



**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΑΦΩΝ ΤΥΠΟΥ WIG  
ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΑΜΑΝΑΤΙΑΔΗΣ ΜΑΝΤΙΣ, ΒΕΝΟΥ ΕΛΕΝΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΣΟΡΜΠΑΤΖΙΔΗΣ ΑΝΕΣΤΗΣ**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2013**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΑΦΩΝ ΤΥΠΟΥ WIG  
ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΑΜΑΝΑΤΙΔΗΣ ΜΑΝΤΙΣ, ΒΕΝΟΥ ΕΛΕΝΗ**

**ΑΜ : 4390, 4511**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

## Περίληψη

Το φαινόμενο “Πτέρυγα σε Επίδραση Επιφανείας” (Wing in Ground Effect) είναι γνωστό στους αεροπόρους από τότε που κατασκευάστηκαν τα πρώτα αεροσκάφη. Το φαινόμενο WIG δημιουργεί μια αύξηση στην άντωση που ασκείται στο αεροσκάφος καθώς αυτό προσεγγίζει το έδαφος για να προσγειωθεί, μαζί με μείωση της οπισθέλκουσας. Αυτό οφείλεται στο ότι αέρας παγιδεύεται ανάμεσα στο αεροσκάφος και το έδαφος. Η πρόσθετη αυτή άντωση μπορεί να αλλάξει τη γωνία προσβολής του αεροσκάφους, προκαλώντας διαμήκη αστάθεια. Αν δεν διορθωθεί υπάρχει το ενδεχόμενο να συμβεί βύθιση του αεροσκάφους, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει στη συντριβή του με πιθανές ανθρώπινες απώλειες. Όμως επίδραση του εδάφους θεωρείται ευρέως ως ένα φαινόμενο από το οποίο τα περισσότερα αεροσκάφη μπορούν να επωφεληθούν με τη μορφή μιας καλύτερης προσγείωσης.

Η περίσσεια άντωσης 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 επηρεαζόμενη από την επίδραση του εδάφους είναι πιο αποτελεσματική από την συμβατική πτήση οδήγησε τους ανθρώπους να αναπτύξουν σκάφη που εκμεταλλεύονται αυτό το όφελος με το να πετούν κοντά στο έδαφος.

Η ανάπτυξη ενός σκάφους τεχνολογίας WIG εμφανίζεται τα τελευταία 50 χρόνια, κυμαινόμενη από μικρής κλίμακας σκάφη αναψυχής, σε μεγάλης κλίμακας στρατιωτικά σκάφη. Ωστόσο τέτοια σκάφη δεν έχουν γίνει επιτυχημένα προϊόντα παραγωγής. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στους περιορισμούς που υπάρχουν στα υπάρχοντα σχέδια αεροσκαφών τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG με το οποίο έχουν ελαχιστοποιηθεί τα μειονεκτήματα της λειτουργικότητας του στο μέγιστο δυνατό βαθμό.

## **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 lift that is exerted on an aircraft as it approaches the ground in order to land, when vortices of air are trapped between the aircraft and the ground. This additional lift can change the angle of attack of the aircraft, causing longitudinal instability and an increase in drag. If not corrected there is a possibility that sink to happen, which could lead to a plane crash with possible casualties. However the ground effect is widely regarded as a phenomenon from 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 conventional flight led people to develop aircrafts that exploit this advantage by flying close to the ground.

The development of WIG aircraft has taken place over the last 50 years, ranging from small recreational craft to large-scale military vessels. However, 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 may reduce 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 of this, it is possible to design a WIG aircraft in which drawbacks have been minimized, to the maximum potential for improvement.

## Πρόλογος

Το φαινόμενο «Πτέρυγα σε Επίδραση Επιφανείας» (WIG) είναι το χαρακτηριστικό σε αυτού του τύπου αεροσκάφη, λόγω των δινών 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 να αποβεί 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 τεχνολογίας 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 παρουσιάζουμε τη θεωρία της πτήσης και την επίδραση του εδάφους. Επίσης, αναφερόμαστε σε θέματα ευστάθειας, σε έννοιες, όπως η ροπή πρόνευσης, καθώς και στα θεωρητικά οφέλη του φαινομένου της επίδρασης του εδάφους.

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

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται οι προοπτικές λειτουργίας των σκαφών τεχνολογίας WIG στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά στη χρήση τους, στην παρούσα κατάσταση στην Ελλάδα και τις προοπτικές του σκάφους τεχνολογίας WIG για το ελληνικό περιβάλλον.

# 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 άντωση, επειδή η κίνηση τους 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 άντωση, η οποία επιτρέπει στο αεροσκάφος να ξεπεράσει τη δύναμη της βαρύτητας που επενεργεί 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 αεροσκάφη τεχνολογίας WIG, 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 γενικότερα (Fischer & Matjasic, 1998).

Η παρουσία ενός ορίου κοντά σε μια πτέρυγα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της στατικής πίεσης στην κάτω επιφάνεια αυξάνοντας έτσι την παραγόμενη άντωση. Το πόσο αποτελεσματική είναι μια πτέρυγα καθορίζεται από τον συντελεστή άντωσης, που για αεροσκάφη τεχνολογίας τύπου WIG αυξάνεται λόγω της επίδραση του εδάφους. Επομένως, είναι δυνατόν να σχεδιαστούν σκάφη τα οποία πετούν σε χαμηλά ύψη, 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 τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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 προκάτοχοί τους. Υψηλότερες ταχύτητες επιτεύχθηκαν με τα ιπτάμενα δελφίνια και τα αερόστρωμα<sup>1</sup>. Η πρακτική μέγιστη ταχύτητα όλων των θαλάσσιων σκαφών που αναφέρονται μέχρι σήμερα βρίσκεται περίπου στα 100 km/h. Το μειονέκτημα για πλοία μεγάλης ταχύτητας είναι η αυξημένη απαίτηση ισχύος και κατανάλωσης καυσίμου που προκαλείται λόγω αυξημένης οπισθέλκουσας τριβής με το νερό. Η προφανής λύση ήταν να ελαχιστοποιηθεί η επαφή με την επιφάνεια του νερού και η προσέγγιση αυτή λειτουργεί για τα ιπτάμενα δελφίνια και τα αερόστρωμα. Δυστυχώς, η ταχύτητα του ιπτάμενου δελφινιού καθώς και ενός αερόστρωμου περιορίζεται από την κατάσταση της θάλασσας και την διαμήκη σταθερότητα του σκάφους (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 εγχείρημα σταμάτησε, καθώς δεν μπορούσε να λύσει το πρόβλημα ευστάθειας. Παρόμοια εγχειρήματα 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. Alexeyev έκανε σημαντικές παρατηρήσεις για τις αεροδυναμικές δυνάμεις που ασκούνται κατά την κίνηση των ταχύπλων σκαφών κοντά στην επιφάνεια. Οι προτάσεις του βασίστηκαν στον έλεγχο της διαμήκους και πλευρικής ευστάθειας κοντά στην επιφάνεια (Journal of Aircraft, 1977).

Με βάση αυτές τις αρχές μπόρεσε να σχεδιάσει και να κατασκευάσει το πρώτο λειτουργικό πρωτότυπο ενός σκάφους τεχνολογίας 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 φόρτιση 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 (turbo-prop), για

---

<sup>1</sup> Αερόστρωμο ή περισσότερο γνωστό ως χόβερκραφτ (hovercraft) είναι ειδικός τύπος πλοίου που η κίνηση του γίνεται πάνω σε στρώμα αέρος που επιτυγχάνεται με ειδικούς επιπρυμναίους αεροστροβίλους (ανεμιστήρες) πίσω από τους οποίους φέρονται τα πηδάλια. Εφευρέθηκε από τον Βρετανό μηχανικό Κρίστοφερ Κοκελέρ



χρήση κατά την διάρκεια του ταξιδιού, και βρίσκονταν πάνω στο ουραίο πτέρωμα (empennage), ενώ άλλες δύο μηχανές ίδιου τύπου, βρίσκονταν κοντά στο ρύγχος του σκάφους, για να σπρώχνουν τον 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 Ekranoplan 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 συνέχισαν οι κατασκευές ώστε να τελειώσει το σκάφος, σαν σκάφος διάσωσης. Δυστυχώς υπήρξαν ξανά 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 Υδροπτερύγων (Central Hydrofoil Design Bureau - CHDB), του οποίου προϊστάμενος ήταν ο Alexeyev. Όπως δηλώνεται και από την ονομασία, το κέντρο σχεδίασης αυτό ήταν αναμεμιγμένο στον σχεδιασμό υδροπτερύγων (πλοίων). Η επιθυμία του Alexeyev 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 «Γέρας της Κασπίας Θάλασσας», μια στρατιωτική έκδοση Ekranoplan, 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 Alexeyev σχεδίασε σκάφη τεχνολογίας WIG με δύο πτέρυγες, στημένες δυαδικά. Αυτή ήταν η προφανέστερη επιλογή γι' αυτόν εκείνη την στιγμή, επειδή είχε υπόβαθρο γνώσεων από υδροπτέρυγα (πλοία). Το πρώτο πλήρης κλίμακας σκάφος τεχνολογίας WIG από το σχεδιαστικό του γραφείο, ήταν το σκάφος SM-1, με τις στημένες δυαδικά πτέρυγες, αλλά γρήγορα το σχέδιο αυτό, απορρίφθηκε μπροστά στο προσφιλέστερο σχέδιο, το Ekranoplan. 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 Ekranoplan είναι το SM-2P, που κατασκευάστηκε το 1962, με μικρό λόγο διατάματος, και είχε ουραία ένα μεγάλο πτερύγιο, σχήματος T. Ένα χαρακτηριστικό που βρίσκουμε αργότερα σε Ekranoplans, 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, που έδινε στο σκάφος και το χαρακτηριστικό του αμφίβιου (Journal of Hydronautics, 1980).

Το 550 τόνων βάρους, σκάφος τεχνολογίας 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 Ekranoplan τύπου SM, , όπου το SM είναι ακρωνύμιο στα ρωσικά για το αυτο-προωθούμενο μοντέλο. Το Ekranoplan τύπου ΚΜ, 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 Ekranoplan 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 «Γέρατα της Κασπίας Θάλασσας». Αυτό το όνομα χρησιμοποιείται συχνότερα και γενικότερα για τα Ekranoplans. Για να φανεί το μέγεθος της μυστικότητας γύρω από το σχεδιαστικό αυτό πρόγραμμα, εκείνη την εποχή απαγορεύονταν ακόμη και η χρήση δημοσίως της λέξης Ekranoplan (Journal of Hydronautics, 1980).

Όταν το πρόγραμμα Ekranoplan 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 Ekranoplan που φτιάχτηκε μέχρι εκείνη την στιγμή. Βασικά, το Ekranoplan KM ήταν πολύ μπροστά από τον καιρό του, και ακόμη και σήμερα πολλοί κατασκευαστές σκαφών WIG, δεν ξεετάζουν τέτοιου μεγέθους σκάφους, να είναι βιώσιμο μέσα στις επόμενες λίγες δεκαετίες (Maskalik, 2000).

Η σταθερότητα στο σκάφος αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση ενός ουραίου πτερώματος, που παρέχει διαμήκη ευστάθεια, 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 το πηδάλιο ανόδου καθόδου 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 τεχνολογίας WIG αντιπροσωπεύει μια μη-γραμμική, μη-σταθερή και πολλαπλών διαστάσεων μονάδα ελέγχου. Η πτήση ενός σκάφους επίδρασης εδάφους εξακολουθεί να είναι εξαιρετικά δύσκολη, με πάρα πολύ στενά περιθώρια για λάθη. Λόγω αυτών των παραγόντων, το σκάφος KM έπεσε και βυθίστηκε κάτω από άσχημες συνθήκες (Rozhdestnensky, 1996).

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

Τα σκάφη τεχνολογίας τύπου WIG αναπτύχθηκαν με μοναδικό στόχο να ξεπεραστούν αυτά τα εμπόδια των θαλάσσιων μεταφορών. Πρόσφατα παραδείγματα σκαφών τεχνολογίας 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 των ΗΠΑ) 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 Δυναμικά οφέλη των WIG αεροσκαφών**

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

Επιπλέον, τα περισσότερα τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG (Halloran & O' Meara, 1999):

- Το σκάφος τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG το λειτουργικό κόστος τους είναι χαμηλό σε σύγκριση με εκείνο των αεροσκαφών.
- Οι απαιτήσεις υποδομής για σκάφη τύπου τεχνολογίας WIG είναι πολύ χαμηλές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΙΑ

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

Η συμβατική πρακτική χρήση των σωμάτων άνοσης είναι οι πτέρυγες 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. 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 τεχνολογίας 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 πτερύγιο και αυξάνει την αναλογία άνοσης 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 πτερύγιο είναι σε στενή γειτνίαση με το σύνορο. Επίσης, εκτός από την βελτιωμένη αεροδυναμική του και άλλα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά, όπως ο έλεγχος και η σταθερότητα, επηρεάζονται. Επομένως, θεωρητικά, ένα σκάφος τεχνολογίας WIG είναι πιο αποτελεσματικό από ένα αεροσκάφος συγκρίσιμου μεγέθους (Maskalik, 2000).

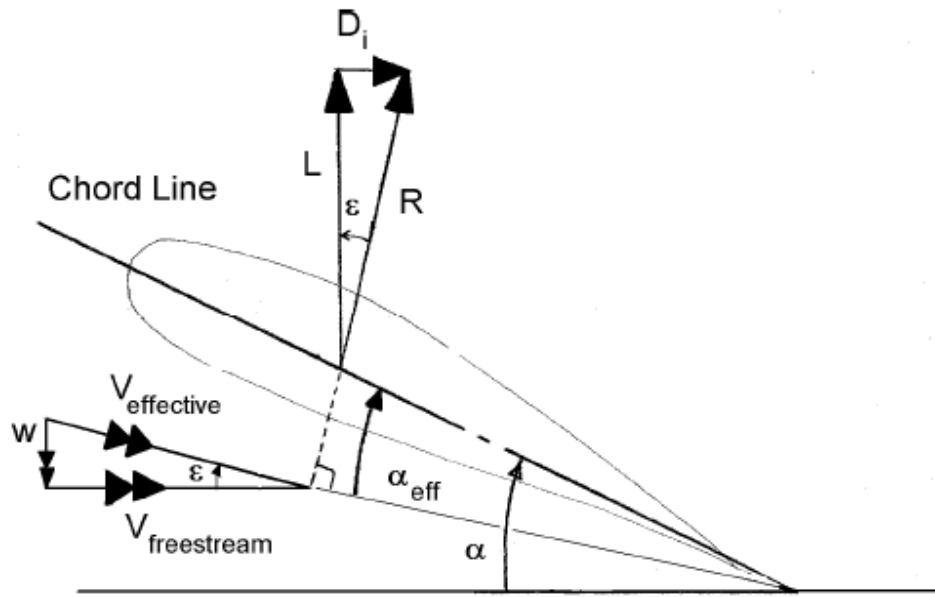
## 2.1 Θεωρία πτήσης

### 2.1.1 Άνωση και οπισθέλκουσα

Η άνωση και η οπισθέλκουσα που παράγονται από μία πτέρυγα καθορίζουν τα χαρακτηριστικά των επιδόσεων και γενικά τα χαρακτηριστικά του σκάφους. Μια πτέρυγα που διακινείται μέσω του αέρα παράγει μια συνισταμένη δύναμη. Η άνωση 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).

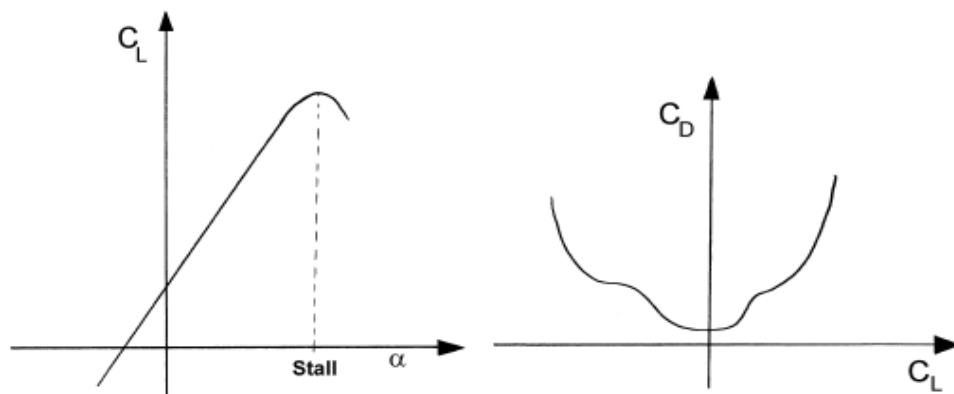
Η συνολική οπισθέλκουσα ενός αντικειμένου που κινείται μέσω του αέρα είναι το άθροισμα της επαγόμενης οπισθέλκουσας και της παράσιτος οπισθέλκουσας. Η άνωση και η οπισθέλκουσα είναι συναρτήσεις ενός αριθμού μεταβλητών, της πυκνότητας του αέρα, της ταχύτητας του αντικειμένου μέσω του αέρα και της γεωμετρίας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

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



**Εικόνα 2: Άνωση και οπισθέλκουσα του τμήματος της πτέρυγας.**

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  $C_L$  συναρτήσει  $\alpha$  και  $C_D$  συναρτήσει  $C_L$  για ένα τμήμα της πτέρυγας φαίνονται στην εικόνα 3 (Maskalik, 2000).



**Εικόνα 3: Σχέσεις αεροδυναμικής για την Άνωση και την Οπισθέλκουσα μιας τυπικής πτέρυγας.**

Η εικόνα 3 δείχνει ότι ο συντελεστής άνωσης,  $C_L$ , αυξάνεται με μία αύξηση στη γωνία προσβολής μέχρι να επιτευχθεί μία μέγιστη τιμή  $C_{LMAX}$  σε προσβολή που ονομάζεται γωνία

απώλειας στήριξης ( $a_{\text{stall}}$ ) όπου η άνωση μειώνεται απότομα. Αυτό ακριβώς το σημείο επιτυγχάνεται ο μέγιστος συντελεστής άνωσης ( $C_{L\text{MAX}}$ ) και είναι το σημείο στο οποίο η πτέρυγα παρουσιάζει απώλεια στήριξης. Η απώλεια στήριξης παρουσιάζεται επειδή η ροή διαχωρίζεται από την άνω επιφάνεια της πτέρυγας (Maskalik, 2000).

### 2.1.2 Κατώρευμα

Για να διατηρηθεί η δυναμική της μάζας του αέρα που κινείται γύρω από μια πτέρυγα, το πεδίο ροής πριν και μετά τη πτέρυγα είναι παραμορφωμένο. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως κατώρευμα. Καθώς το κατώρευμα αλλάζει την ροή γύρω από τη πτέρυγα, επηρεάζει τις σχέσεις της άνωσης και της οπισθέλκουσας σε σχέση με τη γωνία προσβολής. 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 στη πτέρυγα και την αντίστοιχη εξάρτηση της κατεύθυνσης της προκύπτουσας δύναμης για την αποτελεσματική γωνία προσβολής ( $\alpha_{\text{EFF}}$ ). 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 της πτέρυγας. 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 μιας πτέρυγας έχει επίσης σημαντική σημασία για την επίδοση της. Διαφορετικές διατομές πτέρυγας έχουν διαφορετικά αεροδυναμικά χαρακτηριστικά, όπως χαρακτηριστικά άνωσης και οπισθέλκουσας με μια παραλλαγή της γωνίας προσβολής. Για το λόγο αυτό, τα σκάφη με διαφορετικές λειτουργικές απαιτήσεις έχουν διαφορετικές διατομές πτέρυγας.

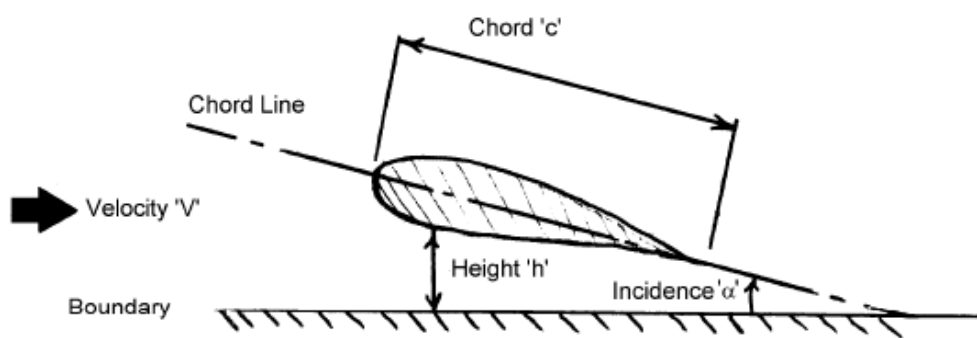


Σκάφη που λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές ταχύτητες έχουν σχετικά παχιές διατομές, ενώ τα σκάφη που λειτουργούν σε υψηλότερες ταχύτητες έχουν σχετικά λεπτές διατομές (Roskam, 1990).

Ο λόγος διατάματος είναι ένα μέτρο του εκπετάσματος (από άκρη σε άκρη) σε σύγκριση με το μήκος της χορδής και έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση του. Λόγω της απώλειας σε άνωση που είναι μεγαλύτερη στα ακροπτερύγια (endplates), όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος διατάματος, τόσο πιο αποτελεσματική είναι η πτέρυγα. Στη θεωρία, επομένως, μία απείρως μεγάλη πτέρυγα είναι πιο αποδοτική. Στην πράξη, αυτό μετριάζεται από τις διαρθρωτικές αδυναμίες των πτερυγίων μακράς προσβολής (Roskam, 1990).

## 2.2 Επίδραση εδάφους

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



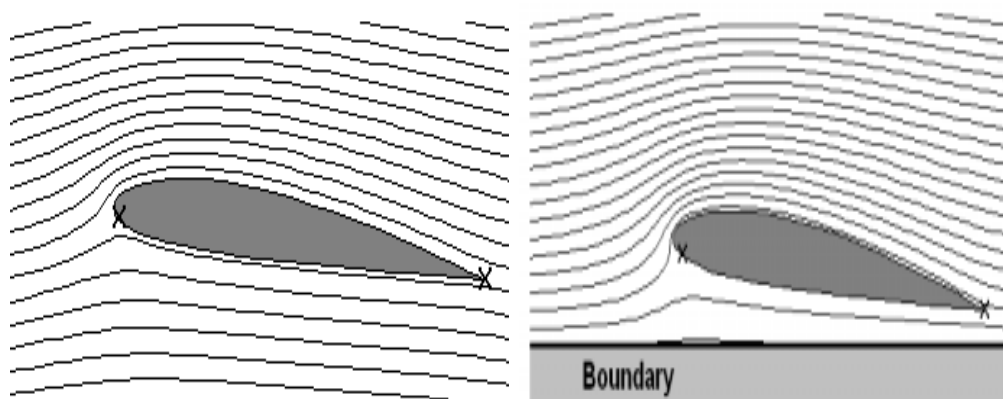
Εικόνα 4: Πτέρυγα σε επίδραση εδάφους.

Το σύνορο δημιουργεί μια μεταβολή του πεδίου ροής που προκαλείται από το όριο που δεν επιτρέπει τη ροή κάτω από τη πτέρυγα 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 τη πτέρυγα. 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 της πτέρυγας 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 της πτέρυγας (Rozhdestvensky, 1996).

### 2.2.1 Άνοση, Οπισθέλκουσα και Κατώρευμα

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



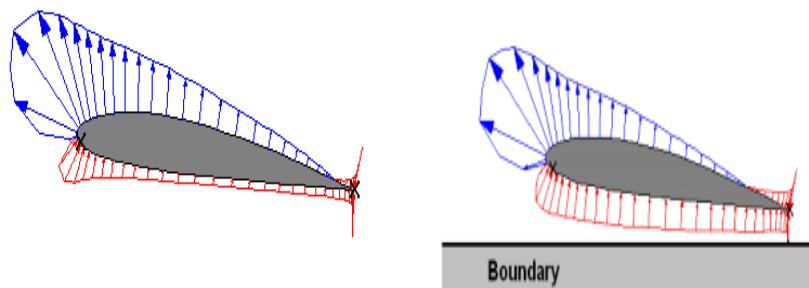
Εικόνα 5: Πεδίο ροής εντός και εκτός της Επίδρασης Εδάφους.

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 της πτέρυγας μέσω του αέρα δημιουργεί μια ροπή σε σχέση με το αεροδυναμικό κέντρο της. Αυτή η ροπή είναι γνωστή ως ροπή πρόνευσης και είναι το αποτέλεσμα της κατανομής πίεσης επί της επιφάνειας της πτέρυγας. 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 μία πτέρυγα. Η μεταβολή της ροής για τη πτέρυγα μεταβάλλει το αεροδυναμικό κέντρο της και ως εκ τούτου η ροπή πρόνευσης παράγεται από αυτή. Το αποτέλεσμα είναι το αποτέλεσμα των αλλαγών της πίεσης διανομής πάνω στην κατώτερη επιφάνεια της. Η πίεση κρούσης σε ακραία επίδραση του εδάφους προκαλεί μια σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή πίεσης πάνω από την κάτω επιφάνεια της πτέρυγας, 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.

Οι πτέρυγες δημιουργούν γενικά μια αρνητική 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 αεροδυναμικού κέντρου με τη χορδή του πτερυγίου πάνω από το όριο μπορεί να προκαλέσει σημαντικές δυσκολίες στο σχεδιασμό του σκάφους. 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 της πτέρυγας και / ή διαμορφώσεων του σκάφους. Τμήματα της πτέρυγας 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 ( In Ground Effect) σε OGE ( Out of Ground Effect) 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 ανάκατα 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 της πτέρυγας 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 της πτέρυγας (Roskam, 1990).

Μια σειρά από αλλαγές συμβαίνουν στον  $C_{LMAX}$  όταν μία πτέρυγα λειτουργεί IGE. Ο  $C_{LMAX}$  μπορεί είτε να αυξηθεί ή να μειώσει, ανάλογα με το τμήμα της πτέρυγας, το σχήμα της κάτοψης και τη χρήση των ακραίων πλακών. Για τμήματα της πτέρυγας του αεροσκάφους, ο μέγιστος συντελεστής άνωσης αυξάνεται με την αύξηση της γωνίας καμπυλότητας της πτέρυγας, 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 πτέρυγες 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 πτερύγια σχεδιασμένα για πτήση ελεύθερης ροής. Ειδική έρευνα σε πτερύγια σχεδιασμένα για λειτουργία IGE μπορεί να παρέχει βελτιωμένα σχέδια πτερυγίου. Επίσης, έρευνα με αεροδυναμικά βοηθήματα για την αύξηση της άνωσης, όπως εγκοπές και εσοχές (διαφορετικής γεωμετρίας), 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 τεχνολογίας 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 η πτέρυγα λειτουργεί μεταξύ του ορίου και ενός ύψους 20% της χορδής της. 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 της πτέρυγας 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 την πτέρυγα 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 τεχνολογίας 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. Η πτέρυγα 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 πτερύγων και κατόψεις πτερύγων**

Στα αεροσκάφη και στα σκάφη τεχνολογίας WIG, το σχήμα των τμημάτων των πτερύγων και των κατόψεων έχει σημαντική επίδραση στην αεροδυναμική συμπεριφορά του σκάφους. Καθ'όλη 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 πτερύγων 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 πτερύγων στην επίδραση του εδάφους για να προσδιοριστούν τα αποτελέσματα της προσέγγισης του εδάφους στις επιδόσεις απογείωσης και προσγείωσης. Υπήρξαν μερικά τμήματα πτερύγων 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 πτερύγων 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 πτερύγων 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 επιδόσεις 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 τεχνολογίας WIG σκαφών, τους παρέχει τη δυνατότητα για μεγαλύτερες επιδόσεις από ότι στα αεροσκάφη. Η προκύπτουσα αύξηση στο λόγο άνωσης οπισθέλκουσας ενός τεχνολογίας WIG σκάφους έχει ως αποτέλεσμα μια αύξηση στην αποτελεσματικότητα του σκάφους. Ένα μέτρο της επίδοσης 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. Η μέγιστη ταχύτητα 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 τεχνολογίας WIG έχουν τη δυνατότητα για πιο αποδοτική λειτουργία από εκείνη των αεροσκαφών, λόγω της αυξημένης αναλογίας άνωσης και οπισθέλκουσας. Επίσης, τα σκάφη τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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 επιδόσεις 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 ωστική δύναμη 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 τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν μεγάλα βάρη ωφέλιμου φορτίου, ενώ λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες. Αντίθετα από τα συμβατικά πλωτά σκάφη, τα σκάφη τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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 της επίδρασης του εδάφους, υπάρχει μία αντίστοιχη αλλαγή στην δυναμική απόκρισης του σκάφους. Η σταθερότητα και ο έλεγχος ήταν τα μεγαλύτερα εμπόδια στην πρόωμη ανάπτυξη του σκάφους τεχνολογίας 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. Διατηρώντας το ύψος πτήσης του σκάφους τεχνολογίας WIG η συμπεριφορά του ως υπεραντωτική διάταξη πλησιάζει το όριο (Carter, 1961).

Η σταθερότητα του ύψους του σκάφους τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να είναι πολύ σταθερά σε ύψος. Είναι γνωστό ότι η δύναμη της άνωσης αυξάνει με μείωση του ύψους για τα σκάφη

τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG υπήρξε ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια στην ανάπτυξη του σκάφους τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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 (Bordonov, 1996).

Ο έλεγχος κατεύθυνσης και η δυνατότητα ελιγμών του σκάφους τεχνολογίας 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 hovercraft 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 τεχνολογίας 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 εφόρμησης.

Τα σκάφη τεχνολογίας WIG που δεν μπορούν να κάνουν στροφές εφόρμησης σε πτήση OGE δεν αποτελούν επιλογή. Αυτά τα σκάφη μπορούν να εκτελέσουν στροφές μόνο στο οριζόντιο επίπεδο, πράγμα το οποίο επιτυγχάνεται με το πηδάλιο ανόδου καθόδου. Αυτό το είδος στροφής έχει μια πολύ μεγαλύτερη ακτίνα στροφής από μια στροφή εφόρμησης (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 τεχνολογίας 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 τη πτέρυγα 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 τεχνολογίας WIG, ο συντελεστής άνωσης είναι συνάρτηση τόσο του ύψους όσο και της προσβολής. Για τα σκάφη τεχνολογίας 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 προσβολή ή μια αλλαγή στο ύψος. Οι αλλαγές στην ταχύτητα θα οδηγήσουν σε μεταβολές της προσβολής (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 τεχνολογίας WIG διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες για επιχειρησιακούς σκοπούς. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής:

- Κατηγορία A: Σκάφη τεχνολογίας WIG στα οποία είναι αδύνατη η λειτουργία OGE
- Κατηγορία B: Σκάφη τεχνολογίας 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 ύψος πτήσεως πάνω από 300 μέτρα
- Κατηγορία C: Σκάφη τεχνολογίας 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 C 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 της πτέρυγας του σκάφους τεχνολογίας WIG σκάφος B και C 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 απογείωσης και της ώσης που απαιτείται για την απογείωση. Η πιο κοινή μέθοδος είναι η χρήση της υποβοηθούμενης Ram (PAR τεχνολογίας-Power Augmentation of Ram wings ). 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 υπάρχει συνεχής ερευνητική δραστηριότητα για τα σκάφη τεχνολογίας WIG οφείλεται στη ικανότητα τους να παρέχουν ανύψωση βαρέων φορτίων με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από τα αεροσκάφη και σε υψηλότερες ταχύτητες από τα πλοία.

Η επίδοση του σκάφους τεχνολογίας 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: Πτητική Επίδοση ( Air Borne )

Ο σχεδιασμός της διαμόρφωσης του σκάφους τεχνολογίας WIG έχει ορισμένες ομοιότητες με αυτές των συμβατικών αεροσκαφών. Ο σχεδιασμός της κάτοψης του σκάφους τεχνολογίας 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 επίδοσης.
- Ωφέλιμο φορτίο, εμβέλεια και ταχύτητα. Όπως και στο αεροσκάφος, το καθένα θέτει σε κίνδυνο το άλλο.
- Ευελιξία.
- Η κατάσταση της θάλασσας προδιαγράφει 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.
- Η μορφή αεροτομής (προφίλ) της πτέρυγας. Οι κύριοι παράμετροι που διέπουν την αεροτομή της πτέρυγας είναι το σχήμα της γραμμής καμπυλότητας και το πάχος.
- Θέση και διαμόρφωση ουράς.
- Σχήμα ατράκτου.
- Θέση του κινητήρα και αριθμός κινητήρων (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 παραμέτρων.

### **3.2.1.1 Μορφή αεροτομής πτέρυγας**

Η μορφή αεροτομής της πτέρυγας είναι, σε γενικές γραμμές, υπεύθυνη για πολλά από τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά της πτέρυγας. Δεν έχει αφιερωθεί το ίδιο επίπεδο έρευνας στα τμήματα της πτέρυγας που λειτουργούν στην επίδραση του εδάφους όσο στα τμήματα της πτέρυγας που λειτουργούν στην ελεύθερη πτήση. Λόγω των τροποποιημένων πεδίων ροής και της προκύπτουσας κατανομής πίεσης, η βελτιστοποίηση των τμημάτων πτερύγων 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 πτέρυγας 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).

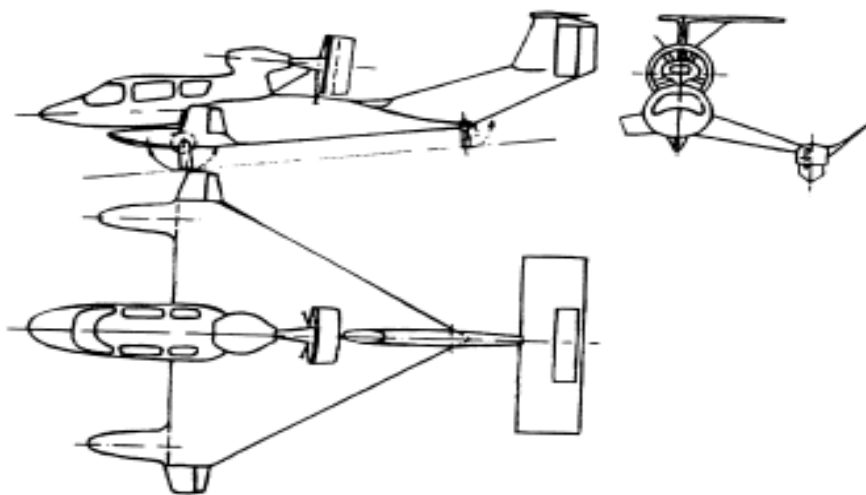
### 3.2.1.2 Σχήμα κάτοψης πτέρυγας

Ο σχεδιασμός της κάτοψης εξαρτάται από τις παραμέτρους όπως η επιδιωκόμενη εμβέλεια λειτουργίας και η απόδοση του σκάφους. 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 ύψος πτήσης για τη λειτουργία IGE εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την χορδή της πτέρυγας, πολλά σχέδια πτέρυγας έχουν επιλέξει ένα σχετικά μεγάλο μήκος χορδής. Το γεωμετρικό διάταμα των φτερών σκάφους τεχνολογίας 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 ύψους πτήσης του σκάφους τεχνολογίας WIG.

Ένα άλλο ζήτημα για τα σκάφη τεχνολογίας WIG είναι 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 ουραίου πτερώματος αεροπλάνου**

Σε όλες της φάσης 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 πτέρυγας στη διαμόρφωση ενισχύει την αντίσταση και επομένως μειώνει την αποτελεσματικότητα. Επίσης επιβαρύνει με ένα ακόμα φορτίο που οφείλεται στην πρόσθετη δομή που απαιτείται για την υποστήριξη της πτέρυγας. Όσο μεγαλύτερη η επιφάνεια ανύψωσης και όσο μακρύτερα από το κύριο σώμα του αεροσκάφους που έχει τοποθετηθεί, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποινή.

Επειδή μία πτέρυγα σε λειτουργία IGE δημιουργεί μεγαλύτερη ροπή πρόνευσης από μια πτέρυγα που λειτουργεί σε ελεύθερη πτήση, απαιτείται μία μεγαλύτερη δύναμη. Εναλλακτικά, οι πτέρυγες πρέπει να είναι σχεδιασμένες με σημαντικά μειωμένη ροπή πρόνευσης (Bogdanov, 1996).

### **3.2.1.4 Επιλογή τύπου και θέσης κινητήρα επί του σκάφους**

Ο τύπος και η τοποθέτηση των κινητήρων είναι ένας σημαντικός παράγοντας κατά την εξέταση της λειτουργικής απόδοσης του σκάφους τεχνολογίας 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 ωστική δύναμη που απαιτείται. Οι κοινοί αεροπορικοί κινητήρες, όπως turboprop, τζετ και εμβολοφόροι κινητήρες είναι το πιο πιθανό να χρησιμοποιηθούν σε σκάφη τεχνολογίας 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 τιμή του λόγου (αναλογία) βάρους προς ώση και της ταχύτητας με την κατανάλωση καυσίμου. Παραδοσιακά, οι εμβολοφόροι κινητήρες χρησιμοποιούνται για περιβάλλον χαμηλής ισχύος, χαμηλής ταχύτητας,

χαμηλού ύψους πτήσης και οι κινητήρες turboprop 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 κατευθυνόμενης ώσης (vectored thrust) 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: Για επαρκή επίδοση θαλάσσιων μεταφορών**

Κάθε όχημα τεχνολογίας 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 καθορισμένες διαστάσεις και η πρόωση (Bogdanov and Maskalik, 1996).

#### **3.2.2.1 Απογείωση**

Οι διάδρομοι απογείωσης για σκάφοι τεχνολογίας WIG 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 στην αύξηση του χρόνου που απαιτείται για να φθάσει την ταχύτητα απογείωσης και, συνεπώς, η απόσταση απογείωσης αυξάνεται.

Το πιο κρίσιμο πέναλτι στην απογείωση από το νερό είναι η ζήτηση για επιπλέον ώση για να ξεπεραστεί η αντίσταση του νερού, που δεν χρησιμοποιείται στην κατάσταση πτήσης.

Ένας αριθμός μεθόδων έχει προταθεί για να μειώσουν τα φορτία απογείωσης και να βελτιώσουν τις παραμέτρους για ασφαλή απογείωση του σκάφους τεχνολογίας WIG. Τα πιθανά πλεονεκτήματα είναι χαμηλότερα δομικά 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 άντωσης 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 δομικά 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 υδροπτερύγου είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή του X-114 σκάφους τεχνολογίας WIG. Το αεροσκάφος προσγειώθηκε με πολύ υψηλή ταχύτητα και ως εκ τούτου σε μια χαμηλότερη από το κανονικό γωνία πρόσπτωσης. Το υδροπτερύγο 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 Διαταραχές**

Η σταθερότητα του σκάφους τεχνολογίας WIG επί του νερού είναι υψηλή, τόσο για τη διαμήκη όσο και την πλευρική ευστάθεια, με τα πτερύγια να δίνουν παρόμοια σταθερότητα πλαγίως όπως αυτή που παρέχεται από την άτρακτο κατά μήκος. Με το σχεδιασμό της δομής, του κύτους και των πτερυγίων, 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 πρόσθετα δομικά φορτία που συνδέονται με την κατάσταση της θάλασσας. Υψηλά φορτία άνωσης έχουν τη δυνατότητα να διαλύσουν ένα σκάφος μεγάλου μεγέθους, 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 που αναφέρεται σε θέματα διαταραχής του περιβάλλοντος είναι η ηχορύπανση για τους κατοίκους της γύρω περιοχής, την περιοχή δηλαδή της προσθαλάσσωσης του σκάφους και επιπλέον η προστασία των λυόμενων των ψαράδων και άλλων, λαμβάνονται υπόψη, κατά την φάση της σχεδίασης και λειτουργίας(πτητικής συμπεριφοράς) του σκάφους. Οι αναλογίες μεγέθους της άτρακτου, των πτερυγίων και των ακραίων πλακών θα επηρεάσει το μέγεθος και τη συχνότητα των ενοχλήσεων που βιώνουν οι κάτοικοι. Αυτό μπορεί να βελτιωθεί με την εξέταση γεωμετρικών μεταβολών στην άτρακτο ή με την προσθήκη ειδικών συσκευών, όπως αποσβεστήρες και σταθεροποιητές στις πτέρυγες και στο σκέλος προσγείωσης. (Bogdanov and Maskalik, 1996).

### **3.2.2.5 Ελιγμοί χαμηλής ταχύτητας**

Τα σκάφη τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG ώστε να λειτουργεί από την εγκατάσταση ενός συγκεκριμένου λιμανιού και μπορεί να περιορίσουν την εγγύτητα στην ακτή κατά την οποία ένα σκάφος τεχνολογίας 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 επίδοση**

Τα σκάφη τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG είναι να τους δοθεί η ικανότητα αερόστρωμνου .

Περιορισμοί στο σχεδιασμό μπορεί να τεθούν σε τοποθετήσεις του κινητήρα λόγω κατάποσης ξένων αντικειμένων μέσα στους 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 τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG της ΕΣΣΔ, το Orlyonok, ήταν ικανό για αμφίβια λειτουργία (Bogdanov and Maskalik, 1996).

### **3.2.3 Παράμετροι σχεδιασμού: Επίδοση 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 τεχνολογίας WIG έχουν πολύ περισσότερες δυνατότητες, καθώς αυτές δεν περιορίζονται από τις κυκλικές διατομές που απαιτούνται για συμβατικά αεροσκάφη. Η δομική ακεραιότητα και η προβλεπόμενη λειτουργία καθώς και το φορτίο θα υπαγορεύσουν 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 (Fellows 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 οποιοδήποτε σχέδιο αεροσκάφους τεχνολογίας WIG.

Τα πολιτικά πρότυπα της αεροπορίας παρέχουν μια βάση εργασίας για την ενσωμάτωση των διατάξεων αυτών στα σκάφη τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG. Τα προωθητικά μέσα (jet, στροβιλοκινητήρας ή εμβολοφόρος κινητήρας) θα καθορίσουν τις μεθόδους και τις δυνατότητες για τη μείωση της IR (Instrument Rating) υπογραφής. Ανάμιξη

ακροφυσίου και άλλες μέθοδοι αποτελούν τμήματα της τρέχουσας έρευνας στη μείωση της IR υπογραφής.

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

### **3.2.3.3 Λειτουργία του Μητρικού πλοίου**

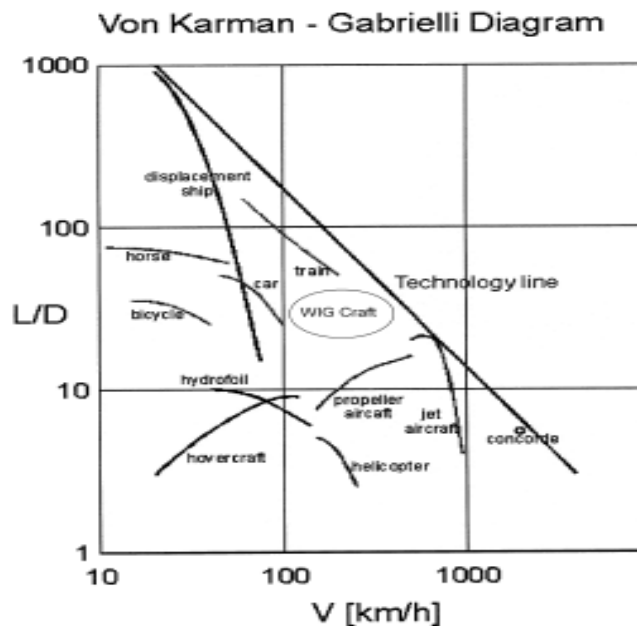
Μικρά σκάφη τεχνολογίας WIG μπορούν να λειτουργήσουν από πλοία με το σκάφος τεχνολογίας WIG να απογειώνεται πάνω από το κατάστρωμα του πλοίου. Ο κύριος περιορισμός σε μια τέτοια πράξη θα ήταν ο περιορισμός της κατάστασης της θάλασσας του μικρού σκάφους τεχνολογίας WIG (Fellows et al, 1996).

## **3.3 Παραγωγή αεροσκάφους τεχνολογίας WIG - Επίδοση σκάφους**

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

### **3.3.1 Επίδοση μεταφοράς**

Το Von Karman - Gabrielli διάγραμμα της εικόνας 8 αποτελεί μία κλασσική 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 Εμβέλεια και ωφέλιμο φορτίο

Το εύρος και η ικανότητα ωφέλιμου φορτίου του σκάφους τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG.

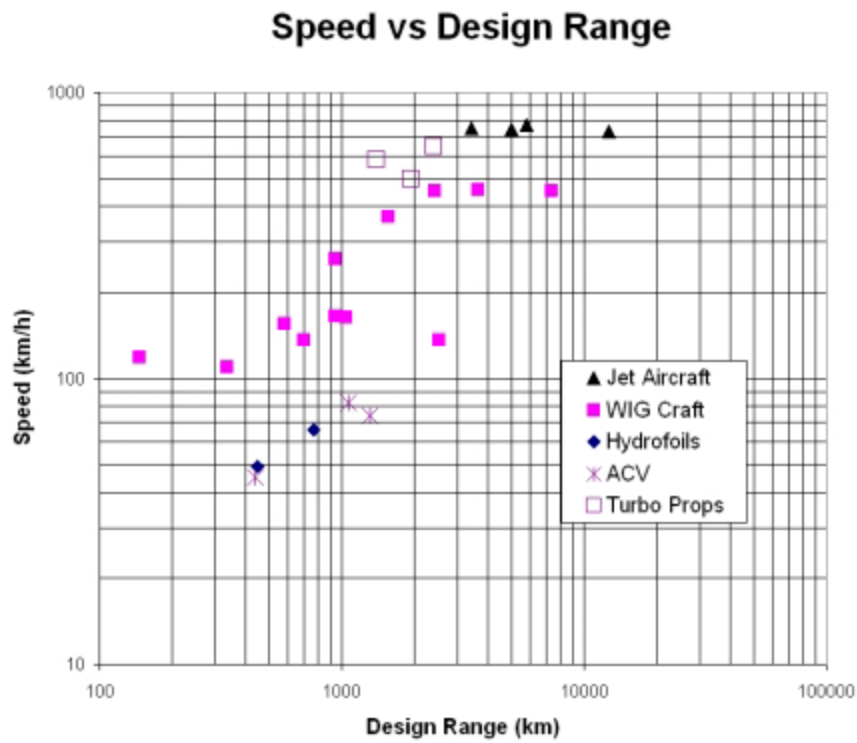
Η εικόνα 9 απεικονίζει την ταχύτητα του σκάφους τεχνολογίας WIG σε σχέση με το εύρος σχεδιασμού (δηλαδή σε μέγιστο ωφέλιμο φορτίο) σε σύγκριση με άλλα ταχύπλοα σκάφη και αεροσκάφη. Μόνο λίγα σκάφη τεχνολογίας WIG προσεγγίζουν την εφικτή απόδοση των αεριωθούμενων αεροσκαφών. Αναμένεται ότι, εάν τα πλεονεκτήματα 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 τεχνολογίας WIG. Τα υπάρχοντα σκάφη τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG παρουσιάζεται στην εικόνα 11. Τα δεδομένα είναι μια συλλογή των

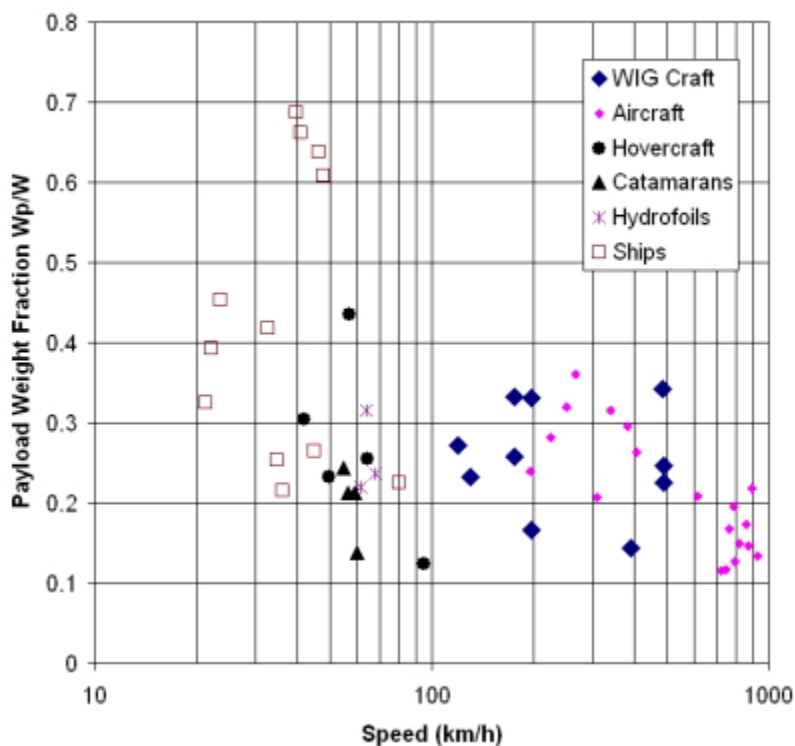


στοιχείων του κατασκευαστή που παρουσιάζονται στο δημόσιο τομέα. Η τάση της προσαρμοσμένης καμπύλης να ισιώσει έξω αποδεικνύει την μεγαλύτερη δομική αναποτελεσματικότητα του μεγαλύτερου σκάφους που έχει κατασκευαστεί μέχρι σήμερα (Fischer and Matjasick, 1996).



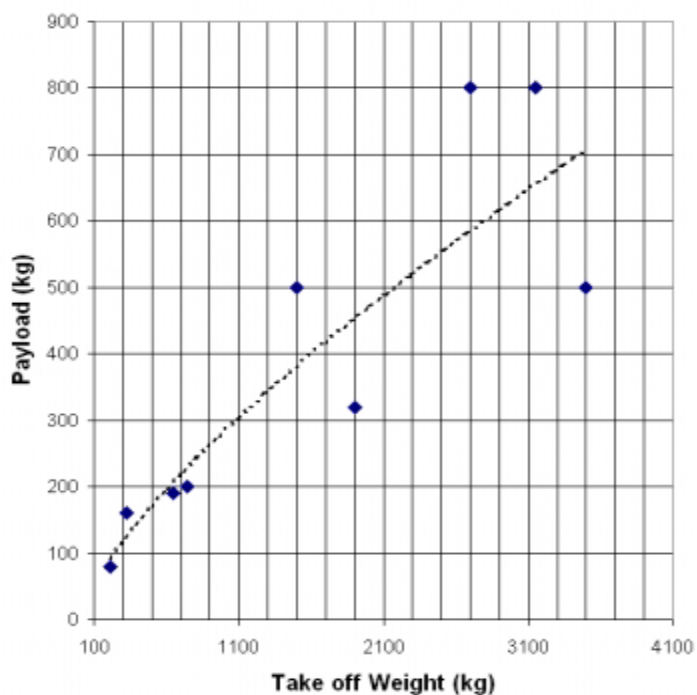
**Εικόνα 9: Εμβέλεια και ταχύτητα σκάφους τεχνολογίας WIG.**

### Payload Efficiency Comparison



Εικόνα 10: Ποσοστό ωφέλιμου φορτίου συναρτήσει των στροφών.

### Payload vs Take off Weight



Εικόνα 11: Ωφέλιμο φορτίο για διάφορα μεγέθη σκάφους τεχνολογίας WIG.

### 3.3.3 Κατάσταση θάλασσας

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

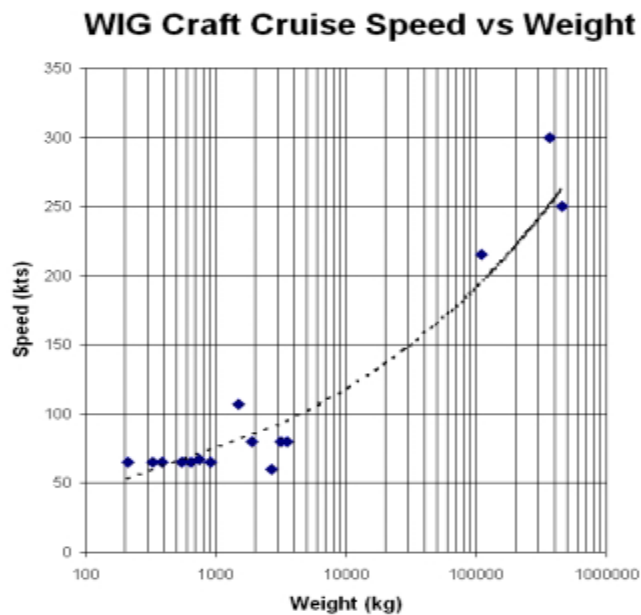
Πετώντας εκτός της επίδρασης του εδάφους θα μειώσει μόνο την ταχύτητα πλεύσης του σκάφους τεχνολογίας WIG κατά ένα μικρό περιθώριο. Θα έχει ωστόσο μια μεγαλύτερη επίδραση στη εμβέλεια του σκάφους λόγω της μείωσης στην αποτελεσματικότητα (Heber and Taylor, 1981).

### 3.3.4 Επίδοση πτήσης

Η ταχύτητα πτήσης του σκάφους τεχνολογίας 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 αεροσκάφους τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG.

### 3.4 Περιορισμοί

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

#### 3.4.1 Κατάσταση θάλασσας

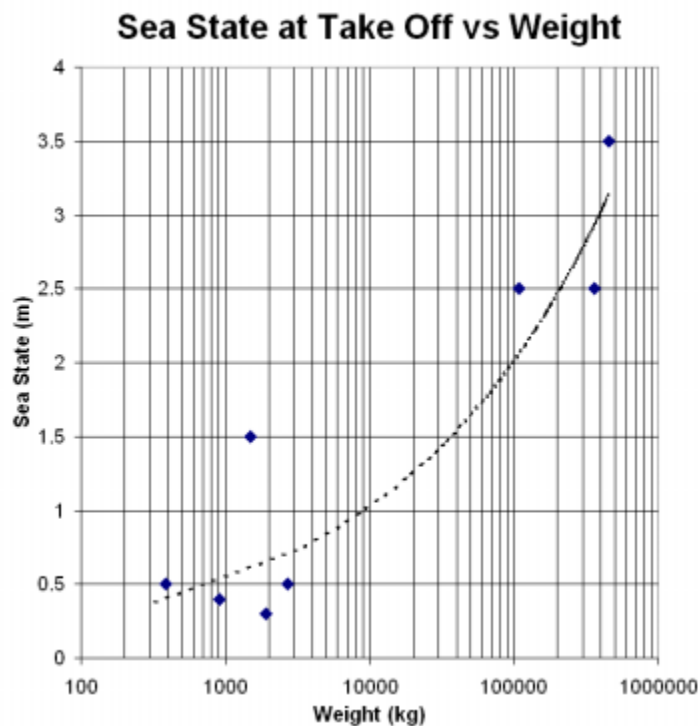
Περιορισμοί στην κατάσταση της θάλασσας είναι πιο κρίσιμοι κατά την απογείωση και την προσγείωση λόγω των φορτίων κλίσης για τη δομή του κύτους και των φτερών. Σε λειτουργίες πτήσης, η κατάσταση της θάλασσας θα μειώσει την αποτελεσματικότητα του σκάφους, αλλά δεν θα περιορίσει το αεροσκάφος από τη λειτουργία 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 κρίσιμες φάσεις 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 δομικών ενισχύσεων του σκάφους στην απογείωση έχουν δοκιμαστεί για την επίτευξη απογείωσης σε μεγάλη θαλασσοταραχή, αυτές περιλαμβάνουν PAR, υδροπτέρυγα, τεχνολογία αερόστρωμνου. 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 κατάστασης 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 τεχνολογίας WIG.**

Τα σκάφη τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG που λειτουργεί σε ανοιχτές θάλασσες θα πρέπει να λειτουργεί σε OGE πολύ συχνά για να κάνει βιώσιμη

τη λειτουργία του. Ως εκ τούτου οι λειτουργίες ανοικτής θάλασσας, για πρακτικούς σκοπούς, περιορίζονται σε μεγαλύτερα σκάφη.

Ο περιορισμός ύψους πτήσης στο σκάφος τεχνολογίας WIG είναι περίπου 10% έως 30% από την επιφάνεια του νερού. 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 τεχνολογίας 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.

Υψηλά κυμάτια 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 να επιτρέπουν τον καθορισμό ενός ελάχιστου ασφαλούς υπόμετρου 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 απογείωσης 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 τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG.

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

Η κάθετη σταθερότητα ύψους του σκάφους τεχνολογίας 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. Θεωρητικές μελέτες, όπως αυτές του Rozhdestvensky, και η πρακτική εμπειρία έχει δείξει ότι η συντονισμένη συμπεριφορά πάνω από τα κύματα δεν είναι μια κρίσιμη παράμετρος. Το ύψος κύματος στο συντονισμό θα είναι συνήθως μεγαλύτερο από την αποτελεσματική περιοχή ύψους της επίδρασης εδάφους.

Οι περιορισμοί στην ικανότητα ελιγμών είναι παρόμοιες με εκείνες για τη σταθερότητα. Το μεγάλο τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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**

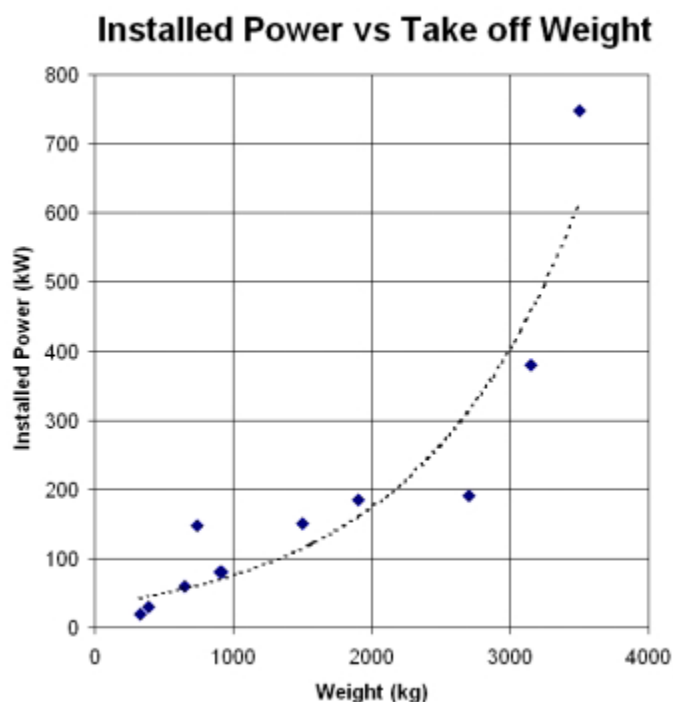
Η απογείωση αντιπροσωπεύει τους μεγαλύτερους περιορισμούς επιδόσεων σε σκάφη τεχνολογίας WIG. Περιορίζει την ικανότητα τους να λειτουργούν σε διαφορετικές καταστάσεις θάλασσας και επηρεάζει την εγκατεστημένη ισχύ που απαιτείται για την πτήση.

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

- Γάστρα (Hull): η κανονική υδροδυναμική οπισθέλκουσα του κύτους
- Πτέρυγες (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 επηρεάζουν το βύθισμα και την αντιστάθμιση του σκάφους και μεταβάλλονται με την ταχύτητα.





**Εικόνα 14: Εγκατεστημένη ισχύς για διάφορα σκάφη τεχνολογίας WIG.**

Η ταχύτητα hump (όρος που χρησιμοποιείται από τους αεροπόρους για την μέγιστη ταχύτητα) οφείλεται σε καθαρή υδροδυναμική οπισθέλκουσα και είναι συνήθως η μέγιστη για τα υδροπλάνα και τα σκάφη τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG αρχίζει να πετάει, η οπισθέλκουσα μειώνεται και στη συνέχεια αυξάνεται με την ταχύτητα. Με την επίτευξη της ταχύτητας hump το σκάφος βρίσκεται στο τέλος της φάσης απογείωσης και την έναρξη της πτήσης. Σε αυτό το σημείο η στήριξη του σκάφους αλλάζει από υδροδυναμική σε αεροδυναμική (Kirillovikh, 1996).

Η επίδραση του ταραγμένου 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 τεχνολογίας WIG θα μπορούσε να 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 τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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 άντωσης της πτέρυγας και αυτή η ταχύτητα συνήθως αναφέρεται ως η ταχύτητα απώλειας στήριξης.

Η μέγιστη ταχύτητα πτήσης 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  $Mach^2$  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 μία 8 έως 10 g πρόσκρουση, προκαλώντας μεγάλες δομικές ζημιές (Leslie, 1996).

#### **3.4.4.3 Μετατόπιση**

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

---

<sup>2</sup> Αριθμός Mach είναι ο λόγος της ταχύτητας ενός αντικειμένου προς την τοπική ταχύτητα του ήχου, είναι δηλαδή αδιάστατος αριθμός

### 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 κατανομή της στον συμπιεστή και στον 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 «κράτημα» του συμπιεστή (αντίθλιψη του συμπιεστή-compressor surge). 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 κάποιο 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 τεχνολογίας WIG. Κανένας δεν έχει προχωρήσει σε μεγάλης κλίμακας εμπορική παραγωγή και καμία λύση COTS (Commercial off-the-shelf) δεν υπάρχει επί του παρόντος. Ένας σημαντικός βαθμός σχεδιασμού και ανάπτυξης απαιτούνται για να κατασκευαστεί ένα νέο σκάφος τεχνολογίας WIG.

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

Η μεγαλύτερη δυσκολία με τον κανονισμό για το σκάφος τεχνολογίας WIG ήταν η σύγκριση ως προς το αν θα έπρεπε να θεωρηθεί ως αεροσκάφος ή σκάφος στη θάλασσα. Σε μια πρόσφατη απόφαση, η Διεθνής Οργάνωση Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO-International Civil Aviation Organization) και ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO-International Maritime Organization) συμφώνησαν ότι τα σκάφη WIG πρέπει να υπάγονται στην αρμοδιότητα του IMO. Ωστόσο, κάθε τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG, με τα σκάφη B και C κατηγορίας να χρειάζεται να συμμορφώνονται σύμφωνα με τις ανάγκες της πολιτικής αεροπορίας.

Η Αυστραλιανή Αρχή για την Ασφάλεια στη Θάλασσα (AMSA-Australian Maritime Safety Authority) 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 τεχνολογίας WIG (Prandolini, 1995).

#### 3.5.1 Σχεδιασμός και Κατασκευή Νέου σκάφους τεχνολογίας WIG

Δεν υπάρχουν κανονισμοί ή πρότυπα σχεδιασμού για τα σκάφη WIG. Για το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός σκάφους τεχνολογίας 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 έχει την μορφή του προτύπου αεροσκάφους σε μεγάλο βαθμό 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 τεχνολογίας WIG. Τα σκάφη τεχνολογίας WIG έχουν εξαιρετικά μεγάλη εμβέλεια 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 τεχνολογίας 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 αερόστρωμων και των ταχύπλων καταμαράν. Οι απαιτήσεις αυτού του κώδικα δεν είναι πλήρως αποδεκτές για το σχεδιασμό του σκάφους τεχνολογίας WIG.

Στην Αυστραλία, μια σειρά από μικρούς κατασκευαστές έχουν προσπαθήσει να προχωρήσουν με το σχεδιασμό και τη διαδικασία πιστοποίησης. Ωστόσο, τα σκάφη τεχνολογίας 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 διεξήγαγε μία σειρά από έρευνες σχετικά με το σχεδιασμό και τη λειτουργία των σκαφών τεχνολογίας 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 λειτουργίας είναι στην ευθύνη των τοπικών αρχών του κράτους.

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

Τα σκάφη τεχνολογίας 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).

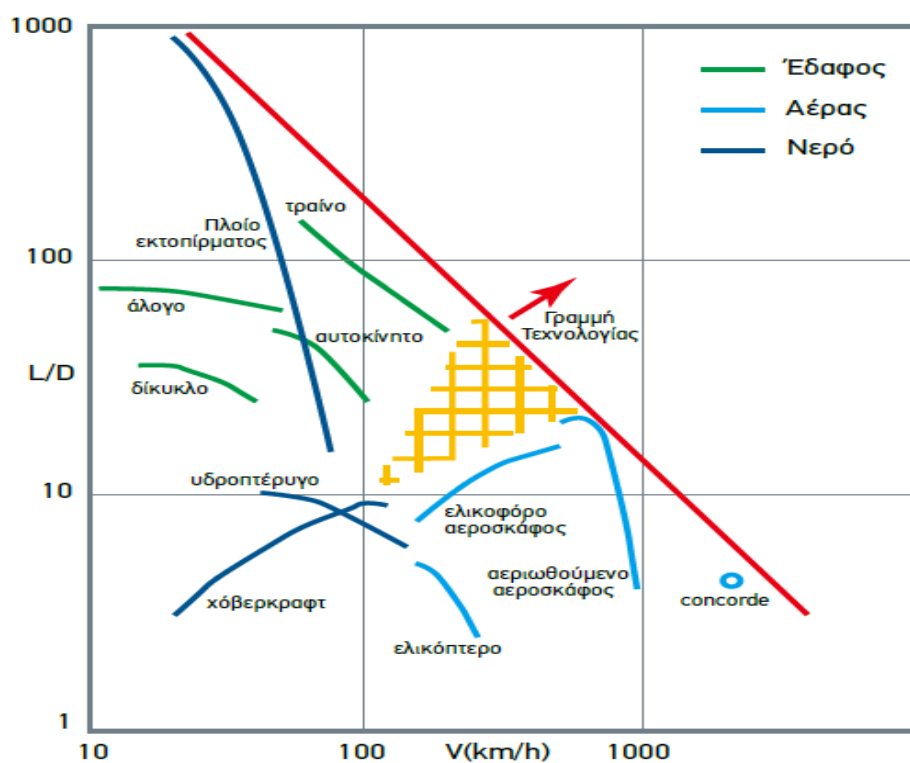
### **3.5.3.2 Στρατιωτικές απαιτήσεις έναντι των πολιτικών απαιτήσεων**

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.

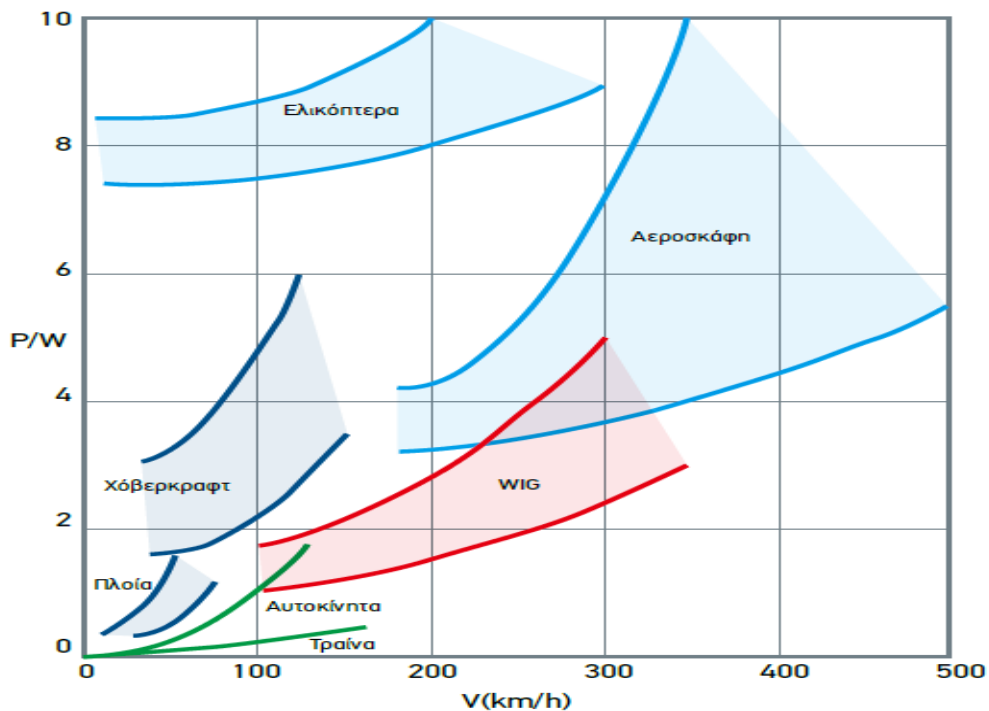
Η AMSA δεν έχει καμία ρυθμιστική εξουσία στα στρατιωτικά σκάφη. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, λόγω της υψηλής ταχύτητας του σκάφους τεχνολογίας WIG, η αλληλεπίδραση ενός στρατιωτικού σκάφους τεχνολογίας WIG με την πολιτική ναυτιλίας χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Η αποφυγή και η πλοήγηση πρέπει να είναι ευθύνη του χειριστή του σκάφους τεχνολογίας 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 sky WIG διαθέτουν μια σειρά από πλεονεκτήματα που οφείλονται στα μοναδικά χαρακτηριστικά τους. Η υψηλότερη ταχύτητα τους μαζί με την μειωμένη κατανάλωση (s.f.c – specific fuel consumption) τα κάνει ελκυστικά για κάθε εφαρμογή σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο θαλάσσιο σκάφος. Στο διάγραμμα Karman- Gabrielli της Εικόνας 15 μπορούμε να δούμε ότι πετυχαίνουν υψηλές ταχύτητες διατηρώντας παράλληλα υψηλή απόδοση (υψηλός λόγος άνωσης προς οπισθέλκουσα), άρα και οικονομία.



Εικόνα 15: υψηλός λόγος άνωσης προς οπισθέλκουσα.



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

Επιπλέον η οικονομία στη χρήση και λειτουργία οφείλεται 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 τεχνολογίας 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 ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

### 4.1 Χρήσεις σκαφών τεχνολογίας WIG

Η πρώτη χρήση των σκαφών τεχνολογίας WIG ήταν ως επιβατηγά σκάφη, όμως τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους τα έκαναν χρήσιμα 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 χρονικής διάρκειας μίας με δύο ωρών με σκάφη μικρού μεγέθους. Αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως θαλάσσια ταξί, τουριστικά σκάφη ξεναγήσεων κλπ.

Επίσης, τα σκάφη τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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 ακόμη και τα ελικόπτερα 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 τεχνολογίας 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<sup>η</sup> Σύνοδο του IMO στις 29 Νοεμβρίου 2001 τροποποιήθηκε η Διεθνής Σύμβαση με την ονομασία «Περί των Διεθνών Κανονισμών προς Αποφυγήν Συγκρούσεων εν Θαλάσση, 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 (του Γερμανού A.Lippisch) έχουν τη μεγαλύτερη εμπορική επιτυχία, αν και υπάρχουν και κάποια ρωσικά σχέδια όπως το Aquaglide-5 της ΑΤΤΚ-INVEST, που είναι σε υπηρεσία. Η ΑΤΤΚ-INVEST έχει αναπτύξει δύο σειρές σκαφών με τις ονομασίες Aquaglide (WIG τύπου Α) και ΜΡΕ (WIG τύπου Β).

Τον Απρίλιο του 2010 το Μ/Υ 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 Alexeyev CHDB βγαίνει σε δύο εκδόσεις, με 42 και 50 επιβάτες αντίστοιχα. Το σκάφος διατηρεί την ίδια διάταξη μηχανών με το Orlyonok (δύο προωρίες μηχανές για απογείωση και μία στο κάθετο ουραίο για πορεία), ενώ παράλληλα έχει αμφίβιες δυνατότητες.

Όσον αφορά τη χρήση των σκαφών τεχνολογίας WIG στην Ελλάδα εδώ και λίγα χρόνια γίνεται λόγος για τη δρομολόγηση σκαφών τεχνολογίας WIG στη γραμμή Πειραιάς-Κρήτη, χωρίς όμως να έχει υλοποιηθεί κάποιο από τα δρομολόγια αυτά. Η εταιρεία που προωθεί τη χρήση των

σκαφών τεχνολογίας 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 τεχνολογίας WIG στην ελληνική ακτοπλοΐα συνεχίζονται και εκτιμάται ότι η εισαγωγή σκαφών τεχνολογίας 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 τεχνολογίας 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 μέτρων. 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 τεχνολογίας 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 Cossack) 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 τεχνολογίας WIG.

## **4.2 Προοπτικές για το ελληνικό περιβάλλον**

Η οικονομική κρίση η οποία μαστίζει την Ελλάδα τα τελευταία χρόνια, δημιουργεί την ανάγκη περικοπής των εξοπλισμών και της περιστολής των δαπανών στον τομέα των Ελληνικών Δυνάμεων. Παρόλα αυτά, επειδή η άμυνα μιας χώρας δεν επιδέχεται υποχωρήσεις, θα πρέπει σε

τέτοιες δύσκολες περιόδους να βρεθούν εναλλακτικές πρακτικές. Η χρήση κοινών μέσων και συστημάτων θα μπορούσε να αποτελέσει μια επιτυχημένη πρακτική, καθώς αυξάνει κατακόρυφα την ομοιοτυπία, ενώ παράλληλα μειώνει δραματικά το συνολικό κόστος.

Αν και έχει υπάρξει ενδιαφέρον για τη χρησιμοποίηση σκαφών τεχνολογίας WIG από Έλληνες επιχειρηματίες, δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμα κάποια ενέργεια. Το γεγονός αυτό είναι ως ένα βαθμό δικαιολογημένο, καθώς τα σκάφη τεχνολογίας WIG δεν έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα και συμπεριλαμβάνουν υψηλό ρίσκο επένδυσης.

Στην περίπτωση όμως των στρατιωτικών εφαρμογών αυτό μπορεί να είναι και πλεονέκτημα, καθώς προσδίδει στον κάτοχό του το πλεονέκτημα του αιφνιδιασμού, οπότε και δεν υπάρχουν δοκιμασμένες τακτικές αντιμετώπισης.

Η χρήση των σκαφών τεχνολογίας WIG στην Ελλάδα στον στρατιωτικό τομέα παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Αρχικά, γνωρίζουμε ότι η κύρια απειλή που αντιμετωπίζει η Ελλάδα είναι από την Ανατολή και περιλαμβάνει την αποβίβαση στρατευμάτων και την κατάληψη ενός ή περισσότερων νησιών του Ανατολικού Αιγαίου.

Η Ελλάδα βρίσκεται σε φυσικά μειονεκτική θέση λόγω του μεγάλου πλήθους των νησιών που πρέπει να προστατεύσει, σε συνδυασμό με το σημαντικά μικρότερο έμψυχο στρατιωτικό δυναμικό, ενώ την ίδια στιγμή ο κύριος όγκος των δυνάμεων της βρίσκεται στην ηπειρωτική Ελλάδα (Γκουγκουλίδης, 2012).

Σε περίπτωση που η αντιαποβατική ενέργεια από ελληνικής πλευράς αποτύχει, θα πρέπει να εκτελεστεί ανακατάληψη νήσου και ενίσχυση των τοπικά μαχόμενων δυνάμεων. Για το λόγο αυτό αποκτήθηκαν και τα υπερταχεία αποβατικά σκάφη Zubr, τα οποία όμως λόγω του μικρού τους αριθμού και της μικρότερης ταχύτητας σε σχέση με τα σκάφη τεχνολογίας WIG, έχουν περιορισμένες εφαρμογές.

Τα σκάφη τεχνολογίας WIG από την άλλη θα έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν δυνάμεις για ανακατάληψη της νήσου και να προλάβουν την απώλεια εδαφών, μεταφέροντας έγκαιρα δυνάμεις στην περιοχή (Γκουγκουλίδης, 2012).

Σε ένα σενάριο ανακατάληψης νήσου, μονάδες θα πρέπει να μεταφερθούν στην περιοχή για την εκτέλεση επιχειρήσεως ανακατάληψης. Σύμφωνα με τα στοιχεία στους Πίνακες 17 και 18, μπορούμε να διαπιστώσουμε τις δυνατότητες μεταφοράς δυνάμεων των σκαφών τεχνολογίας WIG και των άλλων εναλλακτικών μέσων. Στον Πίνακα 17 περιλαμβάνονται τα κύρια μεταφορικά αεροναυτικά μέσα των ελληνικών δυνάμεων χωρίς να υπολογίζονται τα συμβατικά πλοία, ενώ στον Πίνακα 18 τα τρία μεγαλύτερα ρωσικά σκάφη τεχνολογίας WIG.

Στην περίπτωση που υπάρχει ανάγκη μεταφοράς μιας δύναμης 1.500 ανδρών, τότε απαιτείται η χρήση δύο σκαφών KM ή τριών Lun. Ο ίδιος αριθμός Zubr απαιτείται για τη μεταφορά της

συγκεκριμένης δύναμης, ενώ χρειάζονται 24 αεροσκάφη C-130, ή 75 από τα καινούργια ελικόπτερα NH90. Παρατηρούμε ότι η οικονομική κατάσταση της Ελλάδας σήμερα δεν επιτρέπει την απόκτηση και τη διατήρηση ενός τόσο μεγάλου στόλου αεροσκαφών και ελικοπτέρων.

Τύπος	C-130H	C-27J Spartan	CH-47D Chinook	NH90	Zubr
Κατασκευαστής	Lockheed	Alenia	Boeing	NHIndustries	Almaz
Χρήστης	Π.Α.	Π.Α.	Ε.Σ.	Ε.Σ.	Π.Ν.
Αριθμός σε υπηρεσία	15	12	15	4 (+16)	3
Μήκος (m)	29,8	22,7	30,1	16,13	57
Εκπέτασμα πτερύγων (m) Διάμετρος στροφέιου (m) Πλάτος (m)	40,4	28,7	18,3	16,3	25,6
Φορτίο (tn)	20	11,5	12,7	4,2	130
Στρατιώτες	64	60	55	20	500
Εναλλακτικό φορτίο	2 x M113				3 άρματα ή 10 τεθωρακισμένα
Κινητήρες	4x T56-A-15	2x AE2100-D2A	2x T55-GA-712	2x RTM322-01/9	5x NK12MV (3 πρόωσης, 2 ανύψωσης)
Ισχύς ανά κινητήρα(kW)	3.430	3.460	2.796	1.662	8.700
Μέγιστη ταχύτητα (kt)	320	325	170	162	65
Ακτίνα δράσης (nm)	2.050	1.000	400	432	300
Κόστος (εκατομμύρια \$)*	51	33,35	32	24,32	50

**Πίνακας 17: Γενικά χαρακτηριστικά κύριων μέσων μεταφοράς των ΕΔ.**

Τύπος	A90.150 Orlyonok	Lun (Σχέδιο 903)	KM («Τέρας της Κασπίας»)
Κατασκευαστής	CDBH	CDBH	CDBH
Αριθμός σε υπηρεσία	-(3)	-(1)	-
Μήκος (m)	58	75	92,4
Εκπέτασμα φτερών (m)	31,5	41	37,8
Φορτίο (tn)	30	137	
Στρατιώτες	350	600	900
Κινητήρες	2x NK8 turbofan (απονήωση), 1x NK12 turboprop (πρόωση)	8x NK87 turbofan	10x VD-7 (8 απονήωση + 2 πρόωση)
Ισχύς ανά κινητήρα(kW)	11.000	5.600	
Μέγιστη ταχύτητα (kt)	220	300	270
Ακτίνα δράσης (nm)	1.080	1.620	1.000

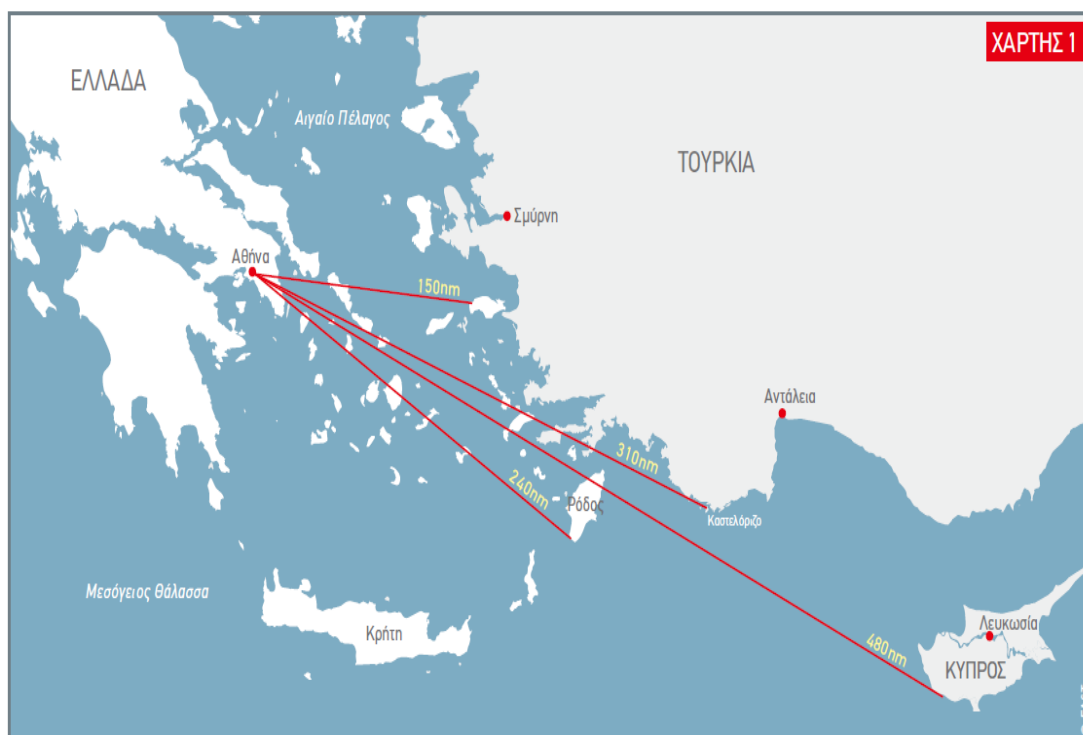
**Πίνακας 18: Γενικά χαρακτηριστικά των κυριότερων Ρωσικών σκαφών WIG.**

Στην Εικόνα 19 παρουσιάζονται ενδεικτικές αποστάσεις κάποιων πιθανών θεάτρων επιχειρήσεων από την περιοχή της πρωτεύουσας. Αν θεωρήσουμε τη νήσο Ρόδο ως το θέατρο των επιχειρήσεων, τότε τόσο τα εξεταζόμενα ελικόπτερα όσο και τα Zubr θα αποβιβάσουν τις δυνάμεις χωρίς να μπορούν να επιστρέψουν αν δεν ανεφοδιαστούν πρώτα.

Από την άλλη, τα σκάφη KM, Orlyonok και τα αεροσκάφη C-27 θα μεταφέρουν δυνάμεις δύο φορές επιστρέφοντας τελικά στη βάση τους, προτού ανεφοδιαστούν. Επίσης, το Lun τρεις φορές, ενώ το C-130 τέσσερις. Στην περίπτωση που η απόσταση είναι μεγαλύτερη, όπως για παράδειγμα το Καστελόριζο, τότε τα Zubr δεν θα καταφέρουν να φτάσουν, κάτι το οποίο ισχύει και για τα ελικόπτερα στην περίπτωση της Κύπρου.

Όσον αφορά την ταχύτητα, τα σκάφη τεχνολογίας WIG έχουν περίπου τις ίδιες επιδόσεις με τα αεροσκάφη. Τα ελικόπτερα θέλουν περίπου το διπλάσιο χρόνο για να μεταβούν στην περιοχή ενδιαφέροντος, ενώ τα Zubr θέλουν πενταπλάσιο περίπου χρόνο για να καλύψουν την ίδια απόσταση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι ένας στολίσκος από σκάφη τεχνολογίας WIG θα υπερτερούσε σε σχέση με τα σημερινά μέσα που κατέχουν οι ελληνικές ένοπλες δυνάμεις.



**Εικόνα 19: Απέναντι:** Απεικόνιση υπολογιστή του Pelican της Boeing. **Κάτω:** Ενδεικτικές αποστάσεις πιθανών θεάτρων επιχειρήσεων. («EA&T»).



Τα σκάφη τεχνολογίας WIG θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην Ελλάδα, έτσι ώστε να εφαρμοστεί ένα ενιαίο αμυντικό δόγμα, αξιοποιώντας τα κενά στην επιτήρηση και τον έλεγχο του εναέριου χώρου.

Σύμφωνα με την πρόταση του Γκουγκουλίδη (2012) για τις ελληνικές δυνάμεις θα πρέπει να δημιουργηθούν τρεις στολίσκοι με διαφορετική αποστολή ο καθένας.

Ο πρώτος θα αποτελείται από σκάφη μικρού μεγέθους, στα πρότυπα του Ιρανικού Ναυτικού με σκοπό την αναγνώριση, έγκαιρη προειδοποίηση και τη θαλάσσια επιτήρηση. Τα σκάφη θα φέρουν κατάλληλο ηλεκτρονικό εξοπλισμό καθώς και πυροβόλο μικρού διαμετρήματος, για στοιχειώδη προσβολή και αυτοπροστασία.

Ο δεύτερος στολίσκος θα αποτελείται από σκάφη κατευθυνόμενων βλημάτων για προσβολή στόχων επιφανείας. Τα σκάφη θα είναι μεσαίου μεγέθους και μικρότερα από το Ρωσικό Lun, χρησιμοποιώντας πυραύλους επιφανείας μικρού βεληνεκούς, όπως για παράδειγμα ο RBS 17 Hellfire.

Εφόσον τα σκάφη τεχνολογίας WIG είναι ταχύτερα από οποιοδήποτε πλοίο και μη αντιληπτά από τα ραντάρ, καθώς έχουν την ικανότητα να πετούν πολύ κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας, δεν είναι απαραίτητη η χρήση μεγαλύτερων και ακριβότερων βλημάτων επιφανείας. Η ίδια πλατφόρμα θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για αποστολές ανθυποβρυχιακού πολέμου (Γκουγκουλίδης, 2012).

Ο τρίτος στολίσκος θα περιλάμβανε μεταφορικά σκάφη WIG μεγάλου μεγέθους για κάλυψη τακτικών μεταφορών. Τα σκάφη σε αυτόν τον στολίσκο θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσου μεγέθους με το ρωσικό Lun και να έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν στρατεύματα και ελαφρά τεθωρακισμένα οχήματα.

Η δημιουργία αυτών των τριών στολίσκων θα αποτελούσε μια κίνηση ισχυρής ενδυνάμωσης της άμυνας της χώρας. Επίσης, θα δινόταν με αυτό τον τρόπο πραγματικό νόημα στην έννοια του όρου της διακλαδικότητας.

Επιπλέον, ο εξοπλισμός της άμυνας με τους παραπάνω στολίσκους θα προκαλούσε αύξηση στην ομοιογένεια και την ομοιομορφία των μέσων και των συστημάτων.

Ο τομέας της ναυτιλίας θεωρείται δεκτικός στη σταδιακή εξέλιξη, αλλά ιδιαίτερα διστακτικός σε επαναστατικές αλλαγές. Παράδειγμα αποτελεί η εισαγωγή του ατμοστροβίλου ως σύστημα πρόωσης, που δοκιμάστηκε για πρώτη φορά στο σκάφος Turbinia το 1894, αλλά πήρε αρκετά χρόνια για να υιοθετηθεί σε μεγάλη κλίμακα. Άλλα παραδείγματα είναι αυτά των πολύγαστρων σκαφών (καταμαράν, τριμαράν), τα οποία σαν ιδέες υπήρχαν αρκετές δεκαετίες, αλλά μόλις τα τελευταία χρόνια άρχισαν να χρησιμοποιούνται εκτενώς (Γκουγκουλίδης, 2012).

Είναι λογικό να μην παρατηρείται ιδιαίτερη κινητικότητα από τους επιχειρηματίες, καθώς πρόκειται για έναν καινούργιο τομέα με υψηλό ρίσκο. Εξάλλου, οι περισσότεροι επιχειρηματίες χαρακτηρίζονται από την αποφυγή κινδύνου και το συντηρητισμό. Παρόλα αυτά η δυνητική αγορά είναι αρκετά μεγάλη, ξεκινώντας για παράδειγμα από τα αρχιπελαγικά κράτη. Αν θα θέλαμε να την προσδιορίσουμε ποσοτικά, θα την συγκρίναμε με αυτή των ελικοπτέρων, που αντιστοιχεί σε \$5 δις ετησίως και σε ρυθμό ανάπτυξης 3%. Ακόμη και τα ανταγωνιστικά υδροπλάνα έχουν καταφέρει να πάρουν μερίδιο από την αγορά αν και έχουν μικρότερο ωφέλιμο φορτίο και χειρότερη συμπεριφορά στον κυματισμό.

Εκτός από τους επιχειρηματίες διστακτικότητα παρατηρείται και στον τομέα των κατασκευαστών, οι οποίοι δεν προχωρούν στην παραγωγή σκαφών WIG, καθώς είναι αμφίβολο ότι θα βρουν πελάτες. Όπως προαναφέραμε, το κόστος λειτουργίας είναι χαμηλό, ενώ το κόστος ανάπτυξης είναι αρκετά υψηλό. Επομένως, για να προχωρήσουν οι κατασκευαστές στην παραγωγή σκαφών WIG θα πρέπει η παραγγελία να αφορά μεγάλο αριθμό σκαφών. Άρα, μια τέτοια κίνηση θα ήταν συμφέρουσα σε οικονομίες κλίμακας. Ιδανικό σκάφος θα ήταν αυτό που θα ήταν αρκετά μεγάλο ώστε να είναι κερδοφόρο, ενώ από την άλλη αρκετά μικρό ώστε να περιορίζεται το κόστος παραγωγής.

Μια λύση για να αντιμετωπιστεί αυτή η διστακτικότητα θα ήταν η απόκτηση ενός σκάφους επίδειξης τεχνολογίας από ένα ναυτικό και οι εξαντλητικές δοκιμές του, ώστε να αποδειχτεί διεθνώς ότι η τεχνολογία είναι πλέον ώριμη. Αυτό συνέβη και με τα σκάφη τύπου καταμαράν της Incat που υιοθέτησε το Αμερικανικό Ναυτικό το 1998. Τέλος, τα στρατιωτικά πλεονεκτήματα που προσφέρει ένα τέτοιο σκάφος είναι τόσο μεγάλα που δικαιολογούν το υψηλό κόστος ανάπτυξης.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι πρακτικές εφαρμογές του σκάφους τεχνολογίας 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 ανυπέρβλητη 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 έρευνας και της ανάπτυξης και τα επακόλουθα κέρδη της τεχνολογίας. Η ανάπτυξη του σκάφους τεχνολογίας WIG θα παρέχει 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 σκαφών τεχνολογίας WIG.

Τα σκάφη τεχνολογίας 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, αυτό το πλεονέκτημα μειώνεται από τους συμβιβασμούς που απαιτούνται για το σχεδιασμό του σκάφους τεχνολογίας WIG. Τέτοιοι συμβιβασμοί περιλαμβάνουν ενισχυτικές δομές κύτους και μεγαλύτερο έλεγχο δυνάμεων. Ο βαθμός στον οποίο βελτιώνεται η συνολική επίδοση μπορεί να καθοριστεί μόνο από την άμεση σύγκριση βελτιστοποιημένων σχεδίων ισοδύναμων σκαφών τεχνολογίας WIG και αεροσκαφών. Μόνο μέσω μιας τέτοιας σύγκρισης θα μπορούσαν να γίνουν ορατά τα αποτελέσματα της βελτίωσης της επίδοσης του σκάφους και του κόστους κατασκευής και λειτουργίας του.

Τα σκάφη τεχνολογίας 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 σκάφους 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, 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 τεχνολογίας 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.

## Panel of Abbreviations/Πίνακας Συντμήσεων

**WIG** Wing In Ground Effect

**CHBD** Central Hydrofoil Design Bureau

**IGE** In Ground Effect (flight)

**OGE** Out of Ground Effect (flight)

**PAR** Power Augmentation of Ram wings

**COTS** Commercial-Of-The-Shelf

**IMO** International Maritime Organization

**ICAO** International Civil Aviation Organization

**AMSA** Australian Maritime Safety Authority

**DHC** Direct Height Control System

**IR** Instrument Rating

## Βιβλιογραφία

- Γκουγκουλίδης Γ. (2012). «Πτερυγόπλοια ανάμεσα στα κύματα και τα σύννεφα». *Τεχνολογία*. Μάϊος 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 Airfish 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 .....	13
2.1 Θεωρία πτήσης .....	14
2.1.1 Άνωση και οπισθέλκουσα .....	14
2.1.2 Κατώρευμα.....	16
2.1.3 Γεωμετρία.....	16
2.2 Επίδραση εδάφους.....	17
2.2.1 Άνωση, Οπισθέλκουσα και Κατώρευμα .....	18
2.3 Ροπή Πρόνευσης (Pitching Moment) .....	19
2.3.1 Μέγιστη Άνωση.....	20
2.3.2 Επίδραση του ύψους πάνω από το έδαφος .....	21
2.3.3 Επίδραση σε διαφορετικούς τύπους τμημάτων φτερών και κατόψεις φτερών .....	22
2.4 Θεωρητικά οφέλη της επίδρασης εδάφους.....	23
2.4.1 Οφέλη αποτελεσματικότητας σε σύγκριση με τα αεροσκάφη .....	23
2.4.2 Σύγκριση με τα πλωτά σκάφη .....	24
2.5 Σταθερότητα και έλεγχος στην επίδραση εδάφους .....	25
2.5.1 Σταθερότητα Ύψους.....	25
2.5.2 Σταθερότητα πρόνευσης.....	26
2.5.3 Έλεγχος κατεύθυνσης και δυνατότητα ελιγμών .....	27
2.5.4 Σταθερότητα ταχύτητας.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ WIG .....	29
3.1 Φιλοσοφίες σχεδιασμού .....	29
3.2 Επιδόσεις .....	30
3.2.1 Παράμετροι σχεδιασμού: Πτητική επίδοση (Air Borne).....	30
3.2.2 Παράμετροι σχεδιασμού: Για επαρκή επίδοση θαλάσσιων μεταφορών .....	34
3.2.3 Παράμετροι σχεδιασμού: Επίδοση σε αέρα και θάλασσα.....	38
3.3 Παραγωγή αεροσκαφών τεχνολογίας WIG - Επίδοση σκάφους.....	39

3.3.1 Επίδοση μεταφοράς.....	39
3.3.2 Εμβέλεια και ωφέλιμο φορτίο .....	40
3.3.3 Κατάσταση θάλασσας .....	43
3.3.4 Επίδοση πτήσης.....	43
3.4 Περιορισμοί.....	44
3.4.1 Κατάσταση θάλασσας .....	44
3.4.2 Σταθερότητα και έλεγχος.....	47
3.4.3 OGE Λειτουργία.....	47
3.4.4 Ταχύτητα .....	48
3.4.5 Πρόωση .....	51
3.5 Κανονισμός .....	52
3.5.1 Σχεδιασμός και Κατασκευή Νέου σκάφους τεχνολογίας WIG.....	52
3.5.2 Πρότυπα σχεδίασης.....	53
3.5.3 Απαιτήσεις πιστοποίησης.....	53
3.6 Τα πλεονεκτήματα των σκαφών τεχνολογίας WIG.....	55
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΚΑΦΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ WIG ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ</b>	<b>59</b>
4.1 Χρήσεις σκαφών ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑς WIG.....	59
4.2 Προοπτικές για το ελληνικό περιβάλλον.....	61
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>67</b>
Βιβλιογραφία.....	69