

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΠΕΡΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ -
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Αρβανίτης Αθανάσιος

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :
ΤΣΟΡΜΠΙΑΤΖΙΔΗΣ Α.**

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2017

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΥΠΕΡΣΠΗΛΑΙΩΣΗΣ -
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Αρβανίτης Αθανάσιος
ΑΜ : 4760**

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

Εισαγωγή

Το φαινόμενο της υπερσπηλαίωσης σχετίζεται άμεσα με το φαινόμενο της σπηλαίωσης. Το τελευταίο προσπαθούμε να το αποφύγουμε και το πρώτο να το αξιοποιήσουμε. Η μελέτη του φαινομένου της υπερσπηλαίωσης έχει να κάνει με την εφαρμογή του κυρίως σε όπλα. Κυρίως αναφέρεται σε στοιχεία όπως

1. Κατευθυνόμενες τορπίλες υψηλής ταχύτητας.
2. Βλήματα ή βολίδες υπερηχητικών ταχυτήτων που μπορούν να βληθούν από πολυβόλα ή πυροβόλα τοποθετημένα σε ελικόπτερα ή υποβρύχια ατρακτίδια για την καταστροφή θαλάσσιων ναρκών, εχθρικών τορπίλων ή και σκαφών.
3. Υπερταχεία (υπερηχητικά) υποβρύχια σκάφη, η ανάπτυξη των οποίων θα επέφερε ριζικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο διεξάγεται σήμερα ο ναυτικός πόλεμος. Σύμφωνα με μια εκδοχή, μικρά υπερταχεία υποβρύχια θα μπορούσαν να μεταφέρονται από ένα μητρικό σκάφος σε κοντινές σχετικά αποστάσεις από τους στόχους και κατόπιν να εκτοξεύουν και να κινούνται αυτόνομα διεξάγοντας ταχύτατες επιθέσεις με πυροβόλα ή πολυβόλα που εκτοξεύουν βλήματα κινούμενα επίσης με ταχύτητες υπερσπηλαίωσης.
4. Πλοίο τεχνολογίας υπερσπηλαίωσης. Πρόκειται για το GHOST, το πρώτο πλοίο που χρησιμοποιεί τεχνολογία «super-cavitation» για την ανάπτυξη υψηλής ταχύτητας, που περιγράφεται από τους σχεδιαστές του σαν γεγονός το ίδιο σημαντικό με την επίτευξη υπερηχητικής ταχύτητας από αεροπλάνα.

Abstract

Super-cavitation has a connection with cavitation. We try to avoid the last one but not the first. The research of super cavitation is about using it mostly on weapons. It is mainly related with:

1. High-speed guided missiles
2. Projectile or bullets of supersonic speed that can be shot from machine guns mounted on helicopters or submarines in order to destroy underwater mines, hostile missiles or ships.
3. Supersonic submarines. The evolvement of supersonic submarines could bring massive changes in the way of sea fights. According to one version small supersonic submarines could be transported by another big ship near the targets. Then the submarines could be self-governed launching assaults by using machines, which could eject projectiles also moving with super-cavitation swiftness.
4. Ship with super-cavitation technology. It's about "GHOST", the first ship with the super-cavitation technology in order to achieve high speed. The designers consider this fact as important as the achievement of supersonic speed on airplanes.

1. Κεφάλαιο 1^ο – Φαινόμενο Σπηλαιώσης και Υπερσπηλαιώσης

1.1 Το Φαινόμενο της Σπηλαιώσης

Η σπηλαιώση ορίζεται ως η ατμοποίηση ενός υγρού υπό συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας, λόγω μείωσης της πίεσης κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο που ονομάζεται πίεση ατμοποίησης (Πάντζαλης, 2008). Η σπηλαιώση ξεκινάει με σχηματισμό κοιλοτήτων ατμού (vapor cavities) εντός ενός αρχικά ομοιογενούς υγρού. Αναλόγως με τη διαμόρφωση της ροής και τις φυσικές ιδιότητες του υγρού, η σπηλαιώση μπορεί να παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά (Παπαθανάσης, 2002).

1.2 Κύριες Μορφές Σπηλαιώσης

Η σπηλαιώση μπορεί να παρουσιαστεί σε διάφορες μορφές, εξαρτώμενη κυρίως από τη βασική δομή της ροής. Ωστόσο, καθώς το φαινόμενο εξελίσσεται, η δομή του ατμού επηρεάζει και τροποποιεί τη ροή. Διακρίνονται τρεις κύριοι τύποι σπηλαιώσης (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012):

-Παροδικές μεμονωμένες φυσαλίδες (transient isolated bubbles). Εμφανίζονται στην

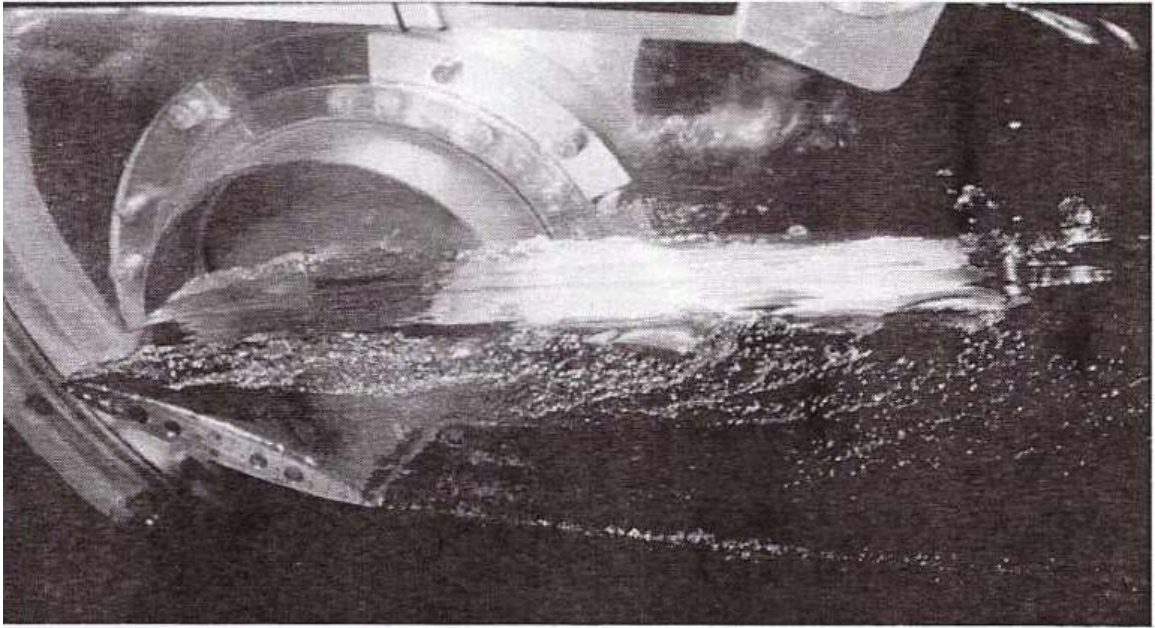
περιοχή χαμηλής πίεσης, ως αποτέλεσμα της ταχείας αύξησης πολύ μικρών περιοχών αερίου που εμπεριέχονται στο υγρό. Μεταφέρονται με τη ροή και σταδιακά εξαφανίζονται καθώς εισέρχονται σε περιοχές υψηλής πίεσης.

-Προσκολλημένες κοιλότητες (attached cavities). Σε αυτό το είδος σπηλαίωσης, κοιλότητες ατμού προσκολλώνται πάνω σε στερεές επιφάνειες. Εδώ, μπορεί να γίνει μια επιπλέον διάκριση μεταξύ της μερικής σπηλαίωσης (partial cavities) που παρατηρείται κοντά στα τοιχώματα και η οποία έχει σταθερό μήκος σπηλαίωσης και της υπερσπηλαίωσης (super-cavities) όπου το μήκος της περιοχής της σπηλαίωσης επεκτείνεται πέρα από κάποιο όριο, για παράδειγμα την έξοδο του αγωγού της ροής.

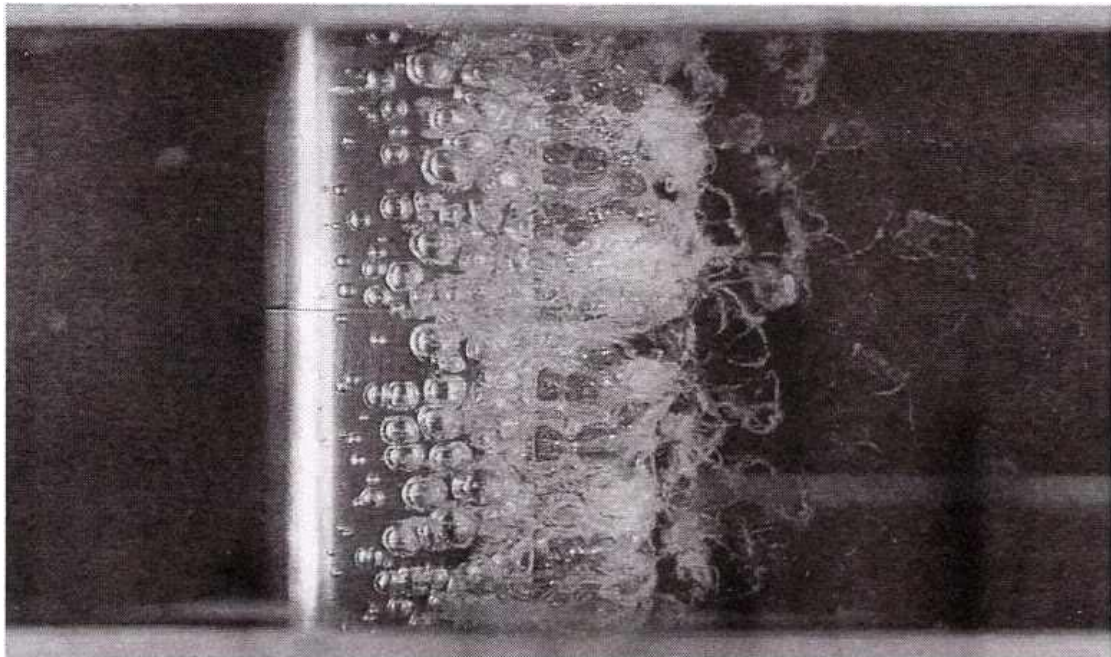
-Σπηλαίωση λόγω δημιουργίας δινών (cavitating vortices). Εδώ η σπηλαίωση μπορεί να εμφανιστεί στο κέντρο μιας δίνης το οποίο χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλή πίεση, και η οποία μεταφέρεται με τη ροή.

Υπάρχουν και άλλα είδη σπηλαίωσης που δεν συμπίπτουν με κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες, όπως η σπηλαίωση σε σχήμα σύννεφου (cloud cavitation). Σε αυτήν την περίπτωση σπηλαίωσης, εμφανίζονται λόγω ασταθειών μεγάλες μάζες ατμού σε μορφή σύννεφου. Επιπλέον, υπάρχουν και περιπτώσεις σπηλαίωσης που μπορεί να εμφανίζουν συνδυασμένα χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων σπηλαίωσης. Κύριο παράδειγμα είναι η σπηλαίωση που εμφανίζεται αρχικά με τη μορφή προσκολλημένων κοιλοτήτων, αλλά στη συνέχεια μεταφέρονται με τη ροή (travelling bubble cavitation) (Πάντζαλης, 2008).

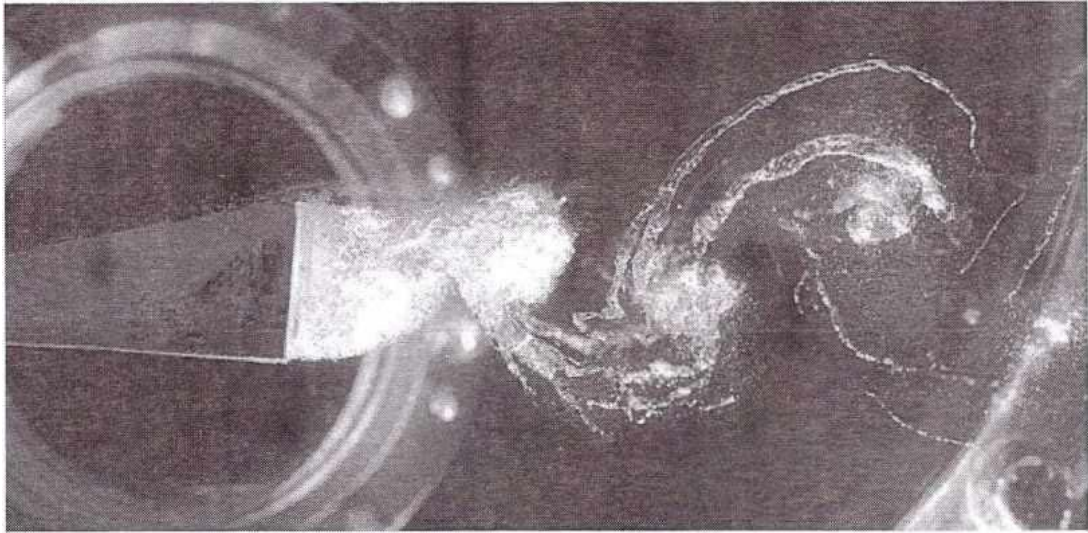
Στην περίπτωση αυτή, σχηματίζονται φυσαλίδες στα τοιχώματα της διάταξης, αλλά αφού αυτές αυξηθούν σε μέγεθος μεταφέρονται προς την κατεύθυνση της ροής, μέχρι να εξαφανιστούν λόγω εισόδου τους σε περιοχές υψηλότερης πίεσης. Παρακάτω παρουσιάζονται εικόνες με τα διάφορα είδη της σπηλαίωσης (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).



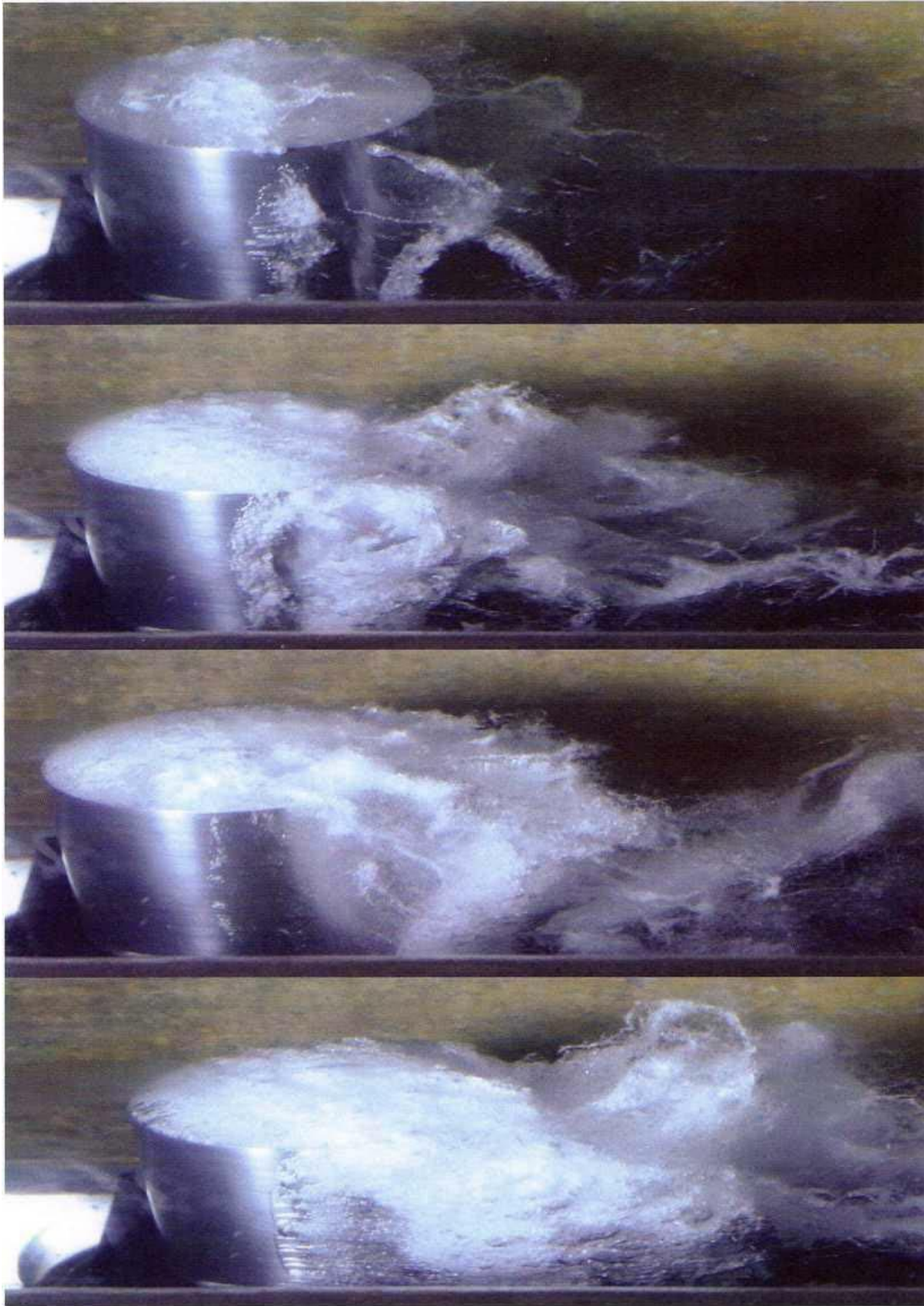
Εικόνα Νο.1: Εμφάνιση υπερσπηλαίωσης (supercavitation) πίσω από υδροτομή. Το μήκος της σπηλαίωσης καλύπτει όλη την επιφάνεια και επεκτείνεται για αρκετό διάστημα κατά την κατεύθυνση της ροής.



Εικόνα Νο.2 : (Travelling bubble cavitation). Σπηλαίωση που εμφανίζεται με τη μορφή προσκολλημένων κοιλοτήτων. Αφού οι σχηματισμένες φυσαλίδες αυξηθούν σε μέγεθος, μεταφέρονται κατά κατεύθυνση της ροής (από αριστερά προς τα δεξιά), και μετά από λίγο εξαφανίζονται.



Εικόνα Νο.3 : Η σπηλαιώση δημιουργείται στον πυρήνα των δινών και έπειτα μεταφέρεται μαζί με τη ροή (cavitating vortices) σχηματίζοντας δύο διαδοχικές δίνες αντίστροφης στροβιλότητας.



Εικόνα Νο.4: Εμφάνιση σπηλαιώσης πίσω από κυλινδρικό αγωγό ο οποίος βρίσκεται εντός σήραγγας ροής νερού υψηλής ταχύτητας. Εδώ, η σπηλαιώση εμφανίζεται σε μορφή δινών που μεταφέρονται με τη ροή (cavitating vortices). Η ταχύτητα της ροής αυξάνεται και ο αριθμός σπηλαιώσης μειώνεται αντίστοιχα με σειρά από πάνω προς τα κάτω.

1.3 Ευνοϊκές Συνθήκες για την Εμφάνιση Σπηλαιώσης

Η γεωμετρία των τοιχωμάτων μπορεί να προκαλέσει σε αρχικά σταθερή ροή

έντονες τοπικές αυξήσεις της ταχύτητας, οι οποίες συνοδεύονται από πτώση της πίεσης. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση απότομης μείωσης της διατομής, όπως για παράδειγμα όταν η ροή περάσει μέσα από το ακροφύσιο, καθώς επίσης και λόγω της καμπυλότητας που μπορεί να επιβληθεί στη ροή από την τοπική γεωμετρία (για παράδειγμα, γωνίες σε σωληνώσεις ή καμπυλότητα υδροτομών) (Παπαθανάσης, 2002).

Σπηλαίωση μπορεί επίσης να εμφανιστεί σε τυρβώδεις ροές με διάτμηση, λόγω μεγάλων διακυμάνσεων στην πίεση. Ο ασταθής χαρακτήρας κάποιων ροών (όπως για παράδειγμα στους αγωγούς τροφοδότησης κινητήρα Diesel με καύσιμο) μπορεί να οδηγήσει σε επιτάχυνση του ρευστού και συνεπώς σε στιγμιαία παραγωγή σημείων χαμηλής πίεσης, γεγονός που οδηγεί σε σπηλαίωση.

Η τραχύτητα των τοιχωμάτων παράγει τοπικά περιοχές ομόρρου (local wakes) όπου μπορεί να αναπτυχθεί σπηλαίωση με τη μορφή προσκολλημένων κοιλοτήτων. Ως συνέπεια της ταλαντούμενης κίνησης των τοιχωμάτων (για παράδειγμα σε μηχανές Diesel), δημιουργούνται διακυμαινόμενα πεδία πίεσης που επιβάλλονται πάνω στο κατά τα άλλα ομοιόμορφο πεδίο πίεσης. Αν το εύρος διακύμανσης είναι αρκετά μεγάλο, μπορεί να εμφανιστεί σπηλαίωση (Πάντζαλης, 2008).

Αν ένα στερεό σώμα επιταχυνθεί απότομα (κρούση) εντός υγρού που βρίσκεται αρχικά σε ηρεμία, ιδιαίτερα αν το σώμα διαθέτει αιχμηρές άκρες, μπορεί να δημιουργηθεί σπηλαίωση. Η επιτάχυνση του υγρού που απαιτείται για να παρακάμψει τις άκρες παράγει χαμηλές πιέσεις, ακόμα και αν οι ταχύτητες είναι σχετικά μικρές αμέσως μετά την κρούση.

Το φαινόμενο της σπηλαίωσης μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τα υδραυλικά συστήματα. Οι σημαντικότερες επιπτώσεις είναι οι εξής:

- Αλλαγή στην απόδοση του συστήματος
- Εμφάνιση επιπλέον δυνάμεων στις στερεές δομές
- Παραγωγή ταλαντώσεων και θορύβου
- Διάβρωση των τοιχωμάτων στην περίπτωση αναπτυγμένης σπηλαίωσης σε περίπτωση που η ταχύτητα του υγρού είναι πολύ μεγάλη.

Εκ πρώτης όψεως, η σπηλαίωση εμφανίζεται ως ένα επιβλαβές φαινόμενο, του οποίου η εμφάνιση πρέπει να αποφεύγεται. Σε ορισμένες περιπτώσεις, για να μην επιβαρυνθεί οικονομικά μια εγκατάσταση, μπορεί να επιτραπεί ένας ορισμένος βαθμός

ανάπτυξης της σπηλαιώσης. Αυτό όμως πρέπει να γίνεται εφόσον οι επιπτώσεις της σπηλαιώσης ελέγχονται και δεν επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία της διάταξης (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Εκτός από τις αρνητικές επιπτώσεις, η σπηλαιώση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάποιες βιομηχανικές διεργασίες και εφαρμογές για να συγκεντρώσει ενέργεια σε μικρές επιφάνειες και να παράγει υψηλές πιέσεις σε προκαθορισμένα σημεία. Για αυτόν τον σκοπό, συχνά χρησιμοποιούνται συσκευές υπερήχων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ωφέλιμης χρήσης της σπηλαιώσης είναι ο καθαρισμός επιφανειών με υπερήχους ή δέσμες, η διασπορά σωματιδίων σε υγρό μέσο, η χρήση σε τομείς της εμβιομηχανικής και τέλος η μείωση του ρυθμού ροής σε περιορισμένες ροές μέσω ανάπτυξης υπερσπηλαιώσης (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

1.4 Το Φαινόμενο της Υπερσπηλαιώσης

Για αρκετά χρόνια το φαινόμενο της υπερσπηλαιώσης θεωρείτο από τους επιστήμονες ως μια οριακή κατάσταση του φαινομένου της σπηλαιώσης το οποίο απετέλεσε αντικείμενο θεωρητικής και εφαρμοσμένης έρευνας εδώ και αρκετές δεκαετίες, αλλά για σκοπούς διαφορετικούς από την ανάπτυξη ταχέως κινούμενων υποβρύχιων αντικειμένων (Πάντζαλης, 2008). Η μελέτη της σπηλαιώσης ήταν αποτέλεσμα των προβλημάτων που προκαλούσε η ταχεία κίνηση αντικειμένων μέσα στο νερό και είχε ως στόχο όχι την αξιοποίηση, αλλά την αποτροπή της εμφάνισης και των αρνητικών συνεπειών του φαινομένου αυτού (Παπαθανάσης, 2002).

Η σπηλαιώση είναι φαινόμενο που σχετίζεται με τη βασική αρχή της δυναμικής των ρευστών, σύμφωνα με την οποία η αύξηση της ταχύτητας ενός ρευστού συνεπάγεται την πτώση της πίεσης του. Καθώς η έλικα ενός πλοίου περιστρέφεται μέσα στο νερό, τα πτερύγια της παρασύρουν ένα στρώμα του υγρού που τα περιβάλλει, με αποτέλεσμα την πτώση της πίεσης του ταχέως κινούμενου αυτού στρώματος νερού. Είναι γνωστό ότι η φυσική κατάσταση του νερού (όπως και κάθε ρευστού) είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της πίεσης του (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Αν η θερμοκρασία του νερού ανέλθει πάνω από ένα όριο (100 βαθμούς C, υπό συνθήκες πίεσης 1 atm) το νερό βράζει και εξατμίζεται, μεταβαίνοντας από υγρή σε αέρια κατάσταση. Το ίδιο συμβαίνει όταν η πίεση του πέσει κάτω από ένα όριο (0,33 atm υπό θερμοκρασία 20 βαθμών C). Όταν λοιπόν η έλικα ενός πλοίου περιστρέφεται με αρκετά

μεγάλη ταχύτητα, το στρώμα υγρού που τον περιβάλλει αναγκάζεται να κινηθεί επίσης ταχέως, με αποτέλεσμα μερικές φορές την πτώση της πίεσης του κάτω από το όριο εξάτμισης.

Η εξάτμιση του νερού λόγω ανόδου της θερμοκρασίας διαφέρει από την εξάτμιση του λόγω πτώσης της πίεσης, αν και τα αρχικά φυσικά χαρακτηριστικά των δύο φαινομένων είναι όμοια. Και στις δύο περιπτώσεις σχηματίζονται φυσαλίδες υδρατμών οι οποίες διογκώνονται βαθμιαία. Η διαδικασία αυτή όμως έχει πολύ διαφορετική κατάληξη όταν οφείλεται στην άνοδο της θερμοκρασίας, από ότι όταν οφείλεται στην πτώση της πίεσης (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Στην πρώτη περίπτωση, οι σχηματιζόμενες φυσαλίδες είναι σταθερές. Οι υδρατμοί μέσα σε αυτές είτε διαφεύγουν προς την ατμόσφαιρα είτε αποδίδουν τη θερμότητα τους στο περιβάλλον και η φυσαλίδα γεμίζει με υγρό χωρίς να καταρρεύσει, καθώς οι υδρατμοί στο εσωτερικό της συμπυκνώνονται. Στην περίπτωση όμως των φυσαλίδων που σχηματίζονται λόγω της πτώσης της πίεσης του νερού, τα πράγματα είναι διαφορετικά (Παπαθανάσης, 2002).

Οι σχηματιζόμενες φυσαλίδες επιβιώνουν μόνο αν η πίεση παραμένει χαμηλή. Μικρή άνοδος της πίεσης έχει ως αποτέλεσμα την απότομη προς τα έσω κατάρρευση (implosion) των φυσαλίδων. Έχει παρατηρηθεί ότι φυσαλίδες μεγέθους 1 cm εξαφανίζονται μέσα σε μερικά milliseconds. Λόγω της ξαφνικής και βίαιης κατάρρευσης των φυσαλίδων εμφανίζονται κρουστικά κύματα τα οποία κτυπούν τις μεταλλικές έλικες, σωλήνες ή άλλα τμήματα και προκαλούν φθορές (pitting).

Επιπλέον, όσον αφορά τις έλικες, το φαινόμενο της σπηλαίωσης δεν προκαλεί μόνο φθορά αλλά και μείωση της απόδοσης τους. Η πτώση της πίεσης του νερού έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ώθησης που ασκείται στο πλοίο. Όταν οι περιστρεφόμενες έλικες δημιουργούν σημαντική σπηλαίωση, ωθούν στην πραγματικότητα ένα μίγμα υγρού και υδρατμών (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Επειδή η πυκνότητα των υδρατμών είναι πολύ μικρότερης αυτής του νερού, η έλικα ωθεί το νερό με πολύ μικρότερη δύναμη, με αποτέλεσμα τη μείωση της ώθησης που μεταφέρεται στο πλοίο. Η σπηλαίωση λοιπόν είναι ένα φαινόμενο με αρνητικές συνέπειες, την εμφάνιση του οποίου οι τεχνικοί προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν σχεδιάζοντας

κατάλληλες αύλακες και διόδους και μεταβάλλοντας το σχήμα, το βήμα, τα υλικά κατασκευής ή τη θέση των ελίκων, ώστε η ταχύτητα και συνεπώς η πίεση του διερχόμενου νερού να μη ξεπερνούν ορισμένες τιμές ασφαλείας.

Πρόσφατα όμως αναπτύχθηκε μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση στο πρόβλημα της αντιμετώπισης της σπηλαίωσης. Σε πλοία τα οποία κινούνται με ταχύτητες μεγαλύτερες των 60 μιλίων την ώρα, η εμφάνιση του φαινομένου της σπηλαίωσης στις έλικες είναι αναπόφευκτη. Εδώ έρχεται στο προσκήνιο η υπερσπηλαίωση (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Κατά την εκδήλωση του φαινομένου της υπερσπηλαίωσης, οι μικρές φυσαλίδες υδρατμών που έχουν δημιουργηθεί κατά τη σπηλαίωση διογκώνονται και συνενώνονται σχηματίζοντας μια μεγάλη, σταθερή και με προβλέψιμη συμπεριφορά φυσαλίδα γύρω από το κινούμενο αντικείμενο. Η φυσαλίδα είναι μεγαλύτερη από το αντικείμενο, με αποτέλεσμα μόνον η εμπρόσθια όψη του να έρχεται σε επαφή με το νερό (στην υγρή του κατάσταση). Το υπόλοιπο μέρος του αντικειμένου περιβάλλεται από υδρατμούς χαμηλής πίεσης (μέσα στους οποίους κινείται) με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της υδροδυναμικής αντίστασης. Οι έλικες αρκετών σκαφών που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να υποβοηθείται η εμφάνιση της υπερσπηλαίωσης, με σκοπό την αξιοποίηση της χαμηλότερης υδροδυναμικής αντίστασης (Παπαθανάσης, 2002).

Η υπερσπηλαίωση μπορεί επίσης να εμφανιστεί και κατά την ταχεία κίνηση ενός ειδικά σχεδιασμένου υποβρύχιου βλήματος. Οι δύο βασικές προϋποθέσεις για την εμφάνιση του φαινομένου είναι η κατάλληλη σχεδίαση του εμπρόσθιου άκρου του βλήματος και η εκτόξευση του με (επαρκώς) υψηλή αρχική ταχύτητα ώστε να δημιουργηθεί το στρώμα νερού χαμηλής πίεσης γύρω από αυτό (Πάντζαλης, 2008).

Όπως διαπίστωσαν πρώτοι οι Σοβιετικοί ερευνητές, η αιχμή του βλήματος έπρεπε να έχει τη μορφή επίπεδου δίσκου ενώ η αρχική ταχύτητα έπρεπε να είναι της τάξης των 110 μιλίων την ώρα (176 km/hr). Υπό τις παραπάνω προϋποθέσεις το νερό κινείται απομακρυσμένο από την περιφέρεια του εμπρόσθιου τμήματος του βλήματος με ταχύτητα και γωνία τέτοια ώστε να αποτρέπεται ο στροβιλισμός του γύρω από αυτό. Το αποτέλεσμα είναι η πτώση της πίεσης και η δημιουργία της φυσαλίδας υδρατμών μέσα στην οποία κινείται πλέον το βλήμα, υφιστάμενο ελάχιστη υδροδυναμική αντίσταση (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Η υδροδυναμική αντίσταση είναι ως γνωστόν ανάλογη της πυκνότητας του υγρού μέσα στο οποίο κινείται ένα αντικείμενο. Στην περίπτωση της υπερσπηλαίωσης, το αντικείμενο κινείται σε μέσον πολύ μικρότερης πυκνότητας (υδρατμίο) με αποτέλεσμα τη δραστική μείωση της υδροδυναμικής αντίστασης και την επίτευξη πολύ υψηλότερων ταχυτήτων. (Αρκεί να αναφέρουμε ότι η συνολική υδροδυναμική αντίσταση ενός σώματος που κινείται βυθισμένο πλήρως μέσα στο νερό, είναι 1.000 φορές περίπου μεγαλύτερη από την αεροδυναμική αντίσταση σωμάτων που κινούνται στον αέρα).

Επίσης, σύμφωνα με κατά προσέγγιση εκτιμήσεις, η επιφανειακή τριβή ενός υποβρυχίου βλήματος που κινείται υπό συνθήκες υπερσπηλαίωσης είναι 200.000 φορές μικρότερη από ότι ενός βλήματος (τορπίλης) που κινείται με συμβατικές ταχύτητες.

Οι φυσαλίδες υδρατμών που δημιουργούνται υπό συνθήκες υπερσπηλαίωσης κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες: τις φυσικές και τις υποβοηθούμενες. Οι πρώτες σχηματίζονται με φυσικό τρόπο (διόγκωση και συνένωση μικρότερων φυσαλίδων). Οι δεύτερες σχηματίζονται με τη διοχέτευση αερίων (τεχνητή υποβοήθηση) μέσα στη μερικώς σχηματισμένη φυσαλίδα, τα οποία προέρχονται είτε από το ίδιο το κινούμενο αντικείμενο είτε από κάποια πηγή στην επιφάνεια του νερού. Η δεύτερη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε, στην τορπίλη με τη διοχέτευση μέρους των αερίων της εξαγωγής του πυραυλοκινητήρα μέσα στη φυσαλίδα (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Έχει παρατηρηθεί πάντως ότι αν και τα διοχετευόμενα αέρια αυξάνουν τις διαστάσεις της φυσαλίδας, εισάγουν πρόσθετες μεταβλητές (διαφορετική ελαστικότητα των πρόσθετων αερίων, ταχύτητα διαρροής κλπ.) με αποτέλεσμα την αυξομείωση του σχήματος και του όγκου της φυσαλίδας, η οποία είναι λιγότερο σταθερή από ότι η σχηματιζόμενη με φυσικό τρόπο. Κατά τα άλλα όμως, τόσο οι τεχνητές όσο και οι υποβοηθούμενες φυσαλίδες είναι όμοιες και υπόκεινται στις ίδιες φυσικές αρχές (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Το μέγεθος που προσδιορίζει τη συμπεριφορά μίας φυσαλίδας που δημιουργείται υπό συνθήκες υπερσπηλαίωσης είναι ο συντελεστής σπηλαίωσης K . Ο συντελεστής K (καθαρός αριθμός) αποτελεί συνάρτηση της διαφοράς πίεσης μεταξύ της φυσαλίδας και του περιβάλλοντος νερού, της πυκνότητας του ρευστού και της ταχύτητας του αντικειμένου.

Από πρακτική άποψη μπορούμε να πούμε ότι ο συντελεστής αποτελεί μέτρο της αστάθειας της φυσαλίδας. Όσο μειώνεται ο συντελεστής, τόσο αυξάνεται το μέγεθος και η σταθερότητα της φυσαλίδας. Με βάση τον συντελεστή σπηλαίωσης και το σχήμα του εμπρόσθιου άκρου του αντικειμένου, είναι δυνατό να υπολογιστεί το μέγεθος και το σχήμα της φυσαλίδας (Παπαθανάσης, 2002).

Όπως έχει διαπιστωθεί πειραματικά, η διαδικασία εμφάνισης και καταστροφής της φυσαλίδας που δημιουργείται γύρω από αντικείμενα (βλήματα) που κινούνται με ταχύτητες υπερσπηλαίωσης, έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά από τις φυσαλίδες του φαινομένου της σπηλαίωσης. Μετά την εκτόξευση του με την κατάλληλη αρχική ταχύτητα, εμφανίζεται το φαινόμενο της υπερσπηλαίωσης και το βλήμα περιβάλλεται από τη φυσαλίδα υδρατμών υφιστάμενο πολύ μικρότερη υδροδυναμική αντίσταση (Παπαθανάσης, 2002).

Όταν η ταχύτητα του βλήματος μειωθεί, ο συντελεστής σπηλαίωσης αυξάνεται και η φυσαλίδα συρρικνώνεται μέχρι να εξαφανιστεί πλήρως. Σε αντίθεση όμως με τις φυσαλίδες που εμφανίζονται υπό συνθήκες σπηλαίωσης, η καταστροφή της φυσαλίδας υπερσπηλαίωσης δεν είναι ούτε ξαφνική ούτε βίαιη. Η φυσαλίδα απλώς συρρικνώνεται με αυξανόμενο ρυθμό γύρω από το κινούμενο βλήμα μέχρι να εξαφανιστεί τελείως. Η φθορά στο αντικείμενο από την εξαφάνιση της φυσαλίδας είναι σχεδόν μηδενική, κάτι που αποτελεί πλεονέκτημα συγκρινόμενο με τους κρατήρες που δημιουργούν οι φυσαλίδες υπό συνθήκες σπηλαίωσης.

Αναφέραμε παραπάνω ότι μια από τις προϋποθέσεις για την εκδήλωση της υπερσπηλαίωσης γύρω από ένα βλήμα που κινείται κάτω από νερό είναι το σχήμα του και συγκεκριμένα η μορφή του εμπρόσθιου άκρου του. Για να δημιουργηθεί η κατάλληλη ροή νερού γύρω από το βλήμα, το εμπρόσθιο άκρο του πρέπει να είναι επίπεδο (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Παρά το ότι επίπεδο άκρο σημαίνει και μεγαλύτερη υδροδυναμική αντίσταση, έχει διαπιστωθεί πειραματικά ότι από τη στιγμή που εκδηλώνεται το φαινόμενο της υπερσπηλαίωσης, η συνολική υδροδυναμική αντίσταση μειώνεται δραματικά και η σχέση της με την ταχύτητα του βλήματος γίνεται γραμμική (απλή αναλογία) καθιστώντας δυνατή (θεωρητικά τουλάχιστον) την επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων. Ας θυμίσουμε ότι σε συμβατικές ταχύτητες, η υδροδυναμική αντίσταση είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του αντικειμένου.

Το φαινόμενο δεν έχει εξηγηθεί πλήρως, αλλά τα πειραματικά δεδομένα είναι αναντίρρητα. Το 1997 Αμερικανοί ερευνητές του Κέντρου Υποβρύχιου Ναυτικού Πολέμου (Naval Undersea Warfare Center, NUWC) ανακοίνωσαν ότι ανέπτυξαν βολίδα με ειδικά σχεδιασμένη επίπεδη αιχμή, η οποία βαλλόμενη από πυροβόλο όπλο τοποθετημένο σε υποβρύχιο ατρακτίδιο, έσπασε το φράγμα του ήχου μέσα στο νερό, επιτυγχάνοντας ταχύτητα της τάξης των 1,6 km/sec. Οι ερευνητές του NUWC μάλιστα δήλωσαν ότι σύμφωνα με τις εκτιμήσεις τους είναι δυνατή η προσέγγιση ή και η κατάρριψη του ρεκόρ ταχύτητας συμβατικών πυρομαχικών στον αέρα (που είναι 2,5 km/sec) από ειδικά σχεδιασμένα υποβρύχια βλήματα που κινούνται υπό συνθήκες υπερσηλαίωσης (Πάντζαλης, 2008).

1.5 Υπερσηλαίωση και Υποβρύχια Όπλα

Η μελέτη του φαινομένου της υπερσηλαίωσης ξεκίνησε στις ΗΠΑ μέσα στη δεκαετία του 1940. Κατά την ανάπτυξη όμως συναφών ναυτικών εφαρμογών, οι Αμερικανοί ερευνητές εστίασαν την προσοχή τους στην εφαρμογή του φαινομένου σε έλικες υψηλής ταχύτητας και στη μείωση της υδροδυναμικής αντίστασης υδροπτερυγων σκαφών (οι σχετικές εφαρμογές προτάθηκαν για πρώτη φορά από τον M.Tullin ο οποίος σήμερα είναι διευθυντής του Εργαστηρίου Ωκεανίας Μηχανολογίας στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας) και όχι στην ανάπτυξη ταχέων υποβρύχιων όπλων. Όπως και αν έχει πάντως, οι περισσότεροι αναλυτές πιστεύουν ότι σήμερα το Αμερικανικό Ναυτικό δεν διαθέτει όπλα που βασίζονται στο φαινόμενο της υπερσηλαίωσης, αλλά καταβάλλει εντατικές προσπάθειες να φθάσει τους Ρώσους οι οποίοι προηγούνται στον συγκεκριμένο τομέα (Πάντζαλης, 2008).

Οι προσπάθειες των Αμερικανών όσον αφορά την ανάπτυξη υποβρύχιων όπλων υπερσηλαίωσης συντονίζονται από το Γραφείο Ναυτικών Ερευνών (Office of Naval Research) το οποίο υποστηρίζει προγράμματα για λογαριασμό του Αμερικανικού Ναυτικού και του Σώματος Πεζοναυτών και συνεργάζεται με περισσότερα από 450 πανεπιστήμια, εργαστήρια και άλλα ιδρύματα.

Όπως αναφέραμε παραπάνω, οι Αμερικανοί έχουν ήδη ανακοινώσει την ανάπτυξη βλημάτων με ειδικά σχεδιασμένη επίπεδη αιχμή που μπορεί να κινηθεί με ταχύτητες υπερσηλαίωσης και σε πρώτη φάση προορίζεται να χρησιμοποιηθεί σε αποστολές ναρκοπολέμου. Πρόκειται για βλήματα των 20mm τα οποία διατηρούν την ευστάθειά τους σε μέσα διαφορετικής πυκνότητας (αέρα και νερό). Το βλήμα το οποίο στην επιχειρησιακή του έκδοση θα έχει διάμετρο 30mm, θα βάλλεται από περιστροφικό πυροβόλο τύπου

Gatling τοποθετημένο σε ελικόπτερο και θα χρησιμοποιείται για την εξουδετέρωση θαλάσσιων ναρκών που βρίσκονται στην επιφάνεια είτε σε μικρό βάθος (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Το σχετικό οπλικό σύστημα, γνωστό με την ονομασία (RAMICS, Rapid Airborne Mine Clearance System), εκτός από το περιστροφικό πυροβόλο και τα βλήματα, περιλαμβάνει, ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου πυρός/σταθεροποίησης του όπλου και ένα εξελιγμένο σύστημα σκόπευσης ακτινών λέιζερ οι οποίες διεισδύουν στο νερό και εντοπίζουν με ακρίβεια νάρκες ευρισκόμενες σε μικρό βάθος (Παπαθανάσης, 2002).

Η διάταξη λέιζερ παρέχει τις συντεταγμένες του στόχου στο σύστημα ελέγχου πυρός του RAMICS. Το σύστημα ελέγχου πυρός στρέφει και σταθεροποιεί το όπλο και εκτελεί ριπή 20-50 βλημάτων κατά του στόχου. Τα βλήματα προσκρούουν με υψηλή ταχύτητα στη νάρκη διαπερνώντας το μεταλλικό κέλυφος της και στη συνέχεια θραύονται, απελευθερώνοντας ένα υλικό (χημικό αντιδραστήριο) το οποίο μπορεί να καύσει την εκρηκτική γόμωση της νάρκης. Η καταστροφή της νάρκης είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού της κινητικής ενέργειας του βλήματος και του χημικού αντιδραστηρίου. Οι Αμερικανοί μελετούν επίσης την τοποθέτηση μιας κατάλληλα τροποποιημένης έκδοσης του RAMICS σε σκάφη επιφανείας, όπου θα χρησιμεύει ως όπλο αυτοπροστασίας για την αντιμετώπιση τορπιλών (Πάντζαλης, 2008).

Ένα άλλο σύστημα που βρίσκεται υπό μελέτη, αφορά την τοποθέτηση παρόμοιων πυροβόλων σε υποβρύχια ατρακτίδια τα οποία θα εκτοξεύουν βλήματα υπερσπηλαίωσης κατά ναρκών ή και επερχομένων τορπιλών. Τα ατρακτίδια του συστήματος (γνωστού ως AHSUM, Adaptable High-Speed Undersea Munitions) θα μπορούν να τοποθετηθούν σε σκάφη επιφανείας και σε υποβρύχια, ενώ η σκόπευση τους θα γίνεται με τη βοήθεια σόναρ.

Η δεύτερη κατηγορία υποβρυχίων όπλων υπερσπηλαίωσης που μελετούν οι Αμερικανοί περιλαμβάνει ταχέως κινούμενες τορπίλες. Τα όπλα αυτά αναπτύσσονται στα πλαίσια του προγράμματος HSUV (High Speed Undersea Weaponry), που έχει ως στόχο τη σχεδίαση αυτόνομων υποβρυχίων όπλων υψηλής ταχύτητας που θα επιφέρουν επανάσταση στον υποβρύχιο πόλεμο.

Τα όπλα προορίζονται για ανθυποβρυχιακό πόλεμο (Anti Submarine Warfare, ASW) και κατά σκαφών επιφανείας (Anti-Surface Warfare, ASuW) και εντάσσονται στα πλαίσια του νέου δόγματος των αμερικανικών ενόπλων δυνάμεων που αποδίδει έμφαση

στη διενέργεια παράκτιων επιθετικών επιχειρήσεων και στην ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων ταχείας αντίδρασης για την εξουδετέρωση απειλών σε εγγύς αποστάσεις (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Το πρόγραμμα HSUW έχει τρία επιμέρους αντικείμενα: την φυσική του φαινομένου της υπερσπηλαίωσης, την ανάπτυξη συστημάτων καθοδήγησης και την ανάπτυξη συστημάτων ελέγχου της πλεύσης των όπλων. Το πρώτο αφορά τη μελέτη και κατανόηση των θεμελιωδών αρχών που σχετίζονται με το φαινόμενο της υπερσπηλαίωσης και τον ποσοτικό υπολογισμό των παραμέτρων ροής του ρευστού (νερού) στις δύο φάσεις (υγρή και αέρια). Η ανάπτυξη συστημάτων ελέγχου αφορά τη σχεδίαση και κατασκευή ακουστικών και μη ακουστικών αισθητήρων, την επεξεργασία σήματος, τις κυματομορφές, τις τεχνικές πρόσκτησης στόχου και τον αυτόματο πιλότο και το σύστημα ελέγχου (είτε αυτόνομο είτε με εξωτερική αλληλεπίδραση) που κατευθύνει το όπλο στον στόχο.

Τέλος, η ανάπτυξη συστημάτων ελέγχου της πλεύσης των όπλων, αφορά τη δυνατότητα εκτέλεσης ελιγμών του όπλου υψηλής ταχύτητας με έμφαση στην σταθεροποίηση της φουσαλίδας που σχηματίζεται κατά την υπερσπηλαίωση και τη βελτιστοποίηση του σχήματος της για όσο το δυνατόν μικρότερη υδροδυναμική αντίσταση (Παπαθανάσης, 2002).

1.6 Εφαρμογές και Προβλήματα του Φαινομένου της Υπερσπηλαίωσης

Η έρευνα για την εφαρμογή του φαινομένου της υπερσπηλαίωσης στον ναυτικό πόλεμο σήμερα, περιβάλλεται από μυστικότητα – και φυσικά δεν διεξάγεται μόνο στη Ρωσία, αλλά και στις ΗΠΑ και πιθανότατα και σε άλλες χώρες – ενώ η κατασκοπεία για την απόκτηση των πλεονεκτημάτων που διαθέτει η μία πλευρά πρέπει να θεωρείται δεδομένη (το περιστατικό με τον Αμερικανό που συνελήφθη και καταδικάστηκε στη Ρωσία είναι ενδεικτικό). Η έρευνα φαίνεται να προσανατολίζεται σε τρεις κατηγορίες όπλων (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012):

Κατευθυνόμενες τορπίλες υψηλής ταχύτητας οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά πλοίων επιφανείας, υποβρυχίων ή και κατά εχθρικών τορπιλών, τορπίλες εξοπλισμένες με πυρηνικές κεφαλές υψηλής ισχύος, οι οποίες μπορούν να βληθούν και να εκραγούν στη μέση μιας εχθρικής αρμάδας (που περιλαμβάνει αεροπλανοφόρα) καταστρέφοντας την ολοσχερώς, ή ακόμη και κατά στόχων στα παράλια

(λιμάνια ή άλλες εγκαταστάσεις).

Βλήματα ή βολίδες υπερηχητικών ταχυτήτων που μπορούν να βληθούν από πολυβόλα ή πυροβόλα τοποθετημένα σε ελικόπτερα ή υποβρύχια ατρακτίδια για την καταστροφή θαλάσσιων ναρκών, εχθρικών τορπίλων ή και σκαφών. Οι Αμερικανοί ανακοίνωσαν την ανάπτυξη μίας τέτοιας βολίδας η οποία βάλλεται από περιστροφικά πυροβόλα τύπου Gatling εγκατεστημένα σε ελικόπτερα κατά ποντισμένων θαλάσσιων ναρκών επιτυγχάνοντας την εξουδετέρωση τους με μικρότερο κόστος και μεγαλύτερη ασφάλεια, ενώ μελετάται επίσης και η τοποθέτηση σε υποβρύχια ή και σκάφη επιφανείας υποβρύχιων ατρακτιδίων με παρόμοια πυροβόλα που θα λειτουργούν ως όπλα εξουδετέρωσης επερχόμενων τορπιλών (Πάντζαλης, 2008).

Υπερταχέα (υπερηχητικά) υποβρύχια σκάφη, η ανάπτυξη των οποίων θα επέφερε ριζικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο διεξάγεται σήμερα ο ναυτικός πόλεμος. Σύμφωνα με μια εκδοχή, μικρά υπερταχέα υποβρύχια θα μπορούσαν να μεταφέρονται από ένα μητρικό σκάφος σε κοντινές σχετικά αποστάσεις από τους στόχους και κατόπιν να εκτοξεύουν και να κινούνται αυτόνομα διεξάγοντας ταχύτατες επιθέσεις με πυροβόλα ή πολυβόλα που εκτοξεύουν βλήματα κινούμενα επίσης με ταχύτητες υπερσηπλαιώσης.

Είναι βέβαια φανερό ότι εκτός από την ανάπτυξη τορπιλών και άλλων βλημάτων που κινούνται με υψηλές ταχύτητες κάτω από το νερό, η πλέον ενδιαφέρουσα εφαρμογή θα ήταν η ανάπτυξη υποβρυχίων ικανών να κινούνται με ταχύτητες υπερσηπλαιώσης. Εκτός από τον ναυτικό πόλεμο, μια τέτοια κατηγορία σκαφών θα είχε προφανείς εφαρμογές και στον πολιτικό τομέα. Για παράδειγμα, ένα υποβρύχιο κινούμενο με ταχύτητα 2,5km/sec υπό συνθήκες υπερσηπλαιώσης, θα μπορούσε να διασχίσει τον ατλαντικό σε διάστημα λιγότερο της μιας ώρας.

Όμως η κίνηση υποβρυχίων με υπερηχητικές ταχύτητες παρουσιάζει ακόμη μεγάλες τεχνικές προκλήσεις που αφορούν τόσο τα συστήματα πρόωσης, όσο και (κυρίως) τα συστήματα πλοήγησης και ελέγχου. Η πρόωση των τορπιλών Shkval που έχουν αναπτύξει οι Ρώσοι γίνεται με τη βοήθεια πυραυλοκινητήρα στερεών προωθητικών (για την ακρίβεια χρησιμοποιούνται δύο πυραυλοκινητήρες, ένας κύριος και ένας βοηθητικός για την αρχική εκκίνηση). Για την επίτευξη όσο το δυνατόν μεγαλύτερης εμβέλειας, απαιτούνται προωθητικά υψηλής ενεργειακής πυκνότητας που παρέχουν μέγιστη ειδική ώση (Παπαθανάσης, 2002).

Οι τεχνικοί φαίνεται να συμφωνούν ότι με τη χρήση πυραυλοκινητήρα στερεών

προωθητικών, μια τορπίλη παρόμοια με τη Shkval, μπορεί να πετύχει μέγιστη ταχύτητα της τάξης των 200m/sec (720 km/hr) και βεληνεκές αρκετών δεκάδων χιλιομέτρων. Ως προωθητικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέταλλα (αλουμίνιο, μαγνήσιο ή λίθιο) ενώ ως οξειδωτικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί το νερό (το οποίο μπορεί να παίξει επίσης τον ρόλο ψυκτικού). Το πιο ενεργητικό από τα μεταλλικά αυτά προωθητικά είναι το αλουμίνιο, το οποίο μπορεί να οξειδωθεί (καεί) αναπτύσσοντας θερμοκρασία 10.600 βαθμών C. Οι πυραυλοκινητήρες όμως δεν θεωρούνται ως τα καταλληλότερα μέσα για την πρόωση μεγάλων υποβρυχίων που θα εκτελούν ταξίδια εκατοντάδων ή χιλιάδων χιλιομέτρων με υπερηχητικές ταχύτητες (Παπαθανάσης, 2002).

Εκτός από την πρόωση με πυραυλοκινητήρες, οι Ρώσοι έχουν αναπτύξει ένα σύστημα στροβιλοελίκων (turbine – driven propeller screws). Στο σύστημα αυτό τα αέρια για τη κίνηση του στροβίλου παράγονται (όπως και στον πυραυλοκινητήρα) από την αντίδραση αλουμινίου – οξειδωτικού. Η αντίδραση αυτή μπορεί να επιταχυνθεί μέσω της ρευστοποίησης (τήξης) του μετάλλου και της εξάτμισης του νερού. Η θερμότητα από τον θάλαμο καύσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τήξη φύλλων αλουμινίου και επίσης για την εξάτμιση του νερού.

Οι Αμερικανοί επίσης έχουν αναπτύξει μια παρόμοια εφαρμογή (water ramjet system) που χρησιμοποιείται ως βοηθητική πηγή ισχύος σε σκάφη επιφανείας. Στην αμερικάνικη εφαρμογή, το αλουμίνιο υπό μορφή σκόνης τροφοδοτείται σε μια δίνη θαλάσσιου νερού, η οποία σχηματίζεται μέσα σε ένα ειδικό θάλαμο καύσης (vortex chamber). Η ταχεία περιδίνηση του νερού προκαλεί την τριβή των κόκκων της σκόνης αλουμινίου μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να απομακρύνεται το αδρανές στρώμα οξειδίου του αλουμινίου (Παπαθανάσης, 2002).

Η θερμότητα της αντίδρασης αυτής χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού ο οποίος μπορεί να παράγει ώση εξερχόμενος με μεγάλη ταχύτητα από ένα ακροφύσιο, είτε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση στροβιλοελίκων. Δοκιμές με πειραματικές διατάξεις έδειξαν ότι η χρήση στροβιλοελίκων μπορεί να παράγει 20% περισσότερη ώση από ότι ένας πυραυλοκινητήρας. Ας αναφέρουμε πάντως ότι τα συστήματα αυτά αφορούν την πρόωση τορπιλών και όχι την πρόωση μεγάλων υποβρυχίων με ταχύτητες υπερσπηλαίωσης. Στην περίπτωση των σκαφών αυτών η επικρατέστερη μέχρι σήμερα λύση φαίνεται να είναι αυτή του πυρηνικού αντιδραστήρα.

Όμως, το κύριο πρόβλημα για την ανάπτυξη υπερταχέων υποβρυχίων αφορά τη δυνατότητα αλλαγής κατεύθυνσης τους υπό συνθήκες υπερσπηλαίωσης. Αν και μερικοί

αναλυτές υποψιάζονται ότι το ναυτικό της Ρωσίας και πιθανόν των ΗΠΑ είναι κοντά στη λύση του προβλήματος, φαίνεται ότι προς το παρόν δεν είναι δυνατή η δυνατότητα αλλαγής κατεύθυνσης βλημάτων ή υποβρυχίων χωρίς μείωση της ταχύτητας. Ο λόγος είναι ότι το μόνο τμήμα του υποβρυχίου το οποίο έρχεται σε επαφή με το νερό είναι το εμπρόσθιο άκρο του, ενώ η χρησιμοποίηση και άλλων επιφανειών για τον έλεγχο της πορείας του θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της υδροδυναμικής αντίστασης και τη μείωση της ταχύτητας.

Ένα άλλο πρόβλημα, τέλος, είναι η ασταθής συμπεριφορά του ουραίου τμήματος της φουσαλίδας που σχηματίζεται σε ταχύτητες υπερσπηλαίωσης, αλλά και του ίδιου του σκάφους που κινείται μέσα σε αυτήν. Η ουρά της φουσαλίδας δημιουργεί βίαιους παφλασμούς γύρω από το κινούμενο σκάφος με αποτέλεσμα ενδεχόμενη καταστροφή των επιφανειών ελέγχου ή τμημάτων του μηχανισμού πρόωσης.

Επίσης, τα κινούμενα μέσα στη φουσαλίδα υποβρύχια αντικείμενα σε ταχύτητες υπερσπηλαίωσης παρουσιάζουν αρκετή αστάθεια, οφειλόμενη πιθανότατα στον τρόπο εισόδου τους μέσα στο νερό. Τα σώματα κλίνουν και ταλαντώνονται γύρω από το εμπρόσθιο άκρο τους, με αποτέλεσμα το οπίσθιο τμήμα τους να κτυπά στα πλευρά της φουσαλίδας. Εφόσον οι επιφάνειες της φουσαλίδας αποτελούνται από νερό σε υγρή κατάσταση, οι προσκρούσεις αυτές αυξάνουν την υδροδυναμική αντίσταση και μειώνουν την ταχύτητα του σώματος (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Το αποτέλεσμα είναι η συρρίκνωση της φουσαλίδας και ο κίνδυνος κατάρρευσης και εξαφάνισης της. Η προστασία ενός υποβρυχίου από τις προσκρούσεις λόγω της αστάθειας τόσο της φουσαλίδας όσο και του ίδιου, θα μπορούσε να εξασφαλιστεί διογκώνοντας τη φουσαλίδα με τεχνητή διοχέτευση αέρα (υποβοήθηση). Όμως η τεχνητή διοχέτευση αέρα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αστάθειας, και στις υψηλές ταχύτητες υπερσπηλαίωσης οι πλευρικές επιταχύνσεις λόγω των αναταράξεων, ιδίως στο ουραίο τμήμα του σκάφους, θα είναι πολύ υψηλές για τους επιβάτες (Πάντζαλης, 2008).

2. Κεφάλαιο 2^ο – Ανάλυση του Φαινομένου της Υπερσπηλαιώσης στα Υποβρύχια

2.1 Πρϋποθέσεις Εμφάνισης Υπερσπηλαιώσης στην Αντλία

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται οι προϋποθέσεις εμφάνισης της υπερσπηλαιώσης στην αντλία:

- Μεγάλο ύψος αναρρόφησης

Κίνδυνος υπερσπηλαιώσης υπάρχει μόλις το ύψος αναρρόφησης υπερβεί μια ορισμένη τιμή, για την οποία η τοπική στατική πίεση παίρνει τιμές μικρότερες της πίεσης ατμοποίησης του νερού.

- Παροχή μεγαλύτερη της κανονικής

Όταν η παροχή της αντλίας είναι μεγαλύτερη από την κανονική, η υπερσπηλαιώση εμφανίζεται ευκολότερα, επειδή αυξάνεται η ταχύτητα ροής και επομένως εμφανίζεται μεγαλύτερη πτώση της πίεσης.

- Διεύθυνση ροϊκών γραμμών

Από κινηματική άποψη το σχήμα των ροϊκών γραμμών επηρεάζει την εμφάνιση της υπερσπηλαιώσης. Απότομη αλλαγή της διεύθυνσης της ροής μέσα στην αντλία και κακές συνθήκες εισόδου του υγρού στην πτερωτή είναι δυνατό να προκαλέσουν μεγάλες απώλειες πίεσης και σπηλαιώση.

2.2 Γενικότερα Συμπτώματα της Υπερσπηλαιώσης στην Αντλία

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται τα γενικά συμπτώματα που παρατηρούνται στην αντλία λόγω υπερσπηλαιώσης (Παπαθανάσης, 2002):

- Θόρυβος - Ο θόρυβος προκαλείται μετά από την κατάρρευση των φυσαλίδων. Αυτός ο θόρυβος αποτελεί ένδειξη της σπηλαιώσης στην αντλία. Είναι φανερό ότι οι διαδοχικές αυξομειώσεις της πίεσης του υγρού προκαλούν κραδασμούς, που μεταφέρονται σε όλα τα εξαρτήματα της αντλίας, ακόμα και στη βάση στηρίξεώς της. Οι κραδασμοί αυτοί προκαλούνται από τις ταλαντώσεις των τμημάτων στα οποία προσκρούει το υγρό. Όσο μεγαλύτερη είναι η αντλία τόσο πιο έντονοι είναι

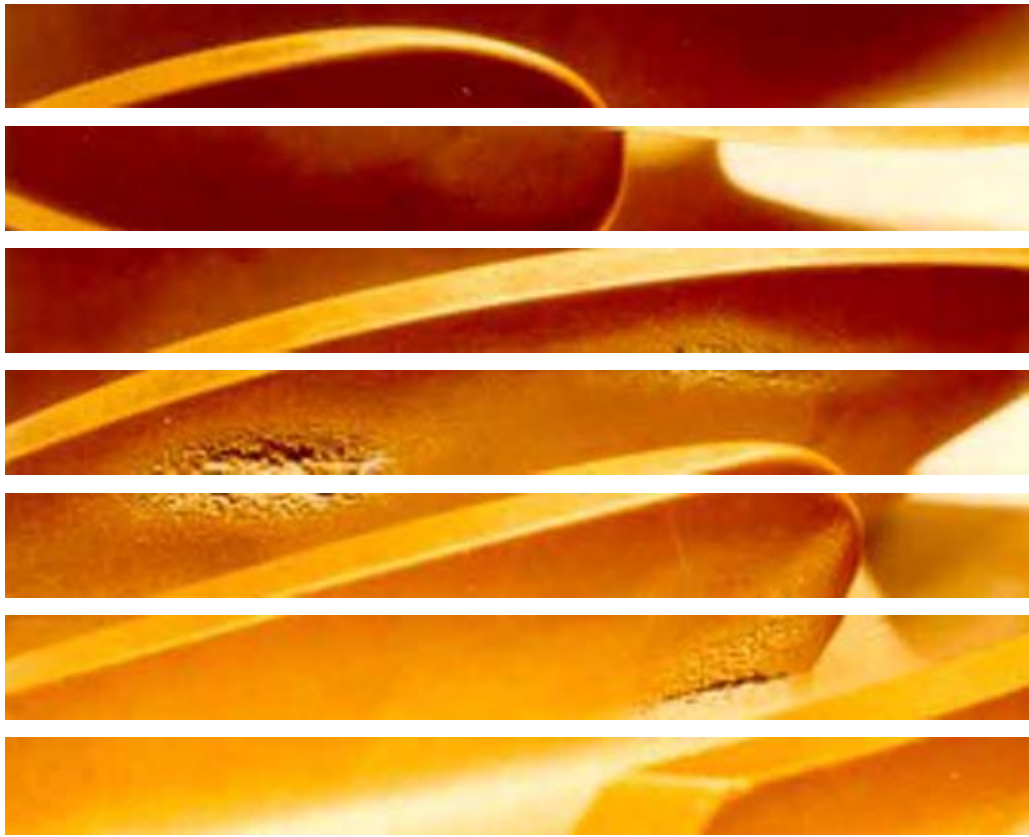
οι θόρυβοι και οι κραδασμοί.

➤ Φθορά των μεταλλικών επιφανειών - Πολλές φορές έχει μεγάλη έκταση ιδίως όταν το υγρό περιέχει διαβρωτικές ουσίες (οξυγόνο ή οξέα). Η φθορά που προέρχεται από τη σπηλαίωση διαφέρει μακροσκοπικά από τις συνηθεις διαβρώσεις των μετάλλων γιατί εμφανίζεται μόνο σε ορισμένα σημεία και όχι σε όλο το μήκος των ροϊκών γραμμών του υγρού. Η αντοχή των μετάλλων στη σπηλαίωση εξαρτάται από τη χημική τους σύνθεση και από το βαθμό λειάνσεως της επιφάνειάς τους. Από πειραματικά αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι τα διάφορα υλικά έχουν διαφορετικό βαθμό αντοχής στη σπηλαίωση. Η κατάταξή τους κατά σειρά αυξανόμενης ανθεκτικότητας είναι:

- Μόλυβδος
- Χυτοσίδηρος
- Ορείχαλκος
- Αλουμίνιο με άνθρακα
- Ανοξείδωτο ατσάλι

Στις εικόνες 5 έως 7, μπορούμε να διακρίνουμε τις συνέπειες του φαινομένου της σπηλαίωσης στην επιφάνεια των στροφείων

Εκόνα Νο.5 - Φθορά των πτερυγίων αντλίας μίγματος λόγω σπηλαίωσης. Το υλικό κατασκευής των πτερυγίων είναι κράμα αλουμινίου - Κραδασμοί



Εικόνα Νο.6 - Καταστροφή πτερυγίων σε στροφέιο φυγοκεντρικής αντλίας λόγω εμφάνισης του φαινομένου της υπερσπηλαιώσης.

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται τρόποι πρόληψης και αποφυγής της υπερσπηλαιώσης στην αντλία στα υποβρύχια, ως εξής (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012):

- Μείωση θερμοκρασίας - Μειώνοντας τη θερμοκρασία του νερού στην είσοδο της

αντλίας πετυχαίνουμε την μείωση της πιθανότητας να σχηματιστεί σπηλαίωση στην αντλία.

- Μείωση της ταχύτητας περιστροφής της αντλίας - Μειώνοντας την ταχύτητα περιστροφής της αντλίας, πετυχαίνεται μείωση της παροχής και επομένως αύξηση της τοπικής στατικής πίεσης.
- Αλλαγή στη συνδεσμολογία στην περιοχή της αναρρόφησης - Με την αλλαγή της συνδεσμολογίας στην περιοχή αναρρόφησης, μειώνοντας το μήκος του σωλήνα αναρρόφησης σύμφωνα με τη και αφαιρώντας τις μη απαραίτητες γωνίες και βάνες στη συνδεσμολογία.



- Μείωση διαλυμένου αέρα Με την μείωση της παρουσίας του διαλυμένου αέρα στο νερό, μειώνονται οι πιθανότητες εμφάνισης σπηλαίωσης στην αντλία.
- Τακτικός έλεγχος στροφείου και σωλήνων για την υπερσπηλαίωση
- Με το συχνό έλεγχο του στροφείου της αντλίας και των σωλήνων αλλάζουμε ή διορθώνουμε τις επιφάνειές τους ώστε να τις διατηρούμε λείες, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο τον κίνδυνο για υπερσπηλαίωση.

2.3 Αντιμετώπιση Φαινομένου Υπερσπηλαίωσης στα Υποβρύχια με Τορπίλη

Η λέξη squall, ανάμεσα στις άλλες έννοιες, στην ναυτική διάλεκτο σημαίνει το τεράστιο αφρισμένο κύμα ύψους 30 - 40 μέτρων, πού εμφανίζεται ξαφνικά σε μία τρικυμία. Αν και υπήρχαν λίγες αναφορές για τέτοια κύματα, επίσημα δεν θεωρούνταν

τεκμηριωμένο γεγονός, μέχρι που... αποδείχτηκε και έγινε γνωστός και ο μηχανισμός εμφάνισής τους. Έτσι αμφισβητείτο και η τορπίλη της Σοβιετικής Ένωσης, που ακουγόταν ότι πετούχαινε απίστευτες ταχύτητες μέχρι 500 μέτρα το δευτερόλεπτο. Αλλά εδώ και κάποια χρόνια, νέα στοιχεία ήρθαν στο φως που μάλλον ανατρέπουν τα δεδομένα (Πάντζαλης, 2008).

Τέτοιες ταχύτητες υπήρχαν πριν λίγες δεκαετίες μόνο στο διορατικό μυαλό κάποιων συγγραφέων επιστημονικής φαντασίας (και εδώ να μνημονεύσουμε τον μεγάλο Arthur Clark, που πριν λίγες μέρες άφησε αυτόν τον κόσμο). Όμως η επιστημονική φαντασία απλώς «σκιαγραφεί» το μέλλον, που οι επιστήμονες και τεχνικοί κάποια στιγμή κάνουν πραγματικότητα (Παπαθανάσης, 2002).

Έτσι οι επιστήμονες της Σοβιετικής Ένωσης εκμεταλλεύτηκαν ένα φυσικό φαινόμενο, αυτό της υπερσπηλαίωσης, προς όφελός τους ώστε να πετύχουν κάτι που μοιάζει με θαύμα. Η πυκνότητα του νερού είναι περίπου 1000 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα. Τα σκάφη που κινούνται στο νερό έχουν λοιπόν πολύ μεγαλύτερες αντιστάσεις να υπερνικήσουν στην κίνησή τους.

Και όσο μεγαλύτερη η ταχύτητα, τόσο μεγαλύτερη και η αντίσταση. Έτσι τα σημερινά πλοία φτάνουν τους 30 □ 40 κόμβους, ενώ αυτά με υποβρύχια πτερύγια ή επίπεδες κάτω επιφάνειες φτάνουν τους 50 □ 60. Τα δε υποβρύχια, εξ□ αιτίας της εξ□ ολοκλήρου υποβρύχιας κίνησής τους, έχουν ακόμα μικρότερες ταχύτητες λόγω μεγαλύτερων τριβών. Πως λοιπόν σκάφη με ισχυρούς πυρηνικούς αντιδραστήρες δεν φτάνουν τις ταχύτητες που πετυχαίνει αυτή η τορπίλη; (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012)

Για 2 λόγους: πρώτον δεν κινείται με τους συμβατικούς κινητήρες των συνηθισμένων τορπιλών και δεύτερον δεν κινείται στο... νερό!! Ας πάρουμε τα πράγματα από την αρχή. Όπως είπαμε η δημιουργία αυτής της τορπίλης βασίστηκε στο φυσικό φαινόμενο της υπερσπηλαίωσης. Το φαινόμενο της σπηλαίωσης συμβαίνει όταν σώματα που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες σε υγρό (νερό π.χ.), δημιουργούν στο εμπρόσθιο τμήμα τους κυρίως, ένα θύλακα αέρος. Αν αυξηθεί η ταχύτητα, αυξάνεται και το ποσοστό του σώματος που κινείται σε αυτόν τον «θύλακα αέρος.» Αν τώρα, αυτός ο θύλακας μεγαλώσει τόσο, ώστε να εσωκλείσει όλο το σώμα, έχουμε την υπερσπηλαίωση (Παπαθανάσης, 2002).

Σ' αυτήν την περίπτωση το σώμα κινείται στην πραγματικότητα όχι σε υγρό (νερό), αλλά μέσα σε φυσαλίδα αέρα! Όμως για να πετύχουμε ταχύτητες που η υπερσπηλαίωση θα είναι εφικτή, χρειαζόμαστε μεγάλα ποσά ενέργειας ώστε να υπερνικήσουμε την αντίσταση του νερού. Οι συμβατικοί κινητήρες των τορπιλών δεν μπορούν να πετύχουν τέτοιες ταχύτητες. Εδώ χρειαζόμαστε πυραυλοκινητήρες.

Και αυτούς ακριβώς διαθέτει αυτή η τορπίλη. Δεν είναι γνωστές βέβαια λεπτομέρειες, αλλά εικάζεται ότι διαθέτει δύο ομάδες πυραυλοκινητήρων: μία για την εκκίνηση μέχρι μια ταχύτητα και μία άλλη για την κυρίως πλεύση. Αυτοί της δίνουν ακριβώς την ενέργεια που χρειάζεται για να νικήσει την αντίσταση του υγρού στοιχείου. Διαθέτει μία κεφαλή (έμβολο) στην άκρη της με ειδικό σχημα ώστε να δημιουργεί σπηλαίωση πιο εύκολα και με λιγότερες τριβές (Πάντζαλης, 2008).

Λέγεται ότι δημιουργήθηκε στην Σοβιετική Ένωση ήδη από την δεκαετία του '70, έχει μήκος 27 πόδια και βάρος 5940 πάουντς. Για τόσο προηγμένα όπλα βέβαια οι πληροφορίες είναι πολύ λιγότερες από τις φήμες. Μια φήμη π.χ., έχει να κάνει με την επίδειξη μιας νέας έκδοσης αυτής της τορπίλης σε Κινέζους στρατιωτικούς από ένα υποβρύχιο ονόματι Κούρσκ.

Φημολογείται επίσης ότι η τορπίλη έχει πουληθεί σε Κίνα και Ιράν. Αν και τίποτα φυσικά δεν επιβεβαιώνεται, το σίγουρο είναι ότι η ύπαρξη τέτοιου όπλου σε χώρες όχι και τόσο φιλικές, θα έχει θορυβήσει το Αμερικανικό Ναυτικό, το οποίο τώρα προσπαθεί να αναπτύξει ανάλογο δικό του όπλο, αλλά και ανάλογα αντίμετρα, κάτι που καταλαβαίνουμε πόσο δύσκολο είναι.

Ένα τέτοιο όπλο δε, μπορεί να θεωρηθεί σαν όπλο πρώτης επίθεσης. Με αυτές τις ταχύτητες και επιπλέον την δυνατότητα υποβρύχιας κίνησής του, καθίσταται εξαιρετικά δύσκολο στην ανίχνευση και καταστροφή του. Η αναφερόμενη δε, δυνατότητά του να φέρει τακτική πυρηνική κεφαλή, του δίνει την δυνατότητα να καταστρέψει μικρές ομάδες πλοίων, όπως αυτές που συνήθως συνοδεύουν τα αμερικανικά αεροπλανοφόρα (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Άλλωστε το ρωσικό ναυτικό, μην έχοντας μεγάλα αεροπλανοφόρα, έπρεπε να βρει άλλους τρόπους αντιμετώπισης των αμερικανικών αεροπλανοφόρων. Εκτός από την Αμερική και η Γερμανία ίσως και η Γαλλία, κάνουν τις δικές τους έρευνες για την ανάπτυξη τέτοιων όπλων και λέγεται ότι σε πειραματικό στάδιο έχουν πετύχει παρόμοιες

ταχύτητες.

Αυτού του είδους τα όπλα κυριολεκτικά αλλάζουν τον τρόπο διεξαγωγής των ναυμαχιών. Μελλοντικά σχέδια, περιλαμβάνουν όχι μόνο τορπίλες υπερσπηλαίωσης αλλά και πολύ μικρότερα βλήματα με σκοπό την αντιμετώπιση και καταστροφή θαλασσίων ναρκών όπως επίσης και αυτών των ίδιων των τορπιλών υπερσπηλαίωσης, από πυροβόλα που θα είναι τοποθετημένα ακόμα και κάτω από τα ύφαλα των σκαφών επιφανείας. Σκέψεις δε, για υποβρύχια υπερσπηλαίωσης ανήκουν στον χώρο της επιστημονικής φαντασίας (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Το πρόγραμμα ανάπτυξης της τορπίλης Shkval, άρχισε την δεκαετία του 1960. Το 1963 για πρώτη φορά, παρουσιάστηκαν τα πρώτα σχέδια της τορπίλης, με ένδειξη ταχύτητας +100 m/sec. Οι πρώτες επίσημες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν το 1964, στο πεδίο δοκιμών της λίμνης Issyk Kul από μια κατάλληλα τροποποιημένη εξέδρα. Μετά από ένα χρόνο δοκιμάσθηκε και υποβρυχίως (εκτοξεύοντας ομοιώματα της τορπίλης από ένα τροποποιημένο ντίτζελ υποβρύχιο) στην Feodosii. Η ένταξή της στο ναυτικό έλαβε χώρα το 1977 με το χαρακτηριστικό VA-111.

Ειδικό σχήμα για να δημιουργεί σπηλαιώση & Δημιουργία φυσαλίδας



Εικόνα No.8 - Shkval-E (E-έκδοση εξαγωγής)

Η υπερηχητική τορπίλη εξελίχθηκε για την προσβολή πλοίων διαφόρων τύπων και κατηγοριών, προστατευμένα λιμάνια, υποβρύχια καθώς επίσης και τα τεχνικά-προστατευτικά εμπόδια για παραπλάνηση τορπίλων. Το βλήμα μπορεί να μεταφέρεται από πλοία επιφάνειας μέσα σε ειδικά κάνιστρα και από υποβρύχια. Μπορεί να εκτοξεύεται μέσα από τορπιλοσωλήνες σε βάθος μέχρι και 100 μέτρων.

Το βλήμα παρέχει:

- μεγάλη αντοχή σε αντίμετρα
- ελάχιστο χρόνο ετοιμότητας
- αξιοπιστία
- απλή λειτουργία και συντήρηση

	Πλοοια επιφανειας, υποβρυχια
Διαμέτρημα, mm	534,4
Μήκος, mm	8.200
Βάρη, kg:	
- μέγιστο βάρος	2.700
- βάρος κεφαλής (TNT equivalent)	περίπου 210
Ταχύτητα ταξιδιού, m/s	90...+100
Εμβέλεια (πιθανότητα χτυπήματος 0,8), km	μέχρι 7 (ανάλογα με το στόχο)
Τύπος πυροκεφαλής	impact proximity, high-explosive

2.4 Μέτρα Προφύλαξης έναντι της Υπερσηλαίωσης

- Βαφή: Η έλικα δεν πρέπει να βάφεται διότι επιδεινώνεται το φαινόμενο της σπηλαίωσης. Η τοπική καταστροφή του χρώματος μπορεί να σταθεί αφορμή για σπηλαίωση.
- Ταχύτητα: Το κάθε σκάφος πρέπει να γνωρίζει την τιμή της ταχύτητας λειτουργίας πάνω από την οποία εμφανίζεται σπηλαίωση και να μην την υπερβαίνει.
- Ώση: Η ώση δεν πρέπει να αυξάνεται απότομα διότι μεγάλη ώση σε συνδυασμό με χαμηλές ταχύτητες σκάφους μπορεί να προκαλέσουν σπηλαίωση.
- Βήμα: Στις έλικες μεταβλητού βήματος η αλλαγή του βήματος θα πρέπει να γίνεται ομαλά και όχι απότομα, προς αποφυγή απότομης αύξησης της ώσης.
- Βύθισμα: Όσο μικρότερο είναι το βύθισμα, τόσο πιθανότερο είναι να εμφανιστεί σπηλαίωση.

Επίλογος - Συμπεράσματα

Το φαινόμενο της υπερσπηλαίωσης σχετίζεται άμεσα με το φαινόμενο της σπηλαίωσης. Το τελευταίο προσπαθούμε να το αποφύγουμε και το πρώτο να το αξιοποιήσουμε.

Η σπηλαίωση ορίζεται ως η ατμοποίηση ενός υγρού υπό συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας, λόγω μείωσης της πίεσης κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο που ονομάζεται πίεση ατμοποίησης (Πάντζαλης, 2008). Η σπηλαίωση ξεκινάει με σχηματισμό κοιλοτήτων ατμού (vapor cavities) εντός ενός αρχικά ομοιογενούς υγρού. Αναλόγως με τη διαμόρφωση της ροής και τις φυσικές ιδιότητες του υγρού, η σπηλαίωση μπορεί να παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά (Παπαθανάσης, 2002).

Η γεωμετρία των τοιχωμάτων μπορεί να προκαλέσει σε αρχικά σταθερή ροή έντονες τοπικές αυξήσεις της ταχύτητας, οι οποίες συνοδεύονται από πτώση της πίεσης. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση απότομης μείωσης της διατομής, όπως για παράδειγμα όταν η ροή περάσει μέσα από το ακροφύσιο, καθώς επίσης και λόγω της καμπυλότητας που μπορεί να επιβληθεί στη ροή από την τοπική γεωμετρία (για παράδειγμα, γωνίες σε σωληνώσεις ή καμπυλότητα υδροτομών) (Παπαθανάσης, 2002).

Σπηλαίωση μπορεί επίσης να εμφανιστεί σε τυρβώδεις ροές με διάτμηση, λόγω μεγάλων διακυμάνσεων στην πίεση. Ο ασταθής χαρακτήρας κάποιων ροών (όπως για παράδειγμα στους αγωγούς τροφοδότησης κινητήρα Diesel με καύσιμο) μπορεί να οδηγήσει σε επιτάχυνση του ρευστού και συνεπώς σε στιγμιαία παραγωγή σημείων χαμηλής πίεσης, γεγονός που οδηγεί σε σπηλαίωση.

Για αρκετά χρόνια το φαινόμενο της υπερσπηλαίωσης θεωρείτο από τους επιστήμονες ως μια οριακή κατάσταση του φαινομένου της σπηλαίωσης το οποίο απετέλεσε αντικείμενο θεωρητικής και εφαρμοσμένης έρευνας εδώ και αρκετές δεκαετίες, αλλά για σκοπούς διαφορετικούς από την ανάπτυξη ταχέως κινούμενων υποβρύχιων αντικειμένων (Πάντζαλης, 2008). Η μελέτη της σπηλαίωσης ήταν αποτέλεσμα των προβλημάτων που προκαλούσε η ταχεία κίνηση αντικειμένων μέσα στο νερό και είχε ως στόχο όχι την αξιοποίηση, αλλά την αποτροπή της εμφάνισης και των αρνητικών συνεπειών του φαινομένου αυτού (Παπαθανάσης, 2002).

Η υπερσπηλαίωση μπορεί επίσης να εμφανιστεί και κατά την ταχεία κίνηση ενός ειδικά σχεδιασμένου υποβρύχιου βλήματος. Οι δύο βασικές προϋποθέσεις για την

εμφάνιση του φαινομένου είναι η κατάλληλη σχεδίαση του εμπρόσθιου άκρου του βλήματος και η εκτόξευση του με (επαρκώς) υψηλή αρχική ταχύτητα ώστε να δημιουργηθεί το στρώμα νερού χαμηλής πίεσης γύρω από αυτό (Πάντζαλης, 2008).

Οι προσπάθειες των Αμερικανών όσον αφορά την ανάπτυξη υποβρυχίων όπλων υπερσπηλαίωσης συντονίζονται από το Γραφείο Ναυτικών Ερευνών (Office of Naval Research) το οποίο υποστηρίζει προγράμματα για λογαριασμό του Αμερικανικού Ναυτικού και του Σώματος Πεζοναυτών και συνεργάζεται με περισσότερα από 450 πανεπιστήμια, εργαστήρια και άλλα ιδρύματα.

Όπως αναφέραμε παραπάνω, οι Αμερικανοί έχουν ήδη ανακοινώσει την ανάπτυξη βλημάτων με ειδικά σχεδιασμένη επίπεδη αιχμή που μπορεί να κινηθεί με ταχύτητες υπερσπηλαίωσης και σε πρώτη φάση προορίζεται να χρησιμοποιηθεί σε αποστολές ναρκοπολέμου. Πρόκειται για βλήματα των 20mm τα οποία διατηρούν την ευστάθεια τους σε μέσα διαφορετικής πυκνότητας (αέρα και νερό). Το βλήμα το οποίο στην επιχειρησιακή του έκδοση θα έχει διάμετρο 30mm, θα βάλλεται από περιστροφικό πυροβόλο τύπου Gatling τοποθετημένο σε ελικόπτερο και θα χρησιμοποιείται για την εξουδετέρωση θαλάσσιων ναρκών που βρίσκονται στην επιφάνεια είτε σε μικρό βάθος (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012).

Η έρευνα για την εφαρμογή του φαινομένου της υπερσπηλαίωσης στον ναυτικό πόλεμο σήμερα, περιβάλλεται από μυστικότητα – και φυσικά δεν διεξάγεται μόνο στη Ρωσία, αλλά και στις ΗΠΑ και πιθανότατα και σε άλλες χώρες – ενώ η κατασκοπεία για την απόκτηση των πλεονεκτημάτων που διαθέτει η μία πλευρά πρέπει να θεωρείται δεδομένη (το περιστατικό με τον Αμερικανό που συνελήφθη και καταδικάστηκε στη Ρωσία είναι ενδεικτικό). Η έρευνα φαίνεται να προσανατολίζεται σε τρεις κατηγορίες όπλων (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012):

Κατευθυνόμενες τορπίλες υψηλής ταχύτητας οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά πλοίων επιφανείας, υποβρυχίων ή και κατά εχθρικών τορπιλών, τορπίλες εξοπλισμένες με πυρηνικές κεφαλές υψηλής ισχύος, οι οποίες μπορούν να βληθούν και να εκραγούν στη μέση μιας εχθρικής αρμάδας (που περιλαμβάνει αεροπλανοφόρα) καταστρέφοντας την ολοσχερώς, ή ακόμη και κατά στόχων στα παράλια (λιμάνια ή άλλες εγκαταστάσεις).

Βιβλιογραφία

- Πάντζαλης Ν., (2008), Μηχανική των ρευστών, Ίδρυμα Ευγενίδου
- Παπαθανάσης Η., (2002), Περισκόπιο της επιστήμης
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	2
Abstract.....	3
Κεφάλαιο 1: Φαινόμενο Σπηλαίωσης και Υπερσπηλαίωσης.....	4
Κεφάλαιο 2: Ανάλυση του Φαινομένου της Υπερσπηλαίωσης στα Υποβρύχια.....	22
Επίλογος - Συμπεράσματα	31
Βιβλιογραφία	33