

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΑΦΩΝ ΤΥΠΟΥ WIG

**(Ιστορική αναδρομή/επίδοση, περιορισμοί, έλεγχος και ευστάθεια,
υδροδυναμική/αεροδυναμική, πρακτικές εφαρμογές)**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ : ΚΥΡΙΑΚΗ ΧΑΤΖΗΓΕΩΡΓΙΑΔΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΣΟΡΜΠΙΑΤΖΙΔΗΣ ΑΝΕΣΤΗΣ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2015

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΑΦΩΝ ΤΥΠΟΥ WIG

**(Ιστορική αναδρομή/επίδοση, περιορισμοί, έλεγχος και ευστάθεια,
υδροδυναμική/αεροδυναμική, πρακτικές εφαρμογές)**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ :ΚΥΡΙΑΚΗ ΧΑΤΖΗΓΕΩΡΓΙΑΔΟΥ

ΑΜ : 4448

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής ΤΣΟΡΜΠΙΑΤΖΙΔΗΣ ΑΝΕΣΤΗΣ

Περίληψη

Το φαινόμενο Πτέρυγα σε Επίδραση Επιφανείας (Wing In Ground effect) είναι γνωστό στους αεροπόρους από τότε που κατασκευάστηκαν τα πρώτα αεροσκάφη. Η επίδραση WIG είναι ένα φαινόμενο που δημιουργεί μια αύξηση στην ανύψωση που δέχεται ένα αεροσκάφος καθώς αυτό προσεγγίζει το έδαφος για να προσγειωθεί, όταν δίνες αέρα παγιδεύονται ανάμεσα στα φτερά του αεροσκάφους και το έδαφος. Η πρόσθετη αυτή ανύψωση μπορεί να αλλάξει τη γωνία της προσγείωσης του αεροσκάφους, προκαλώντας διαμήκη αστάθεια. Αν δεν διορθωθεί υπάρχει το ενδεχόμενο να συμβεί ένα κάθισμα, το οποίο θα μπορούσε να οδηγήσει στη συντριβή του αεροσκάφους με πιθανές ανθρώπινες απώλειες. Η επίδραση του εδάφους θεωρείται ευρέως ως ένα φαινόμενο από το οποίο τα περισσότερα αεροσκάφη μπορούν να επωφεληθούν με τη μορφή μιας καλύτερης προσγείωσης.

Η επιπλέον ανύψωση που παρέχεται από την επίδραση του εδάφους μειώνει τις απαιτήσεις στις μηχανές των αεροσκαφών και τη δύναμη που απαιτείται για να παραμείνει στον αέρα. Η γνώση ότι η πτήση με την επίδραση του εδάφους είναι πιο αποτελεσματική από την παραδοσιακή πτήση οδήγησε τους ανθρώπους να αναπτύξουν σκάφη που εκμεταλλεύονται αυτό το όφελος με το να πετούν κοντά στο έδαφος.

Η ανάπτυξη του σκάφους WIG εμφανίζεται τα τελευταία 50 χρόνια, κυμαινόμενη από μικρής κλίμακας σκάφη αναψυχής, σε μεγάλης κλίμακας στρατιωτικά σκάφη, αλλά τέτοια σκάφη δεν έχουν γίνει επιτυχημένα προϊόντα παραγωγής. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στους περιορισμούς που υπάρχουν στα υπάρχοντα σχέδια αεροσκαφών WIG, όπως είναι το υψηλό κόστος συντήρησης των εκτεθειμένων κινητήρων σε στενή γειτνίαση με τη θάλασσα, η οποία μειώνει την αξιοπιστία της πτήσης. Οι παράγοντες αυτοί έχουν ήδη οδηγήσει σε απόσυρση της στρατιωτικής χρηματοδότησης για την έρευνα και την ανάπτυξη στον τομέα αυτό σε όλες τις μεγάλες χώρες. Παρά το γεγονός αυτό, υπάρχει η δυνατότητα για το σχεδιασμό ενός σκάφους WIG στο οποίο θα επιτευχθεί η λειτουργικότητα που απαιτείται για να γίνει επιτυχής σε εξειδικευμένους τομείς, όπως είναι οι μεταφορές υψηλής ταχύτητας.

Abstract

The phenomenon Wing in Surface Effect is known to aviators since the first aircraft was manufactured. The WIG effect is a phenomenon that creates an increase in elevation that is exerted on an aircraft as it approaches the ground in order to land, when vortices of air are trapped between the wings of the aircraft and the ground. This additional elevation can change the angle of the landing of the aircraft, causing longitudinal instability. If not corrected there is a possibility that one seat will happen, which could lead to a plane crash with possible casualties. The ground effect is widely regarded as a phenomenon in which most aircraft can benefit in the form of a better landing.

The extra lift provided by ground effect reduces the requirements in aircraft engines and the force required to remain in the air. The knowledge that the flight ground effect is more efficient than the traditional flight led people to develop aircrafts that exploit this advantage by flying close to the ground.

The development of WIG aircraft is manifested over the last 50 years, ranging from small recreational craft to large-scale military vessels, but such boats have not become successful products for production. This is largely due to the limitations found in existing WIG aircraft designs, such as the high maintenance cost of the exposed engine in close proximity to the sea, which reduces the reliability of flight. These factors have already led to a withdrawal of military funding for research and development in this field in all major countries. Despite this, it is possible to design a WIG aircraft in which the functionality required to become successful in niche areas such as high-speed links can be achieved.

Πρόλογος

Το φαινόμενο Πτέρυγα σε Επίδραση Επιφανείας (WIG) επηρεάζει όλα τα αεροσκάφη με ορισμένο τρόπο, λόγω των δυνάμεων του αέρα που παγιδεύονται μεταξύ των πτερύγων του αεροσκάφους και του εδάφους, όταν το αεροσκάφος είναι κοντά στο έδαφος. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ως «έδαφος» μπορεί να αναφέρεται όχι μόνο η γη, αλλά και το νερό, ο πάγος, το χιόνι και η άμμος. Το φαινόμενο Πτέρυγα σε Επίδραση Επιφανείας μπορεί να είναι ευεργετικό ή επιζήμιο για το αεροσκάφος.

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την τεχνολογία σκαφών τύπου WIG και την προοπτική αυτής της τεχνολογίας στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα διερευνά τη θεωρία, την ιστορία, τις εφαρμογές, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του φαινομένου WIG σε αεροσκάφη, καθώς και την τρέχουσα κατάσταση και το μέλλον των αεροσκαφών WIG.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ιστορία της τεχνολογίας των σκαφών τύπου WIG, καθώς και στα οφέλη και στις εφαρμογές των συγκεκριμένων αεροσκαφών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζω τη θεωρία της πτήσης και την επίδραση του εδάφους. Επίσης, αναφέρομαι σε έννοιες, όπως η ροπή πρόνευσης, καθώς και στα θεωρητικά οφέλη του φαινομένου της επίδρασης του εδάφους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρομαι στο σχεδιασμό του σκάφους WIG, στις επιδόσεις και στα χαρακτηριστικά αποτελεσματικότητά τους. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στον κανονισμό που ισχύει για το συγκεκριμένο τύπο σκάφους, καθώς και τα συνολικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα σκάφη WIG.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται οι προοπτικές λειτουργίας των σκαφών WIG καθώς και οι πρακτικές εφαρμογές τους.

Κεφάλαιο 1: Τεχνολογία σκαφών τύπου WIG

1.1 Θεωρία

Υπάρχουν πολλά διαφορετικά σχηματοποιημένα σώματα που μπορούν να δώσουν ανύψωση. Ωστόσο, το πιο αποτελεσματικό σχέδιο μέχρι στιγμής είναι η πτέρυγα. Οι πτέρυγες προκαλούν ανύψωση, επειδή η κίνηση της πτέρυγας δια μέσω του αέρα οδηγεί σε μια υψηλότερη στατική πίεση στην κάτω επιφάνεια από ότι στην άνω επιφάνεια. Αυτή η διαφορά στην πίεση οδηγεί σε μια δύναμη προς τα πάνω γνωστή ως ανύψωση, η οποία επιτρέπει στο αεροσκάφος να ξεπεράσει τη δύναμη της βαρύτητας που ενεργεί προς τα κάτω (Fischer & Matjasic, 1998).

Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα αεροσκάφη πετούν σε ελεύθερο ρεύμα, όπου δεν υπάρχουν όρια που περιορίζουν την κίνηση του αέρα. Τα WIG αεροσκάφη, ωστόσο, κάνουν χρήση του φαινομένου "Επίδραση του εδάφους", το οποίο είναι το όνομα που δίνεται όταν εμφανίζεται ένα όριο κάτω και κοντά στην κάτω επιφάνεια της πτέρυγας. Στην πράξη, αυτό το όριο είναι η επιφάνεια της Γης είτε το νερό είτε το έδαφος (Fischer & Matjasic, 1998).

Η παρουσία ενός ορίου κοντά σε μια πτέρυγα έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη στατική πίεση στην κάτω επιφάνεια αυξάνοντας έτσι την παραγόμενη ανύψωση. Καθώς η αποτελεσματικότητα μιας πτέρυγας καθορίζεται από την ανύψωση, η απόδοση μιας πτέρυγας αυξάνεται λόγω της επίδραση του εδάφους. Επομένως, είναι δυνατόν να σχεδιαστούν σκάφη τα οποία πετούν σε χαμηλά υψόμετρα, έτσι ώστε να είναι σε στενή γειτνίαση με την επιφάνεια της γης και να μπορούν να εκμεταλλευτούν την επίδραση του εδάφους (Rozhdestvensky, 1996).

1.2 Ιστορική αναδρομή

Τα σκάφη τύπου WIG έχουν πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Οι τομείς αυτοί περιλαμβάνουν τη μεταφορά φορτίου, στρατιωτικές επιχειρήσεις, ακόμα και έρευνα και διάσωση. Ο κύριος λόγος για την ανάπτυξη του σκάφους τύπου WIG είναι λόγω των περιορισμών ταχύτητας που υπάρχουν στα συμβατικά θαλάσσια

σκάφη. Τα νέας γενιάς θαλάσσια σκάφη έχουν σχεδιαστεί για να είναι ταχύτερα από ότι οι προκατόχοί τους. Υψηλότερες ταχύτητες επιτεύχθηκαν με τα ιπτάμενα δελφίνια και τα αερόστρωμα. Η πρακτική μέγιστη ταχύτητα όλων των θαλασσίων σκαφών που αναφέρονται μέχρι σήμερα βρίσκεται περίπου στα 100 km/h. Το μειονέκτημα για πλοiάρια μεγάλης ταχύτητας είναι η αυξημένη απαίτηση ισχύος και κατανάλωσης καυσίμου που προκαλείται από την ιξώδη οπισθέλκουσα λόγω τριβής του νερού. Η προφανής λύση ήταν να ελαχιστοποιηθεί η επαφή με την επιφάνεια του νερού και η προσέγγιση αυτή λειτουργεί για τα ιπτάμενα δελφίνια και τα χόβερκραφτ. Δυστυχώς, η ταχύτητα ενός χόβερκραφτ περιορίζεται από την κατάσταση της θάλασσας και τις εκτιμήσεις διαμiκής σταθερότητας (Rozhdestvensky, 1996).

Τα πρώτα πειράματα για τα οχήματα εδάφους έγιναν με τη χρήση μοντέλων και μικρής κλίμακας πρωτοτύπων. Η πιο γνωστή εφαρμογή για ένα όχημα επίδρασης εδάφους ανήκει στον Φιλανδό μηχανικό G. Kaario (1935). Κατασκεύασε ένα σκάφος, το οποίο διαμορφώθηκε από ένα αεροσκάφος χιονιού. Οι πρώτες δοκιμές έδειξαν θετική επίδραση του εδάφους, όμως, το έργο σταμάτησε, καθώς δεν μπορούσε να λύσει το πρόβλημα αστάθειας. Παρόμοια έργα πραγματοποιήθηκαν από Σουηδούς και Αμερικανούς μηχανικούς. Ωστόσο, υπήρχαν προβλήματα σταθερότητας στα πειράματά τους και ως εκ τούτου δεν μπορούσε να παραχθεί κανένα πρακτικό πρωτότυπο (Journal of Aircraft, 1977).

Το 1947, ο Ρώσος R.Alekseen υπέβαλε προτάσεις για αεροδυναμικές δυνάμεις που ασκούνται στην κίνηση των ταχύπλων σκαφών κοντά στην επιφάνεια. Οι προτάσεις του βασίστηκαν στις αρχές της παροχής διαμiκής και πλευρικής σταθερότητας κοντά στην επιφάνεια (Journal of Aircraft, 1977).

Με βάση αυτές τις αρχές μπόρεσε να σχεδιάσει και να κατασκευάσει το πρώτο λειτουργικό πρωτότυπο ενός σκάφους τύπου WIG ή Ekranoplan. Τα αρχικά σχέδια βασίστηκαν στην παράλληλη πτέρυγα, η οποία αργότερα αντικαταστάθηκε από την πιο ευνοϊκή τύπου «αεροπλάνου» διαμόρφωση. Αυτό οδήγησε στην παραγωγή των γνωστών Ekranoplans όπως το «Lun», το «Orlyonok» και το πιο γνωστό από όλα αυτά το «KM» ή «Korabl 'Maket», επίσης γνωστό ως το Τέρας της Κασπίας Θάλασσας. Με μια εντυπωσιακή στάθμιση 500 τόνων, το σκάφος αυτό μπορούσε να φθάσει ταχύτητες μέχρι 500km/hr (Journal of Aircraft, 1997).

Το Orlyonok ενσωματώνει πολλά χαρακτηριστικά, τα οποία είχαν δοκιμαστεί ανεξάρτητα σε προγενέστερα σχέδια, ήταν αμφίβιο, είχε μεγάλη μηχανή με τεχνολογία τουρμπίνας (turboprop), για χρήση κατά την διάρκεια του ταξιδιού, και

βρίσκονταν πάνω στο περύγιο της ουράς, ενώ άλλες δύο μηχανές ίδιου τύπου, βρίσκονταν στο ρύγχος του σκάφους, για σπρώχνουν αέρα κάτω από την πτέρυγα. Ελάχιστα Orlyonoks ήταν σε υπηρεσία από το Ρώσικο Ναυτικό, από το 1979 έως το 1992 (Maskalik, 2000).

Το πιο πρόσφατο μεγάλο Ecranoplan από την πρώην Σοβιετική Ένωση, ήταν των 400 τόνων βάρους, με την ονομασία Lun, το οποίο κατασκευάστηκε το 1987 σαν πλατφόρμα εκτόξευσης πυραύλων. Κουβαλούσε στην ράχη του σκάφους 6 πυραύλους, ενώ την στιγμή της κατάρρευσης της Σοβιετικής Ένωσης υπήρχε και δεύτερο Lun υπό κατασκευή. Ήταν σε ποσοστό περίπου 90% έτοιμο, όταν η στρατιωτική χρηματοδότηση σταμάτησε, λόγω της οικονομικής κατάστασης και μετά το τέλος του ψυχρού πολέμου (Rozhdestvensky, 1995).

Το δεύτερο Lun τελικά μετονομάστηκε σε Spasatel, τα στρατιωτικά συστήματα που κουβαλούσε απομακρύνθηκαν και ξεκίνησε η δουλειά για να τελειώσει το σκάφος, σαν σκάφος διάσωσης. Δυστυχώς υπήρξαν οικονομικά προβλήματα και οι εργασίες σταμάτησαν ολοκληρωτικά στα μέσα της δεκαετίας του '90. Ακόμα και τώρα σχεδιάζουν να τελειώσουν τις εργασίες στο Spasatel, αλλά είναι πιθανόν, αυτό να μην καταστεί δυνατόν, αν δεν εξευρεθούν οι απαραίτητοι πόροι χρηματοδότησης (Rozhdestvensky, 1995).

Στην πρώην Σοβιετική Ένωση, η ανάπτυξη σκαφών τεχνολογίας WIG, έλαβε χώρα στο Σχεδιαστικό Γραφείο του Κέντρου των Υδροπτερυγών (Central Hydrofoil Design Bureau - CHDB), του οποίου προϊστάμενος ήταν ο Alexeiev. Όπως δηλώνεται και από την ονομασία, το κέντρο σχεδίασης αυτό ήταν αναμεμιγμένο στον σχεδιασμό υδροπτερυγών (πλοίων). Η επιθυμία του Alexeiev για γρηγορότερη μεταφορά πάνω από το νερό, τον οδήγησε στο να λάβει την προσωπική υποστήριξη, του Πρόεδρου της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, Νικήτα Χρουτσώφ, στην οποία συμπεριλαμβάνονταν και η απεριόριστη χρηματοδότηση. Η σημαντική αυτή εξέλιξη στην ιστορία των σκαφών WIG, οδήγησε στο «Τέρας της Κασπίας Θάλασσας», μια στρατιωτική έκδοση Ecranoplan, βάρους 400 τόνων, μόνο λίγα χρόνια μετά από το ξεκίνημα αυτού του μυστικού προγράμματος (Malyshev, 1995).



Εικόνα 1: Το σκάφος ΚΜ ή Τέρας της Κασπίας Θάλασσας.

Αρχικά ο Alexeïev σχεδίασε σκάφη WIG με δύο πτέρυγες, στημένες σαν δίδυμες. Αυτή ήταν η προφανέστερη επιλογή γι' αυτόν εκείνη την στιγμή, επειδή είχε υπόβαθρο γνώσεων από υδροπτέρυγα (πλοία). Το πρώτο πλήρης κλίμακας σκάφος WIG από το σχεδιαστικό του γραφείο, ήταν το σκάφος SM-1, με τις δίδυμες πτέρυγες, αλλά γρήγορα το σχέδιο αυτό, με τις δίδυμες πτέρυγες απορρίφθηκε μπροστά στο προσφιλέστερο σχέδιο, το Ecranoplan. Ο λόγος γι' αυτό ήταν η υψηλή ταχύτητα απογείωσης του SM-1, η πολύ άσχημη ποιότητα ταξιδιού και η φτωχή ευελιξία σε ελιγμούς χειρισμού. Το πρώτο γνωστό μέχρι σήμερα Ecranoplan είναι το SM-2P, που κατασκευάστηκε το 1962, με πολύ μικρή μαθηματικά αναλογία πτέρυγας, και είχε ουραία ένα μεγάλο περυγίο, σχήματος T. Ένα χαρακτηριστικό που βρίσκουμε αργότερα σε Ecranoplans, όπου οι μηχανές τζετ, προωθούσαν αέρα κάτω από την πτέρυγα, για να υποβοηθήσουν κατά την απο-προσθάλασση. Ο σκοπός για τον οποίο έγινε αυτό (που ονομάζεται PAR-WIG, ενίσχυση του φαινομένου επιφανείας), ήταν για να ελαττώσει την ταχύτητα και τα φορτία κατά την απο-προσθάλασση, το επίσης έδινε στο σκάφος και το χαρακτηριστικό του αμφίβιου (Journal of Hydronautics, 1980).

Το 550 τόνων βάρους, σκάφος WIG, τύπου ΚΜ (Ρωσικό ακρωνύμιο για πρωτότυπο πλοίο) κατελκύστηκε το 1966. Μετά από 5 χρόνια, ένας αριθμός επανδρωμένων και χωρίς όνομα πρωτοτύπων κατασκευάστηκαν, σε μια μετατόπιση

της κλίμακας από 8 τόνους και άνω. Σχεδιάστηκαν τα Ecranoplan τύπου SM, ακολούθως σε ένα αριθμό σκαφών, όπου το SM είναι ακρωνύμιο στα ρωσικά για το αυτο-προωθούμενο μοντέλο. Το Ecranoplan τύπου KM, κατασκευάστηκε κοντά στην πόλη Γκόργκι, όπως ονομάζονταν εκείνο τον καιρό, ενώ τώρα έχει την ονομασία Nizhny Novgorod. Σε κανένα ξένο δεν επιτρεπόταν να προσεγγίσει στην πόλη αυτή, την στιγμή που τα Ecranoplan KM μεταφέρονταν στην Θάλασσα της Κασπίας για δοκιμές, και ανακαλύφθηκαν τα σκάφη αυτά από την δυτικές υπηρεσίες κατασκοπίας, μέσω δορυφορικών φωτογραφιών. Στην αρχή οι Δυτικοί νόμιζαν, ότι πρόκειται για υδροπλάνα υπό κατασκευή, πολύ αργότερα έμαθαν περί τίνος πρόκειται και τα ονόμασαν «Τέρατα της Κασπίας Θάλασσας». Αυτό το όνομα χρησιμοποιείται συχνότερα και γενικότερα για τα Ecranoplans. Για να φανεί το μέγεθος της μυστικότητας γύρω από το σχεδιαστικό αυτό πρόγραμμα, εκείνη την εποχή απαγορεύονταν ακόμη και η χρήση δημοσίως της λέξης Ecranoplan (Journal of Hydronautics, 1980).

Όταν το πρόγραμμα Ecranoplan KM ξεκίνησε το 1963, ήταν πολύ φιλόδοξο, ήταν για να κατασκευαστεί κάτι βαρύτερο, περισσότερο από 100 φορές από ότι ήταν το SM-2P, και ήταν το βαρύτερο Ecranoplan που φτιάχτηκε μέχρι εκείνη την στιγμή. Βασικά, το Ecranoplan KM ήταν πολύ μπροστά από τον καιρό του, και ακόμη και σήμερα πολύ κατασκευαστές σκαφών WIG, δεν εξετάζουν τέτοιου μεγέθους σκάφους, να είναι βιώσιμο μέσα στις επόμενες λίγες δεκαετίες (Maskalik, 2000).

Η σταθερότητα στο σκάφος αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση μιας τεράστιας ουράς, η οποία παρέχει διαμήκη επένδυση, σταθερότητα και δυνατότητα ελέγχου. Λόγω του αεροδυναμικού φαινομένου επιφανείας, η ουρά ήταν τοποθετημένη πολύ ψηλά και τα ανοίγματα της ουράς ήταν σε ένα εύρος 40 - 50% σε μέγεθος (Rozhdestvensky, 1996).

Σε αυτό το τεράστιο αεροσκάφος ενσωματώθηκε ένα σύστημα το οποίο προέβλεπε ελέγχους για τα ασανσέρ, τα πτερύγια του πηδαλίου και την πτέρυγα. Ένα αυτόματο σύστημα ελέγχου χρησιμοποιήθηκε για τη σταθεροποίηση των υψομέτρων πτήσης και της ταχύτητας. Με διαμήκη προβλήματα σταθερότητας που οφείλονται στην επίδραση εδάφους, το σκάφος WIG αντιπροσωπεύει μια μη-γραμμική, μη-σταθερή και πολλαπλών διαστάσεων μονάδα ελέγχου. Η πτήση ενός σκάφους επίδρασης εδάφους εξακολουθεί να είναι εξαιρετικά δύσκολη, με στενά περιθώρια για λάθη. Λόγω αυτών των παραγόντων, το σκάφος KM έπεσε και βυθίστηκε κάτω από άσχημες συνθήκες (Rozhdestvensky, 1996).

Με την κατάρρευση της Σοβιετικής Ένωσης, η ανάπτυξη και η διατήρηση μεγάλων Ekranoplans έγινε αδύνατη για τους Ρώσους και τα γραφεία σχεδιασμού άρχισαν να επικεντρώνονται σε μικρότερα Ekranoplans για μη στρατιωτική χρήση (Fischer & Matjasic, 1998).

Τα σκάφη τύπου WIG αναπτύχθηκαν με μοναδικό στόχο να ξεπεραστούν αυτά τα εμπόδια των θαλάσσιων μεταφορών. Πρόσφατα παραδείγματα σκαφών WIG είναι το Amphistar (ATT-nn Corporation) και το Hoverwing (Wigetworks Company) (Malyshev, 1995).

Το Amphistar ήταν το πρώτο σκάφος τεχνολογίας WIG, που πήρε πιστοποιητικό από κρατικές αρχές (της πολιτείας της Βιρτζίνια) το 1999, για την μεταφορά επιβατών στην περιοχή Bahamas Vanuatu των ΗΠΑ. Το ταξίδι με το Amphistar USA είχε διάρκεια 15 λεπτά για όσους επιθυμούσαν να κάνουν μια βόλτα με το σκάφος αυτό στις Μπαχάμες των ΗΠΑ. Επίσης, από την ίδια εταιρεία έχει δημιουργηθεί και σχολή εκπαίδευσης χειριστών των Amphistar USA, από Ρώσους εκπαιδευτές, με πολύ μεγάλη εμπειρία στον χειρισμό των πολύ μεγαλύτερων Ekranoplan KM. Τώρα η ίδια εταιρεία έχει μετακομίσει στην Μόσχα, έχοντας σε ενεργό υπηρεσία δύο Amphistar USA, με σχολή εκπαίδευσης και κάνοντας εμπορικά δρομολόγια στην περιοχή. Στα άμεσα σχέδια τους είναι η ναυπήγηση μεγαλύτερων σκαφών (50 και 200 θέσεων) (Malyshev, 1995).

1.3 Δυνητικά οφέλη των WIG αεροσκαφών

Ως μέσα μεταφοράς, τα αεροσκάφη WIG κατατάσσονται μεταξύ των πλοίων και των συμβατικών αεροσκαφών. Οι ταχύτητες των WIG (έως και 500 km/h) είναι πολύ υψηλότερες από εκείνες των ταχύπλων σκαφών (συνήθως περίπου 80 km/h), ενώ τα λειτουργικά έξοδα είναι πολύ χαμηλότερα από εκείνα των αεροπλάνων (Maskalik, 2000).

Επιπλέον, τα περισσότερα WIG αεροσκάφη εμφανίζουν αμφίβιες ιδιότητες και μπορούν να απογειωθούν και να προσγειωθούν σε οποιαδήποτε σχετικά επίπεδη επιφάνεια, όπως η γη, το νερό, το χιόνι και ο πάγος. Ως εκ τούτου, τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί αυξημένο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη αεροσκαφών τύπου

WIG τόσο για εμπορικούς όσο και στρατιωτικούς σκοπούς (Halloran & O' Meara, 1999).

Τα παρακάτω είναι μερικά πιθανά οφέλη και πιθανές εφαρμογές για τα αεροσκάφη WIG (Halloran & O' Meara, 1999):

- Το σκάφος WIG μπορεί να καλύψει την ανάγκη για αυξημένη ταχύτητα στις θαλάσσιες μεταφορές και έτσι να καλύψει το κενό μεταξύ της ναυτιλίας και της αεροπορίας.
- Το σκάφος WIG επιτυγχάνει υψηλές ταχύτητες ενώ εξακολουθεί να διατηρεί υψηλή απόδοση, ειδικά όταν συγκρίνεται με άλλα θαλάσσια σκάφη υψηλής ταχύτητας.
- Λόγω της φύσης των θαλάσσιων σκαφών WIG το λειτουργικό κόστος τους είναι χαμηλό σε σύγκριση με εκείνο των αεροσκαφών.
- Οι απαιτήσεις υποδομής για σκάφη τύπου WIG είναι πολύ χαμηλές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΙΑ

Τα αντικείμενα που παράγουν άνωση στον αέρα είναι γνωστά ως σώματα άνωσης. Ενώ πολλά σώματα διαφορετικού σχήματος μπορούν να παράγουν άνωση, το πιο αποτελεσματικό μέχρι σήμερα είναι το πτερύγιο. Η αποδοτικότητα ενός σώματος άνωσης καθορίζεται από την αναλογία άνωσης και οπισθέλκουσας (L/D) του σώματος. Το σώμα που παράγει τη μεγαλύτερη άνωση για τη μικρότερη οπισθέλκουσα είναι το πιο αποτελεσματικό (Rozhdestvensky, 1995).

Η συμβατική πρακτική χρήση των σωμάτων άνωσης είναι τα φτερά των αεροσκαφών. Σε πολύ γενικές γραμμές, τα αεροσκάφη πετούν επειδή η κίνηση του πτερυγίου μέσω του αέρα παράγει μια μεγαλύτερη στατική πίεση στην κάτω επιφάνεια του πτερυγίου από ότι στην άνω επιφάνεια του φτερού. Η απόκλιση της πίεσης ισοδυναμεί με μία συνισταμένη δύναμη προς τα πάνω, η οποία στηρίζει το βάρος του αεροσκάφους. Τα αεροσκάφη κανονικά πετούν σε ελεύθερη ροή, δηλαδή ο αέρας γύρω από το πτερύγιο δεν οριοθετείται με κάποιο τρόπο (Rozhdestvensky, 1995).

Τα σκάφη WIG κάνουν χρήση του φαινομένου επίδρασης του εδάφους. Η επίδραση εδάφους είναι η κοινή ονομασία για το φαινόμενο κατά το οποίο ένα όριο τοποθετείται κάτω (και κοντά) στην κατώτερη επιφάνεια του πτερυγίου. Αυτό οδηγεί σε μία αποτελεσματική αύξηση στην στατική πίεση κάτω από το φτερό και αυξάνει την αναλογία άνωσης και οπισθέλκουσας. Στην πράξη, το όριο είναι η επιφάνεια της γης, είτε είναι το έδαφος ή το νερό. Αυτές οι επιδράσεις παρατηρούνται μόνο όταν το φτερό είναι σε στενή γειτνίαση με το σύνορο. Επίσης, εκτός από την αυξημένη αποδοτικότητα, επηρεάζονται και άλλα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά, όπως ο έλεγχος και η σταθερότητα. Επομένως, θεωρητικά, ένα σκάφος WIG είναι πιο αποτελεσματικό από ένα αεροσκάφος συγκρίσιμου μεγέθους (Maskalik, 2000).

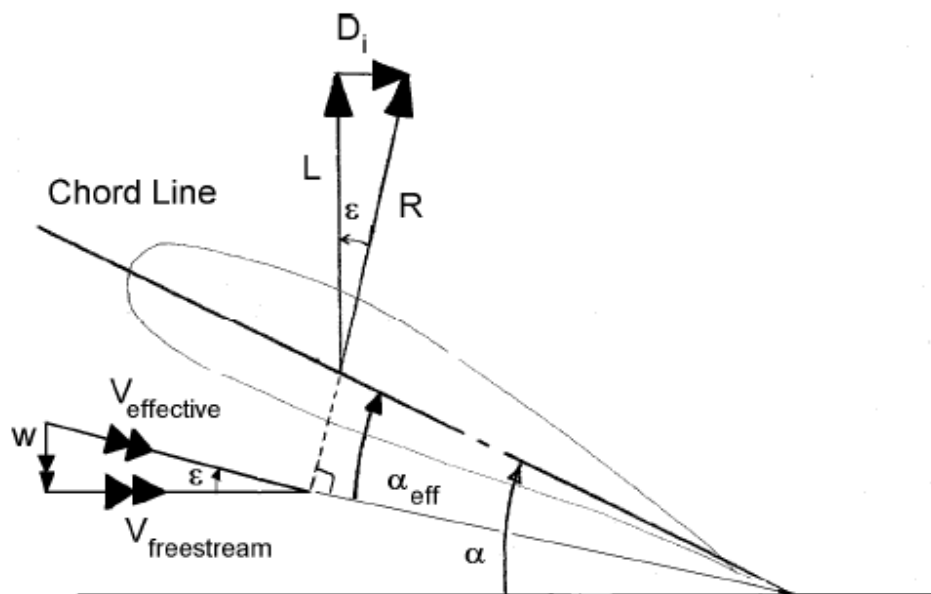
2.1 Θεωρία πτήσης

2.1.1 Άνοση και οπισθέλκουσα

Η άνοση και η οπισθέλκουσα που παράγονται από ένα φτερό καθορίζουν τα χαρακτηριστικά των επιδόσεων και γενικά τα χαρακτηριστικά του σκάφους. Μια πτέρυγα που διακινείται μέσω του αέρα παράγει μια συνισταμένη δύναμη. Η άνοση ορίζεται ως η συνιστώσα της προκύπτουσας δύναμης κάθετης στο διάνυσμα της ταχύτητας της πτέρυγας. Επαγόμενη οπισθέλκουσα ορίζεται ως το συστατικό της προκύπτουσας δύναμης παράλληλης προς τον φορέα της ταχύτητας της πτέρυγας. Υπάρχουν επίσης και άλλες μορφές οπισθέλκουσας, οι οποίες αναφέρονται συλλογικά ως παράσιτος οπισθέλκουσα, η οποία είναι η αντίσταση που δημιουργείται από την τριβή του αντικειμένου που κινείται μέσω του αέρα (Carter, 1961).

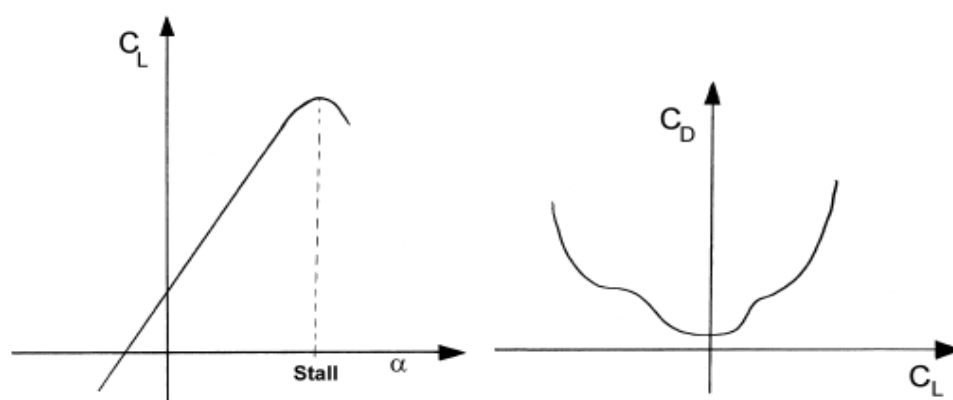
Η συνολική οπισθέλκουσα ενός αντικειμένου που κινείται μέσω του αέρα είναι το άθροισμα της επαγόμενης οπισθέλκουσας και της παράσιτος οπισθέλκουσας. Η άνοση και η οπισθέλκουσα είναι συναρτήσεις ενός αριθμού μεταβλητών, της πυκνότητας του αέρα, της ταχύτητας του αντικειμένου μέσω του αέρα και της γεωμετρίας του αντικειμένου (Carter, 1961).

Η εικόνα 2 δείχνει τον σχηματισμό της άνοσης (L) και της επαγόμενης οπισθέλκουσας (D_i) από την προκύπτουσα δύναμη (P) που δημιουργείται από την κίνηση του φτερού μέσω του αέρα. Αποδεικνύει επίσης ότι η θέση του φτερού καθώς κινείται μέσω του αέρα ορίζεται από την γεωμετρική γωνία προσπτώσεως (α). Η γεωμετρική γωνία πρόσπτωσης είναι η γωνία μεταξύ της γραμμής χορδής του πτερυγίου και του διανύσματος της ταχύτητας της πτέρυγας (Maskalik, 2000).



Εικόνα 2: Άνωση και οπισθέλκουσα του τμήματος του φτερού.

Η κανονική αεροδυναμική πρακτική είναι να μη δίνονται διαστάσεις στην άνωση και την οπισθέλκουσα και να περιγράφονται με όρους του συντελεστή άνωσης (C_L) και του συντελεστή οπισθέλκουσας (C_D). Με τον τρόπο αυτό, η άνωση και η οπισθέλκουσα αναφέρονται μόνο με όρους της γεωμετρίας και είναι ανεξάρτητες της ταχύτητας και της πυκνότητας. Τυπικές γραφικές παραστάσεις της C_L συναρτήσεως α και C_D συναρτήσεως C_L για ένα τμήμα του φτερού φαίνονται στην εικόνα 3 (Maskalik, 2000).



Εικόνα 3: Σχέσεις αεροδυναμικής για την Άνωση και την Οπισθέλκουσα ενός τυπικού φτερού.

Η εικόνα 3 δείχνει ότι ο συντελεστής άνωσης αυξάνεται με μία αύξηση στη γωνία συχνότητας μέχρι να επιτευχθεί μία μέγιστη γωνία προσπτώσεως και η άνωση μειώνεται απότομα. Αυτό το σημείο αναφέρεται ως ο μέγιστος συντελεστής άνωσης (C_{LMAX}) και είναι το σημείο στο οποίο το φτερό παρουσιάζει απώλεια στήριξης. Η απώλεια στήριξης παρουσιάζεται επειδή η ροή διαχωρίζεται από την άνω επιφάνεια του φτερού (Maskalik, 2000).

2.1.2 Κατώρευμα

Για να διατηρηθεί η δυναμική της μάζας του αέρα που κινείται γύρω από ένα φτερό, το πεδίο ροής πριν και μετά το περύγιο είναι παραμορφωμένο. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως κατώρευμα. Καθώς το κατώρευμα αλλάζει την ροή γύρω από το φτερό, επηρεάζει τις σχέσεις της άνωσης και της οπισθέλκουσας σε σχέση με τη γωνία πρόσπτωσης. Το κατώρευμα μπορεί να παρασταθεί ως μια κατακόρυφη συνιστώσα της ροής ταχύτητας του ελεύθερου ρεύματος και ορίζεται ως (w). Η επίδραση του κατωρεύματος στην ταχύτητα του ελεύθερου ρεύματος φαίνεται στην Εικόνα 2. Αυτή δείχνει τη μεταβολή της συχνότητας του διανύσματος της ταχύτητας στο φτερό και την αντίστοιχη εξάρτηση της κατεύθυνσης της προκύπτουσας δύναμης για την αποτελεσματική γωνία πρόσπτωσης (α_{EFF}). Καθώς η γωνία της προκύπτουσας δύναμης προσδιορίζεται από την γωνία κατωρεύματος, οι σχετικές δυνάμεις των διανυσμάτων συστατικού, L και D_i επίσης προσδιορίζονται εν μέρει από τη γωνία κατωρεύματος (Carter, 1970).

Μια δευτερεύουσα επίδραση του κατωρεύματος είναι η αλλαγή της ροής κάθετα του φτερού. Αν μια δεύτερη επιφάνεια άνωσης, όπως η ουρά του αεροπλάνου, βρίσκεται κάθετα της κύριας πτέρυγας, η ροή πάνω από την ουρά του αεροπλάνου θα επηρεαστεί από το κατώρευμα που δημιουργείται από την κύρια πτέρυγα (Carter, 1970).

2.1.3 Γεωμετρία

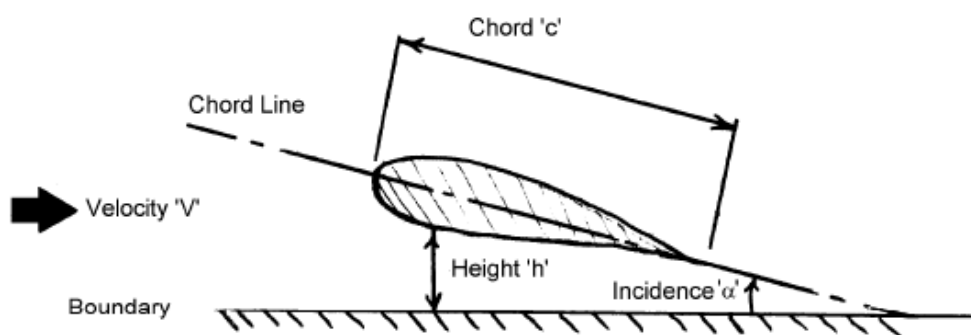
Η φυσική γεωμετρία ενός φτερού έχει επίσης σημαντική σημασία για την απόδοση του φτερού. Διαφορετικές διατομές φτερού έχουν διαφορετικά αεροδυναμικά χαρακτηριστικά, όπως χαρακτηριστικά άνωσης και οπισθέλκουσας με

μια παραλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης. Για το λόγο αυτό, τα σκάφη με διαφορετικές λειτουργικές απαιτήσεις έχουν διαφορετικές διατομές πτέρυγας. Σκάφη που λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές ταχύτητες έχουν σχετικά παχιές διατομές, ενώ τα σκάφη που λειτουργούν σε υψηλότερες ταχύτητες έχουν σχετικά λεπτές διατομές (Roskam, 1990).

Η αναλογία της πτέρυγας έχει επίσης επίδραση στην απόδοσή του. Ο λόγος διαστάσεων είναι ένα μέτρο του εύρους των φτερών (από άκρη σε άκρη) σε σύγκριση με το μήκος της χορδής. Λόγω της απώλειας σε άνωση που είναι μεγαλύτερη στα ακροπτερύγια, όσο υψηλότερη είναι η αναλογία διαστάσεων (δηλ. όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια σε σύγκριση με τη χορδή), τόσο πιο αποτελεσματική είναι η πτέρυγα. Στη θεωρία, επομένως, ένα απείρωσ μεγάλο φτερό είναι πιο αποδοτικό. Στην πράξη, αυτό μετριάζεται από τις διαρθρωτικές αδυναμίες των φτερών μακράς προβολής (Roskam, 1990).

2.2 Επίδραση εδάφους

Επίδραση εδάφους είναι το φαινόμενο που προκαλείται από την παρουσία ενός ορίου κάτω και κοντά σε ένα φτερό. Το σύνορο μεταβάλλει τη ροή του αέρα γύρω από το φτερό, προκαλώντας αύξηση στην άνωση του φτερού και μια μείωση στην επαγόμενη οπισθέλκουσα του φτερού. Το αποτέλεσμα γίνεται πιο έντονο όσο πιο κοντά είναι το φτερό στο όριο. Η εικόνα 4 απεικονίζει ένα φτερό σε επίδραση εδάφους (Rozhdestvensky, 1996).

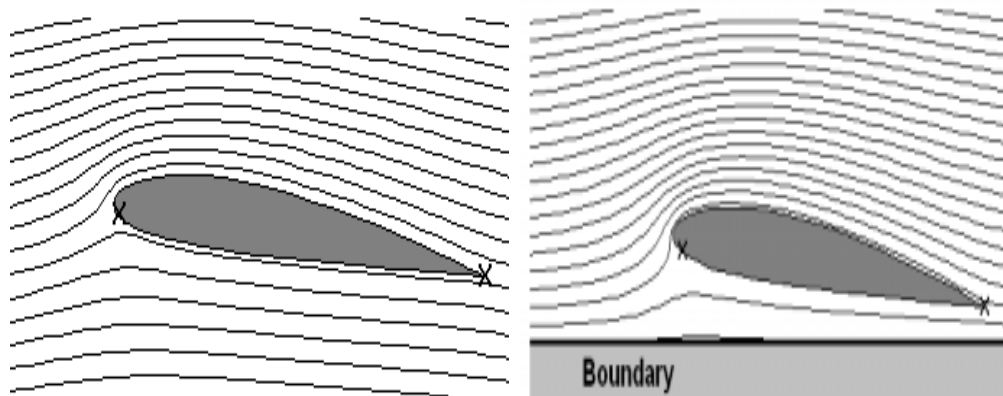


Εικόνα 4: Φτερό σε επίδραση εδάφους.

Το σύνορο δημιουργεί μια μεταβολή του πεδίου ροής που προκαλείται από το όριο που δεν επιτρέπει τη ροή κάτω από το φτερό να επεκταθεί όπως θα έκανε στην ελεύθερη ροή αέρα. Από την άποψη της συνολικής πίεσης της ροής, η επιπλέον άνωση οφείλεται σε αύξηση της στατικής πίεσης κάτω από το φτερό. Η συνολική πίεση του πεδίου ροής μπορεί να διαιρεθεί μεταξύ της στατικής πίεσης (πίεση επιφάνειας) και τη δυναμική πίεση (η πίεση που συνδέεται με την ταχύτητα). Καθώς η ολική πίεση παραμένει σταθερή σε ολόκληρο το πεδίο ροής, το άθροισμα της στατικής και δυναμικής πίεσης πρέπει επίσης να παραμένει σταθερό. Καθώς η ροή ωθείται εντός της περιοχής μεταξύ του φτερού και του ορίου, η μείωση της δυναμικής πίεσης μετατρέπεται σε αύξηση της στατικής πίεσης. Αυτή η αύξηση στην στατική πίεση συχνά αναφέρεται ως «πίεση εμβόλου». Η προκύπτουσα αλλαγμένη διανομή πίεσης προκαλεί μια καθαρή αύξηση της άνωσης και μια αλλαγή σε πολλά από τα άλλα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά του φτερού (Rozhdestvensky, 1996).

2.2.1 Άνωση, Οπισθέλκουσα και Κατώρευμα

Το όριο κοντά στο φτερό μεταβάλλει το πεδίο ροής στο φτερό. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5: Πεδίο ροής εντός και εκτός της Επίδρασης Εδάφους.

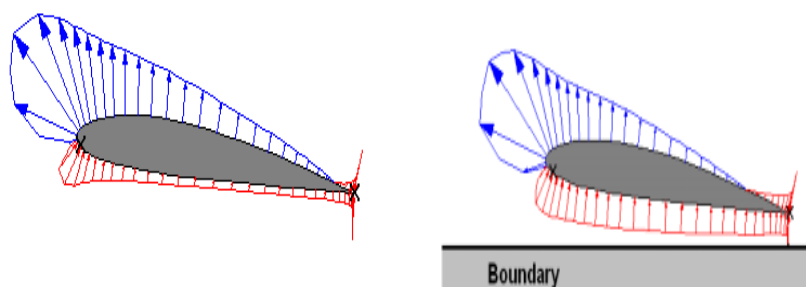
Η αλλαγή στο πεδίο ροής έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της γωνίας κατωρεύματος και επομένως την αύξηση της αποτελεσματικής γωνίας πρόσπτωσης σε μία δεδομένη γεωμετρική γωνία προσβολής. Αυτό προκαλεί μια αντίστοιχη περιστροφή του προκύπτοντος διανύσματος δυνάμεων και αλλαγές στο συντελεστή

άνωσης και τις δυνάμεις οπισθέλκουσας. Το αποτέλεσμα είναι να αυξηθεί ο συντελεστής άνωσης και να μειωθεί ο επαγόμενος συντελεστής οπισθέλκουσας, αυξάνοντας έτσι την αναλογία άνωσης - οπισθέλκουσας. Η αυξημένη αναλογία άνωσης - οπισθέλκουσας παρέχει μια καθαρή αύξηση στην αποτελεσματικότητα και η μείωση της οπισθέλκουσας παρέχει το πλεονέκτημα της μειωμένης απαίτησης ώθησης στην πτήση (Maskalik, 2000).

2.3 Ροπή Πρόνευσης (Pitching Moment)

Εκτός από τη δημιουργία άνωσης και οπισθέλκουσας, η κίνηση του φτερού μέσω του αέρα δημιουργεί μια ροπή σε σχέση με το αεροδυναμικό κέντρο του φτερού. Αυτή η ροπή είναι γνωστή ως ροπή πρόνευσης και είναι το αποτέλεσμα της κατανομής πίεσης επί της επιφάνειας του φτερού. Σε ένα κινούμενο σκάφος αυτή η ροπή πρόνευσης θα πρέπει να είναι ισορροπημένη, ώστε να διατηρηθεί σταθερό το σκάφος. Σχεδιαστές αεροσκαφών προσθέτουν συνήθως άλλη επιφάνεια άνωσης για να ξεπεραστεί η ροπή πρόνευσης, είτε στο πίσω μέρος του αεροσκάφους (tailplane) ή στο μπροστινό μέρος του αεροσκάφους (canard) (Carter, 1970).

Η επίδραση εδάφους μεταβάλλει τη ροπή πρόνευσης που παράγεται από ένα φτερό. Η μεταβολή της ροής για το φτερό μεταβάλλει το αεροδυναμικό κέντρο του φτερού και ως εκ τούτου η ροπή πρόνευσης παράγεται από το φτερό. Το αποτέλεσμα είναι το αποτέλεσμα των αλλαγών της πίεσης διανομής πάνω στην κατώτερη επιφάνεια του φτερού. Η πίεση κρούσης σε ακραία επίδραση του εδάφους προκαλεί μια σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή πίεσης πάνω από την κάτω επιφάνεια του πτερυγίου, ενώ δεν μεταβάλλει σημαντικά την κατανομή πίεσης της άνω επιφάνειας (Εικόνα 6) (Maskalik, 2000).



Εικόνα 6: Κατανομή πίεσης στην επιφάνεια εντός και εκτός της επίδρασης του εδάφους.

Τα φτερά δημιουργούν γενικά μια ροπή πρόνευσης με την μύτη προς τα κάτω κατά την πτήση. Η επίδραση εδάφους προκαλεί μια αύξηση σε αυτήν τη ροπή, καταλήγοντας να απαιτείται μεγαλύτερη σταθεροποιητική δύναμη για την εξισορρόπηση της ροπής πρόνευσης. Για να παραμείνει σταθερό ένα αεροσκάφος σε επίδραση εδάφους θα απαιτείται γενικά ένα μεγαλύτερο tailplane ή canard. Αυτή η μεγαλύτερη επιφάνεια δημιουργεί μεγαλύτερη οπισθέλκουσα και, συνεπώς, μειώνει τη απόδοση του σκάφους ως σύνολο (Roskam, 1990).

Μια πρόσθετη επιπλοκή της ροπής πρόνευσης στην επίδραση του εδάφους είναι ότι η ροπή πρόνευσης αλλάζει με το ύψος πάνω από το όριο. Κατά την πτήση σε ελεύθερη ροή, το αεροδυναμικό κέντρο θεωρείται να είναι περίπου το ένα τέταρτο της χορδής πίσω από το χείλος προσβολής (Roskam, 1990).

Πτήση σε ακραία επίδραση του εδάφους μπορεί να μετακινήσει το αεροδυναμικό κέντρο στη θέση μισής χορδής. Αυτή η μετακίνηση του κέντρου αεροδυναμικής με το ύψος του πτερυγίου πάνω από το όριο μπορεί να προκαλέσει σημαντικές δυσκολίες στο σχεδιασμό διαμόρφωσης. Επιπλέον, η ανάγκη να υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου του αεροσκάφους σε ένα μεγάλο εύρος ροπής πρόνευσης αυξάνει την οπισθέλκουσα (Bogdanov, 1996).

Σημαντική έρευνα έχει διεξαχθεί για την υπέρβαση της μεταβολής της ροπής πρόνευσης με το ύψος. Πολλοί σχεδιαστές έχουν υποστηρίξει ότι ξεπέρασαν τις επιπτώσεις με τη χρήση μεμονωμένων τμημάτων του φτερού και / ή διαμορφώσεων του σκάφους. Τμήματα του φτερού με διαφορετικό σχήμα θα πρέπει να είναι σε θέση να περιορίσουν αυτή την επίδραση τροποποιώντας την κατανομή της πίεσης πάνω από την κατώτερη επιφάνεια, ώστε η μεταβολή από IGE σε OGE να μην είναι μεγάλη. Ένα τέτοιο τμήμα είναι το τμήμα S-σχήματος που χρησιμοποιείται στο Amphistar. Ωστόσο, αυτά τα τμήματα μπορεί να είναι ανεπαρκή σε OGE πτήση ή ανίκανα να λειτουργούν OGE και αυτό είναι ένα πιθανό σημείο για περαιτέρω έρευνα (Bogdanov, 1996).

2.3.1 Μέγιστη Άνωση

Ο μέγιστος συντελεστής άνωσης (C_{LMAX}) καθορίζει τα χαρακτηριστικά χαμηλής ταχύτητας του φτερού και των ταχυτήτων απογείωσης και προσγείωσης. Μια αύξηση του C_{LMAX} επιτρέπει χαμηλότερες ταχύτητες απογείωσης και προσγείωσης και ως εκ τούτου μειώνει τη διαδρομή απογείωσης και μειώνει τα φορτία προσγείωσης στη δομή. Ο C_{LMAX} ορίζει επίσης την ταχύτητα απώλειας στήριξης του πτερυγίου, η οποία ορίζει το όριο της χαμηλής ταχύτητας του σκάφους και μπορεί να επηρεάσει τα χαρακτηριστικά απώλειας στήριξης του φτερού (Roskam, 1990).

Μια σειρά από αλλαγές συμβαίνουν στον C_{LMAX} όταν ένα φτερό λειτουργεί IGE. Ο C_{LMAX} μπορεί είτε να αυξήσει ή να μειώσει, ανάλογα με το τμήμα του φτερού, το σχήμα της κάτωψης και τη χρήση των ακραίων πλακών. Για τμήματα του φτερού του αεροσκάφους, ο μέγιστος συντελεστής άνωσης αυξάνεται με την αύξηση της γωνίας καμπυλότητας του φτερού, ωστόσο σε ακραία επίδραση εδάφους, έχει παρατηρηθεί ότι η αύξηση της καμπυλότητας μειώνει το μέγιστο συντελεστή άνωσης. Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι η συχνότητα με την οποία συμβαίνει απώλεια στήριξης είναι χαμηλότερη για φτερά που λειτουργούν IGE και ότι η απώλεια στήριξης τείνει να είναι πιο σοβαρή, με μεγαλύτερη απώλεια άνωσης (Roskam, 1990).

Σημειώνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας για την επίδραση του εδάφους έχει πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας φτερά σχεδιασμένα για πτήση ελεύθερης ροής. Ειδική έρευνα σε φτερά σχεδιασμένα για λειτουργία IGE μπορεί να παρέχει βελτιωμένα σχέδια φτερού. Επίσης, έρευνα σε αεροδυναμικά βοηθήματα για την αύξηση της άνωσης, όπως ράγες και υποδοχές, μπορεί να είναι ωφέλιμη στη μείωση των ταχυτήτων απογείωσης και προσγείωσης (Roskam, 1990).

2.3.2 Επίδραση του ύψους πάνω από το έδαφος

Πολλές από τις επιδράσεις της πτήσης IGE είναι συναρτήσεις του ύψους πάνω από το όριο. Αυτές οι επιδράσεις είναι μη-γραμμικές και είναι υπεύθυνες για πολλές από τις επιπλοκές που υπάρχουν στην ανάπτυξη του σκάφους WIG. Έχουν ερευνηθεί τόσο από εμπειρική άποψη όσο και από άποψη μοντελοποίησης. Από την άποψη της μοντελοποίησης, τρία διαφορετικά μοντέλα έχουν προκύψει, κάθε ένα μοντελοποιώντας μια συγκεκριμένη ζώνη πάνω από το όριο (Rozhdestvensky, 1995).

Η πρώτη ζώνη είναι η περιοχή στην οποία το πτερύγιο λειτουργεί μεταξύ του ορίου και ενός ύψους 20% της χορδής του φτερού. Η περιοχή αυτή έχει ένα υψηλό επίπεδο συστολής της ροής κατά την κατακόρυφη διεύθυνση και η ροή γίνεται δύο διαστάσεων (Rozhdestvensky, 1995).

Η δεύτερη ζώνη είναι η περιοχή μεταξύ του ύψους του μήκους μιας χορδής του φτερού σε δέκα βαθμονομημένα μήκη. Στην περιοχή αυτή, το μοντέλο κυριαρχείται από το εύρος της πτέρυγας. Μοντέλα άτριβης ροής χρησιμοποιούνται σε αυτή την περιοχή και δείχνουν μια οριακή αύξηση στην L/D με εκείνη της πτήσης OGE. Για ένα φτερό που πετά στην περιοχή μεταξύ 20% της χορδής και ύψους μιας χορδής, απαιτείται ο συνδυασμός δύο μοντέλων. Πάνω από δέκα εύρη μήκους χρησιμοποιούνται σήμερα. Η κατανόηση αυτών των ζωνών επέτρεψε ακριβείς υπολογιστικές μεθόδους να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία για το σχεδιασμό των σκαφών WIG (Rozhdestvensky, 1995).

Η λειτουργία IGE θα δημιουργήσει μια σειρά από ειδικές απαιτήσεις για κάθε συγκεκριμένο σκάφος. Αυτές οι απαιτήσεις θα διαφέρουν για συγκεκριμένες περιοχές της λειτουργίας του σκάφους. Οι φάσεις λειτουργίας του σκάφους WIG και η επίδραση της αεροδυναμικής επίδρασης του εδάφους σε αυτή τη φάση παρουσιάζονται παρακάτω:

- Απογείωση: Το σκάφος λειτουργεί σε ακραία επίδραση του εδάφους και τρόπους μετατόπισης. Στα αρχικά στάδια της απογείωσης του σκάφους ενεργεί ως ένα σκάφος μετατόπισης. Το φτερό ενεργεί για να αυξήσει την πίεση κρούσης. Αυτό είναι πιο αποτελεσματικό όταν το χείλος εκφυγής είναι σε επαφή με την επιφάνεια.
- Πτήση ταξιδιού: Το σκάφος λειτουργεί σε ένα ύψος, όπου η επιπλέον άνωση που οφείλεται στην επίδραση του εδάφους είναι υψηλή, διατηρώντας παράλληλα ένα ασφαλές ύψος λειτουργίας από τα χτυπήματα κυμάτων.
- Μετάβαση προς τα πάνω ή πτήση OGE: Το σκάφος λειτουργεί σε ελεύθερη ροή. Σε αυτή τη λειτουργία, ο έλεγχος και η αεροδυναμική είναι τα ίδια όπως σε ένα αεροσκάφος.
- Προσγείωση: Το σκάφος λειτουργεί σε ακραία επίδραση εδάφους και πάλι. Η ταχύτητα μειώνεται κοντά στην ταχύτητα απώλειας στήριξης πριν από την προσγείωση (Malyshev, 1995).

2.3.3 Επίδραση σε διαφορετικούς τύπους τμημάτων φτερών και κατόψεις φτερών

Στα αεροσκάφη και στα σκάφη WIG, το σχήμα των τμημάτων των φτερών και των κατόψεων έχει σημαντική επίδραση στην αεροδυναμική συμπεριφορά του σκάφους. Καθόλη την ανάπτυξη των αεροσκαφών, οι σχεδιαστές έχουν πειραματιστεί με πολλά διαφορετικά τμήματα πτερύγων και διαμορφώσεις κάτοψης σε μια προσπάθεια να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του αεροσκάφους. Οι μεγάλες διαμορφώσεις και τα τμήματα φτερών που έχουν ερευνηθεί σε επίδραση εδάφους ήταν τμήματα αεροσκαφών που σχεδιάστηκαν για πτήση σε ελεύθερη ροή. Η έρευνα ασχολήθηκε κυρίως με την έρευνα αυτών των πτερυγίων στην επίδραση του εδάφους για να προσδιοριστούν τα αποτελέσματα της προσέγγισης του εδάφους στις επιδόσεις απογείωσης και προσγείωσης. Υπήρξαν μερικά τμήματα φτερών και κατόψεων που σχεδιάστηκαν ειδικά για να αξιοποιήσουν την επίδραση του εδάφους. Η έρευνα σχετικά με τα σχέδια IGE δεν είναι τόσο ολοκληρωμένη όσο οι προσπάθειες έρευνας για το σχεδιασμό των τμημάτων φτερών και κατόψεων (Roskam, 1990).

Περισσότερη έρευνα για την ανάπτυξη IGE τμημάτων πτερύγων μπορεί να παρέχει βελτιωμένα τμήματα πτερύγων για αυτή τη συγκεκριμένη περιοχή πτήσης. Τμήματα και κατόψεις πρέπει να σχεδιασθούν που να περιορίζουν την αλλαγή στο κέντρο της πίεσης με το ύψος, να έχουν καλά χαρακτηριστικά απώλειας στήριξης εντός και εκτός επίδρασης του εδάφους και να μπορούν να πραγματοποιήσουν υψηλές αναλογίες άνωσης και οπισθέλκουσας σε μια σειρά από ύψη. Επίσης, οι κατόψεις των φτερών επηρεάζουν την αεροδυναμική συμπεριφορά του σκάφους. Έρευνα σε βέλτιστα σχήματα κάτοψης για τη λειτουργία IGE μπορεί επίσης να οδηγήσει σε βελτιωμένα χαρακτηριστικά (Roskam, 1990).

2.4 Θεωρητικά οφέλη της επίδρασης εδάφους

Οι θεωρητικές αποδόσεις των αερομεταφερόμενων σκαφών μπορούν να εκφραστούν από την άποψη της ικανότητάς τους να μεταφέρουν ένα δεδομένο ωφέλιμο φορτίο σε μια δεδομένη απόσταση. Αυτή η απόδοση είναι άμεσα συνδεδεμένη με το λόγο άνωσης και οπισθέλκουσας του σκάφους. Ο υψηλότερος λόγος άνωσης οπισθέλκουσας των WIG σκαφών, τους παρέχει τη δυνατότητα για μεγαλύτερες αποδόσεις από ότι στα αεροσκάφη. Η προκύπτουσα αύξηση στο λόγο

άνωσης οπισθέλκουσας ενός WIG σκάφους έχει ως αποτέλεσμα μια αύξηση στην αποτελεσματικότητα του σκάφους. Ένα μέτρο της απόδοσης είναι να εξεταστεί η απόσταση που μπορεί να μεταφερθεί ένα συγκεκριμένο φορτίο (Bordonov, 1996).

Μια αύξηση στην αναλογία άνωσης οπισθέλκουσας θα έχει άμεση επίδραση στην αύξηση του διαθέσιμου εύρους με ένα συγκεκριμένο φορτίο. Η οπισθέλκουσα του σκάφους και η πιο σταθερή ταχύτητα για τη λειτουργία του συστήματος πρόωσης υπαγορεύουν την καλύτερη ταχύτητα ταξιδιού. Το επίπεδο μέγιστης ταχύτητας καθορίζεται από την οπισθέλκουσα του σκάφους και τη μέγιστη ώθηση που παράγεται από το σύστημα πρόωσης. Μια μείωση της οπισθέλκουσας του σκάφους θα προκαλέσει μια αντίστοιχη αύξηση στη μέγιστη ταχύτητα του σκάφους και τη βέλτιστη ταχύτητα ταξιδιού (Bordonov, 1996).

2.4.1 Οφέλη αποτελεσματικότητας σε σύγκριση με τα αεροσκάφη

Τα σκάφη WIG έχουν τη δυνατότητα για πιο αποδοτική λειτουργία από εκείνη των αεροσκαφών, λόγω της αυξημένης αναλογίας άνωσης και οπισθέλκουσας. Επίσης, τα σκάφη WIG έχουν το πλεονέκτημα να μην υπάρχει κανένας περιορισμός για τα μήκη των πεδίων απογείωσης και προσγείωσης. Τα αεροσκάφη συχνά περιορίζουν το μέγιστο βάρος τους κατά την απογείωση και την προσγείωση για να χρησιμοποιήσουν συγκεκριμένους διαδρόμους (Maskalik, 2000).

Υπάρχει, ωστόσο, μια σειρά από εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν πριν τα σκάφη WIG αποκτήσουν πλήρη απόδοση. Τα εμπόδια αυτά είναι κατά κύριο λόγο είτε η επιπλέον αντίσταση, η οποία μειώνει το εύρος και την ταχύτητα ή το επιπλέον βάρος ή η δομή, τα οποία μειώνουν το ωφέλιμο φορτίο. Μερικά από αυτά τα εμπόδια είναι τα εξής:

- Η λειτουργία των κινητήρων στο επίπεδο της θάλασσα: τούρμπο κινητήρες και τζετ μηχανές λειτουργούν πιο αποτελεσματικά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος αέρα που βρίσκονται σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Η ανάπτυξη κινητήρων που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να λειτουργούν σε χαμηλά επίπεδα μπορεί να ανακτήσει κάποιες αποδόσεις που χάνονται με τη χρήση συγκεκριμένων κινητήρων της αεροπορίας.

- Θαλάσσια γάστρα: Αν μια θαλάσσια γάστρα είναι απαραίτητη, τότε, όπως στα υδροπλάνα, η γάστρα προσθέτει οπισθέλκουσα και αυξημένο διαρθρωτικό βάρος.
- Υπέρβαση ροπής πρόνευσης: Εάν απαιτούνται μεγαλύτερες ή πρόσθετες επιφάνειες εξισορρόπησης, προσθέτονται οπισθέλκουσα και δομή.
- Επιπλέον ώση που απαιτείται κατά την απογείωση: Όσο μεγαλύτερη ποσότητα ώσης απαιτείται κατά την απογείωση, σε σύγκριση με εκείνη που απαιτείται για ταξίδι, αυτό σημαίνει ότι η πρόσθετη ικανότητα του κινητήρα γίνεται είτε με τη μορφή πρόσθετων κινητήρων ή με χρησιμοποιημένους κινητήρες. Αυτό μπορεί να προκαλέσει αναποτελεσματικότητα τόσο από την άποψη της οπισθέλκουσας όσο και της δομής (Maskalik, 2000).

2.4.2 Σύγκριση με τα πλωτά σκάφη

Μια σύγκριση του σκάφους WIG με ένα πλωτό σκάφος παρουσιάζει ένα προφανές πλεονέκτημα ταχύτητας. Σκάφη με μεγάλη μετατόπιση έχουν υψηλή απόδοση καυσίμου με μεγάλους όγκους και βάρη ωφέλιμου φορτίου. Τα σκάφη WIG έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν μεγάλα βάρη ωφέλιμου φορτίου, ενώ λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες. Αντίθετα από τα συμβατικά πλωτά σκάφη, τα σκάφη WIG δεν έχουν περιορισμούς στην ταχύτητα σε υψηλές θαλάσσιες καταστάσεις (Bogdanov, 1996).

Ενώ το φάσμα τους ή η ικανότητα ωφέλιμου φορτίου μπορεί να μειωθεί σε κυματώδη θάλασσα, δεν υπάρχει ουσιαστική μείωση της ταχύτητας ταξιδιού. Τα σκάφη WIG περιορίζονται σε συνθήκες κατάστασης της θάλασσας κατά την απογείωση και προσγείωση, η οποία επιβάλλει περιορισμούς στη λειτουργία τους (Bogdanov, 1996).

Τα συμβατικά πλωτά σκάφη έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης καυσίμου. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο σύστημα ελίκων τους, καθώς και στη χαμηλή ταχύτητά τους. Καθώς η οπισθέλκουσα είναι μία συνάρτηση του τετραγώνου της ταχύτητας λειτουργίας, σε χαμηλή ταχύτητα αυξάνει την αποτελεσματικότητα του σκάφους. Η μέγιστη ταχύτητα των πλωτών σκαφών περιορίζεται από την οπισθέλκουσα. Για τα

σκάφη μετατόπισης, αυτό αντιστοιχεί σε σημαντική αύξηση της οπισθέλκουσας κύματος με αποτέλεσμα μια μέγιστη ταχύτητα 30 - 50 κόμβων. Είναι φυσιολογικό να περιορίσει τις ταχύτητες στα σκάφη μετατόπισης για τις συνθήκες κατάστασης της θάλασσας, λόγω του φορτίου στη δομή (Bogdanov, 1996).

2.5 Σταθερότητα και έλεγχος στην επίδραση εδάφους

Λόγω των αεροδυναμικών επιδράσεων της επίδρασης του εδάφους, υπάρχει μία αντίστοιχη αλλαγή στην δυναμική απόκριση του σκάφους. Η σταθερότητα και ο έλεγχος ήταν τα μεγαλύτερα εμπόδια στην πρόωμη ανάπτυξη του σκάφους WIG λόγω της μη γραμμικής εξάρτησης των αεροδυναμικών χαρακτηριστικών με το ύψος (Carter, 1961).

2.5.1 Σταθερότητα Ύψους

Σταθερότητα ύψους ορίζεται ως η ικανότητα του σκάφους να διατηρήσει ή να επιστρέψει στο αρχικό του ύψος μετά από μια διαταραχή στο ύψος. Αυτό δεν περιλαμβάνει τις αλλαγές του ύψους σε συνδυασμό με την κίνηση πρόνευσης. Η σταθερότητα του ύψους του σκάφους WIG διέπεται από τη συμπεριφορά του ως σώμα άνωσης που πλησιάζει το όριο (Carter, 1961).

Η σταθερότητα του ύψους του σκάφους WIG μπορεί να εξηγηθεί με την εξέταση της επίδρασης στην άνωση με μεταβολές στο ύψος. Η σταθερή κατάσταση επιτυγχάνεται όταν μία μείωση στα αποτελέσματα του ύψους αποτελεί μια αύξηση στην άνωση και αντίστροφα. Υπό αυτές τις συνθήκες η αυξημένη άνωση έχει ως αποτέλεσμα την αποκατάσταση του σκάφους στο αρχικό ύψος. Έτσι, εάν το σκάφος έχει διαταραχθεί σε ύψος η δύναμη της άνωσης θα ενεργήσει για την αποκατάσταση του σκάφους στο αρχικό ύψος (Carter, 1970).

Στην αντίθετη περίπτωση, το σκάφος θα είναι ασταθές σε ύψος εάν η δύναμη άνωσης δράσει για να ενισχύσει την αλλαγή στο ύψος. Στην περίπτωση αυτή, μία μείωση σε ύψος θα οδηγήσει σε μείωση της άνωσης. Αυτή η μείωση στην άνωση θα οδηγήσει στην επιτάχυνση του αεροσκάφους προς το έδαφος, ένα αποτέλεσμα που επιβάλλεται από τη διακύμανση της άνωσης με το ύψος (Carter, 1970).

Έχει αποδειχθεί ότι τα σκάφη WIG μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να είναι πολύ σταθερά σε ύψος. Είναι γνωστό ότι η δύναμη της άνωσης αυξάνει με μείωση του ύψος για τα σκάφη WIG. Έχει παρατηρηθεί, επίσης ότι στο αεροσκάφος επιπλέον άνωση, λόγω της επίδρασης του εδάφους, καθιστά συχνά το αεροσκάφος να «βάλλεται» πριν προσγειωθεί (Rozhdestvensky, 1995).

Ένα παράδειγμα της ικανότητας του σκάφους WIG να αντέχει μεγάλες διαταραχές στο ύψος δόθηκε από το ρωσικό σκάφος Lun. Αυτό το σκάφος σχεδιάστηκε για να μεταφέρει και να εκτοξεύει έξι από επιφάνεια σε επιφάνεια πυραύλους. Κατά τη διάρκεια δοκιμών του όπλου στη θάλασσα, το σκάφος εκτόξευσε έξι πυραύλους ταυτόχρονα, γεγονός το οποίο άλλαξε το ύψος του περίπου 0,5 m και έπειτα επέστρεψε στο αρχικό του ύψος (Rozhdestvensky, 1995).

2.5.2 Σταθερότητα πρόνευσης

Η σταθερότητα πρόνευσης είναι ένα μέτρο της απόκρισης του σκάφους σε αλλαγές στην πρόνευση. Με μια διαταραχή στην πρόνευση η απόκριση του σκάφους μπορεί να είναι είτε σταθερή ή ασταθής. Η ασταθής συμπεριφορά έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του εύρους πρόνευσης, ενώ η σταθερή συμπεριφορά έχει ως αποτέλεσμα να επιστρέφει το σκάφος σε μια γωνία πρόνευσης (Carter, 1961).

Ο έλεγχος της σταθερότητας πρόνευσης του σκάφους WIG υπήρξε ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια στην ανάπτυξη του σκάφους WIG. Το πρόβλημα οφείλεται σε μια μεταβολή στην σταθερότητα πρόνευσης με το ύψος. Το αποτέλεσμα είναι η ανάγκη για ένα μεγάλο ποσό δύναμης ελέγχου για να διατηρηθεί η ισοστάθμιση. Αρχικά σχέδια και θεωρητικές μελέτες έχουν δείξει ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η απόσβεση των ταλαντώσεων μακράς περιόδου (Carter, 1961).

Διάφορα σχέδια έχουν δείξει συχνά σταθερότητα σε ορισμένες περιοχές πάνω από την επιφάνεια και αστάθεια σε άλλες περιοχές. Η αστάθεια πρόνευσης προκαλεί δυσφορία στη διαδρομή και είναι ένας πιθανός κίνδυνος για το σκάφος. Καθώς η σταθερότητα πρόνευσης συνδέεται με τη σταθερότητα του κατακόρυφου ύψους, μεγάλες διαδρομές θα μπορούσαν να προκαλέσουν επαφή με την επιφάνεια, έχοντας ως αποτέλεσμα υψηλά δομικά φορτία ή αποτυχία (Malyshev, 1995).

Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων ελέγχου και την κατανόηση της αεροδυναμικής του σκάφους WIG. Η πρόκληση στη

φάση του σχεδιασμού είναι να παρέχει επαρκή έλεγχο ισχύος για να διατηρηθεί η σταθερότητα (Malyshev, 1995).

2.5.3 Έλεγχος κατεύθυνσης και δυνατότητα ελιγμών

Η σταθερότητα κατεύθυνσης δεν έχει ερευνηθεί σε μεγάλο βαθμό. Αυτό οφείλεται στην ικανότητα των σκαφών WIG να διατηρούν ένα επίπεδο κατάστασης με διαταραχές στη γωνία περιστροφής. Η σταθερότητα περιστροφής είναι γενικά εξασφαλισμένη λόγω του ότι η κάτω πτέρυγα παράγει περισσότερη άνωση, καθώς έρχεται πιο κοντά στην επιφάνεια με αποτέλεσμα το σκάφος να επιστρέφει σε ουδέτερη θέση. Μία επιπλοκή σε αυτό είναι η μειωμένη οπισθέλκουσα επί της κάτω πτέρυγας. Αυτό θα προκαλέσει στο σκάφος να αποκλίνει από την αρχική διαδρομή. Αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με τη χρήση ενός κατακόρυφου πτερυγίου (Bordignon, 1996).

Ο έλεγχος κατεύθυνσης και η δυνατότητα ελιγμών του σκάφους WIG εξαρτώνται από την ικανότητά του να πετάξει εκτός της επίδρασης του εδάφους. Αν δεν είναι ικανό να πετάξει εκτός της επίδρασης του εδάφους, ο έλεγχός του θα είναι παρόμοιος με άλλα οχήματα που περιορίζονται σε δύο διαστάσεις, όπως τα χόβερκραφτ και τα πλοία. Ωστόσο, αν ένα σκάφος είναι σε θέση να πετάξει εκτός εδάφους, οι έλεγχοι του θα πρέπει να είναι πιο περίπλοκοι και ως εκ τούτου, περισσότερο σαν τα συμβατικά αεροσκάφη (Roskam, 1990).

Για τα σκάφη WIG υπάρχουν δύο κύριες επιλογές στην πραγματοποίηση μιας στροφής εξαρτώμενης από την ικανότητα του σκάφους να πετάει εκτός της επίδρασης του εδάφους. Η πλέον αποτελεσματική μέθοδος είναι να κάνει ελιγμούς, όπως ένα αεροσκάφος, δηλαδή να πετάξει έξω από την επίδραση του εδάφους και να χρησιμοποιήσει αποθηκευμένες στροφές, που είναι γνωστές ως στροφές εφόρμισης.

Τα σκάφη WIG που δεν μπορούν να κάνουν στροφές εφόρμισης σε πτήση OGE δεν αποτελούν επιλογή. Αυτά τα σκάφη μπορούν να εκτελέσουν στροφές μόνο στο οριζόντιο επίπεδο. Αυτό επιτυγχάνεται με το πηδάλιο με το επίπεδο φτερών. Αυτό το είδος στροφής έχει μια πολύ μεγαλύτερη ακτίνα στροφής από μια στροφή εφόρμισης (Roskam, 1990).

Η ευελιξία ελιγμών και ο έλεγχος σχετίζονται με την ποσότητα του ελέγχου ισχύος και μπορούν να επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό από τη θέση του κέντρου

βάρους, το βάρος και την ταχύτητα. Για το σχεδιασμό, οι απαιτήσεις ελιγμών υπαγορεύουν την ποσότητα της ενέργειας ελέγχου που απαιτείται. Η τρέχουσα πτήση από διαφορετικά ασύρματα συστήματα ελέγχου παρέχει υψηλό βαθμό ικανότητας ελιγμών, ωστόσο εξακολουθεί να υπάρχει η ανάγκη για επαρκή έλεγχο δύναμης (Bordonov, 1996).

2.5.4 Σταθερότητα ταχύτητας

Η σταθερότητα ταχύτητας ορίζεται ως η ικανότητα να διατηρεί το σκάφος μια ταχύτητα και η μέθοδος ελέγχου κατά τη διάρκεια αυτής της ταχύτητας. Τα αεροσκάφη σχεδιάζονται για να είναι εγγενώς σταθερά στην ταχύτητα. Ο πιλότος αλλάζει την ταχύτητα του σκάφους σύμφωνα με τις αλλαγές στην πρόσπτωση του αεροσκάφους. Για τα σκάφη WIG η σταθερότητα της ταχύτητας διέπεται από δύο μεταβλητές, το ύψος και την πρόσπτωση (Roskam, 1990).

Στο αεροσκάφος, η πρόσπτωση ρυθμίζει την ταχύτητα του αεροσκάφους και αυτό ελέγχεται μέσω του πηδαλίου ανόδου - καθόδου. Η πρόσπτωση του αεροσκάφους καθορίζει το συντελεστή άνωσης που μπορεί να επιτευχθεί με το φτερό και η προκύπτουσα προς τα εμπρός ταχύτητα ορίζεται από το βάρος του αεροσκάφους. Αυτό σημαίνει ότι για μια προς τα κάτω απόκλιση του πηδαλίου ανόδου – καθόδου, το σκάφος θα αυξήσει την ταχύτητα έως ότου επιτευχθεί η απαιτούμενη δύναμη άνωσης (Roskam, 1990).

Στα σκάφη WIG, ο συντελεστής άνωσης είναι συνάρτηση τόσο του ύψους όσο και της πρόσπτωσης. Για τα σκάφη WIG η απόκριση ορίζεται από τη θέση του κέντρου βάρους. Εξαρτώμενη από την θέση του κέντρου βάρους, μια μεταβολή στην ταχύτητα μπορεί να οδηγήσει σε μια αλλαγή στην πρόσπτωση ή μια αλλαγή στο ύψος. Οι αλλαγές στην ταχύτητα θα οδηγήσουν σε μεταβολές της πρόσπτωσης (Carter, 1970).

Αυτές οι θεωρήσεις μπορούν να δημιουργήσουν περιορισμούς σχετικά με το εύρος του κέντρου βάρους για το σκάφος. Άλλα προβλήματα σταθερότητας, όπως η διαμήκης σταθερότητα και η ικανότητα για μετάβαση από την IGE στην OGE μπορεί να είναι περισσότερο κρίσιμα (Carter, 1970)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ WIG

3.1 Φιλοσοφίες σχεδιασμού

Τα σκάφη WIG διαιρούνται σε τρία τμήματα για επιχειρησιακούς σκοπούς. Τα τμήματα αυτά είναι τα εξής:

- Κατηγορία A: Σκάφη WIG στα οποία είναι αδύνατη η λειτουργία OGE
- Κατηγορία B: Σκάφη WIG στα οποία είναι αδύνατη η συνέχιση της λειτουργίας OGE. Αυτού του είδους τα σκάφη έχουν την ικανότητα να υπερπηδούν εμπόδια και μικρές μάζες γης, επιτυγχάνοντας ένα υψόμετρο πάνω από 300 μέτρα
- Κατηγορία C: Σκάφη WIG στα οποία είναι δυνατή η λειτουργία OGE (ARPA, 1994)

Τα σκάφη κατηγορίας A απαιτούν απλούστερες λύσεις σχεδιασμού, δεδομένου ότι δεν αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της μεταβλητής σταθερότητας στην μετάβαση από την IGE στην OGE λειτουργία. Υπάρχουν, ωστόσο, περιορισμοί σχετικά με την ικανότητα απόδοσης και λειτουργίας του σκάφους.

Τα σκάφη των κατηγοριών B και Γ απαιτούν πιο εκλεπτυσμένες σχεδιαστικές λύσεις. Απαιτούν το σχέδιο να εξετάσει ζητήματα σταθερότητας και να σχεδιαστούν αποδεκτά συστήματα ελέγχου για να αντιμετωπίσουν αυτό το πρόβλημα. Η ουσιώδης διαφορά μεταξύ της κατηγορίας B και C είναι η μειωμένη δύναμη των σκαφών κατηγορίας B.

Μέχρι αυτή τη στιγμή έχουν υπάρξει δύο βασικές σχολές σκέψης ως προς τη διάταξη κάτοψης του σκάφους WIG σκάφος B και Γ κατηγορίας. Οι σχεδιαστές της ΕΣΣΔ επιδίωξαν την ορθογώνια κάτοψη, ενώ πολλοί από τους σχεδιαστές των μικρότερων σκαφών έχουν κάνει χρήση των τροποποιήσεων του μηχανισμού αντιστροφής της κάτοψης δέλτα (ARPA, 1994).

Μια σειρά από λύσεις έχουν προταθεί για τη μείωση της αποστάσεως και της ώσης που απαιτείται για την απογείωση. Η πιο κοινή μέθοδος είναι η χρήση της υποβοηθούμενης Ram (PAR) τεχνολογίας. Αυτή η μέθοδος έχει παρουσιάσει περιορισμένες μειώσεις στην απόσταση απογείωσης και στη φόρτωση στην ανοικτή

θάλασσα. Η μέθοδος PAR επισύρει μια σειρά από προβλήματα σε σχέση με τους κινητήρες που είναι κοντά στην επιφάνεια του νερού. Αναρρόφηση νερού στις μηχανές και η επιπλέον ενέργεια που απαιτείται για την απογείωση που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι τα μεγαλύτερα προβλήματα στη χρήση PAR τεχνολογίας.

3.2 Επιδόσεις

Ο κύριος λόγος για τον οποίο τα σκάφη WIG έχουν διατηρήσει μια ερευνητική βάση οφείλεται στη ικανότητα τους να παρέχουν ανύψωση βαρέων φορτίων με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από τα αεροσκάφη και σε υψηλότερες ταχύτητες από τα πλοία.

Η απόδοση του σκάφους WIG εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αεροδυναμική διαμόρφωση του. Η τυπική πρακτική σχεδιασμού είναι να καθορίσει μια προδιαγραφή, τα επιθυμητά χαρακτηριστικά απόδοσης, και στη συνέχεια, να βελτιστοποιήσει τη διαμόρφωση για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις αυτές (Bogdanov and Maskalik, 1996).

3.2.1 Παράμετροι σχεδιασμού: Απόδοση Air Borne

Ο σχεδιασμός της διαμόρφωσης του σκάφους WIG έχει ορισμένες ομοιότητες με τη διαδικασία των αεροσκαφών. Ο σχεδιασμός της κάτοψη του σκάφους WIG εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προδιαγραφή για τη λειτουργία του. Τα κύρια χαρακτηριστικά των προδιαγραφών που επηρεάζουν την αεροδυναμική σχεδίαση είναι τα εξής:

- Επιχειρησιακό ύψος από την επιφάνεια. Αν απαιτείται πτήση OGE, θα απαιτηθεί επιπλέον προσοχή για να σταθεροποιηθούν τα χαρακτηριστικά απόδοσης.
- Ωφέλιμο φορτίο, εύρος και ταχύτητα. Όπως και στο αεροσκάφος, το καθένα θέτει σε κίνδυνο το άλλο.
- Ευελιξία.
- Η κατάσταση της θάλασσας αναφέρει περιορισμούς για την απογείωση και την προσγείωση (Bogdanov and Maskalik, 1996).

Οι παράμετροι σχεδιασμού για τη διαμόρφωση της κάτοψης μπορεί εν συντομία να καθορίζονται από:

- Το σχήμα κάτοψης της πτέρυγας.
- Το σχήμα διατομής της πτέρυγας. Οι κύριοι παράμετροι που διέπουν το σχήμα του τμήματος της πτέρυγας είναι το σχήμα της γραμμής καμπυλότητας και το πάχος.
- Θέση και διαμόρφωση ουράς.
- Σχήμα ατράκτου.
- Θέση του κινητήρα και αριθμός (Bogdanov and Maskalik, 1996).

Κάθε μία από αυτές τις παραμέτρους μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την αεροδυναμική συμπεριφορά του προκύπτοντος σκάφους. Η σύζευξη αυτών των παραμέτρων μπορεί να είναι, και συνήθως είναι, μη γραμμική, η οποία οδηγεί σε μυριάδα πιθανών λύσεων σχεδιασμού. Λόγω της περιορισμένης βάσης γνώσεων και της θεωρητικής βάσης των εργαλείων σχεδιασμού στον τομέα της αεροδυναμικής επίδρασης εδάφους, θα πρέπει να καθοριστεί η καλύτερη διαμόρφωση για μια δεδομένη προδιαγραφή μέσω δοκιμών.

3.2.1.1 Σχήμα διατομής πτέρυγας

Το σχήμα διατομής του φτερού είναι, σε γενικές γραμμές, υπεύθυνο για πολλά από τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά της πτέρυγας. Δεν έχει αφιερωθεί το ίδιο επίπεδο έρευνας στα τμήματα του φτερού που λειτουργούν στην επίδραση του εδάφους όσο στα τμήματα του φτερού που λειτουργούν στην ελεύθερη πτήση. Λόγω των τροποποιημένων πεδίων ροής και της προκύπτουσας κατανομής πίεσης, η βελτιστοποίηση των τμημάτων φτερών ειδικά για τη λειτουργία IGE, μπορεί να παρέχει τμήματα σημαντικά διαφορετικά από εκείνα που χρησιμοποιούνται για την ελεύθερη πτήση. Είναι πιθανό, ωστόσο, ότι τέτοια βελτιστοποιημένα τμήματα θα έχουν υποβαθμισμένη απόδοση σε OGE επιχειρήσεις.

Ένα τμήμα φτερού που έχει σχεδιαστεί ειδικά για τη λειτουργία επίδρασης του εδάφους είναι ένα «S» τμήμα, το όνομα περιγράφει το σχήμα της γραμμής καμπυλότητας του τμήματος της πτέρυγας. Ο σχεδιασμός προορίζεται να μειώσει την

ροπή πρόνευσης και την αλλαγή στην ροπή πρόνευσης με το ύψος (Bogdanov and Maskalik, 1996).

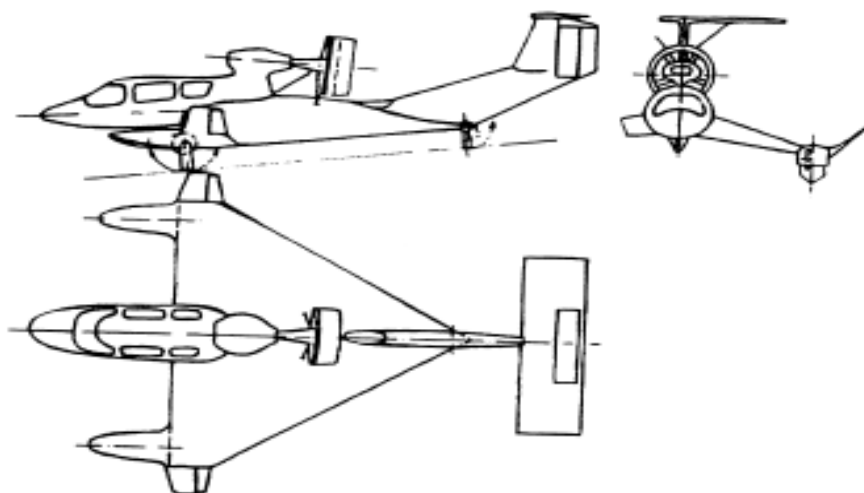
3.2.1.2 Σχήμα κάτοψης πτέρυγας

Ο σχεδιασμός της κάτοψης εξαρτάται από τις παραμέτρους του επιδιωκόμενου εύρους λειτουργίας και της απόδοσης. Στο σχεδιασμό των αεροσκαφών, μια σειρά κατόψεων έχουν αναπτυχθεί όλα αυτά τα χρόνια για να παρέχουν αεροσκάφη με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η επιλεγείσα κάτοψη εξαρτάται πρωτίστως από την επιθυμητή ταχύτητα και την ευελιξία του σκάφους.

Δεδομένου ότι το αποτελεσματικό εύρος ύψους για τη λειτουργία IGE εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την χορδή της πτέρυγας, πολλά σχέδια πτέρυγας έχουν προσπαθήσει να διατηρήσουν ένα σχετικά μεγάλο μήκος χορδής. Το γεωμετρικό διάταμα των φτερών σκάφους WIG είναι συνήθως χαμηλό, της τάξης του 1 έως 3. Τα αεροσκάφη έχουν κανονικά διάταμα της τάξης του 5 έως 10.

Μείωση στο διάταμα τείνει να μειώσει την απόδοση και αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό κατά του καλύτερου εύρους ύψους του σκάφους WIG.

Ένα άλλο ζήτημα για τα σκάφη WIG είναι το η ικανότητά ελιγμών. Ένα υψηλό διάταμα συνεπάγεται ένα μεγάλο εκπέτασμα, το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει προβλήματα ελιγμών. Ένα άλλο ζήτημα είναι στην ευελιξία της πτήσης, ένα μεγάλο εκπέτασμα θα απαιτήσει το σκάφος να επιτύχει υψηλότερο υψόμετρο πριν κάνει τη στροφή (Bagdanov, 1996).



Εικόνα 7: Τρισδιάστατη προβολή του X-114.

Η Εικόνα 7 απεικονίζει την αντίστροφη δέλτα κάτοψη του X-114 σκάφους. Το αεροσκάφος έχει χαμηλό διάταμα (περίπου 1,5).

3.2.1.3 Διαμόρφωση και τοποθέτηση ουράς αεροπλάνου

Σε όλα τα καθεστώτα της πτήσης, η ροπή πρόνευσης που δημιουργείται από το φτερό πρέπει να ξεπεραστεί για να διατηρηθεί η σταθερότητα και ο έλεγχος του σκάφους. Αυτό επιτυγχάνεται παραδοσιακά με τη χρήση ανυψωτικών επιφανειών όπως ουραίας επιφάνειας (tailplain) και ρηναίων πηδαλίων ανόδου/καθόδου (canards).

Η προσθήκη μιας άλλης επιφάνειας ανύψωσης στη διαμόρφωση προσθέτει έλξη και επομένως μειώνει την αποτελεσματικότητα. Επίσης πραγματοποιεί μια διαρθρωτική ποινή βάρους που οφείλεται στην πρόσθετη δομή που απαιτείται για την υποστήριξη της επιφάνειας ανύψωσης. Όσο μεγαλύτερη η επιφάνεια ανύψωσης και όσο μακρύτερα από το κύριο σώμα του αεροσκάφους που έχει τοποθετηθεί, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποινή.

Επειδή ένα φτερό σε λειτουργία IGE δημιουργεί μεγαλύτερη ροπή πρόνευσης από μια πτέρυγα που λειτουργεί σε ελεύθερη πτήση, απαιτείται μία μεγαλύτερη δύναμη. Εναλλακτικά, τα φτερά πρέπει να είναι σχεδιασμένα με σημαντικά μειωμένη ροπή πρόνευσης (Bogdanov, 1996).

3.2.1.4 Επιλογή και Τοποθέτηση κινητήρα

Ο τύπος και η τοποθέτηση των κινητήρων είναι ένας σημαντικός παράγοντας κατά την εξέταση της λειτουργικής απόδοσης του σκάφους WIG. Η φάση της απογείωσης είναι η πιο κρίσιμη για την παραγωγή ώσης και συνήθως κατευθύνει την τοποθέτηση, τον αριθμό και το μέγεθος των κινητήρων.

Ο τύπος των κινητήρων που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να καθορίζεται από την ταχύτητα του αεροσκάφους και την ποσότητα ώσης που απαιτείται. Οι κοινοί αεροπορικοί κινητήρες, όπως turbo prop, τζετ και εμβολοφόροι κινητήρες είναι

το πιο πιθανό να χρησιμοποιηθούν σε σκάφη WIG, αν και είναι πιθανό να απαιτηθούν ορισμένες τροποποιήσεις στο σχεδιασμό για να παρέχουν καλύτερη απόδοση στο συγκεκριμένο περιβάλλον λειτουργίας.

Η χρήση των διαφόρων τύπων κινητήρων αεροσκαφών κανονικά διέπεται από την αποτελεσματικότητα του βάρους με την ώση και της ταχύτητας με την κατανάλωση καυσίμου. Παραδοσιακά, οι εμβολοφόροι κινητήρες χρησιμοποιούνται για περιβάλλον χαμηλής ισχύος, χαμηλής ταχύτητας, χαμηλού υψόμετρου και οι κινητήρες turbo prop χρησιμοποιούνται για υψηλότερες απαιτήσεις ισχύος σε μέτριες ταχύτητες. Σε υψηλές ταχύτητες, οι κινητήρες τζετ είναι πιο αποτελεσματικοί με υψηλή ώση στην αναλογία βάρους και χαμηλή οπισθέλκουσα σε σύγκριση με τους κινητήρες προπέλας (Bogdanov, 1996).

3.2.1.5 Έλεγχος και Ευελιξία

Η ευελιξία του σκάφους WIG σε λειτουργία IGE είναι περιορισμένη. Σε λειτουργία IGE, τα σκάφη WIG χρειάζεται να εκτελέσουν στροφές ολίσθησης λόγω της αδυναμίας να ισορροπήσουν το σκάφος. Αυτό οδηγεί σε μια πολύ μεγάλη ακτίνα στροφής ή, εναλλακτικά, η απαίτηση να επιβραδυνθεί σε ταχύτητες μετατόπισης για να πραγματοποιήσει μια στροφή. Στροφές ολίσθησης είναι επίσης άβολες για το προσωπικό στο σκάφος.

Η χρήση του διανυσματοποίηση ώσης έχει διερευνηθεί με σκοπό να παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία. Συστήματα ελέγχου αεροσκαφών θα βοηθήσουν στον έλεγχο του σκάφους, αλλά εξακολουθούν να βασίζονται στο ότι το όχημα έχει επαρκή ισχύ ελέγχου (Bogdanov, 1996).

3.2.2 Παράμετροι σχεδιασμού: Απόδοση θαλάσσιων μεταφορών

Κάθε όχημα WIG που λειτουργεί στο νερό θα πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να είναι άξιο πλεύσης. Ο επιχειρησιακές φάσεις, οι οποίες απαιτούν αξιοπλοΐα είναι η απογείωση, η προσγείωση και η χαμηλή ταχύτητα ελιγμών. Τα σημαντικότερα ζητήματα σχεδιασμού για την απόδοση των θαλάσσιων μεταφορών είναι ο σχεδιασμός του κύτους, οι βοήθειες για την απογείωση, οι ακαθάριστες διαστάσεις και η πρόωση (Bogdanov and Maskalik, 1996).

3.2.2.1 Απογείωση

Οι αποστάσεις απογείωσης για κάθε λειτουργικό σκάφος από το νερό τείνουν να είναι υψηλότερες από εκείνων που λειτουργούν από τη γη. Αυτό οφείλεται στην υψηλή οπισθέλκουσα του κύτους που ενεργεί αρχικά ως ένα σκάφος εκτοπίσματος. Αυτό με τη σειρά του οδηγεί στο χρόνο που απαιτείται για να φθάσει την ταχύτητα απογείωσης αυξάνεται και, συνεπώς, η απόσταση απογείωσης αυξάνεται.

Το πιο κρίσιμο πέναλτι στην απογείωση από το νερό είναι η μεταφορά της επιπλέον ώσης. Για να ξεπεραστεί η αντίσταση του νερού, ένα σημαντικό ποσό ώσης απαιτείται που δεν χρησιμοποιείται στην κατάσταση πτήσης.

Ένας αριθμός μεθόδων έχει προταθεί για να μειώσουν τα φορτία απογείωσης και να βελτιώσουν την απόδοση απογείωσης του σκάφους WIG. Τα πιθανά πλεονεκτήματα είναι χαμηλότερα διαρθρωτικά βάρη, αυξημένη αξιοπλοΐα κατά την απογείωση και την προσγείωση, καθώς και μείωση της ώσης στην απογείωση.

Στα αεροσκάφη, τα πτερύγια και άλλα αεροδυναμικά βοηθήματα χρησιμοποιούνται για την αύξηση της μέγιστης ανύψωσης της πτέρυγας, έτσι ώστε να μπορέσει να επιτευχθεί απογείωση σε χαμηλότερες ταχύτητες (Bogdanov and Maskalik, 1996).

3.2.2.2 Πτήση

Σε λειτουργία πτήσης η επαφή μεταξύ του σκάφους και της επιφάνειας του νερού αποφεύγεται προκειμένου να αποφευχθούν τα υψηλά διαρθρωτικά φορτία που σχετίζονται με την επαφή σε μεγάλη ταχύτητα. Ανάλογα με τους λειτουργικούς περιορισμούς που τίθενται επί του σκάφους, αυτό μπορεί να απαιτήσει τη χρήση της ανίχνευσης κύματος. Σε στροφές και άλλους ελιγμούς συνήθως χρησιμοποιείται η αναρρίχηση σε υψόμετρο προκειμένου να αποφευχθεί η επαφή με την επιφάνεια (Bogdanov and Maskalik, 1996).

3.2.2.3 Προσγείωση

Η απόδοση και τα φορτία στην προσγείωση δεν είναι τόσο κρίσιμα, όπως εκείνα στην απογείωση. Ωστόσο, μια σειρά από προτάσεις έχουν διατυπωθεί, με στόχο τη μείωση των φορτίων και την αύξηση της ταχύτητας με την οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί μια ασφαλής προσγείωση. Υδροδυναμικά σκι και υδροπτέρυγα έχουν δοκιμαστεί, με παρατηρούμενη μείωση των φορτίων των επιπτώσεων σε βαριές καταστάσεις θαλάσσης. Η χρήση αυτών των συσκευών προορίζεται να επιβραδύνει το σκάφος σε ένα μειωμένο ρυθμό, μειώνοντας έτσι τα φορτία κύτους.

Η χρήση ενός υδροπτερυγίου είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή του X-114 σκάφους WIG. Το αεροσκάφος προσγειώθηκε με πολύ υψηλή ταχύτητα και ως εκ τούτου σε μια χαμηλότερη από το κανονικό γωνία πρόσπτωσης. Το υδροπτερύγιο εισήλθε στο νερό με μία αρνητική γωνία πρόσπτωσης, με αποτέλεσμα μια προς τα κάτω δύναμη να τραβά το σκάφος στο νερό (Bogdanov and Maskalik, 1996).

3.2.2.4 Διάτρηση

Η σταθερότητα του σκάφους WIG επί του νερού είναι υψηλή, τόσο για τη διαμήκη όσο και την πλευρική σταθερότητα, με τα φτερά να δίνουν παρόμοια σταθερότητα πλαγίως όπως αυτή που παρέχεται από την άτρακτο κατά μήκος. Με το σχεδιασμό της δομής, του κύτους και των φτερών, σε μια σειρά από υδατοστεγή διαμερίσματα κύτους η ρήξη είναι απίθανο να προκαλέσει ναυάγιο.

Οι περιορισμοί ως προς τη λειτουργία στο νερό οφείλονται κατά κύριο λόγο σε διαρθρωτικά φορτία που συνδέονται με την κατάσταση της θάλασσας. Υψηλά φορτία άνωσης έχουν τη δυνατότητα να διαλύσουν ένα σκάφος τόσο μεγάλης περιοχής, ενώ οι επιπτώσεις από τα κύματα θα μπορούσαν επίσης να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές. Τα φορτία των κυμάτων υπερβαίνουν τα φορτία σχεδιασμού για την αεροδυναμική φόρτωση κατά την πτήση, με αποτέλεσμα το αυξημένο δομικό βάρος.

Ένα άλλο ζήτημα για τη λειτουργία διάτρησης είναι οι απαιτήσεις για την κατοικησιμότητα. Οι αναλογίες μεγέθους του κύτους, των φτερών και των ακραίων πλακών θα επηρεάσει το μέγεθος και τη συχνότητα των δυνάμεων που βιώνουν οι κάτοικοι. Η λειτουργία διάτρησης μπορεί να βελτιωθεί με την εξέταση γεωμετρικών

αλλαγών στο κύτος ή με την προσθήκη ειδικών συσκευών, όπως αποσβεστήρες και σταθεροποιητές (Bogdanov and Maskalik, 1996).

3.2.2.5 Ελιγμοί χαμηλής ταχύτητας

Τα σκάφη WIG είναι πολύ αναποτελεσματικά σε ελιγμούς χαμηλής ταχύτητας. Υπάρχει, ωστόσο, η ανάγκη να είναι σε θέση ο χειριστής να χειρίζεται το σκάφος σε ελιγμούς χαμηλής ταχύτητας.

Περιορισμοί στο εκπέτασμα πτέρυγας μπορεί να περιορίσουν το μεγαλύτερο δυνατό μέγεθος ενός σκάφους WIG ώστε να λειτουργεί από την εγκατάσταση ενός συγκεκριμένου λιμανιού και μπορεί να περιορίσουν την εγγύτητα στην ακτή κατά την οποία ένα σκάφος WIG μπορεί να απογειωθεί. Ακόμη και σε χαμηλή ταχύτητα ο θόρυβος του κινητήρα μπορεί να υπερβαίνει κατά πολύ εκείνο των συμβατικών κινητήρων πλοίων (Bogdanov and Maskalik, 1996).

3.2.2.6 Αμφίβια απόδοση

Τα σκάφη WIG, όπως τα αεροσκάφη, έχουν τη δυνατότητα για αμφίβια λειτουργία και δέχονται τις ίδιες κυρώσεις κατά βάρος όπως και τα άλλα αμφίβια οχήματα. Μία από τις πιο κοινές προτάσεις για το αμφίβιο σκάφος WIG είναι να τους δοθεί η ικανότητα χόβερκραφτ.

Περιορισμοί στο σχεδιασμό μπορεί να τεθούν σε τοποθετήσεις του κινητήρα λόγω κατάποσης ξένων αντικειμένων μέσα στο κινητήρες. Περιορισμοί στην κατάσταση της θάλασσας και στα είδη των παραλιών κατάλληλες για τις εκφορτώσεις θα είναι περιορισμένοι από τη δομική αντοχή του κύτους και από την κάθε μορφή ενίσχυσης απογείωσης.

Τα σκάφη WIG που έχουν σχεδιαστεί για αμφίβια λειτουργία θα έχουν κατάσταση της θάλασσας για τους περιορισμούς προσάραξης παρόμοια με εκείνη για την προσγείωση και την απογείωση. Όσο μεγαλύτερο είναι το σκάφος, τόσο μεγαλύτερη είναι η κατάσταση της θάλασσας στην οποία θα είναι σε θέση να λειτουργήσει.

Το μεγάλο σκάφος WIG της ΕΣΣΔ, το Orlyonok, ήταν ικανό για αμφίβια λειτουργία (Bogdanov and Maskalik, 1996).

3.2.3 Παράμετροι σχεδιασμού: Απόδοση σε αέρα και θάλασσα

Πολλές από τις παραμέτρους σχεδιασμού έχουν άμεση επίπτωση τόσο στην θαλάσσια όσο και στην αέρια απόδοση, συνήθως με τη μια να είναι πιο κρίσιμη από την άλλη.

3.2.3.1 Ατράκτος

Ο σχεδιασμός της ατράκτου διέπεται από σκέψεις αεροδυναμικού σχήματος και ικανότητας αποθήκευσης. Ωστόσο, οι σχεδιαστές του σκάφους WIG έχουν πολύ περισσότερες δυνατότητες, καθώς αυτές δεν περιορίζονται από τις κυκλικές διατομές που απαιτούνται για αεροσκάφος υπό πίεση μεταφοράς. Η διαρθρωτική αποτελεσματικότητα και η προβλεπόμενη λειτουργία και το φορτίο θα υπαγορεύσει το σχεδιασμό της ατράκτου.

Η ρύθμιση της ατράκτου επηρεάζει σημαντικά το σχήμα του κύτους και αυξάνει την έλξη που επηρεάζει την απογείωση και τις επιδόσεις χαμηλής ταχύτητας. Λοιπές εκτιμήσεις για την διάταξη ατράκτου περιλαμβάνουν εκτιμήσεις της φόρτωσης και εκφόρτωσης του σκάφους (Fellous et al, 1996).

3.2.3.2 Επιβίωση

Αντοχή στις συγκρούσεις και η ικανότητα επιβίωσης έχουν όλο και μεγαλύτερη σημασία στους κύκλους των αερομεταφορών στο πρόσφατο χρονικό διάστημα και είναι πολύ πιθανό να θεωρηθεί για οποιοδήποτε σχέδιο WIG.

Τα πολιτικά πρότυπα της αεροπορίας παρέχουν μια βάση εργασίας για την ενσωμάτωση των διατάξεων αυτών στα σκάφη WIG. Τα πρότυπα αυτά θεωρούν την αντοχή στις συγκρούσεις, την επιβίωση εξοπλισμού και την εκκένωση από το σκάφος. Οι επιπτώσεις στην απόδοση του σκάφους από αυτού του τύπου απαιτήσεις αντοχής στις συγκρούσεις δεν θα είναι πιο σοβαρές από ότι για τα αεροσκάφη ή τα ελικόπτερα.

Η ποινή βάρους που προκύπτει από την παροχή για πυρόσβεση και μηχανικές επισκευές, όπως συμβαίνει σε πλοία θα ήταν υπερβολική σε σκάφη WIG.

Τα προωθητικά μέσα (jet, στροβιλοκινητήρας ή εμβολοφόρος κινητήρας) θα καθορίσουν τις μεθόδους και τις δυνατότητες για τη μείωση της IR υπογραφής. Ανάμιξη ακροφυσίου και άλλες μέθοδοι αποτελούν τμήματα της τρέχουσας έρευνας στη μείωση της IR υπογραφής. Οι πιθανές υποβαθμίσεις απόδοσης για τη χρήση της τεχνολογίας stealth είναι παρόμοιες με εκείνες των αεροσκαφών.

Τα σκάφη WIG έχουν το πρόσθετο πλεονέκτημα της λειτουργίας κοντά στην επιφάνεια της γης παρέχοντας ανιχνευσιμότητα ραντάρ (Fellous et al, 1996).

3.2.3.3 Λειτουργία του Μητρικού πλοίου

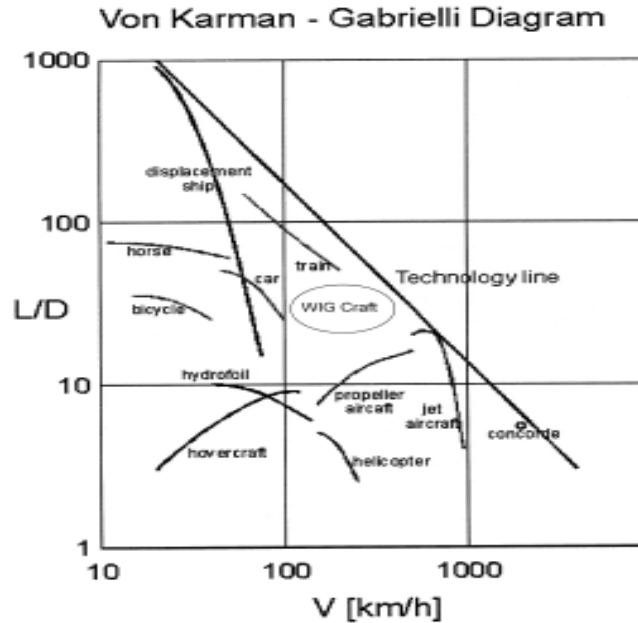
Μικρά σκάφη WIG μπορούν να λειτουργήσουν από πλοία με το σκάφος WIG να απογειώνεται πάνω από το κατάστρωμα του πλοίου. Ο κύριος περιορισμός σε μια τέτοια πράξη θα ήταν ο περιορισμός της κατάστασης της θάλασσας του μικρού σκάφους WIG (Fellous et al, 1996).

3.3 Παραγωγή WIG - Απόδοση σκάφους

Αυτή η ενότητα ασχολείται με τα αναφερόμενα χαρακτηριστικά απόδοσης και αποτελεσματικότητας του σκάφους WIG.

3.3.1 Απόδοση μεταφοράς

Το Von Karman - Gabrielli διάγραμμα της εικόνας 8 αποτελεί μία κλασική μέθοδο που παρέχει ένα μέτρο της αποτελεσματικότητας ενός μέσου μεταφοράς. Η «Γραμμή Τεχνολογίας» αντιπροσωπεύει την τρέχουσα ικανότητα να επιτευχθεί μια ορισμένη ταχύτητα με ένα επιθυμητό ωφέλιμο φορτίο σε ελάχιστη ισχύ (Fischer and Matjasick, 1996).



Εικόνα 8: Απόδοση μεταφοράς.

3.3.2 Εύρος και ωφέλιμο φορτίο

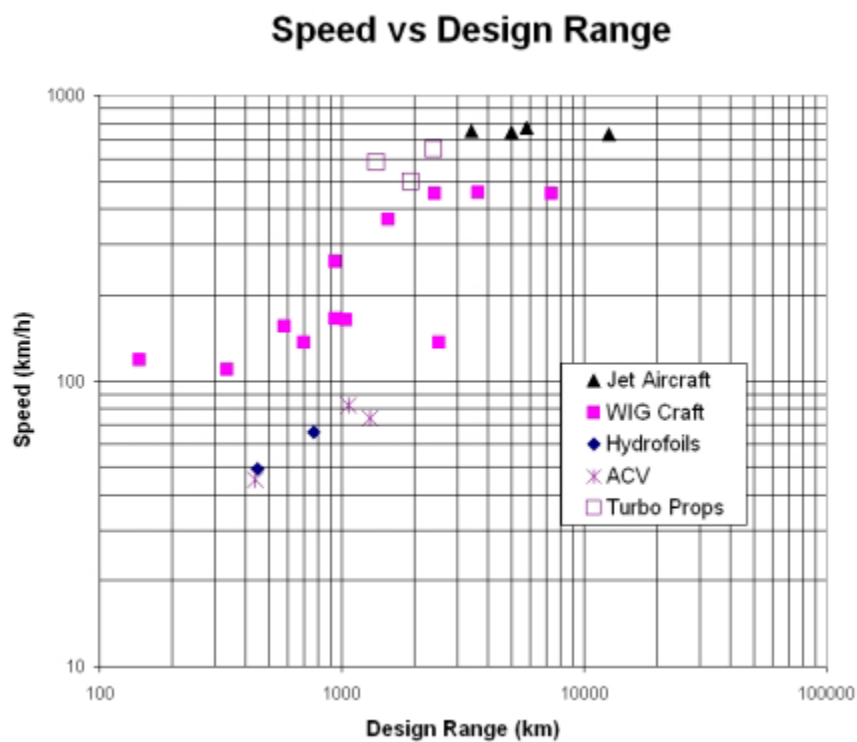
Το εύρος και η ικανότητα ωφέλιμου φορτίου του σκάφους WIG έχει τη δυνατότητα να καλύψει το κενό μεταξύ των αεροσκαφών και των πλοίων. Τα παρακάτω στοιχεία είναι μια συλλογή από τις δημόσιες εκθέσεις για τα σκάφη WIG.

Η εικόνα 9 απεικονίζει την ταχύτητα του σκάφους WIG σε σχέση με το εύρος σχεδιασμού (δηλαδή σε μέγιστο ωφέλιμο φορτίο) σε σύγκριση με άλλα ταχύπλοα σκάφη και αεροσκάφη. Μόνο λίγα σκάφη WIG προσεγγίζουν την εφικτή απόδοση των αεριωθούμενων αεροσκαφών. Αναμένεται ότι, εάν τα πλεονεκτήματα της πτήσης υπό την επίδραση εδάφους είχαν επιτευχθεί πλήρως, τότε μια σειρά πιο κοντά σε αυτή των αεροσκαφών θα πρέπει να είναι εύκολα εφικτή. Το ωφέλιμο φορτίο και το εύρος μπορεί να είναι αντικείμενα διαπραγμάτευσης το ένα εναντίον του άλλου. Ένα μεγαλύτερο ωφέλιμο φορτίο μπορεί να λάβει μια μικρότερη απόσταση και το αντίστροφο.

Η εικόνα 10 παρέχει ένα μέτρο της δομικής απόδοσης του σκάφους. Το κλάσμα του βάρους του ωφέλιμου φορτίου (W_p) του συνολικού βάρους (W) για τα πλοία είναι υψηλό, ωστόσο η ταχύτητά τους είναι χαμηλή σε σύγκριση με τα αεροσκάφη και τα σκάφη WIG. Τα υπάρχοντα σκάφη WIG παρέχουν παρόμοια ή

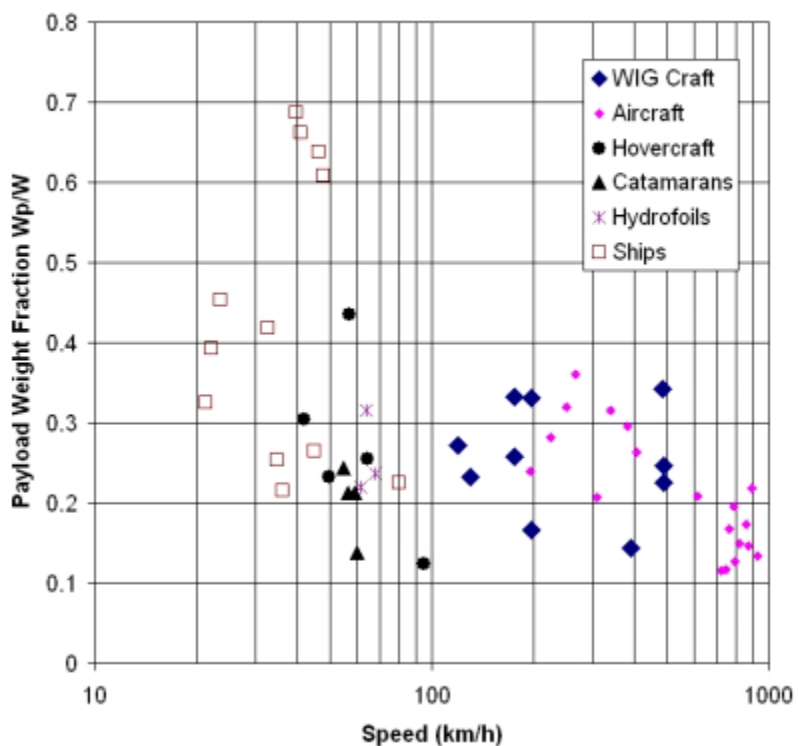
ελαφρώς χαμηλότερα κλάσματα βάρους ωφέλιμου φορτίου από τα αεροσκάφη, ενώ λειτουργούν σε χαμηλότερη ταχύτητα.

Μια σύγκριση του βάρους ωφέλιμου φορτίου κατά βάρος απογείωσης για τα υπάρχοντα σκάφη WIG παρουσιάζεται στην εικόνα 11. Τα δεδομένα είναι μια συλλογή των στοιχείων του κατασκευαστή που παρουσιάζονται στο δημόσιο τομέα. Η τάση της προσαρμοσμένης καμπύλης να ισιώσει έξω αποδεικνύει την μεγαλύτερη δομική αναποτελεσματικότητα του μεγαλύτερου σκάφους που έχει κατασκευαστεί μέχρι σήμερα (Fischer and Matjasick, 1996).



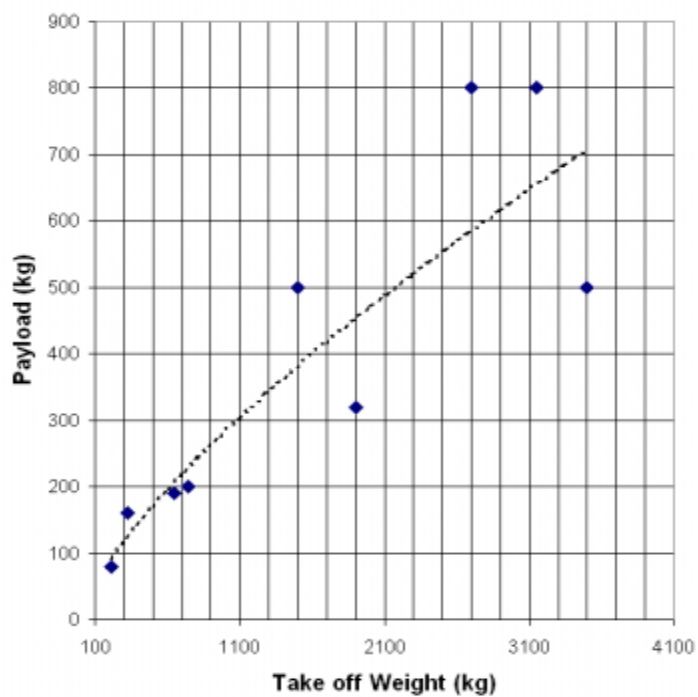
Εικόνα 9: Εύρος και ταχύτητα σκάφους WIG.

Payload Efficiency Comparison



Εικόνα 10: Ποσοστό ωφέλιμου φορτίου συναρτήσει των στροφών.

Payload vs Take off Weight



Εικόνα 11: Ωφέλιμο φορτίο για διάφορα μεγέθη σκάφους WIG.

3.3.3 Κατάσταση θάλασσας

Όσον αφορά την απόδοση του σκάφους WIG παρεμποδίζεται λιγότερο από την κατάσταση της θάλασσας από ότι τα σκάφη θαλάσσης. Τα σκάφη WIG πετούν πάνω από τον ωκεανό και καθώς αυξάνεται η κατάσταση της θάλασσας, το σκάφος WIG πρέπει να πετάξει σε μεγαλύτερο υψόμετρο για να αποφεύγεται η επαφή με τα κύματα. Καθώς το σκάφος πετάει υψηλότερα χάνει τα οφέλη της επίδρασης του εδάφους.

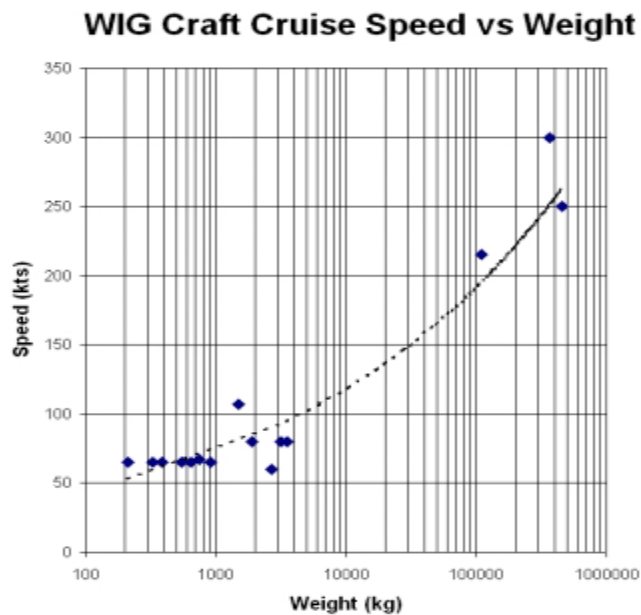
Πετώντας εκτός της επίδρασης του εδάφους θα μειώσει μόνο την ταχύτητα πλεύσης του σκάφους WIG κατά ένα μικρό περιθώριο. Θα έχει ωστόσο μια μεγαλύτερη επίδραση στο εύρος του σκάφους λόγω της μείωσης στην αποτελεσματικότητα (Heber and Taylor, 1981).

3.3.4 Απόδοση πτήσης

Η ταχύτητα πτήσης του σκάφους WIG καθορίζεται από την ώση και την έλξη του σκάφους. Βελτιώσεις της κλίμακας της αποτελεσματικότητας τείνουν να σημαίνουν ότι τα σκάφη με υψηλή ώση είναι επίσης σχετικά μεγάλα.

Η εικόνα 12 απεικονίζει την τάση της ταχύτητας πτήσης WIG και του μέγιστου βάρους. Υπάρχει μια μεγάλη συλλογή σκαφών κάτω των 5.000 kg και τα τρία μεγάλα σκάφη της ΕΣΣΔ μεταξύ 50.000 και 500.000 kg. Τα σκάφη κάτω από 5.000 kg αντιπροσωπεύουν έναν αριθμό πειραματικών και πρωτοτύπων σκαφών και ένα μικρό αριθμό σκαφών παραγωγής.

Τα συμβατικά πλοία είναι περιορισμένη στη μέγιστη ταχύτητα τους από την υπερβολική έλξη (Heber and Taylor, 1981).



Εικόνα 12: Ταχύτητα πτήσης σε σχέση με το βάρος του σκάφους WIG.

3.4 Περιορισμοί

Οι κύριοι περιορισμοί στο σχεδιασμό των σκαφών WIG αφορούν την κατάσταση της θάλασσας, τη σταθερότητα και τον έλεγχο, την ταχύτητα και το σύστημα πρόωσης. Ο σχεδιασμός των σκαφών WIG για συγκεκριμένες λειτουργίες διέπεται από αυτές τις εκτιμήσεις.

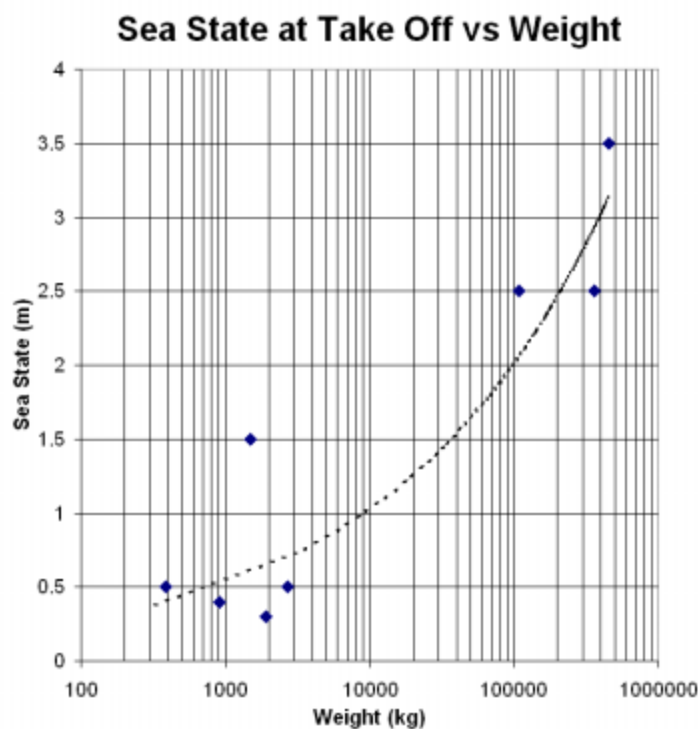
3.4.1 Κατάσταση θάλασσας

Περιορισμοί στην κατάσταση της θάλασσας είναι πιο κρίσιμοι κατά την απογείωση και την προσγείωση λόγω των φορτίων κλίσης για τη δομή του κύτους και των φτερών. Σε λειτουργίες πτήσης, η κατάσταση της θάλασσας θα μειώσει την αποτελεσματικότητα του σκάφους, αλλά δεν θα περιορίσει το αεροσκάφος από τη λειτουργία όσο το αεροσκάφος έχει OGE λειτουργία.

Πολλές μέθοδοι έχουν ερευνηθεί σε μια προσπάθεια να μειωθούν τα φορτία που προκύπτουν κατά την απογείωση και την προσγείωση. Άλλα σχεδιαστικά προβλήματα που συνδέονται με την κατάσταση της θάλασσας περιλαμβάνουν την αναρρόφηση νερού σε κινητήρες (Hooker, 1996).

Η απογείωση και η προσγείωση είναι οι περιοριστικές προϋποθέσεις για τη λειτουργία σε θαλάσσια κατάσταση. Τα φορτία που συνδέονται με το κύτος που χτυπά σε κύματα κατά την απογείωση είναι η κρίσιμη παράμετρος σχεδιασμού για το κύτος. Τα φορτία αυτά προσδίδουν επίσης υψηλές επιταχύνσεις για τους επιβαίνοντες. Ένας αριθμός ενισχύσεων στην απογείωση έχουν δοκιμαστεί για την επίτευξη απογείωσης σε μεγάλη θαλασσοταραχή, αυτές περιλαμβάνουν PAR, υδροπτέρυγα, hovercraft τεχνολογία. Οι περιορισμοί στην κατάσταση της θάλασσας είναι ένα φαινόμενο κλίμακας, με το μεγαλύτερο σκάφος να είναι περισσότερο σε θέση να χειριστεί μεγάλες θάλασσες.

Η Ρωσική εμπειρία υποδεικνύει σε ένα όριο κατάσταση της θάλασσας για ένα σκάφος 500 τόνων των 2,5 m. Αυτό δεν μπορεί να συγκριθεί με τα συμβατικά πλοία της ναυτιλίας (Hooker, 1996).



Εικόνα 13: Κατάσταση θάλασσας κατά την απογείωση για διάφορα σκάφη WIG.

Τα σκάφη WIG ικανά για OGE πτήση δεν περιορίζονται από την κατάσταση της θάλασσας όταν είναι σε λειτουργία πτήσης. Το αποτέλεσμα να πετούν σε

μεγαλύτερο υψόμετρο είναι η απώλεια της αποτελεσματικότητας. Ωστόσο, ένα μικρό σκάφος WIG που λειτουργεί σε ανοιχτές θάλασσες θα πρέπει να λειτουργεί σε OGE πολύ συχνά για να κάνει βιώσιμη τη λειτουργία. Ως εκ τούτου οι λειτουργίες ανοικτής θάλασσας, για πρακτικούς σκοπούς, περιορίζονται σε μεγαλύτερα σκάφη.

Ο περιορισμός ύψους πτήσης στο σκάφος WIG είναι περίπου 10% έως 30% του καλωδίου. Σε υψηλότερα ύψη η θεωρητική απόδοση μειώνεται με εκείνη ενός αεροσκάφους. Η εμπειρία λειτουργίας της ΕΣΣΔ έχει ορίσει ένα ασφαλές ύψος λειτουργίας όσον αφορά τα ύψη κύματος, όπου:

$$h = \frac{H_{3\%}}{2} + 0.1 \cdot c$$

«h» είναι το κατακόρυφο ύψος που μετράται από το μέσο ύψος κύματος, και $H_{3\%} = 1,54 H_{1/3}$, όπου $H_{1/3}$ είναι το σημαντικό ύψος κύματος (ο μέσος όρος του 1/3 υψηλότερου κύματος). Όταν αυτό το ύψος υπερβαίνει το ύψος επίδρασης του εδάφους το σκάφος λειτουργεί ως ένα αεροσκάφος, αλλά σε ένα χαμηλότερο βαθμό αποδοτικότητας.

Αυτός ο τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καταδείξει τη χρησιμότητα του σκάφους WIG σε διάφορες καταστάσεις στη θάλασσα. Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας αυτόν τον τύπο, το Strizh (1630 kg) θα μπορούσε ενδεχομένως να λειτουργήσει αποτελεσματικά σε καταστάσεις θάλασσας έως και 0,5 μέτρων σημαντικού ύψους κύματος, ενώ η Orlyonok (120 τόνων) θα μπορούσε να ενδεχομένως να λειτουργεί αποτελεσματικά σε καταστάσεις θαλάσσης μέχρι 2,6 μέτρα (Hooker, 1996).

Η πιθανότητα πρόσκρουσης κύματος σε υψηλή ταχύτητα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί. Λειτουργία στο 3% ύψος κύματος προτάθηκε από την ρωσική επιχείρηση.

Ύψη κυμάτων μπορεί να είναι μέχρι και τέσσερις φορές το μέσο ύψος κύματος. Ως αποτέλεσμα, το σκάφος θα πρέπει να έχει αυστηρούς λειτουργικούς περιορισμούς για να το αποτρέψει από το να αντιμετωπίσει τέτοια κύματα ή να σχεδιαστεί για να επιβιώσει σε μια επίδραση κυμάτων. Ένα παχύ κύτος και αυξημένη δομική αντοχή ικανή να λαμβάνει τα κρουστικά φορτία μπορεί να είναι απαραίτητα. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα ανίχνευσης που θα επιτρέπει στο αεροσκάφος να μετρά το ύψος και την κατάσταση της θάλασσας και

επιτρέπουν τον καθορισμό ενός ελάχιστου ασφαλούς υψόμετρου λειτουργίας για κατάσταση θάλασσας. Ένας συνδυασμός των δύο απαιτήσεων θα προσφέρει ασφαλή λειτουργία κατά την πτήση.

Η χρήση της PAR τεχνολογίας για τη μείωση των φορτίων απογείωση της ταχύτητας και της απόστασης είναι ένα δύσκολο πρόβλημα σε βαριές καταστάσεις θαλάσσης. Αναρρόφηση νερού στους εμπρός κινητήρες είναι συχνή. Ως αποτέλεσμα, η διάβρωση και άλλες πτυχές που αφορούν την απόδοση του κινητήρα αποτελούν ένα σημαντικό κριτήριο σχεδιασμού (Hooker, 1996).

3.4.2 Σταθερότητα και έλεγχος

Η σταθερότητα και ο έλεγχος φαίνεται να αποτελούν τα μεγάλα τεχνικά εμπόδια στην ανάπτυξη του σκάφους WIG. Η τρέχουσα κατάσταση της τεχνικής στον τομέα αυτό στην αεροναυπηγική έχει προχωρήσει σε ένα πολύ εξελιγμένο στάδιο όπου η σταθερότητα δεν θα πρέπει να είναι ο περιορισμός σχετικά με το σχεδιασμό του σκάφους WIG.

Ο έλεγχος είναι επίσης ένας τομέας όπου η κατάσταση της τεχνολογίας θα πρέπει να είναι σχετικά εύκολα να προσαρμοστεί σε WIG σκάφη.

Η κάθετη σταθερότητα ύψους του σκάφους WIG έχει αποδειχθεί. Η ουσία του προβλήματος σταθερότητας ήταν η διαμήκης δυναμική σταθερότητα. Τα σχέδια έχουν συνήθως μια περιοχή ύψους όπου είναι ασταθής. Για να αντιστρέψουν το πρόβλημα ορισμένα σχέδια έχουν περιορισμένη δύναμη ελέγχου, έτσι ώστε να είναι σε θέση να λειτουργήσουν σε αυτή την ασταθή περιοχή ύψους.

Η σταθερότητα σε μια επιφάνεια κυμάτων, όπως το νερό ήταν ένας άλλος τομέας ανησυχίας. Θεωρητικός μελέτες, όπως αυτές του Rozhdestvensky, και η πρακτική εμπειρία έχει δείξει ότι η συντονιζόμενη συμπεριφορά πάνω από τα κύματα δεν είναι μια κρίσιμη παράμετρος. Το ύψος κύματος στο συντονισμό θα είναι συνήθως μεγαλύτερη από την αποτελεσματική περιοχή ύψους της επίδρασης εδάφους.

Οι περιορισμοί στην ικανότητα ελιγμών είναι παρόμοιες με εκείνες για τη σταθερότητα. Το μεγάλο WIG σκάφος της ΕΣΣΔ είχε ένα ρυθμό στροφών των 2,5 deg/sec. Για ένα μικρό σκάφος, όπως το Amphistar, μια ακτίνα στροφής περίπου 500 m σε λειτουργία IGE είναι εφικτή. Το σκάφος Volga πρέπει να επιβραδύνει

σημαντικά προκειμένου να πραγματοποιήσει μια κλειστή στροφή, και πρακτικά προσγειώνεται για να κάνει τον ελιγμό (Kirillovikh, 1996).

3.4.3 OGE Λειτουργία

Τα σκάφη WIG ικανά να τεθούν σε λειτουργία OGE, δεν έχουν κανένα ειδικό περιορισμό ύψους λειτουργίας. Ωστόσο, η λειτουργία OGE είναι πιθανό να είναι ιδιαίτερα αναποτελεσματική.

3.4.4 Ταχύτητα

Το σκάφος WIG είναι σε θέση να λειτουργεί σε πτήση και σε αργή λειτουργία μετατόπισης. Ωστόσο, περιορίζεται στην ικανότητά του να ταξιδεύει σε ταχύτητες μεταξύ της κανονικής ταχύτητας μετατόπισης και της ταχύτητας απώλειας στήριξης του σκάφους (Kirillovikh, 1996).

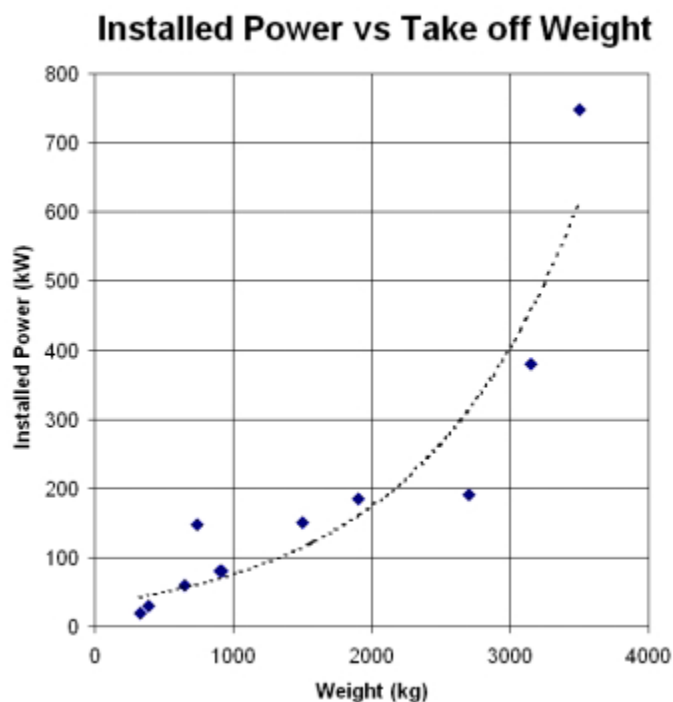
3.4.4.1 Απογείωση

Η απογείωση αντιπροσωπεύει τους μεγαλύτερους περιορισμούς επιδόσεων σε σκάφη WIG. Περιορίζει την ικανότητα τους να λειτουργούν σε διαφορετικές καταστάσεις θάλασσας και επηρεάζει την εγκατεστημένη ισχύ που απαιτείται για την πτήση.

Η υδροδυναμική αντίσταση του σκάφους WIG είναι παρόμοια με εκείνη των υδροπλάνων. Η υδροδυναμική αντίσταση για σκάφη WIG μπορεί να αναλυθεί στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Γάστρα (Hull): η κανονική υδροδυναμική οπισθέλκουσα του κύτους
- Πτερύγια (Wings): η υδροδυναμική οπισθέλκουσα των πτερυγίων σε επαφή με το νερό
- Ψεκασμός (Spray): η παραγωγή μεγάλης ποσότητας ψεκασμού από το κύτος και τους κινητήρες
- Ακραίες πλάκες (Endplates): η υδροδυναμική οπισθέλκουσα των ακραίων πλακών (Kirillovikh, 1996)

Όλοι αυτοί οι παράγοντες είναι λειτουργίες του βυθίσματος και της αντιστάθμισης του σκάφους και έχουν διαφορετικές εισφορές με την ταχύτητα.



Εικόνα 14: Εγκατεστημένη ισχύς για διάφορα σκάφη WIG.

Η ταχύτητα hump οφείλεται σε καθαρή υδροδυναμική οπισθέλκουσα και είναι συνήθως η μέγιστη για τα υδροπλάνα και τα σκάφη WIG. Σε αυτή τη φάση, το κύτος τείνει να υποστηρίξει ένα σημαντικό μέρος του βάρους του σκάφους (περίπου 85%). Η αντιστάθμιση σε αυτή τη φάση διέπεται από το κύτος και τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό και όχι από την αεροδυναμική των σκαφών. Μεγάλο μέρος της έρευνας σε αυτό το πεδίο έχει γίνει σε δοκιμές μοντέλων για κύτη υδροπλάνων.

Καθώς το σκάφος WIG αρχίζει να πετάει, η οπισθέλκουσα μειώνεται και στη συνέχεια αυξάνεται με την ταχύτητα. Η δεύτερη hump είναι το τέλος του χωροταξικού σχεδιασμού και η έναρξη της πτήσης. Σε αυτό το σημείο η στήριξη του σκάφους αλλάζει από υδροδυναμική σε αεροδυναμική (Kirillovikh, 1996).

Η επίδραση του παραγμένου νερού αυξάνει την οπισθέλκουσα κατά την απογείωση. Σε υδροπλάνα αυτό μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το 15% σε ήρεμα νερά. Από τα ρωσικά στοιχεία το σκάφος WIG θα μπορούσε αντιμετωπίσει μια αύξηση 23,5% στην οπισθέλκουσα για σκάφη με PAR τεχνολογία και μια αύξηση 42% για εκείνα που δεν έχουν.

Καθώς η απογείωση είναι η πιο κρίσιμη απαίτηση ισχύος σε όλες τις διαμορφώσεις σκαφών WIG που δοκιμάζονται σήμερα, κάθε μείωση στη δύναμη απογείωσης θα οδηγήσει σε οφέλη στην απόδοση, στο βάρος, στην αποτελεσματικότητα και στο κόστος (Kirillovikh, 1996).

3.4.4.2 IGE πτήση και OGE πτήση

Το εύρος ταχύτητας για σκάφη WIG εντός και εκτός από την επίδραση του εδάφους περιορίζεται από τα ίδια ζητήματα όπως τα αεροσκάφη. Το χαμηλό όριο ταχύτητας θα καθορίζεται από το μέγιστο συντελεστής ανύψωσης της πτέρυγας και αυτή η ταχύτητα συνήθως αναφέρεται ως η ταχύτητα απώλειας στήριξης.

Η μέγιστη ταχύτητα προς τα εμπρός κατά την πτήση θα καθορίζεται είτε από θεωρήσεις σταθερότητας και / ή τη διαθέσιμη ισχύ. Η ταχύτητα πτήσης ορίζεται από την πιο αποτελεσματική ισχύ του κινητήρα και συνδέεται με τη συνολική αεροδυναμική απόδοση του σκάφους.

Ένας άλλος καθοριστικός παράγοντας για τα αεροσκάφη με έλικα είναι η σημαντική αύξηση της οπισθέλκουσας, καθώς το σκάφος προσεγγίζει έναν αριθμό Mach από 0,5 περίπου 300 κόμπων.

Περιορισμοί στην ταχύτητα λειτουργίας μπορεί επίσης να επιβάλλονται για να αποφευχθεί η πιθανότητα πρόσκρουσης με τεράστια κύματα που μπορούν να έχουν ύψη τρεις φορές από το κανονικό ύψος κύματος. Ένα σκάφος της ΕΣΣΔ χτύπησε ένα μεγάλο κύμα με αποτέλεσμα 8 έως 10 g πρόσκρουση, προκαλώντας μεγάλες διαρθρωτικές ζημιές (Leslie, 1996).

3.4.4.3 Μετατόπιση

Οι περιορισμοί στην ταχύτητα μετατόπισης για σκάφη WIG είναι παρόμοια με εκείνους για τα πλοία. Τα φορτία εξαρτώνται από την κατάσταση της θάλασσας και την ταχύτητα (Leslie, 1996).

3.4.5 Πρόωση

Οι κινητήρες με έλικες έχουν χρησιμοποιηθεί στα μικρότερα σκάφη με κάποια σκάφη να συμπεριλαμβάνουν, επίσης, τις μικρές μηχανές θαλάσσης για την κίνηση μετατόπισης.

Οι σημαντικοί περιορισμοί όσον αφορά τα συστήματα πρόωσης είναι η αντοχή στη διάβρωση σε θαλάσσια περιβάλλοντα, τα υψηλά επίπεδα ώθησης για την λειτουργία απογείωσης, η κατανάλωση καυσίμων στην πτήση και τα επίπεδα εκπομπών θορύβου εξωτερικά και εσωτερικά.

Ο κύριος παράγοντας που καθορίζει τις προωθητικές απαιτήσεις είναι η ώθηση που απαιτείται για την απογείωση. Κατά την πτήση, οι απαιτήσεις ισχύος είναι σημαντικά χαμηλότερες. Η ώθηση που απαιτείται για να μεταφερθεί το σκάφος από το νερό στον αέρα μπορεί να είναι απαγορευτική. Πολλές λύσεις έχουν προταθεί συμπεριλαμβανομένης της RAM-WIG τεχνολογίας και των υβριδικών πλατφόρμων (Sinytsyn et al, 1996).

Οι κινητήρες πρέπει επίσης να είναι σε θέση να αντέξουν ισχυρά διαβρωτικά περιβάλλοντα και την πιθανότητα αναρρόφησης νερού. Ένα άλλο ζήτημα είναι η συσσώρευση των υπολειμμάτων αλατιού στις λεπίδες και στην επένδυση του συμπιεστή και του ανεμιστήρα. Τα υπολείμματα αλατιού έχει αποδειχθεί ότι αλλάζουν την εικόνα των λεπίδων και μεταβάλλουν τη ροή μέσα από το συμπιεστή, η οποία έχει ως αποτέλεσμα το σταμάτημα του συμπιεστή. Αυτό είναι ένα δυνητικά σοβαρό φαινόμενο, το οποίο οδηγεί σε απώλεια ισχύος και πιθανή εκδήλωση φωτιάς και μπορεί να προκαλέσει μηχανική βλάβη του κινητήρα. Η εμπειρία με αεροσκάφη που λειτουργούν στο θαλάσσιο περιβάλλον έχει οδηγήσει σε πλύσεις του κινητήρα σε τακτική βάση για να αφαιρείται το αλάτι που συσσωρεύεται πάνω στον κινητήρα (Sinytsyn et al, 1996).

Οι στροβιλοκινητήρες δεν εμφανίζουν τις ίδιες βελτιώσεις αποτελεσματικότητας στο επίπεδο της θάλασσας, όπως κάνουν σε μεγάλο υψόμετρο.

Σε υψόμετρο η χαμηλότερη θερμοκρασία εισόδου επιτρέπει μια υψηλότερη άνοδο της θερμοκρασίας μέσα από τον κινητήρα, καθώς η θερμοκρασία εξόδου καθορίζεται από τις ιδιότητες του υλικού του κινητήρα. Στο επίπεδο της θάλασσας, η αύξηση της θερμοκρασίας είναι μειωμένη, μειώνοντας έτσι την απόδοση. Έχουν σχεδιαστεί πολλοί στροβιλοκινητήρες για χρήση στη στάθμη της θάλασσας που έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης, όπως είναι οι θαλάσσιες τουρμπίνες.

Οι εκπομπές θορύβου των αεροσκαφών WIG θα είναι πολύ πιο παρόμοιες με τα αεροσκάφη από τα συμβατικά θαλάσσια σκάφη (Sinytsyn et al, 1996).

3.5 Κανονισμός

Προς το παρόν υπάρχουν μερικοί μικροί κατασκευαστές σκαφών WIG. Κανένας δεν έχει προχωρήσει σε μεγάλης κλίμακας εμπορική παραγωγή και καμία λύση COTS δεν υπάρχει επί του παρόντος. Ένας σημαντικός βαθμός σχεδιασμού και ανάπτυξης απαιτούνται για να κατασκευαστεί ένα νέο σκάφος WIG.

Ο κανονισμός για αυτά τα σκάφη είναι σχετικά μη δοκιμασμένος. Ενώ η χρήση του σκάφους WIG σε μια στρατιωτική κατάσταση θα σήμαινε ότι ο στρατός μπορεί να καθορίζει τους δικούς τους κανόνες, έχει υπάρξει μια μετακίνηση των στρατιωτικών οργανώσεων προς τη χρήση αστικών κανονισμών.

Η μεγαλύτερη δυσκολία με τον κανονισμό για το σκάφος WIG ήταν η σύγχυση ως προς το αν θα έπρεπε να θεωρηθεί ως αεροσκάφος ή σκάφος στη θάλασσα. Σε μια πρόσφατη απόφαση, η Διεθνής Οργάνωση Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO) και ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) συμφώνησαν ότι τα σκάφη WIG πρέπει να υπάγονται στην αρμοδιότητα του IMO. Ωστόσο, κάθε WIG σκάφος ικανό για βιώσιμη λειτουργία OGE εξακολουθεί να κατατάσσεται ως ένα αεροσκάφος και υπάγεται στη δικαιοδοσία του ICAO.

Ο IMO έχει προβλέψει την ανάγκη για ένα ξεχωριστό κώδικα για τα σκάφη WIG. Οι αντιληπτές απαιτήσεις ασφάλειας δεν έχουν σχέση με αυτές για τα συμβατικά σκάφη. Η πιστοποίηση θα πρέπει να εξαρτάται από το είδος της κατηγορίας του σκάφους WIG, με τα σκάφη Β και Γ κατηγορίας να χρειάζεται να συμμορφώνονται σύμφωνα με τις ανάγκες της πολιτικής αεροπορίας.

Η Αυστραλιανή Αρχή για την Ασφάλεια στη Θάλασσα (AMSA) είναι το σώμα που επιβλέπει τη ρύθμιση των διακρατικών και στο εξωτερικό θαλάσσιων

σκαφών στην Αυστραλία. Προς το παρόν δεν έχει παρθεί μια τελική απόφαση σχετικά με το πώς να ρυθμίζονται οι επισκευές, οι τροποποιήσεις ή η συντήρηση του σκάφους WIG (Prandolini, 1995).

3.5.1 Σχεδιασμός και Κατασκευή Νέου σκάφους WIG

Δεν υπάρχουν κανονισμοί ή πρότυπα σχεδιασμού για τα σκάφη WIG . Για το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός σκάφους WIG στο σημερινό πλαίσιο, ο κατασκευαστής θα πρέπει να γράφει πολλούς από τους κανόνες για το σχεδιασμό και τις προδιαγραφές ασφαλείας ως μέρος της πιστοποίησης του σκάφους. Για πολιτική πιστοποίηση, θα απαιτηθεί συνεργασία με την AMSA (Malyshev, 1995).

3.5.2 Πρότυπα σχεδίασης

Προς το παρόν, δεν υπάρχουν ειδικές προδιαγραφές σχεδιασμού για τα σκάφη WIG. Τα προτεινόμενα πρότυπα σχεδιασμού συνήθως περιλαμβάνουν ένα συνδυασμό των προτύπων για τα αεροσκάφη και τα πλοία.

Ο συνδυασμός αυτός συνήθως λαμβάνει τη μορφή του μεγαλύτερου μέρους του προτύπου αεροσκάφους με προσθήκες για αξιοπλοΐα και για εξοπλισμό ασφαλείας. Με κάποιο σκάφος ικανό για αυτόνομη λειτουργία για 3 ημέρες και το αναμενόμενο υψηλό επίπεδο επιβίωσης από ατύχημα, θα απαιτηθούν διατάξεις ασφαλείας παρόμοιες με της ναυτιλίας.

Η εφαρμογή συγκεκριμένου προτύπου σχεδιασμού δημιουργεί ορισμένα προβλήματα για το σχεδιασμό σκαφών WIG. Τα σκάφη WIG έχουν ένα εξαιρετικά μεγάλο εύρος για την πιθανή λειτουργία και ο σχεδιασμός τους μπορεί να περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό λειτουργικών τύπων. Ως εκ τούτου, καθορισμένοι κανόνες ενός προτύπου σχεδίασης μπορεί να είναι υπερβολικά περιοριστικοί για το σχεδιασμό των σκαφών WIG και για την μετέπειτα αγορά τους (Malyshev, 1995).

3.5.3 Απαιτήσεις πιστοποίησης

Ο IMO έχει διατυπώσει πρόσφατα τις απαιτήσεις για άλλα Ταχύπλοα. Αυτές καλύπτουν το σχεδιασμό και τη λειτουργία των δελφινιών, των hovercraft και των

ταχύπλοων καταμαράν. Οι απαιτήσεις αυτού του κώδικα δεν είναι πλήρως αποδεκτές για το σχεδιασμό του σκάφους WIG.

Στην Αυστραλία, μια σειρά από μικρούς κατασκευαστές έχουν προσπαθήσει να προχωρήσουν με το σχεδιασμό και τη διαδικασία πιστοποίησης. Ωστόσο, τα σκάφη WIG δεν έχουν πιστοποιηθεί για εμπορική εκμετάλλευση στην Αυστραλία (Sinitsyn and Maskalik, 1996).

3.5.3.1 Τρέχουσες απαιτήσεις

Οι τρέχουσες απαιτήσεις δεν έχουν ελεγχθεί ακόμη πλήρως. Η AMSA είχε μια σειρά από έρευνες σχετικά με το σχεδιασμό και τη λειτουργία των σκαφών WIG, όπως για τα οχηματαγωγά και σκάφη μεταφοράς και είναι υπεύθυνη για την πιστοποίηση των διακρατικών και των πλοία που ταξιδεύουν στο εξωτερικό. Πλοία με διακρατική λειτουργία είναι στην ευθύνη των τοπικών αρχών του κράτους.

Η AMSA έχει ορίσει ένα σύστημα με το οποίο τα σκάφη WIG θα πιστοποιούνται και θα λειτουργούν. Αυτό σύστημα βασίζεται στην «Προσέγγιση υπόθεσης Ασφαλείας».

Τα σκάφη WIG θα πιστοποιηθούν για λειτουργία σε μια συγκεκριμένη περιοχή, για ένα συγκεκριμένο ρόλο και για ιδιαίτερους τρόπους. Τα θέματα ασφάλειας που πρέπει να επιβληθούν θα είναι ειδικά για αυτές τις παραμέτρους. Αυτό σημαίνει ότι ο κανονισμός εξαρτάται πολύ από την λειτουργία και επιτρέπει στο σχεδιαστή κάποιο βαθμό ευελιξίας στη διαδικασία σχεδιασμού.

Περιορισμοί στη λειτουργία είναι επίσης ένα σημαντικό μέρος της διαδικασίας έγκρισης από το AMSA. Θα δοθεί έγκριση για τη λειτουργία των συγκεκριμένων σκαφών σε ένα χειριστή για μια συγκεκριμένη διαδρομή.

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα σχεδιασμού σε αυτή την περίπτωση είναι η ικανότητα του σκάφους να επιβιώσει μια αναγκαστική προσγείωση μετά από βλάβη του συστήματος σε διαφορετικές συνθήκες στη θάλασσα. Οι απαιτήσεις θα εξαρτώνται σχετικά με το είδος της λειτουργίας και τις συνθήκες κατάστασης της θάλασσας που μπορεί να αναμένεται στη θέση της λειτουργία (Sinitsyn and Maskalik, 1996).

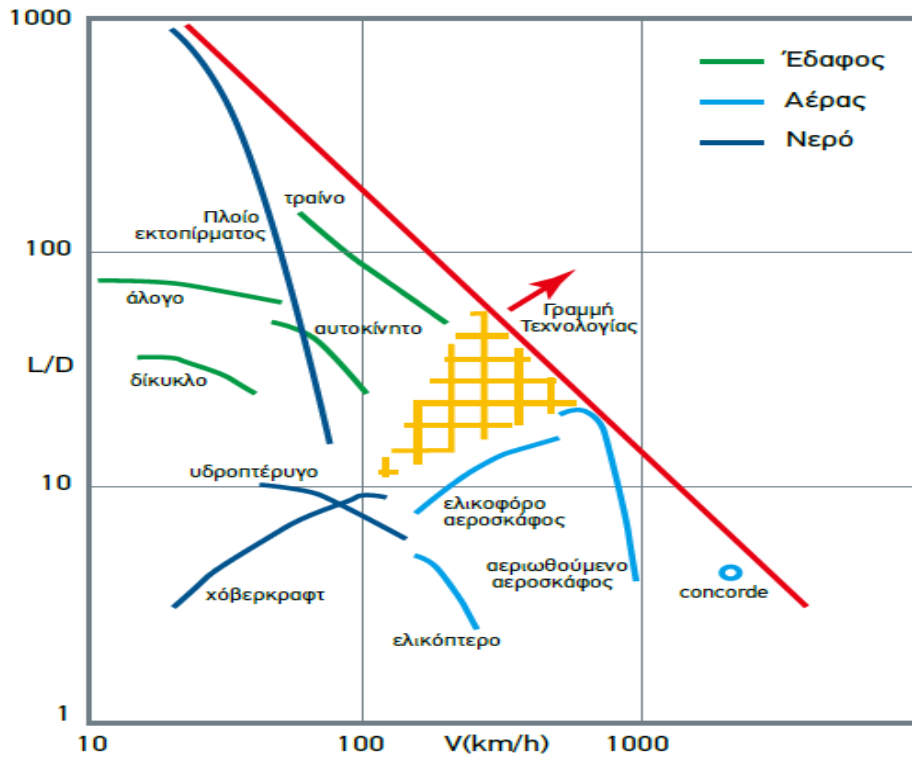
3.5.3.2 Στρατιωτικές απαιτήσεις έναντι των πολιτικών απαιτήσεων

Η τρέχουσα στρατιωτική πρακτική στον τομέα της ναυτιλίας ήταν να σχεδιάσει σε στρατιωτικά πρότυπα των ΗΠΑ. Για τα αεροσκάφη, τα πρότυπα σχεδιασμού έχουν απομακρυνθεί από τα στρατιωτικά πρότυπα προς τα πολιτικά πρότυπα με τις εξαιρέσεις και τις συμπληρωματικές απαιτήσεις για στρατιωτικές εφαρμογές.

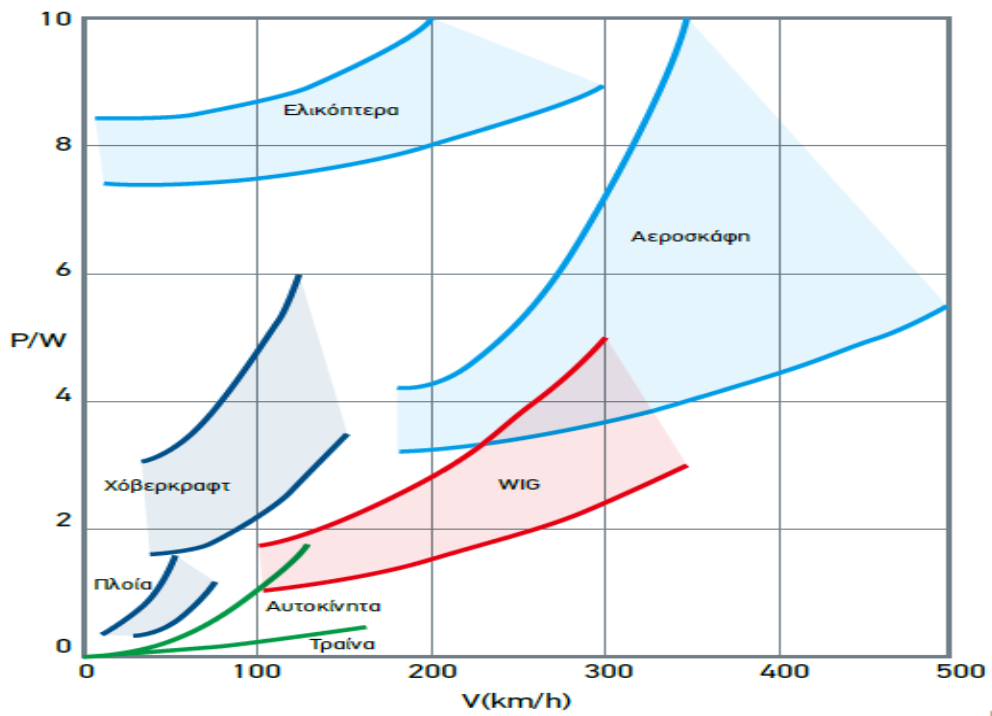
Η AMSA δεν έχει καμία ρυθμιστική εξουσία στα στρατιωτικά σκάφη. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, λόγω της υψηλής ταχύτητας του σκάφους WIG, η αλληλεπίδραση ενός στρατιωτικού σκάφους WIG με την πολιτική ναυτιλία χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Η αποφυγή και η πλοήγηση πρέπει να είναι ευθύνη του χειριστή του σκάφους WIG. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη οι κανονισμοί λιμανιών και οι διατάξεις για την απογείωση και την προσγείωση. Όλα αυτά τα ζητήματα θα πρέπει να ερευνηθούν περαιτέρω (Sinitsyn and Maskalik, 1996).

3.6 Τα πλεονεκτήματα των σκαφών WIG

Τα σκάη WIG διαθέτουν μια σειρά από πλεονεκτήματα που οφείλονται στα μοναδικά χαρακτηριστικά τους. Η υψηλότερη ταχύτητα τους σε σχέση με οποιοδήποτε θαλάσσιο σκάφος τα κάνει ελκυστικά για κάθε εφαρμογή. Στο διάγραμμα Karman- Gabrielli της Εικόνας 15 μπορούμε να δούμε ότι πετυχαίνουν υψηλές ταχύτητες διατηρώντας παράλληλα υψηλή απόδοση (υψηλός λόγος άντωσης προς οπισθέλκουσα), άρα και οικονομία.



Εικόνα 15: υψηλός λόγος άνωσης προς οπισθέλκουσα.



Εικόνα 16: Η απαιτούμενη ισχύς ανά βάρος για δεδομένη ταχύτητα.

Η οικονομία στη χρήση τους συνίσταται επίσης στο γεγονός ότι δεν χρειάζονται αεροπορικές εγκαταστάσεις, όπως αεροδιαδρόμους, μειώνοντας σημαντικά το λειτουργικό κόστος. Μπορούν να απογειωθούν από οποιοδήποτε σημείο και να προσεγγίσουν μέρη όπως για παράδειγμα μικρά νησιά χωρίς υποδομές, ιδιότητα που τα κάνει ιδιαίτερα εύχρηστα για τη χώρα μας.

Τα πλεονεκτήματα των σκαφών WIG είναι πάρα πολλά σε σχέση με αυτά των λοιπών ταχύπλοων ή των αεροσκαφών.

Πιο συγκεκριμένα:

Στον τομέα της οικονομίας:

- ✚ Καταναλώνουν το 50% των καυσίμων από ένα αεροσκάφος και μόνο το 15% του καυσίμου ενός γρήγορου πλοίου
- ✚ Έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης
- ✚ Έχουν μικρή περίοδο απόσβεσης της αξίας του σκάφους

Στον τομέα της παροχής υπηρεσιών:

- ✚ Έχουν ταχύτητα ταξιδιού 120 χιλ./ώρα με 400 χιλ./ώρα (ανάλογα με το μέγεθος του σκάφους)
- ✚ Δεν προκαλούν ναυτία λόγω ύψους στους επιβαίνοντες
- ✚ Είναι εύκολα στον χειρισμό

Στον τομέα της ασφάλειας:

- ✚ Έχουν αυτόματη σταθεροποίηση
- ✚ Δεν έχουν ανάγκη ειδικών διαδρόμων προσγείωσης/προσθαλάσωσης και έτσι σε περίπτωση βλάβης στην μηχανή, το σκάφος προσθαλασσώνεται ή προσγειώνεται σε οποιαδήποτε άλλη επιφάνεια
- ✚ Έχουν άμεση απόκριση στην ανάγκη αλλαγής πορείας και με το σύστημα DHC (Direct Height Control System) έχουν υψηλή ικανότητα ελιγμών σε μικρό χώρο και με μικρές γωνίες στροφής σε οποιοδήποτε ύψος
- ✚ Δεν βυθίζονται
- ✚ Δεν υπάρχει κίνδυνος αποσυμπίεσης από κάποια θραύση ή τρύπα στην καμπίνα, όταν το σκάφος πετά πολύ κοντά στα κύματα

Στον τομέα της οικολογίας:

- ✚ Έχουν χαμηλή κατανάλωση καυσίμου άρα προκαλούν μικρή μόλυνση στον αέρα
- ✚ Έχουν κλειστό κύκλωμα νερού για την ψύξη της μηχανής και έτσι δε μολύνουν την θάλασσα
- ✚ Δημιουργούν ελάχιστο κυματισμό (απόνερα)
- ✚ Δεν καταστρέφουν την χλωρίδα όταν χρησιμοποιούνται σε ποτάμια
- ✚ Δεν καταστρέφουν την υποθαλάσσια ζωή μιας και δεν ακουμπά στο νερό
- ✚ Έχουν χαμηλό εξωτερικό θόρυβο

Στον τομέα της εμπορικής εκμετάλλευσης:

- ✚ Εξαιρετικά χαμηλό κόστος λειτουργίας εξαιτίας των χαμηλών απαιτήσεων σε κόστος από την μικρή σε ιπποδύναμη μηχανή συγκρινόμενη με οποιοδήποτε άλλο σκάφος με παραπλήσια ταχύτητα. Χαμηλό κόστος συντήρησης αφού η κατασκευή του σκάφους είναι από υλικά που δεν διαβρώνονται
- ✚ Υψηλές ταχύτητες πολύ πιο μεγάλες από οποιοδήποτε άλλο σκάφος θαλάσσης
- ✚ Υψηλή ποιότητα στην άνεση ταξιδιού ισοδύναμη με μεγάλα μεταφορικά αεροσκάφη στον τομέα της άνεσης και της επίπεδης πτήσης
- ✚ Εξαιρετικά υψηλά επίπεδα ασφαλείας με πολύ καλή συμπεριφορά στους χειρισμούς και στο σταμάτημα του σκάφους
- ✚ Δεν έχει κανένα κόστος που να αφορά αεροδρόμια, ειδικές υποδομές ή περιοχές προσγείωσης
- ✚ Ακόμη και σε εξαιρετικές καταστάσεις, όπως βλάβη στη μηχανή του, το σκάφος επιστρέφει απαλά και με ασφάλεια στο νερό, αφού το στρώμα αέρα από κάτω το αρχίζει να ελαττώνεται βαθμιαία όσο η ταχύτητα του σκάφους πέφτει (Γκουγκουλίδης, 2012)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΚΑΦΩΝ WIG ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

4.1 Χρήσεις σκαφών WIG

Η πρώτη χρήση των σκαφών WIG ήταν ως επιβατηγά σκάφη, όμως τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους τα έκαναν χρήσιμα και σε άλλες εφαρμογές όπως στρατιωτικές και παραστρατιωτικές.

Η κύρια χρήση τους στην εμπορική ναυτιλία είναι η μεταφορά επιβατών. Με την παρούσα τεχνολογία ιδανικά δρομολόγια είναι αυτά της τάξεως μίας με δύο ωρών και μικρού μεγέθους σκάφη θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως θαλάσσια ταξί, τουριστικά σκάφη ξεναγήσεων κλπ.

Επίσης, τα σκάφη WIG είναι ιδανικά για τη μεταφορά ευαίσθητων φορτίων υψηλής προτεραιότητας, στα οποία ο χρόνος είναι καθοριστικός ή ακόμα και για τη μεταφορά ταχυδρομείου σε απομονωμένες περιοχές (Kubo et al, 2005).

Όσον αφορά τις στρατιωτικές εφαρμογές τα σκάφη WIG θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την προσβολή στόχων επιφανείας και ξηράς. Με κατάλληλη διαμόρφωση θα μπορούσαν να εκτελέσουν ανθυποβρυχιακές αποστολές ποντίζοντας υδρόφωνα, σόναρ ή ακόμα και νάρκες.

Άλλες χρήσεις που δεν απαιτούν ειδικό εξοπλισμό είναι οι αμφίβιες επιχειρήσεις. Μπορούν να μεταφέρουν γρήγορα και με ασφάλεια στρατεύματα αλλά και υλικό, το οποίο μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το μέγεθος του σκάφους και να φτάνει ακόμα και σε τεθωρακισμένα οχήματα. Γενικότερα, είναι σκάφη με μεγάλο ωφέλιμο φορτίο σε σύγκριση με άλλα θαλάσσια οχήματα του ίδιου μεγέθους. Έτσι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τακτικές μεταφορές κλείνοντας το κενό μεταξύ πλοίων και αεροσκαφών, όπως για παράδειγμα τα C-5 Galaxy.

Τα σκάφη WIG μπορούν να εντοπιστούν επιτυχώς μόνο από αεροσκάφη εναέριας επιτήρησης, ενώ τα ίδια είναι άριστα συστήματα για αναγνώριση και επιτήρηση θαλάσσιου χώρου.

Επιπλέον, τα σκάφη αυτά είναι το ιδανικό μέσο για έρευνα και διάσωση σε περίπτωση ναυτικού ατυχήματος. Έχουν πολύ υψηλότερη ταχύτητα σε σχέση με τα

συμβατικά πλοία που είναι εξαιρετικά αργά, ενώ από την άλλη τα γρήγορα αεροπλάνα δεν μπορούν να παραμείνουν στο χώρο του συμβάντος.

Άλλες παραστρατιωτικές εφαρμογές είναι η φύλαξη συνόρων, η δίωξη λαθρεμπορίου και ναρκωτικών, η καταπολέμηση της πειρατείας, καθώς και η χρήση τους από τις δυνάμεις ακτοφυλακής.

Επίσης, τα σκάφη WIG θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και φυσικών καταστροφών, όπως αποστολές παροχής ιατρικής βοήθειας ή εντοπισμό και καταπολέμηση πετρελαιοκηλίδων (Stinton, 2009). Τέλος, υπάρχει ακόμα και πρόταση για την εφαρμογή τους στην οριζόντια εκτόξευση διαστημοπλοίων (Nebylon & Tomita, 2005).

Με την Απόφαση Α.910(22) που υιοθετήθηκε στην 22^η Σύνοδο του IMO στις 29 Νοεμβρίου 2001 τροποποιήθηκε η Διεθνής Σύμβαση με την ονομασία «Περί των Διεθνών Κανονισμών προς Αποφυγήν Συγκρούσεων εν Θαλάσσει, 1972», προκειμένου να ενταχθούν σε αυτήν τα σκάφη τεχνολογίας WIG.

Η χρήση τους όμως εξακολουθεί να είναι περιορισμένη, καθώς ο αριθμός των σκαφών που βρίσκονται σήμερα σε υπηρεσία ως επιβατηγά, μικρού κυρίως μεγέθους είναι ιδιαίτερα χαμηλός. Τα σκάφη τύπου Lippisch έχουν τη μεγαλύτερη εμπορική επιτυχία, αν και υπάρχουν και κάποια ρωσικά σχέδια όπως το Aquaglide-5 της ΑΤΤΚ, που είναι σε υπηρεσία. Η ΑΤΤΚ έχει αναπτύξει δύο σειρές σκαφών με τις ονομασίες Aquaglide (WIG τύπου Α) και ΜΡΕ (WIG τύπου Β).

Τον Απρίλιο του 2010 το Μ/Ν Airfish 8-001 έγινε το πρώτο σκάφος WIG που μπήκε σε υπηρεσία με τη σημαία της Σιγκαπούρης κατασκευασμένο από την WidgetWorks. Τον Οκτώβριο του 2011 ολοκληρώθηκε η κατασκευή του σκάφους WSH 500 της Κορεάτικης Wing Ship Technology, το οποίο βρίσκεται στο στάδιο των δοκιμών. Τα μέχρι τώρα αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά και αυτό οδήγησε στη συνεργασία με την Samsung C&T, καθώς και στην υπογραφή Μνημονίου Συναντίληψης (Memorandum of Understanding - MoU) με την Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering τον Φεβρουάριο του 2012, για την εμπορευματοποίηση των σκαφών, καθώς και την ανάπτυξη και συμπαραγωγή ενός σκάφους 200 και 350 θέσεων αντίστοιχα. Το σκάφος WSH 500 είναι ένα σκάφος 50 θέσεων που ενσωματώνει την τεχνολογία hoverwing.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα πρόταση αποτελεί και το Ekranoplan 40/50, το οποίο αποτελεί μια μικρότερη έκδοση του Orlyonok. Το σκάφος που προσφέρεται από την εταιρεία Alexeen CHDB βγαίνει σε δύο εκδόσεις, με 42 και 50 επιβάτες αντίστοιχα.

Το σκάφος διατηρεί την ίδια διάταξη μηχανών με το Orlyonok (δύο προωπίες μηχανές για απογείωση και μία στο κάθετο ουραίο για πορεία), ενώ παράλληλα έχει αμφίβιες δυνατότητες.

Όσον αφορά τη χρήση των σκαφών WIG στην Ελλάδα εδώ και λίγα χρόνια γίνεται λόγος για τη δρομολόγηση σκαφών WIG στη γραμμή Πειραιάς-Κρήτη, χωρίς όμως να έχει υλοποιηθεί κάποιο από τα δρομολόγια αυτά. Η εταιρεία που προωθεί τη χρήση των σκαφών WIG στην Ελλάδα είναι η Flightboat Hellas, η οποία προσπάθησε χωρίς επιτυχία να εισαγάγει τα σκάφη Hoverwing 80. Το αρχικό σχέδιο περιλάμβανε τη δρομολόγηση των σκαφών στην γραμμή Πειραιάς- Ηράκλειο, απόσταση που υπολογιζόταν ότι θα καλυπτόταν σε 1 ώρα και 30 λεπτά, ενώ η τιμή του εισιτηρίου θα ήταν παραπλήσια αυτής των ταχύπλοων πλοίων.

Οι προσπάθειες για την εισαγωγή των σκαφών WIG στην ελληνική ακτοπλοΐα συνεχίζονται και εκτιμάται ότι η εισαγωγή σκαφών WIG σε υπηρεσία είναι θέμα χρόνου. Όσον αφορά την ελληνική νομοθεσία, το 2004 υιοθετήθηκε η τροποποίηση που έκανε ο IMO το 2001 στη Διεθνή Σύμβαση «Περί των Διεθνών Κανονισμών προς Αποφυγήν Συγκρούσεων εν θαλάσση, 1972», με το Προεδρικό Διάταγμα 171/2004.

Η Ρωσία στον τομέα των σκαφών WIG εξέφρασε το 2010 την ανάγκη ένταξης στο οπλοστάσιό της σκαφών τεχνολογίας WIG. Ένα από τα σχέδια αυτά αφορά το σκάφος Be-2500, το οποίο κινείται από έξι κινητήρες, έχει ωφέλιμο φορτίο 1.000 τόνων, μήκος 123 μέτρα και εκπέτασμα πτερύγων 156. Τέλος, υπάρχει σχέδιο για ένα ακόμη μεγαλύτερο σκάφος με συνολικά 23 μηχανές, το Be-5000.

Από την άλλη πλευρά, οι ΗΠΑ έχουν ως στόχο την ανάπτυξη μιας μεραρχίας σε πέντε ημέρες, ή πέντε μεραρχιών σε τριάντα ημέρες οπουδήποτε στον κόσμο. Ένας τέτοιος στόχος είναι εφικτός μόνο με τη χρήση σκαφών WIG μεγάλου μεγέθους. Η εταιρεία Boeing Phantom Works έχει σχεδιάσει το σκάφος Pelican, διπλάσιου σχεδόν μεγέθους από το μεγαλύτερο σε υπηρεσία σκάφος σήμερα (An-225) με εκπέτασμα 153 μέτρων και μεταφορική ικανότητα 1.400 τόνων. Το σκάφος θα μπορεί να μεταφέρει 17 άρματα μάχης M1 Abrams (Rozhdestvensky, 2006).

Ένα άλλο σχέδιο της εταιρείας Aerocon, το Dash 1.6, θα είναι ικανό να μεταφέρει 5.000 τόνους φορτίου με ταχύτητα 400 κόμβων. Το συνολικό του μέγεθος ισούται με δώδεκα Boeing 747, ενώ είναι σχεδιασμένο για υπερωκεάνια ταξίδια.

Τέλος, άλλα σχέδια αφορούν το Rotor WIG, ένα υβριδικό σκάφος το οποίο θα χρησιμοποιεί στροφέιο ελικοπτέρου προκειμένου να απογειωθεί, ενώ στη συνέχεια θα κινείται όπως και τα συμβατικά σκάφη WIG.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι πρακτικές εφαρμογές του σκάφους WIG έχουν ερευνηθεί και αναπτυχθεί από το αρχές του 1960, αλλά σε αυτό το διάστημα αυτά τα σκάφη δεν έχουν πετύχει την αποδοχή ως οχήματα μεταφοράς σε πολιτικές ή στρατιωτικές εφαρμογές. Δεν υπάρχει προφανής αιτία για την αποτυχία της ανάπτυξής τους. Ενώ υπάρχουν ορισμένες τεχνικές δυσκολίες να ξεπεραστούν, καμία από αυτές δεν φαίνεται ανυπέρβλητες και ενώ υπάρχουν κάποιοι λειτουργικοί περιορισμοί, δεν είναι τόσο σοβαροί έτσι ώστε τα σκάφη αυτά να μην μπορούν να φανούν χρήσιμα.

Η μεγάλη διαμάχη για κάθε νέα τεχνολογία είναι μεταξύ του κόστους της ανάπτυξης και τα επακόλουθα κέρδη της τεχνολογίας. Η ανάπτυξη του σκάφους WIG θα βασιστεί στα ανεπτυγμένα σκάφη παρέχοντας λύσεις μεταφοράς που είναι αισθητά ανώτερες ή αισθητά διαφορετικές από τις άλλες υφιστάμενες ή πιθανές μορφές μεταφορών. Μέχρι και τώρα, πιθανοί ιδιωτικοί και κυβερνητικοί επενδυτές δεν έχουν πειστεί για τα οφέλη της ανάπτυξης WIG σκαφών.

Τα σκάφη WIG έχουν υπερασπιστεί με βάση το ότι είναι πιο αποδοτικά από τα αντίστοιχα αεροσκάφη και πιο γρήγορα από τα αντίστοιχα θαλάσσια σκάφη. Αν και θεωρητικά αποκτάται βελτίωση της αποτελεσματικότητας στην πτήση υπό την επίδραση εδάφους, η απόδοση αυτή μειώνεται από τους συμβιβασμούς που απαιτούνται για το σχεδιασμό του σκάφους WIG. Τέτοιοι συμβιβασμοί περιλαμβάνουν ενισχυτικές δομές κύτους και μεγαλύτερο έλεγχο δυνάμεων. Ο βαθμός στον οποίο βελτιώνεται η συνολική απόδοση μπορεί να καθοριστεί μόνο από την άμεση σύγκριση βελτιστοποιημένων σχεδίων ισοδύναμων σκαφών WIG και αεροσκαφών. Μόνο μέσω μιας τέτοιας σύγκρισης θα μπορούσε να προσδιοριστεί η αξία της βελτίωσης της απόδοσης και το κόστος για την απόκτηση αυτής της απόδοσης.

Τα σκάφη WIG μπορούν να αναπτυχθούν για να ταξιδεύουν σε σημαντικά υψηλότερες ταχύτητες από τα αντίστοιχα θαλάσσια σκάφη. Μπορεί να υπάρχουν και εφαρμογές για θαλάσσια σκάφη, όπου η ταχύτητα του πλοίου είναι η πιο κρίσιμη προδιαγραφή.

Υπάρχουν επίσης μειονεκτήματα και περιορισμοί στη λειτουργία τους και μια σειρά από τομείς στους οποίους απαιτείται περαιτέρω έρευνα προκειμένου να κατασκευαστεί ένα πρακτικό όχημα.

Οι περιορισμοί του οχήματος κατά κύριο λόγο ασχολούνται με την κατάσταση στη θάλασσα. Η πτήση πάνω από μεγάλη θαλασσοταραχή, ενώ είναι δυνατή, είναι σχετικά αναποτελεσματική. Άλλα μειονεκτήματα αφορούν κατά κύριο τη λειτουργία δομών αεροσκαφών σε θαλάσσια περιβάλλοντα. Η διάβρωση σε κατασκευές που φέρουν ελαφρύ φορτίο ελαφρύ, μαζί με την χρήση των εκτιθέμενων κινητήρων, θα απαιτήσουν ένα σχετικά υψηλό κόστος συντήρησης.

Η σταθερότητα και ο έλεγχος, η αεροδυναμική ανάλυση και τα συστήματα είναι όλα περιοχές που έχουν παρουσιάσει δυσκολίες για τους σχεδιαστές των σκαφών WIG. Αυτές οι δυσκολίες έχουν ξεπεραστεί από τις πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα των αερομεταφορών. Επίσης, θεωρείται ότι η διαθέσιμη τεχνολογία σε αυτά τα πεδία είναι περισσότερο από επαρκής για χρήση σε σκάφη WIG.

Άλλοι τομείς στους οποίους απαιτείται περαιτέρω έρευνα είναι η πρόωση, ο προσδιορισμός του φορτίου κύτους και οι αισθητήρες. Η χρήση των κινητήρων που εκτίθενται στο εξαιρετικά διαβρωτικό θαλάσσιο περιβάλλον έχει υψηλό κόστος συντήρησης και μειωμένη αξιοπιστία. Ο ακριβής προσδιορισμός των φορτίων κύτους στις φάσεις απογείωσης και προσγείωσης θα οδηγήσει σε πιο αποτελεσματική στατική μελέτη. Αυξημένη ασφάλεια και καλύτερη απόδοση πτήσης μπορεί να προκύψουν από αισθητήρες ανίχνευσης της κατάστασης της θάλασσας, του υψόμετρου και των εμποδίων.

Η έρευνα αυτή θα περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο την προσαρμογή της τρέχουσας τεχνολογίας στις ειδικές απαιτήσεις του σκάφους WIG. Δεν υπάρχουν εμφανή τεχνολογικά εμπόδια όσον αφορά τον επιτυχή σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία του σκάφους WIG.

Βιβλιογραφία

- Γκουγκουλίδης Γ. (2012). «Πτερυγόπλοια ανάμεσα στα κύματα και τα σύννεφα». *Τεχνολογία*. Μάιος 2012.
- ARPA. Advanced Research Projects Agency, (1994). “*Wingship Investigation – Volume 1 – Final Report*”, Advanced Research Projects Agency (ARPA) Report, 30 September 1994.
- Bogdanov, A. (1996) “*Discussions on the Operational Aspects of WIG Craft at the IMO Sub-Committee on Safety of Navigation*” Ekranoplans and Very Fast Craft, Workshop Proceedings of.
- Bordonov, A. (1996). In the discussion to the paper by Kirillovikh, V. (1996) “*Discussions on the Operational Aspects of WIG Craft at the IMO Sub-Committee on Safety of Navigation*” Ekranoplans and Very Fast Craft, Workshop Proceedings of, 1996.
- Bogdanov, A. and Maskalik, A. (1996) “*Some Results on the Civil Ekranoplans Certification Works*” Ekranoplans and Very Fast Craft, Workshop Proceedings of, 1996.
- Carter, A. (1961) “*Effect of Ground Proximity on the Aerodynamic Characteristics of AR 1 Aerofoils With and Without End Plates*”, NASA TN D-970, October 1961.
- Carter, A., (1970). “*Effects of Ground Proximity on the Longitudinal Aerodynamic Characteristics of an Unswept AR 10 Wing*”, NASA TN D-5662, February 1970.
- Fellows, J., Harner, M., Pickett, J. and Welch, M. (1996) “*Airlift 2025: The First With the Most*”, Research Paper Presented to Air Force 2025, August 1996.

- Fischer, H. and Matjasic, K. (1996) “*Some Thoughts About the Use of Lift-Off-Aids as One Condition for the Economic Operation of WIG Ships*”, Ekranoplans and Very Fast Craft, Workshop Proceedings of, 1996.
- Fischer H, Matjasic K., (1998), “*From Airfisch to Hoverwing. In: Proceedings of the international workshop WISE up to ekranoplan GEMs*”. Sydney, Australia: The University of New South Wales.
- Halloran, M, O'Meara, S, (1999), “*Wing in Ground Effect Craft Review*”, DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory, Australia.
- Heber, C. and Taylor, D. (1981) “*The Power-Augmented Ram Wing-In-Ground Effect Concept as an Airborne Amphibious Quick Reaction Force*”, AIAA Paper 81-2077.
- Hooker, S., (1996) “*Some Thoughts on the Commercialisation of Ekranoplans and Wingships*” Ekranoplans and Very Fast Craft, Workshop Proceedings of, 1996.
- Journal of Aircraft, (1977), “*Feasibility Study of a Hybrid Airship Operating in Ground Effect*”, vol. 14.
- Journal of Hydronautics, (1980), “*Historical Review of WIG vehicles*”, vol. 14 no 3.
- Kirillovikh, V. (1996) In the discussion to the paper by Bogdanov, A. “*Discussions on the Operational Aspects of WIG Craft at the IMO Sub-Committee on Safety of Navigation*” Ekranoplans and Very Fast Craft, Workshop Proceedings of, 1996, pp 213-229.
- Kubo, S., Akimoto, H., Ohtsubo, K., Batkhurel, G., & Manabe, K. (2005). *A New Field of Wing-In-Surface-Effect Craft*. International Conference on Fast Sea Transportation FAST'2005. St. Petersburg.
- Leslie, J. (1996) “*The Commercialisation of Sea Wing Ground Effect Vessels*”, Ekranoplans and Very Fast Craft, Workshop Proceedings of, 1996.
- Malyshev, M. (1995) “*Experience of Using Ekranoplans in Russian Navy*”, Proceedings of a Workshop on Twenty-First Century Flying Ships, The University of New South Wales, November 1995.

- Maskalik, D. Sinitsyn, (2000), *“EKRANOPLANS Peculiarity of the theory and design”*, St. Petersburg: Sudostroyeniye.
- Maskalik, D. Sinitsyn, (2000), *“Amphistar First Civilian Ekranoplan”*, St. Petersburg: Sudostroyeniye.
- Malyshev, M., (1995), *“Experience of Using Ekranoplans in Russian Navy, Proceedings of a Workshop on Twenty-First Century Flying Ships”*, The University of New South Wales.
- Nebylov, A., & Tomita, N. (2005). *Project Of Ekranoplane Application For Spaceplane Assist At Horizontal Launch And Landing*. International Conference on Fast Sea Transportation FAST’2005. St. Petersburg.
- Prandolini, L. (1995) *“Preface”* to Proceedings of a Workshop on Twenty-First Century Flying Ships, The University of New South Wales, November 1995.
- Roskam, J., (1990) *“Airplane Design – Part VIII”*, The University of Kansas.
- Rozhdestvensky, K V., (1995), *“Ekranoplans- Flying Ships of the Next Century, Proceedings of a Workshop on Twenty-First Century Flying Ships”*, The University of New South Wales.
- Rozhdestvensky K V., (1996), *“Ekranoplans – The GEMs of Fast Water Transport”*, Trans ImarE, Vol 109, Part 1.
- Rozhdestvensky, K. V. (2006). Wing-In-Ground Effect Vehicles. Progress in Aerospace Sciences(42), 211–283.
- Sinitsyn, D. and Maskalik, A., (1996) *“Summary of the Construction of the First Commercial Ekranoplan ‘Amphistar’ ”*, Ekranoplans and Very Fast Craft, Workshop Proceedings of, 1996.
- Sinitsyn, D., Maskalik, A. and Litinsky, L., (1996) *“The Present Day State and Prospect for the Development of Commercial Ekranoplans”*, Ekranoplans and Very Fast Craft Workshop Proceedings of, 1996.
- Stinton, D. (2009). Emergency And Disaster Relief - Use Of Surface-Effect Aircraft. Air Cushion Vehicles and Surface Effect Craft. London: The Royal Institution of Naval Architects.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	4
Abstract	5
Πρόλογος.....	6
Κεφάλαιο 1: Τεχνολογία σκαφών τύπου WIG.....	7
1.1 Θεωρία.....	7
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	7
1.3 Δυνητικά οφέλη των WIG αεροσκαφών	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΙΑ	14
2.1 Θεωρία πτήσης	15
2.1.1 Άνωση και οπισθέλκουσα	15
2.1.2 Κατώρευμα.....	17
2.1.3 Γεωμετρία.....	17
2.2 Επίδραση εδάφους.....	18
2.2.1 Άνωση, Οπισθέλκουσα και Κατώρευμα	19
2.3 Ροπή Πρόνευσης (Pitching Moment)	20
2.3.1 Μέγιστη Άνωση.....	22
2.3.2 Επίδραση του ύψους πάνω από το έδαφος.....	22
2.3.3 Επίδραση σε διαφορετικούς τύπους τμημάτων φτερών και κατόψεις φτερών	24
2.4 Θεωρητικά οφέλη της επίδρασης εδάφους.....	24
2.4.1 Οφέλη αποτελεσματικότητας σε σύγκριση με τα αεροσκάφη	25
2.4.2 Σύγκριση με τα πλωτά σκάφη	26
2.5 Σταθερότητα και έλεγχος στην επίδραση εδάφους	27
2.5.1 Σταθερότητα Ύψους.....	27
2.5.2 Σταθερότητα πρόνευσης.....	28
2.5.3 Έλεγχος κατεύθυνσης και δυνατότητα ελιγμών.....	29
2.5.4 Σταθερότητα ταχύτητας.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ WIG	31
3.1 Φιλοσοφίες σχεδιασμού	31
3.2 Επιδόσεις	32
3.2.1 Παράμετροι σχεδιασμού: Απόδοση Air Borne	32

3.2.2 Παράμετροι σχεδιασμού: Απόδοση θαλάσσιων μεταφορών	36
3.2.3 Παράμετροι σχεδιασμού: Απόδοση σε αέρα και θάλασσα	40
3.3 Παραγωγή WIG - Απόδοση σκάφους	41
3.3.1 Απόδοση μεταφοράς.....	41
3.3.2 Εύρος και ωφέλιμο φορτίο	42
3.3.3 Κατάσταση θάλασσας	45
3.3.4 Απόδοση πτήσης	45
3.4 Περιορισμοί.....	46
3.4.1 Κατάσταση θάλασσας	46
3.4.2 Σταθερότητα και έλεγχος	49
3.4.3 OGE Λειτουργία.....	50
3.4.4 Ταχύτητα	50
3.4.5 Πρόωση	53
3.5 Κανονισμός	54
3.5.1 Σχεδιασμός και Κατασκευή Νέου σκάφους WIG	55
3.5.2 Πρότυπα σχεδίασης.....	55
3.5.3 Απαιτήσεις πιστοποίησης.....	55
3.6 Τα πλεονεκτήματα των σκαφών WIG.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΚΑΦΩΝ WIG ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	61
4.1 Χρήσεις σκαφών WIG και πρακτικές εφαρμογές	61
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	64
Βιβλιογραφία.....	66