παρουσιάζει την πρωτότυπη σχεδίαση της φούστας τύπου bag, η οποία αναπτύχθηκε από την ιδέα του προεκτεταμένου ακροφυσίου αέρα και αύξησε την πίεση στην φούστα σε σύγκριση με την πίεση του θαλάμου αέρα, προκειμένου να διαμορφωθεί σταθερή γεωμετρία. Αυτός ο τύπος φούστας εφαρμόστηκε με επιτυχία σε διάφορους τύπους βρετανικών ACVs όπως τα SR N2 , SR N5, SR N3 και SR N6. Τα μειονεκτήματα αυτής της σχεδίασης είναι ότι τα ακροφύσια αέρα φθείρονται εύκολα από την τριβή ενώ η επισκευή και η αντικατάστασή τους είναι ιδιαίτερα δύσκολη και ότι η αντίσταση του σκάφους είναι αυξημένη κατά πολύ.



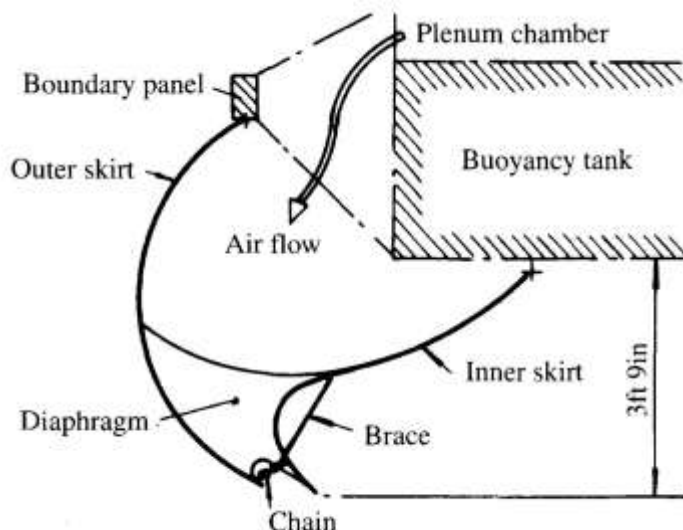
Σχήμα 18: Αρχική σχεδίαση φούστας με προφύσιο

Προκειμένου να επιτευχθεί η διαμόρφωση των ακροφυσίων, οι σχεδιαστές χρησιμοποίησαν αρχικά αλυσίδες για να ενώσουν το εξωτερικό με το εσωτερικό τμήμα του υφάσματος της φούστας (σχήμα 18), όμως λόγω της συγκέντρωσης τάσεων στις ενώσεις σε αυτήν την περιοχή, το ύφασμα της φούστας κατά τη διάρκεια των δοκιμών αστοχούσε και κατά συνέπεια ήταν αναγκαία η επιδιόρθωσή του σχεδόν μετά από κάθε δοκιμή.



Σχήμα 19: Χρήση της αλυσίδας σε φούστα

Το όριο ζωής αυτής της φούστας ήταν περίπου 3 ώρες, ειδικά στην γωνία της πρύμνης. Αργότερα, χρησιμοποιήθηκαν τα διαφράγματα υφασμάτων στη θέση των αλυσίδων του σχήματος 19. Αυτή η ιδέα αποδείχθηκε καλύτερη.

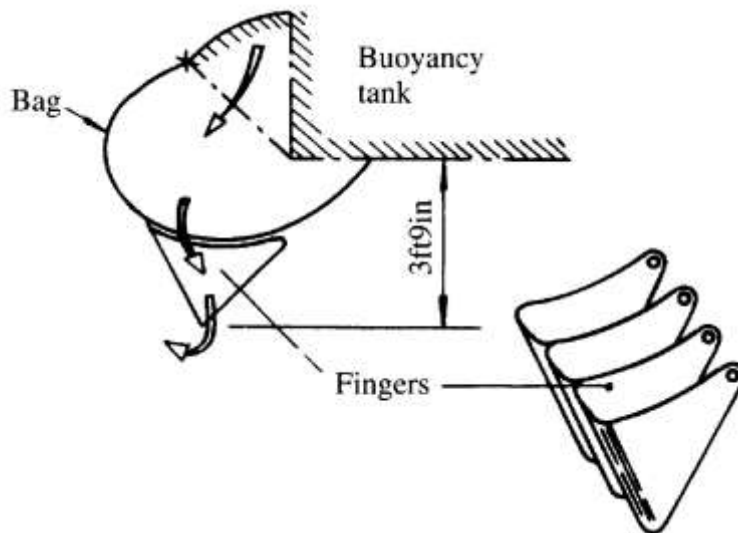


Σχήμα 20: Σύνδεση φούστας με εύκαμπτο διάφραγμα

Το σχήμα 21 παρουσιάζει ένα τμήμα μιας φούστας τύπου τσάντας-δάχτυλων (bag-finger), η οποία έχει εφαρμοστεί παγκοσμίως σε ACVs. Αυτός ο τύπος δεν απαιτούσε ακροφύσια στη βάση της φούστας και επιτύχανε διάκενο αιώρησης παρόμοιο με των πρώτων σχεδιάσεων.

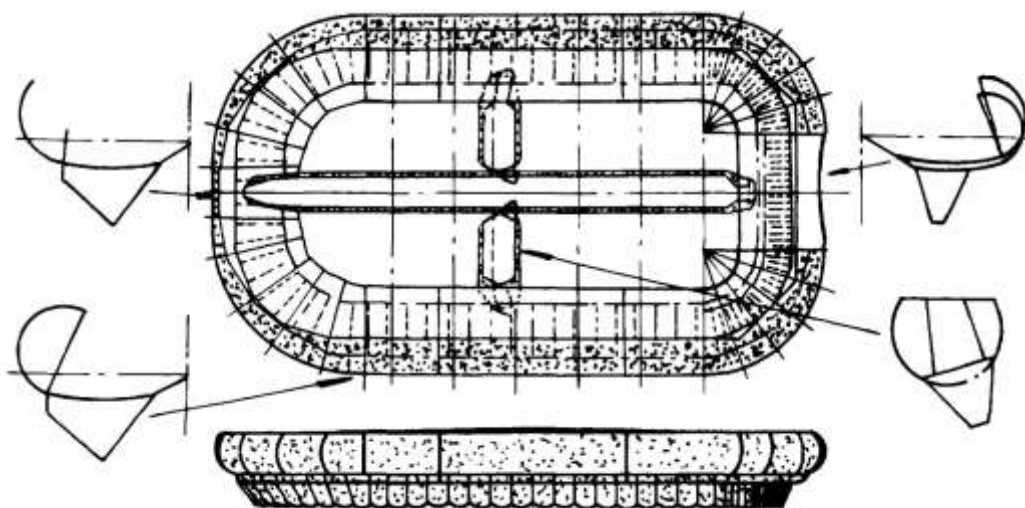
Εντούτοις, μια σειρά άλλων πλεονεκτημάτων προέκυψαν, όπως:

- Απλή δομή, εύκολη κατασκευή και χαμηλότερο κόστος
- Ευκολότερη συντήρηση, ειδικά για τα σκάφη που πραγματοποιούσαν σταθερά δρομολόγια, όπως τα SR N6, N4, κ.λπ. τα οποία έπρεπε να έχουν μεγάλο χρόνο μεταξύ των επισκευών/επιθεωρήσεων (meantime between overhaul) και μικρό χρονικό διάστημα για επισκευή της φούστας.
- Αυξημένο ύψος εκκαθάρισης εμποδίων



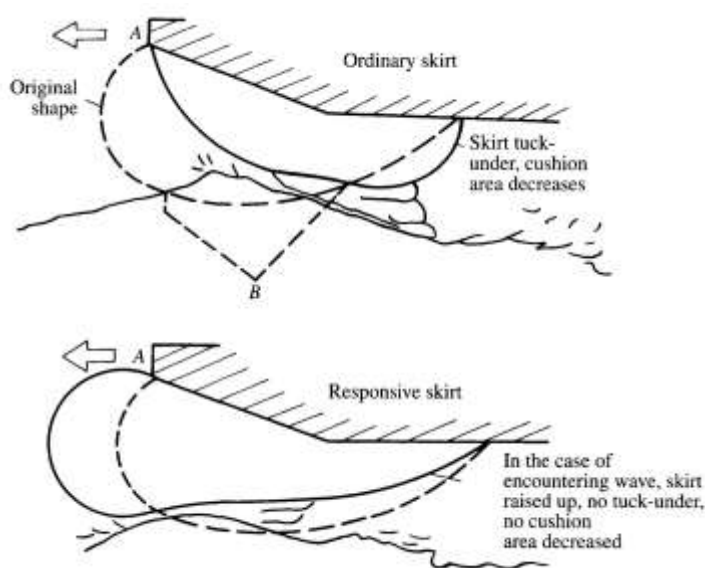
Σχήμα 21: Διάταξη φούστας με δάχτυλα (fingers)

Το σχήμα 22 παρουσιάζει τη διάταξη της φούστας του βρετανικού ACV BH.7. Φαίνεται ότι στο πλωραίο τμήμα και στην πλευρά χρησιμοποιήθηκε ο τύπος bag-finger ενώ στο πρυμναίο τμήμα και στο εσωτερικό του θαλάμου αέρα χρησιμοποιήθηκε φούστα κωνικού τύπου. Το δυσκολότερο τμήμα όσον αφορά τη σχεδίαση είναι οι πρυμναίες γωνίες, καθόσον σε αυτά τα σημεία είναι πιθανότερη η εμφάνιση του φαινομένου εκσκαφής (scooping) ειδικά σε χαμηλές ταχύτητες στην κατάσταση εκτοπίσματος.



Σχήμα 22: Η διάταξη της φούστας του ACV BH.7

Προκειμένου να λυθεί αυτό το πρόβλημα, χρησιμοποιήθηκαν μικρές κωνικές κυψέλες σαν σημεία μετάβασης/σύνδεσης της πλευράς με το πρυμναίο τμήμα της φούστας. Το σχήμα 22 παρουσιάζει την παραμόρφωση μιας συνηθισμένης φούστας τύπου bag-finger και μιας φούστας απόκρισης (responsive) σε κυματισμό. Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει την αρχική μορφή της φούστας, ενώ η συνεχής γραμμή δείχνει την παραμόρφωση της φούστας. Όσον αφορά τη bag-finger φούστα, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα το σκάφος να αντιμετωπίσει φαινόμενα plough-in ενώ για τη φούστα απόκρισης αυτή η πιθανότητα είναι αρκετά μικρότερη.



Σχήμα 23: Σύγκριση της παραμόρφωσης μεταξύ responsive skirt και ordinary skirt

Στη Γαλλία, αναπτύχθηκε ένας εναλλακτικός τύπος φουστών, αποκαλούμενος jure, που εφευρέθηκε από τον Jean Bertin. Το jure είναι ένας κώνος υφάσματος με μια γωνία 5-10 μοιρών ως προς την κατακόρυφο. Όταν διογκώνεται από τον αέρα μετατρέπεται σε ένα σχετικά δύσκαμπτο "μαξιλάρι" μέχρι το σημείο όπου το κάτω μέρος της αρχίζει να τσαλακώνεται. Αυτός ο τύπος σχεδίασης είχε εφαρμοστεί στη σειρά σκαφών Sedam. Η ιδιαίτερα υψηλή διαμερισματοποίηση του θαλάμου αέρα λόγω των jures παρείχε θαυμάσια ευστάθεια. Αυτός ο τύπος φούστας δεν ανταποκρίνεται τόσο καλά σε κυματισμό όσο η φούστα τύπου bag-finger και δίνει έτσι μάλλον υψηλότερη αντίσταση, με συνέπεια την απαίτηση μεγαλύτερης εγκατεστημένης ισχύος.

Επίσης λόγω φαινομένου εκσκαφής του νερού στο πρυμναίο μέρος των jupes μειώνονται σημαντικά τα περιθώρια επιτάχυνσης του σκάφους κατά τη διέλευση από την humpspeed. Αποτέλεσμα των ανωτέρω είναι αυτός ο τύπος σχεδίασης να εκτοπιστεί από την φούστα τύπου bag-finger. Βέβαια, θα ήταν δυνατό ο τύπος να είναι άκρως ανταγωνιστικός μέσω της ρύθμισης της ροής του αέρα σε κάθε κυψέλη, εντούτοις θα προκαλείτο σημαντική φθορά σε αυτήν την περιοχή-μεγαλύτερη απ' ό,τι για μια φούστα τύπου bag-finger.

Στην προσπάθεια εξέλιξης των jupes κατασκευάστηκε ένας τύπος φούστας με περιφερειακές κυψέλες που τοποθετήθηκε στο σκάφος JEFF-A με εντυπωσιακά αποτελέσματα, ιδιαίτερα σε ότι αφορά την ευστάθεια, βελτιώνοντας ταυτόχρονα τις δυνατότητες συντήρησης, καθόσον δεν ήταν αναγκαία η τοποθέτηση εσωτερικής φούστας ευσταθείας.

5.3 Σύγκριση των Διαφόρων Τύπων Φούστας

Παρακολουθώντας την ανάπτυξη των διαφόρων τύπων φούστας προκύπτει το ερώτημα για την ύπαρξη ή όχι ενός ενιαίου βέλτιστου τύπου για όλα τα ACVs, ή εάν ο σχεδιαστής πρέπει να συνδυάσει διάφορα επιμέρους χαρακτηριστικά κατά τη σχεδίαση του σκάφους ανάλογα της επιχειρησιακής του απασχόλησης.

5.4 Φούστα Τύπου Bag-Finger

Αυτό είναι ο κυριότερος τύπος φούστας για τα εμπορικά ACVs σήμερα. Το δάχτυλο (finger) έχει βάθος μεταξύ 50% και 80% του ύψους του θαλάμου αέρα κάτω από τη γάστρα, εξαρτώμενο από την πίεση του αέρα στο θάλαμο. Προκειμένου να επιτευχθούν χαμηλές πιέσεις στο θάλαμο (1.05-1.2 Pc), απαιτείται η τοποθέτηση εγκάρσιας φούστας ευσταθείας ιδιαίτερα για τα μεγαλύτερα σκάφη. Το πλάτος του δάχτυλου είναι μεταξύ 40% και 50% του βάθους του. Η εταιρεία BHC έχει καινοτομήσει εισάγοντας τη βολβοειδή φούστα για το πλωραίο τμήμα του σκάφους. Η γεωμετρία της είναι τέτοια που κατά τη διάρκεια της κίνησης της πλώρης προς τα κάτω, η φούστα ανυψώνεται διατηρώντας την ακαμψία της, αποτρέποντας την προς τα πίσω μετακίνηση του κέντρου πίεσεως στο θάλαμο αέρα.

Ακόμη μία κατασκευαστική αρχή της BHC είναι η χρήση εκλεπτυσμένης γεωμετρίας, ούτως ώστε το πρυμναίο διάκενο της γάστρας να είναι μικρότερο απ' ότι το πλωραίο, που προσδίνει στο σκάφος διαγωγή περίπου 2. Έχει παρατηρηθεί ότι τα αερόστρωμα φαίνεται να έχουν καλύτερη δυναμική ευστάθεια όταν η διαγωγή λαμβάνει τιμές μεταξύ 1 και 2. Αυτό το βέλτιστο μπορεί να διατηρηθεί από την κατάλληλη μορφοποίηση της φούστας στη φάση της σχεδίασης και την ελαχιστοποίηση της ροής του αέρα στο θάλαμο.

5.5 Φούστα Τύπου Bag And Pericell

Αυτή η μορφή φούστας είναι παρόμοια σε γεωμετρία με τη φούστα τύπου jure. Έχει παραπλήσια ακαμψία με την ισοδύναμη φούστα τύπου bag-finger (με εγκάρσια και διαμήκη τμήματα φούστας ευσταθείας). Η πίεση του θαλάμου απαιτείται να είναι υψηλή, περίπου 1.4-1.8 Pc, που την καθιστά λιγότερο κατάλληλη για τα επιβατικά σκάφη.

5.6 Φούστα Τύπου Ανοιχτού Βρόχου

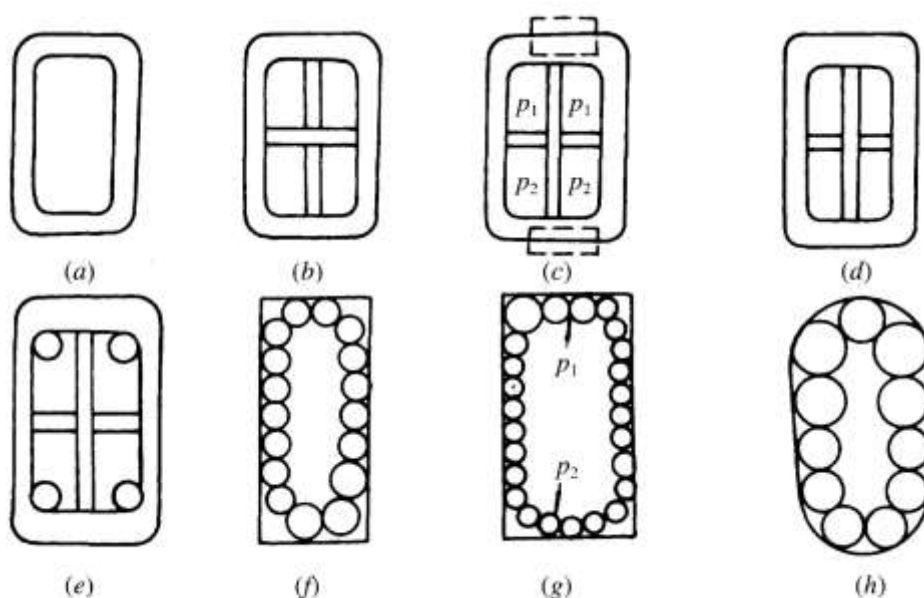
Αυτή η φούστα χρησιμοποιείται σε μικρότερα σκάφη, γενικά κάτω των 5t. Η πίεση του αέρα στο βρόχο είναι ίση με του θαλάμου (Pc) κάτι που την καθιστά την αποδοτικότερη μορφή φούστας. Η γεωμετρία του βρόχου ποικίλει για να επιτευχθεί η κατάλληλη απόκριση σε κυματισμό και αρκετά συχνά τοποθετούνται μηχανισμοί ανύψωσης της φούστας προκειμένου να βελτιωθεί η δυνατότητα ελιγμών. Στην περιοχή της πλώρης, η κουπαστή προεξέχει από την εξωτερική γραμμή της φούστας κατά 20-40% του ύψους της.

5.7 Φούστα Τύπου Εκτεταμένων Τμημάτων

Αυτό είναι ένα σχετικά δύσκαμπτο σύστημα φούστας με μικρή εφαρμογή σε σκάφη αναψυχής εκτοπίσματος 200-2000 kg. Συνήθως δεν αποκρίνεται καλά σε

κυματισμό και υστερεί στον τομέα της εκκαθάρισης εμποδίων. Το πλάτος των τμημάτων της φούστας ακολουθεί τον ίδιο κανόνα με τη φούστα τύπου βρόχου, εκτός από το ότι το ύψος της φθάνει στη σύνδεση της κουπαστής και το πλάτος της κυμαίνεται στο 20-25% του συνολικού βάθους. Δεδομένου ότι τα τμήματα καταλαμβάνουν το 80-90% του βάθους της γάστρας, υπάρχει μια αρκετά μεγάλη περιοχή μεταξύ των τμημάτων από την οποία παρατηρείται διαφυγή αέρα. Για αυτό το λόγο απαιτείται υψηλή διαθέσιμη ισχύς στους ανεμιστήρες. Αυτό δεν είναι σημαντικό πρόβλημα για ένα σκάφος αναψυχής, το οποίο δεν είναι απαραίτητο να καλύψει τις απαιτήσεις αποδοτικότητας ενός εμπορικού σκάφους.

Το σχήμα 23 παρουσιάζει διάφορες κατόψεις φουστών. Στο σχήμα (α) ο θάλαμος αέρα (μαξιλάρι) είναι μονοκύτταρος, τα σχέδια (b) και (d) είναι παραλλαγές της φούστας με τις εσωτερικές καρίνες, τα σχέδια (e) και (h) παρουσιάζουν παραλλαγές φούστας jure ή pericell. Το σχέδιο (e) συνδυάζει την φούστα bag and pericell με εσωτερικές καρίνες, ενώ στα σχέδια (f) και (h) παρατηρείται μία κατανομή των κυψελών περιφερειακά της γάστρας για να επιτευχθεί ένα πιο δύσκαμπτο μαξιλάρι. Η τρέχουσα πρακτική στη σχεδίαση είναι να χρησιμοποιείται όσο το δυνατό χαμηλότερος λόγος P_i/P_c , ευνοώντας τα σχέδια (α) και (d) για τη βελτιστοποίηση της αντίστασης και της πλοιμότητας του σκάφους.

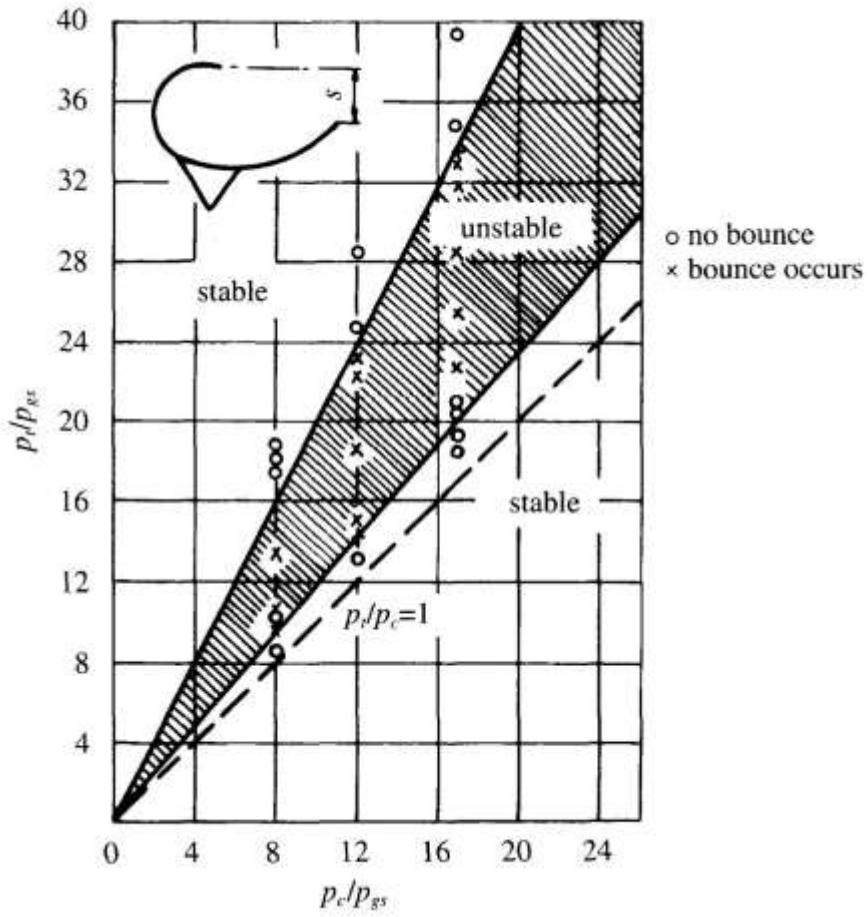


Σχήμα 23: Τύποι διατάξεων φούστας

5.8 Το Φαινόμενο της Αναπήδησης (Bounce)

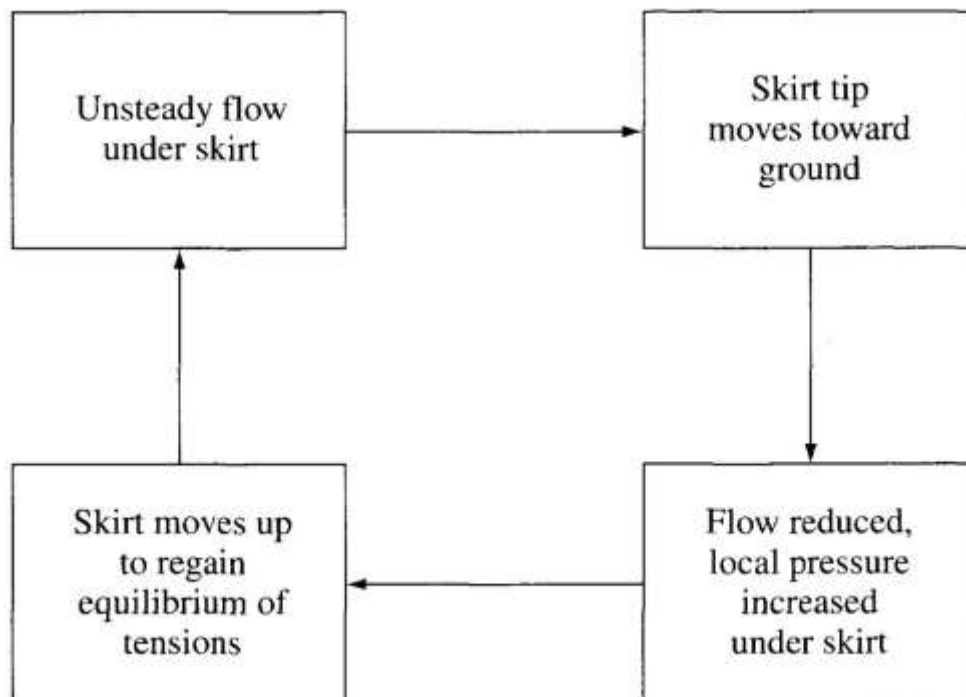
Το φαινόμενο της αναπήδησης (bounce) είναι μια δόνηση χαμηλής συχνότητας της φούστας, η οποία εμφανίζεται περιστασιακά όταν ένα ACV αιωρείται στατικά ή ταξιδεύει σε χαμηλές ταχύτητες. Έχει παρατηρηθεί σε κινέζικα ACVs όπως τα μοντέλα 711-ΠΑ, 716Α και 71611 και σε διάφορα άλλα από την Μεγάλη Βρετανία και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Κατά τη διάρκεια της αναπήδησης, η φούστα δονείται με μεγάλο πλάτος, το οποίο είναι αρκετές φορές μεγαλύτερο από το διάκενο αέρα κάτω από τη φούστα, προκαλώντας κατά συνέπεια δόνηση στη γάστρα κατά την κίνηση ανύψωσης (heave), η οποία είναι επιβλαβής στον εξοπλισμό και στις μηχανές και προκαλεί δυσφορία στο πλήρωμα.

Τα τελευταία χρόνια, λόγω της ανάπτυξης της χαμηλής πίεσεως φούστας-απόκρισης, η πιθανότητα εμφάνισης φαινομένων αναπήδησης έχει αυξηθεί. Ιδιαίτερα σημαντική απαίτηση για το σχεδιαστή αποτελεί η έρευνα των αιτιών της αναπήδησης και η ανάπτυξη μεθόδων για την πρόληψή της. Το σχήμα 24 παρουσιάζει το εύρος της δόνησης για τη φούστα τύπου bag-finger και τη φούστα τύπου ανοικτού βρόχου. Παρατηρούμε ότι προκύπτουν σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα.



Σχήμα 24: Περιοχή αναπήδησης

Παρόλο που η θεωρία για το φαινόμενο της αναπήδησης δεν έχει μελετηθεί πλήρως, μπορεί να δοθεί μία απλή εξήγηση όπως φαίνεται στο σχήμα 25.



Σχήμα 25: Block διάγραμμα του φαινομένου της αναπήδησης

Μια φούστα τύπου βρόχου ή τύπου bag-finger με μεγάλη ακτίνα έχει πολύ μικρή απόσβεση, ιδιαίτερα για κινήσεις μικρού πλάτους, λόγω των μικρών μεταβολών της ακτίνας της φούστας. Όταν ένα τμήμα της φούστας σημαντικού μήκους βρίσκεται πάνω από μια επίπεδη επιφάνεια, αποκτά την ιδιότητα να κινείται ως μονάδα (ανεξάρτητα) και μια μικρή διαταραχή στη ροή του αέρα στο θάλαμο θα έχει ως αποτέλεσμα να αρχίσει μια προς τα κάτω κίνηση της φούστας προκειμένου να σφραγιστεί ο θάλαμος. Η τοπική πίεση του αέρα αυξάνεται, αναγκάζοντας τη γεωμετρία της φούστας να μεταβληθεί και να ανυψωθεί. Ο αέρας απελευθερώνεται ξανά κάτω από τη φούστα, η στατική πίεση μειώνεται και το φαινόμενο επαναλαμβάνεται διαδοχικά. Η περίοδος της ταλάντωσης είναι η φυσική περίοδος της επανάληψης του φαινομένου για το σύνολο των τμημάτων της φούστας.

Για την παρεμπόδιση της αναπήδησης έχουν αναπτυχθεί ορισμένες μέθοδοι όπως οι παρακάτω:

1. Εισαγωγή διαφραγμάτων αντι-αναπήδησης στη φούστα για να αυξηθεί η απόσβεσή της, η μορφή των οποίων είναι παρόμοια με φούστα τύπου D. Αυτή η μέθοδος έχει

δώσει αρκετά καλά αποτελέσματα για την επίλυση των προβλημάτων αναπήδησης που έχουν προκύψει στα κινέζικα ACV 716-II και 711-III.

2. Μεταβολή του μήκους της εσωτερικής και της εξωτερικής τσάντας (bag) της φούστας προκειμένου να μεταβληθεί και η στατική παραμόρφωση της φούστας και η φυσική συχνότητα της κατακόρυφης δόνησης.

3. Τοποθέτηση βάρους (μικροί σάκοι άμμου ή κάτι παρόμοιο) στο εξωτερικό τμήμα της φούστας. Η μέθοδος αυτή απαιτείται γενικά μόνο στο κεντρικό τμήμα της φούστας. Η μάζα που απαιτείται είναι σχετικά μικρή, λόγω του μεγάλου μοχλοβραχίονα περιστροφής της φούστας.

5.9 Φούστες Καταστολής Ψεκασμού

Ο υψηλής ταχύτητας αέρας που διαφεύγει από το θάλαμο ενός ACV παρασύρει το νερό διαμορφώνοντας μια "κουρτίνα ψεκασμού". Όσο μεγαλύτερη η πίεση του θαλάμου αέρα τόσο μεγαλύτερη η ποσότητα του νερού της κουρτίνας. Όταν το σκάφος κινείται πάνω από σταθερό έδαφος, ο αέρας του θαλάμου δημιουργεί μια "κουρτίνα σκόνης" η οποία είναι ορατή σε μεγάλη απόσταση. Η "κουρτίνα ψεκασμού" θα επανέλθει προς την επιφάνεια του ACV και μπορεί έπειτα να εισαχθεί στις εισαγωγές των μηχανών εάν αυτές δεν προστατεύονται από φίλτρα. Σε ψυχρά κλίματα, ο ψεκασμός του νερού θα σχηματίσει μια πάχνη πάγου πάνω στο σκάφος, προσθέτοντας βάρος σε αυτό. Αυτός ο πάγος είναι ιδιαίτερα επικίνδυνος διότι λόγω των αυξημένων κραδασμών που προκαλούνται είτε από το θάλαμο αέρα είτε από τις μηχανές, μπορεί να σπάσει σε κομμάτια τα οποία εάν φθάσουν στις μηχανές ή τους ανεμιστήρες θα προκαλέσουν καταστροφή.

Για την πρόληψη των ανωτέρω καταστάσεων είναι δυνατή η τοποθέτηση "ποδιάς καταστολής" (suppression apron) στο πλωραίο τμήμα της φούστας η οποία είναι πολύ αποτελεσματική στη μείωση του ψεκασμού σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ποδιών καταστολής ψεκασμού. Ο απλούστερος αποτελείται από ένα κομμάτι υφάσματος που τοποθετείται πάνω από το τμήμα της φούστας και φθάνει περίπου στο μισό του μήκους των δαχτύλων της φούστας. Μία

πιο σύνθετη σχεδίαση αποτελείται από τμήματα που μοιάζουν με δόντια και είναι ενωμένα μεταξύ τους. Ο αέρας για την πλήρωση των ποδιών παρέχεται από το θάλαμο αέρα του σκάφους.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6 Η Ανάπτυξη της Τεχνολογίας Σχεδίασης των ACV στις Προηγμένες Χώρες

6.1 Κίνα

Ο οργανισμός MARIC (Marine Design and Research Institute of China) ο οποίος ασχολείται με την ανάπτυξη της τεχνολογίας αερόστρωμων σκαφών περισσότερο από 40 χρόνια έχει να επιδείξει σημαντική πρόοδο σε διάφορους σχεδιαστικούς τομείς ιδιαίτερα κατά τα τελευταία 10 έτη όπως:

- Βελτιστοποίηση της γενικότερης απόδοσης του σκάφους
- Σύστημα φουστών απόκρισης
- Σύστημα ανύψωσης
- Σύστημα παροχής αέρα προς τον προωστήρα
- Εγκάρσια και διαμήκης ευστάθεια

6.2 Βελτιστοποίηση της γενικότερης απόδοσης του Σκάφους

Η μεταφορική ικανότητα ενός αερόστρωμνου ητ δεν εξαρτάται μόνο από το συντελεστή αντίστασης k_d και την απόδοση του προωστηρίου σκεύους ηρ, αλλά επίσης από το συντελεστή παροχής αέρα Q_e , την απόδοση της αιώρησης ηL και το λόγο δυναμικής πίεσης (για τον οποίο θα αναφερθούμε παρακάτω):

$$k = \frac{\frac{1}{2} \rho V^2}{P_e}$$

$$r_w = \frac{W_e}{W}$$

Όπου ο λόγος απόδοσης του φορτίου:

είναι το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης της σχεδίασης της γάστρας και ο παρονομαστής είναι ο ισοδύναμος λόγος της αντίστασης του σκάφους όσον αφορά την ανύψωση προς την ισχύ των ανεμιστήρων. Έτσι, η μεταφορική ικανότητα του σκάφους μπορεί να γραφεί συναρτήσει των παρακάτω μεγεθών:

$$\frac{\eta_t}{r_w} = f \left(r_{LB}, \bar{P}_c, \bar{Q}_c, r_P, \frac{h_w}{h_c + h_f}, k, \frac{S_x}{S_c}, \frac{A_P}{S_c}, r_q, \frac{A_f}{S_c}, k_f \right)$$

Όπου :

Ο λόγος μήκους προς πλάτος του θαλάμου αέρα: r_{LB}

Ο λόγος πίεσης του θαλάμου αέρα: P_c

Ο λόγος πίεσης: $r_P = \frac{P_f}{P_c}$

Το ύψος κύματος προς το συνολικό ύψος της φούστας: $\frac{h_w}{h_c + h_f}$

Ο λόγος της εμπρόσθιας επιφάνειας του σκάφους: $\frac{S_x}{S_c}$

Ο λόγος της επιφάνειας της έλικας: $\frac{A_P}{S_c}$

Ο ολικός λόγος παροχής αέρα: $r_q = \frac{Q_f}{Q_c}$

Ο λόγος της επιφάνειας του ανεμιστήρα: $\frac{A_f}{S_c}$

Ο λόγος της ταχύτητας του αέρα από τον ανεμιστήρα: $k_f = \frac{\frac{1}{2}\rho u_f^2}{P_c}$

6.3 Σύστημα ανύψωσης

Η κατανομή της πίεσης και της ροής του αέρα στο σύστημα ανύψωσης του σκάφους από την εξαγωγή των ανεμιστήρων μέχρι την περιφέρεια της φούστας, δεν μπορεί να είναι σταθερή λόγω της θέσης των ανεμιστήρων. Συχνά παρατηρούμε χαμηλές πιέσεις στην πλώρη, γεγονός που δίνει στο σκάφος μικρή αντίσταση σε φαινόμενα plough-in. Για την επίλυση του ανωτέρω προβλήματος, έχουν αναπτυχθεί αρκετά υπολογιστικά προγράμματα όπως το FLUENT το οποίο χρησιμοποιείται για αριθμητική διαμόρφωση της τρισδιάστατης ροής του αέρα στη φούστα. Επίσης η τοποθέτηση οδηγητικών περυγίων στην έξοδο των ανεμιστήρων και η ρύθμιση της διαμέτρου των οπών παροχής αέρα προς το θάλαμο, μπορεί να βελτιώσει τη συμπεριφορά της ροής του αέρα. Το σχέδιο 26 παρουσιάζει την κατανομή της πίεσης στην περιφέρεια της φούστας μετά την εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης.



Σχήμα 26: Κατανομή πιέσεων κατά μήκος του θαλάμου αέρα

6.4 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

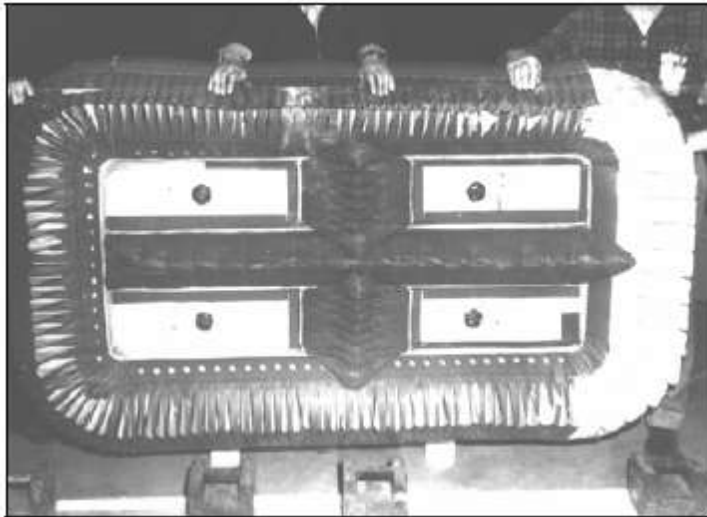
Οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής συμμετέχουν ενεργά στην ανάπτυξη και εξέλιξη των αερόστρομων σκαφών τα τελευταία 28 έτη. Ειδικότερα, ο οργανισμός CDI Marine Systems Development Division (CDIM-SDD) πρώην Band, Lavis and Associates, έχει κάνει σημαντική πρόοδο στην αριθμητική ανάλυση και με τη χρήση προγραμμάτων CAD (Computer Aided Drafting) ιδιαίτερα τα τελευταία 10 έτη έχει βελτιώσει τα ακόλουθα συστήματα:

- Σύστημα φούστας
- Ανεμιστήρες ανυψώσεως
- Έλικες πρόωσης κατευθυντικής ροής
- Συστήματα υποβοήθησης ελιγμών (bow thrusters)

Η συνολική πρόοδος των ανωτέρω συστημάτων έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση των ACVs στους τομείς της αξιοπιστίας, της ικανότητας χειρισμών και της συμπεριφοράς σε κυματισμούς.

6.5 Σύστημα φούστας

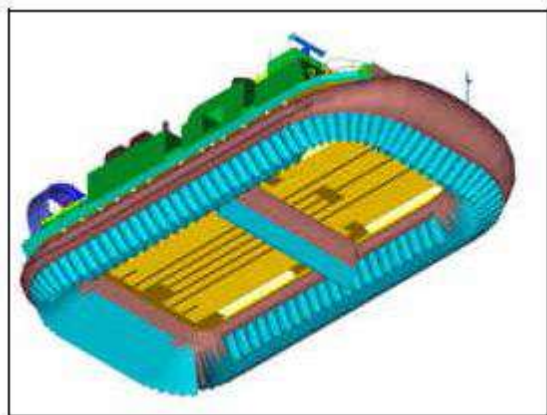
Τα περισσότερα σκάφη όπως το SRN4 Mk III, το AP 1-88 και το ρώσικης κατασκευής Zubr είναι εξοπλισμένα με συμβατικά συστήματα φούστας τύπου bag-finger. Ο τύπος αυτός με ρίζες από την Αγγλία του 1960 φαίνεται στο σχήμα 27. Παρατηρούμε την εφαρμογή εγκάρσιας και διαμήκους φούστας ευσταθείας, η οποία διαιρεί το θάλαμο αέρα σε τέσσερα υποτμήματα.



Σχήμα 27: Τυπική διάταξη φούστας τύπου bag-finger

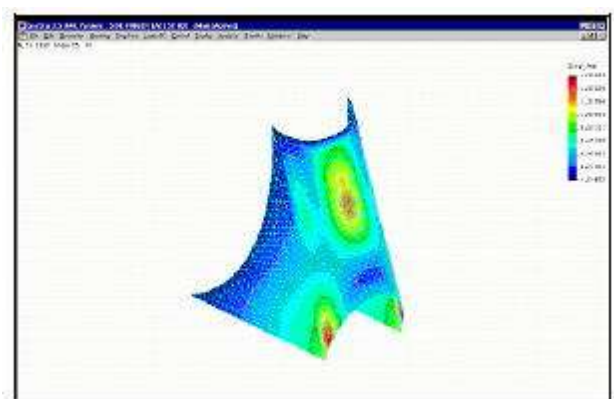
Με την πάροδο των χρόνων, διαπιστώθηκε ότι η ανωτέρω διάταξη είχε ιδιαίτερες δυσκολίες όσον αφορά τον τομέα της συντήρησης, γεγονός που οδήγησε στην αφαίρεση του πλωραίου διαμήκους τμήματος της φούστας ευσταθείας.

Το 1995, το Ναυτικό των ΗΠΑ κλήθηκε να υπερκεράσει τις δυσκολίες μίας αποστολής ναρκαλιείας με αερόστρωμα σκάφη. Η συγκεκριμένη αποστολή απαιτούσε το σκάφος να μπορεί να αιωρείται σε ύψος 2.4 μέτρων με μηδενική ταχύτητα. Ουσιαστικά η επιχειρησιακή απαίτηση ήταν η αύξηση του βάθους του θαλάμου αέρα στα 2.1m από τα 1.5m που παρείχε η συμβατική φούστα. Επιπρόσθετα, εξετάστηκε η δυνατότητα βελτίωσης της αξιοπιστίας του συστήματος προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η συντήρηση της φούστας. Αποτέλεσμα της έρευνας ήταν η δημιουργία της πρώτης γενεάς Φούστας Βάθους (Deep skirt) η οποία και είναι εγκατεστημένη σε όλα τα σύγχρονα αερόστρωμα των ΗΠΑ. Η συγκεκριμένη φούστα αποτελείται από διπλή εξωτερική τσάντα (bag), συνεχόμενα πλευρικά



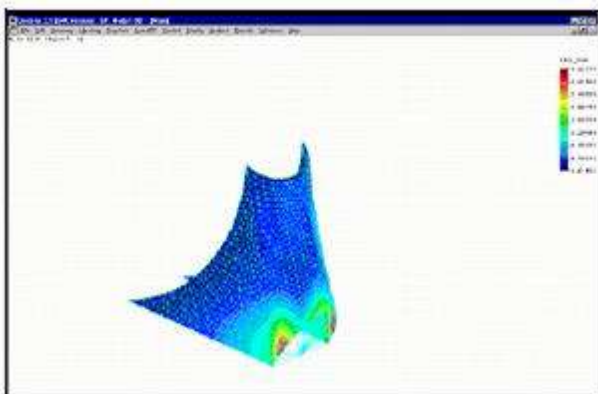
Σχήμα 28: Διάταξη της φούστας βάθους

δάχτυλα (fingers) για τη βελτίωση της εγκάρσιας ευστάθειας και ένα εγκάρσιο χώρισμα του θαλάμου αέρα για τη βελτίωση της διαμήκουσ ευστάθειας και τη μείωση του ποσοστού διαρροής αέρα από το θάλαμο όταν το σκάφος πλέει σε κυματισμό. Η διάταξη που περιγράφηκε ανωτέρω φαίνεται στο σχήμα 28. Η επιχειρησιακή εμπειρία έδειξε ότι η χρήση αυτού του νέου τύπου φούστας μείωσε την αντίσταση του σκάφους, βελτίωσε τη συμπεριφορά του σε κυματισμό, αύξησε την ικανότητα φόρτωσης και ελαχιστοποίησε τις απαιτήσεις συντήρησής του.



Σχήμα 29: Κατανομή τάσεων σε φούστα πρώτης γενιάς

Η δεύτερης γενιάς Φούστα Βάθους αναπτύχθηκε για το Φιλανδικό πολεμικό ACV T-2000. Η εξέλιξη αυτής της φούστας επετεύχθη με χρήση εξελιγμένων προγραμμάτων απεικόνισης τρισδιάστατων μοντέλων, τα οποία οδήγησαν σε σχεδιάσεις με ελάχιστη συγκέντρωση τάσεων στα άκρα της φούστας, τα οποία σε προηγούμενους τύπους καταπονούνταν υπερβολικά.



Σχήμα 30: Κατανομή τάσεων σε φούστα δεύτερης γενιάς

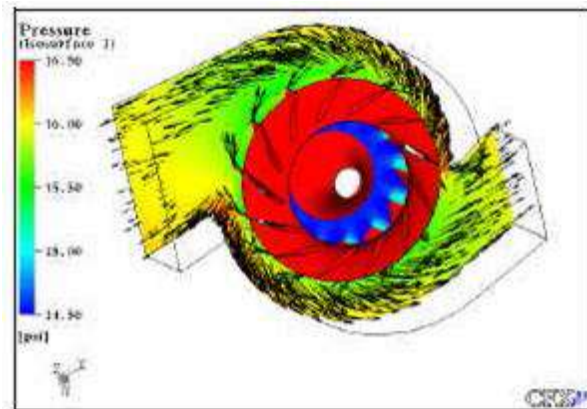
Η σύγκριση των δύο τελευταίων τύπων φούστας φαίνεται στα σχήματα 29 και 30 τα οποία προέκυψαν με τη βοήθεια της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Analysis). Παρατηρούμε την αυξημένη παραμόρφωση του εμπρόσθιου τμήματος του δάχτυλου της φούστας πρώτης γενιάς. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η εξελιγμένη φούστα δεύτερης γενιάς λειτούργησε δοκιμαστικά για περισσότερο από 400 ώρες χωρίς την ανάγκη συντήρησης.

Στις μέρες μας, βρίσκεται σε εξέλιξη η φούστα τρίτης γενιάς για την οποία έχουν εκτελεστεί δοκιμές με πρότυπα που συγκρίνει την αντίσταση των τριών γενεών φούστας. Αποτέλεσμα των αναφερθέντων είναι το γεγονός ότι η εξέλιξη της φούστας στις ΗΠΑ οδήγησε στην τελική μείωση της αντίστασης κατά 25%.

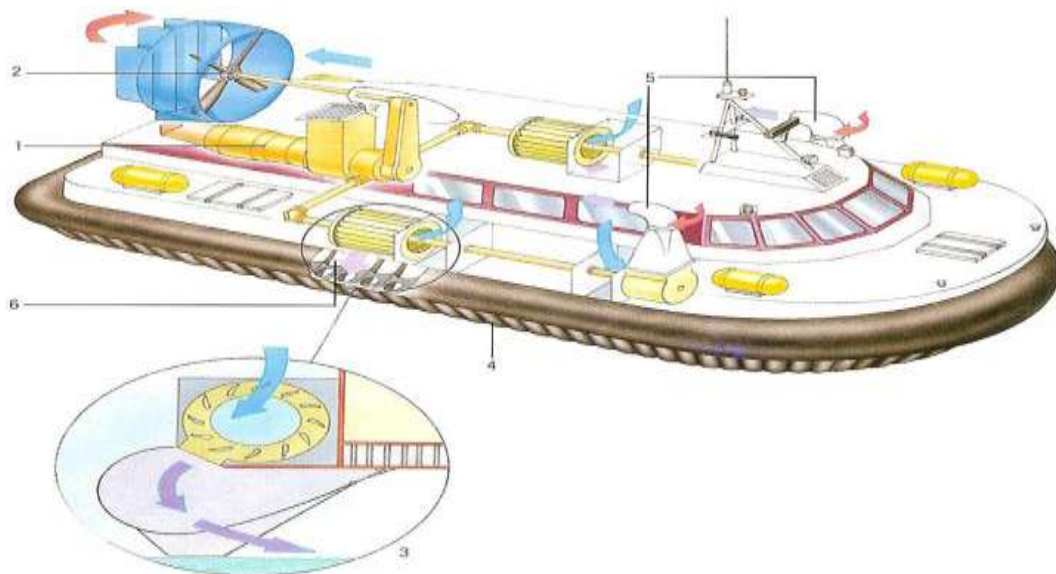
6.6 Ανεμιστήρες ανυψώσεως

Οι αυξημένες απαιτήσεις των ACV στον τομέα των ανεμιστήρων ανυψώσεως οδήγησε τους σχεδιαστές στη χρήση ανεμιστήρων με όσο το δυνατό σταθερή (επίπεδη) χαρακτηριστική καμπύλη ροής όπως τους HEBA-A ΚΑΙ HEBA-B (High Efficiency Backwards-inclined Airfoil fans), οι οποίοι και εφαρμόστηκαν για πάνω από 40 χρόνια. Ο οργανισμός CDIM-SDD εφάρμοσε υπολογιστικά προγράμματα CFD (Computational Fluid Analysis) όπως τον κώδικα ANSYS CFX 5.6 ο οποίος δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής πολλαπλών στρεφόμενων πλαισίων σε κάθε ανάλυση. Με αυτό τον τρόπο δόθηκε το πλεονέκτημα της μείωσης του όγκου του πλαισίου του

ανεμιστήρα χωρίς επιπτώσεις στην απόδοση του συστήματος. Ένα παράδειγμα τέτοιας ανάλυσης φαίνεται στο σχήμα 31.



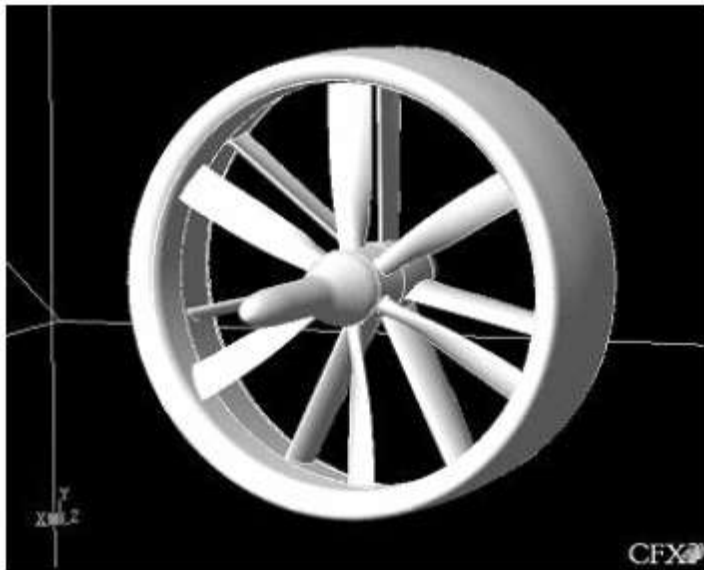
Σχήμα 31: Σύγκριση προβλέψεων CFD με πειραματικά αποτελέσματα



6.7 Κατευθυντικά προωστήρια μηχανήματα

Τα σύγχρονα αερόστρωμα βασίζονται σε έλικες κατευθυντικής ροής για την πρόωση τους, οι οποίες παίρνουν κίνηση από πετρελαιομηχανές (κύριες προωστήριες ή βοηθητικές για ανύψωση) και από αεροστροβίλους. Τα κριτήρια επιλογής πετρελαιομηχανής ή αεροστροβίλου εξαρτώνται όπως και σε όλη την ναυτιλία από οικονομικούς λόγους που έχουν να κάνουν με το αρχικό κόστος αγοράς, συντήρησης αλλά και κατανάλωσης καυσίμου αλλά και για την χρήση που προορίζεται το συγκεκριμένο σκάφος. Ο CDIM-SDD κατάφερε να εξελίξει έναν ήδη υπάρχων τύπο

έλικας και κατέστησε δυνατό να απορροφήσει έως και 50% μεγαλύτερη ισχύ σε σύγκριση με συμβατικούς τύπους σχεδίασης.



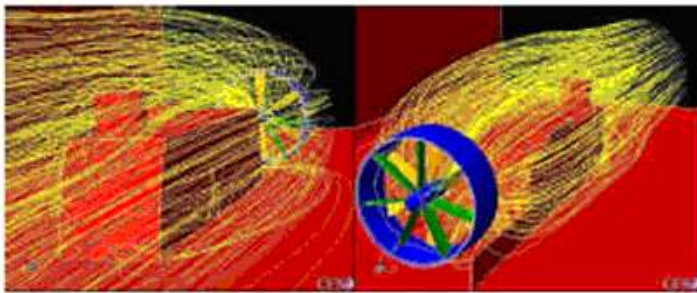
Σχήμα 32: Η έλικα των 6 κινητών και των 7 στατών πτερυγίων

Για μία ακόμη φορά χρησιμοποίησε προγράμματα υπολογιστικής ρευστομηχανικής (ANSYS CFX 5.6) και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι προτιμώμενος προωστήρας είναι μία κατευθυντική έλικα 6 κινητών και 7 αεροδυναμικών στατών πτερυγίων, όπως φαίνεται στο σχήμα 32. Πειραματική εφαρμογή της θεωρίας εκτελέστηκε σε αεροδυναμική σήραγγα στο Πανεπιστήμιο του Maryland με μοντέλο κλίμακας 1/6 (σχ.33).

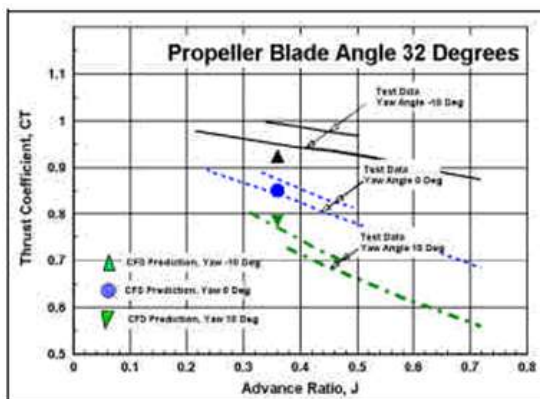


Σχήμα 33: Το μοντέλο κλίμακας 1/6

Ακόμη, έγινε απεικόνιση της ροής του αέρα στην έλικα με την εφαρμογή κατάλληλου πλέγματος από το πρόγραμμα Turbo Grid 1.06. Το σχήμα 34 απεικονίζει τις γραμμές ροής του αέρα στην έλικα. Μία σύγκριση της θεωρίας με την πειραματική προσέγγιση φαίνεται στο διάγραμμα 35. Φαίνεται ότι η πρόβλεψη με την εφαρμογή CFD αναλύσεων έχει απόκλιση από τα μετρηθέντα στοιχεία της τάξης του 4%. Η μέγιστη απόκλιση παρατηρείται σε γωνία 100 ως προς το yaw (γωνία παρέκλισης), όπου δυσχεραίνει η ροή προς τον προωστήρα.



Σχήμα 34: Η ροή του αέρα από την έλικα



Σχήμα 35: Η μετρηθείσα ώση σε σύγκριση με τις CFD προβλέψεις



6.8 Συστήματα υποβοήθησης ελιγμών (bow thrusters)

Αρκετά σύγχρονα ACVs χρησιμοποιούν συστήματα υποβοήθησης ελιγμών όπως πλωραίους προωθητές (bow thrusters) για να αυξήσουν την ώση του σκάφους και την πλοική τους ικανότητα. Ένας χαρακτηριστικός τύπος τέτοιας συσκευής παρουσιάζεται στο σχήμα 36, στο οποίο φαίνεται το αερόστρωμο της Καναδικής ακτοφυλακής AP.1-88.



Σχήμα 36: Τα bowthrusters του AP1-88

Αυτά τα συστήματα ακροφυσίων αποβάλλουν αέρα υψηλής ταχύτητας ο οποίος παρέχεται από ανεμιστήρες. Τα ακροφύσια μπορούν συνήθως να περιστραφούν ως προς την κατακόρυφο και έτσι είναι δυνατή η παραγωγή διαμήκους και πλευρικής ώσης ανάλογα με τη γωνία περιστροφής τους.

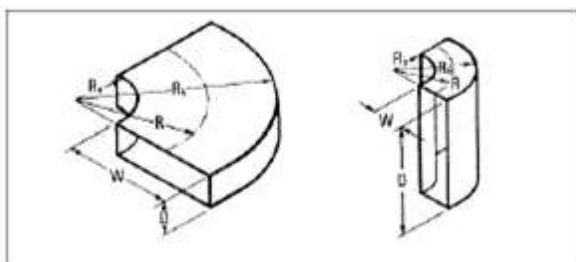
Ένα άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα των ακροφυσίων φαίνεται στο σχήμα 36 και είναι το ύψος τους, το οποίο μπορεί να φθάσει μέχρι και τα δύο μέτρα από την κατάθλιψη των ανεμιστήρων.



Σχήμα 37: Ο προωθητής χαμηλού προφίλ του T-2000

Όταν οι τεχνικοί του CDIM-SDD ασχολήθηκαν με την ανάπτυξη της σχεδίασης του φινλανδικού πολεμικού σκάφους T-2000, βρέθηκαν αντιμέτωποι με την πρόκληση της μείωσης του ύψους όλων των συστημάτων που βρίσκονταν στο εξωτερικό του σκάφους. Αυτή η απαίτηση οδήγησε στην ανάπτυξη του χαμηλού προφίλ πλωραίου προωθητή που απεικονίζεται στο σχήμα 37. Επίσης στο σχήμα 37 φαίνεται και η διάταξη του συστήματος, που αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο ακροφύσιο που εδράζεται πάνω σε ένα θάλαμο συλλογής αέρα, ο οποίος με τη σειρά του τοποθετείται πάνω από τον ανεμιστήρα. Το ανώτατο σημείο του bow thruster του T-2000 είναι μόνο 780 χιλ. πάνω από το επίπεδο του κυρίου καταστρώματος.

Το σχήμα 38 απεικονίζει διαγραμματικά τη γεωμετρία ενός συμβατικού και ενός χαμηλού προφίλ προωθητή αέρα.



Σχήμα 38: Η γεωμετρία ενός συμβατικού και ενός χαμηλού προφίλ προωθητή αέρα

Παράμετροι όπως η αναλογία καμπυλών (R_a/R_b) και ο λόγος των ακτίνων (R/W) επηρεάζουν σημαντικά τις απώλειες τριβής που προκαλούνται από τα ακροφύσια. Γενικά, όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές των ανωτέρω λόγων τόσο ελαχιστοποιούνται οι απώλειες λόγω των ακροφυσίων. Ο προωθητής χαμηλού προφίλ

προσφέρει μεγαλύτερη αναλογία καμπυλών και μεγαλύτερο λόγο ακτίνων από τους συμβατικούς προωθητές, όπως φαίνεται και στο σχήμα 39.

	Conventional Nozzle	T-2000 Low-Profile Nozzle
Curve Ratio (R_3/R_5)	0.09	0.22
Radius Ratio (R/W)	0.73	0.85

Σχήμα 39: Σύγκριση της γεωμετρίας των προωθητών

Επίσης η νέα αυτή σχεδίαση έχει ιδιαίτερα μικρότερη ενεργό επιφάνεια (Radar Cross Section ή RCS), γεγονός που αποδίδει δυνατότητα κάλυψης από εχθρικά ραντάρ εντοπισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7 Βασικές σχεδιαστικές αρχές

Κατά τα τελευταία 30 χρόνια έχουν εκτελεστεί πολλές σχεδιαστικές μελέτες στον τομέα των αερόστρωμων σκαφών. Ταυτόχρονα, η εξέλιξη των ηλεκτρονικών προγραμμάτων όπως το ANSYS CFX και της υπολογιστικής ισχύος των επεξεργαστών έχει βοηθήσει σημαντικά την ανάπτυξη των σχεδιάσεων των ACVs. Αυτά τα προγράμματα συνήθως χρησιμοποιούν μεθόδους παραμετρικής ανάλυσης για την εύρεση της βέλτιστης λύσης ανάλογα με τις απαιτήσεις του σχεδιαστή. Τα αποτελέσματα μπορούν να περιορίσουν την αόριστη αρχικά επιλογή των διαστάσεων, του τύπου της γάστρας, του εκτοπίσματος του σκάφους σε ένα διακριτό αριθμό συνδυασμών. Επίσης είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν και περαιτέρω ανάλυση των σχεδιάσεων που τελικά θα επιλεγούν με βάση προηγούμενα μοντέλα (όμοια πλοία).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8 Γενικές απαιτήσεις σχεδιασμού Hovercraft

Με βάση το αναμενόμενο λειτουργικό περιβάλλον, περιοχές περιπολίας και το εύρος των αποστολών, το ακόλουθο συνολικό κονδύλιο του σχεδίου προκύπτει ως μέσο της αξιολόγησης των υφιστάμενων βιοτεχνικών και μελλοντικών σχεδίων :

- Ελάχιστο hover height: 2.5m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας σε τροπικές ζώνες και 2,7 - 3,0 m σε αρκτικές ζώνες.
- Εύρος και αντοχή που βασίζονται σε μια σειρά υποθετικών σενάριων αποστολής: της τάξης των 500 με 700 ν.μ., που αντιστοιχεί σε πάνω από 20 έως 30 ώρες στους 20-25 κόμβους.
- Ελάχιστο μέγεθος γάστρας βασίζεται στην ανάγκη να μεταφέρει 2.5 m φούστα με αποδεκτά επίπεδα σταθερότητας: 80 έως 100 τόνους, από 13 έως 14 m διαρθρωτική δοκού, μήκους 30-40 m.
- Ωφέλιμο φορτίο: αρκεί να φέρουν πλήρωμα 4 έως 5 άτομα, με εξειδικευμένο εξοπλισμό και περιστασιακά εμπορεύματα και την προσθήκη σε καύσιμο σε επίτευξη της αναγκαίας απόστασης, εύρους και αντοχής που διαθέτουν τα αποθέματα.
- Πίεση μαξιλαριού: το ελάχιστο εφικτό στο πλαίσιο των περιορισμών του ωφέλιμου φορτίου και μεγέθους, ώστε να ελαχιστοποιείται το πάγωμα ψεκασμού και πιθανότητες βλάβης / φθοράς στη φούστα (συνήθως λιγότερο από 0,35 psi).
- Σχεδιασμός βελτιστοποιημένος για το Αρκτικό κλίμα: π.χ. αποπάγωση κρίσιμων περιοχών, κάτω ράγες εκφόρτωσης ή δρομείς, την ευκολία σε κρύο καιρό συντήρησης / πρόσβαση σε μηχανικά / υδραυλικά / ηλεκτρικά συστήματα.
- Ευέλικτη συνολική διάταξη για να διευκολυνθεί η ταχεία μετατροπή σε πολλαπλές αποστολές: π.χ. προσαρμοσμένο τμήμα στο πίσω μέρος του θαλάμου πληρώματος επιβατών.



Επίλογος

Σε κάθε βιομηχανία πάντα βρίσκουμε κάποιο καλό σχεδιασμό μηχανήματος (Design) από ορισμένους Τεχνικούς Οργανισμούς. Έτσι και στην Ναυτιλιακή Βιομηχανία ισχύει αυτό σε μεγάλο ποσοστό. Βλέπουμε ότι στα περασμένα χρόνια η πετυχημένη ιδέα σχεδιασμού μοιραζόταν από περισσότερους από έναν κατασκευαστές που είχαν κοινό όραμα. Οι καλοί σχεδιαστές πάντα μοιραζόντουσαν στοιχεία μεταξύ τους όσον αφορά τον πετυχημένο σχεδιασμό. Είναι αυτό τα οποίο λέμε με λίγα λόγια εξέλιξη. Η εξέλιξη δεν ήρθε γρήγορα αλλά ήρθε μετά από διάφορες ανακατατάξεις οι οποίες έγιναν χρήσιμες για τους μελλοντικούς σχεδιαστές. Πολλά μοντέλα και ιδέες δεν δουλεύσαν μέχρι να επετύχθη το τελικό το οποίο ήταν και το πλέον πετυχημένο. Αυτό ισχύει και στα αερόστρωμα (hovercrafts) καθώς δεν αποτελούν εξαίρεση του κανόνα. Τα εργαστήρια καθώς και τα εργοστάσια αποκαλύπτουν ότι η κακή οργάνωση, η κουλτούρα, καθώς και η κακή επικοινωνία αποτελούν τα μεγαλύτερα φράγματα για να επετύχθη η μεγίστη απόδοση. Ο μεσαίος κρίκος της αλυσίδας όπως είναι οι τεχνίτες, εργοδηγοί, οι άνθρωποι οι οποίοι θα βάλουν σε εφαρμογή πρακτικώς την ιδέα η οποία είναι σχεδιασμένη σε χαρτί, αποτελούν ένα σημαντικό και αναπόσπαστο κομμάτι της βιομηχανικής παράγωγης. Αυτό το προσωπικό αποτελεί κλειδί για την απολυτή επιτυχία του σχεδιασμού. Τέλος Θα μπορούσαμε με λίγα λόγια να πούμε ότι κατά το σχεδιασμό μέχρι την πραγματική υλοποίηση της κατασκευής πάντα υπάρχει ένα πρακτικό κενό κομμάτι γνώσεων το οποίο πρέπει να υπερκαλυφτεί μέχρι να φτάσουμε στο πετυχημένο Design. Αυτό το κενό υπερκαλύπτεται από ανθρώπους που είναι άρτια εκπαιδευμένοι στο πρακτικό κομμάτι της δουλειάς. Άρα η οργάνωση, η εκπαίδευση, καθώς και η τεχνογνωσία επάνω στο αντικείμενο παίζουν πάντα σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση μιας πετυχημένης ιδέας που πάνω από όλα θα παρέχει ασφάλεια στο ανθρώπινο δυναμικό που το απαρτίζει και θα ικανοποιεί στο έπακρο τις ανθρώπινες ανάγκες από τις οποίες δημιουργήθηκε η ιδέα των ACVS και στην πάροδο του χρόνου εξελίχθηκαν πλήρως χάρη της τεχνολογικής προόδου.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

1. The theory of ground vehicles.

http://www.google.gr/books?hl=el&lr=&id=LH8wd8im13AC&oi=fnd&pg=PR13&dq=air%2Bcushion%2Bvehicle+book&ots=4U3sVAFWYz&sig=2IPZIl4hKbt_CZUU_L5vCH-zOF0&redir_esc=y#v=onepage&q=air%2Bcushion%2Bvehicle%20book&f=false

2. Theory and design of Air Cushion Craft.

http://www.google.gr/books?hl=el&lr=&id=aJT0gK710LwC&oi=fnd&pg=PP2&dq=air%2Bcushion%2Bvehicle+book&ots=EQLQDpPW_m&sig=sqX0D1XFhrFb7gaa3VvbeV9btw8&redir_esc=y#v=onepage&q=air%2Bcushion%2Bvehicle%20book&f=false

3. Air Cushion Vehicle (ACV) Developments In The U.S.A.

[http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:wELCNfL1LqUJ:scholar.google.com/+Air+Cushion+Vehicle+\(ACV\)+Developments+In+The+U.S.&hl=el&as_sdt=0,54. Hydrodynamics of High Speed Marine Vehicles.](http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:wELCNfL1LqUJ:scholar.google.com/+Air+Cushion+Vehicle+(ACV)+Developments+In+The+U.S.&hl=el&as_sdt=0,54. Hydrodynamics of High Speed Marine Vehicles.)

http://www.google.gr/books?hl=el&lr=&id=Rv4Iep_NTAUC&oi=fnd&pg=PR13&dq=Hydrodynamics+of+High+Speed+Marine+Vehicles.&ots=Hl6bkc1GPT&sig=dS1_hlklgcU25yYDSO5Y8YE5ER0&redir_esc=y#v=onepage&q=Hydrodynamics%20of%20High%20Speed%20Marine%20Vehicles.&f=false

4. Ship Design and Construction.

<http://legacy.sname.org/newsletter/VOLIITOC.pdf>

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	4
Abstract.....	6
Πρόλογος	7
1 Ιστορική αναδρομή.....	9
1.1 Η αρχαιότερη εθνική οδό	9
1.2 Το υδάτινο φράγμα.....	10
1.3 Ηγένεσητων Air Cushion Vehicles	11
1.4 Η γέννηση της βιομηχανίας αερόστρωμων οχημάτων (hovercrafts)	13
2 Θεωρία ACV	21
2.1 Εκθετική θεωρία.....	21
2.2 Θεωρία θαλάμου κενού (plenum chamber)	21
2.3 Η θεωρία του A.A.West ή απλού τοιχώματος (single wall)	22
2.4 Στατική ισορροπία ACV πάνω στην επιφάνεια της θάλασσας.....	24
2.5 Το Φαινόμενο Αντλησης Κυμάτων (Wave Pumping Effect)	26
2.5.1 Πρώτος τρόπος λειτουργίας.....	27
2.5.2 Δεύτερος τρόπος λειτουργίας - σταθερός όγκος μαξιλαριών	28
2.5.3 Τρίτος τρόπος λειτουργίας - συνδυασμός 1ου και 2 ^{ου} τρόπου.....	29
3 Αντίσταση ACV	30
3.1 Εισαγωγή.....	30
3.2 Η αεροδυναμική αντίσταση λόγω μεταβολής της ορμής.....	31
3.3 Αντίσταση λόγω μεταβολής της ορμής του αέρα (από τη διαρροή του) από τα πλωραία και πρυμναία διάκενα της φούστας (Ra'')	31
3.4 Η αντίσταση της φούστας	33
3.5 Αντίσταση τριβής της φούστας.....	36
3.6 Υπολογισμός της συνολικής αντίστασης της φούστας.....	37
3.7 Προβλήματα-Δυσκολίες Των Αερόστρωμων Σκαφών στη Φάση της Απογείωσης.....	38
4 Ευστάθεια	42
4.1 Εισαγωγή.....	42
4.2 Εγκάρσια Ευστάθεια	43
4.3 Διαμερισματοποίηση Hovercraft	44
4.4 Συστήματα Ανύψωσης της Φούστας	45

4.5	Επίδραση του διακένου (heg) της φούστας ευσταθείας.....	45
4.6	Επίδραση του κατακόρυφου κέντρου βάρους (VCG).....	46
4.7	Επίδραση του ποσοστού ροής των ανεμιστήρων.....	47
4.8	Δυναμική Ευστάθεια, το Φαινόμενο Plough-In, και ανατροπή ενός Αερόστρωμνου.....	48
4.9	Κυριότεροι λόγοι των φαινομένων plough-in και της Ανατροπής.....	51
5	Σύστημα Φούστας ACV.....	53
5.1	Σχεδίαση των Φουστών ενός Αερόστρωμνου.....	53
5.2	Διατάξεις Φούστας.....	56
5.3	Σύγκριση των Διαφόρων Τύπων Φούστας.....	62
5.4	Φούστα Τύπου Bag-Finger.....	62
5.5	Φούστα Τύπου Bag And Pericell.....	63
5.6	Φούστα Τύπου Ανοιχτού Βρόχου.....	63
5.7	Φούστα Τύπου Εκτεταμένων Τμημάτων.....	63
5.8	Το Φαινόμενο της Αναπήδησης (Bounce).....	65
5.9	Φούστες Καταστολής Ψεκασμού.....	68
6	Η Ανάπτυξη της Τεχνολογίας Σχεδίασης των ACV στις Προηγμένες Χώρες.....	70
6.1	Κίνα.....	70
6.2	Βελτιστοποίηση της γενικότερης απόδοσης του Σκάφους.....	70
6.3	Σύστημα ανύψωσης.....	72
6.4	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.....	73
6.5	Σύστημα φούστας.....	73
6.6	Ανεμιστήρες ανυψώσεως.....	76
6.7	Κατευθυντικά προωστήρια σκεύη.....	77
6.8	Συστήματα υποβοήθησης ελιγμών (bow thrusters).....	81
7	Βασικές σχεδιαστικές αρχές.....	84
8	Γενικές απαιτήσεις σχεδιασμού Hovercraft.....	85
	Επίλογος.....	87
	Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία.....	88