



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΟΧΥΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ



Διπλωματική Εργασία

Αθανάσιος Μάρκος

Αθήνα, Μάϊος 2022

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΣ-ΦΙΛΗΣ ΚΟΚΚΙΝΟΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: **ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΜΑΡΚΟΣ**

Τίτλος  
Διπλωματικής Εργασίας:

## **ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΟΧΥΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι  
Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή:

**Τριαντ.-Φίλης Κόκκινος**  
Αναπληρωτής Καθηγητής  
Επιβλέπων

**Νικόλαος Πνευματικός**  
Καθηγητής  
Μέλος

**Σταυρούλα Δενεζάκη**  
Λέκτορας  
Μέλος

Μάιος 2022, ΑΙΓΑΛΕΩ

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Αθανάσιος Μάρκος** του Πέτρου, με αριθμό μητρώου 6689 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών, που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο Δηλών



Αθανάσιος Μάρκος



---

---

## Abstract

---

---

Diploma Thesis Title:

# Comparison of Computational Methods for Evaluating the Strength of Fortifications

Author: **Athanasios Markos**

(May 2022)

This diploma thesis studies and demonstrates the calculation of the strength of fortification from World War II using two different computational methods: The empirical method according to Technical Manual TM-855-1 (US Army-1996) and the analytical according to OMOE (National Technical University of Athens-2008) and compares these two methods.

The first chapter is an introduction of fortification in general and the reason why the fortification in the city of Rafina is the ideal for the comparison between the two computational methods. In the second chapter there is a presentation of the different forts of Rafina and two of them are further analyzed. The strength of concrete and steel elements is calculated with the use of destructional methods and compression and tension testing. Additionally, the presence of steel is estimated by a typical cross section in the selected forts. Finally, one characteristic cross section from each selected fort is chosen for further ballistic analysis. Chapter three analyzes the threats and the weapon of design. Chapter four estimates the maximum penetration using computational method according to TM5-855-1. Chapter five estimates the maximum penetration using computational method according to OMOE. Finally, chapter six presents the conclusions from the comparison. The numerical results are compared to analytical solutions demonstrating the strength of the two methods



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

---

## Ευχαριστίες

---

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το διδακτικό προσωπικό του Πανεπιστημίου και ιδιαίτερα τον Καθηγητή κ. Τριαντάφυλλο Κόκκινο.

Επίσης όλους τους κατοίκους του Δήμου της Ραφήνας οι οποίοι κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας εργασίας με βοήθησαν ειδικά στην παροχή ιστορικών στοιχείων της περιοχής.

---

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	9
Εισαγωγή .....	9
1.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	9
1.2 ΣΚΟΠΟΣ.....	10
1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	11
2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ .....	11
2.1.1 Παρατηρητήριο .....	11
2.1.2 Επάκτια Πολυβολεία.....	13
2.1.3 Βάσεις Πυροβόλων .....	14
2.1.4 Αντιαεροπορικό Πολυβολείο 88mm.....	16
2.1.5 Παθητικό Σκέπαστρο .....	17
2.1.6 Βάση Πύργου Άρματος με Πυροβόλο .....	20
2.1.7 Ορύγματα Συγκοινωνίας – Μάχης.....	21
2.1.8 Υπόγειες Αποθήκες Πυρομαχικών .....	22
2.2 ΥΛΙΚΟ .....	22
2.2.1 Σκυρόδεμα.....	23
2.2.1.1 Διαδικασία Λήψης δοκιμών σκυροδέματος .....	24
2.2.1.2 Διαδικασία εργαστηριακών δοκιμών .....	25
2.2.2 Οπλισμός Σκυροδέματος.....	35
2.2.2.1 Διαδικασία Λήψης Δοκιμών .....	36
2.2.2.2 Διαδικασία Εργαστηριακών Δοκιμών .....	37
2.2.2.3 Ποσοστό Οπλισμού.....	37
2.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ – ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ .....	38
2.3.1 Αντιαεροπορικό Πολυβολείο 88mm.....	38
2.3.2 Παθητικό Σκέπαστρο .....	40

---

2.3.3	Αποτέλεσμα Αποτύπωσης – Τοπολογίας.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	.....	45
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕΙΛΩΝ (ΟΠΛΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΔΡΑΣΕΙΣ)	.....	45
3.1	ΓΕΝΙΚΑ .....	45
3.2	ΑΠΕΙΛΗ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΑ.....	45
3.3	ΑΠΕΙΛΗ ΑΠΟ ΑΕΡΑ.....	46
3.4	ΟΠΛΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ .....	49
3.4.1	Αντιαεροπορικό Πολυβολείο 88mm.....	49
3.4.2	Παθητικό Σκέπαστρο .....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	.....	51
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΜΕΣΩ ΤΜ5-855-1	.....	51
4.1	ΓΕΝΙΚΑ .....	51
4.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ .....	54
4.2.1	Υπολογισμός Διείσδυσης Αδράνειας $X_A$ .....	54
4.2.2	Υπολογισμός Διείσδυσης Έκρηξης $X_E$ .....	56
4.2.3	Υπολογισμός Συνολικής Διείσδυσης $X_S$ .....	56
4.2.4	Υπολογισμός Διορθωτικού Συντελεστή Λοξότητας Πρόσκρουσης.....	57
4.2.5	Υπολογισμός Τελικής Συνολικής Διείσδυσης.....	58
4.2.6	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων.....	58
4.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΒΟΜΒΩΝ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ .....	58
4.3.1	Γενικά.....	58
4.3.2	Έλεγχος.....	59
4.3.3	Κατηγοριοποίηση Αιχμής Βομβών.....	60
4.3.4	Υπολογισμός Συνολικής Διείσδυσης.....	60
4.3.5	Συμπεράσματα .....	62
4.4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΚΡΗΞΗ ΒΟΜΒΑΣ 2000 ΛΙΒΡΩΝ .....	62
4.4.1	Γενικά.....	62
4.4.2	Υπολογισμός Απόστασης $r$ .....	64
4.5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΝΑΕΡΙΑ ΕΚΡΗΞΗ ΒΟΜΒΑΣ 2000 ΛΙΒΡΩΝ .....	66
4.5.1	Υπολογισμός Απόστασης $r$ .....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	.....	68
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΜΕΣΩ ΟΜΟΕ	.....	68

---

5.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	68
5.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΟΧΥΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΤΑ ΟΜΟΕ .....	70
5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ .....	71
5.3.1 Υπολογισμός Ταχύτητας Πρόσκρουσης.....	71
5.3.2 Υπολογισμός Συνολικής Διείσδυσης.....	72
5.2.3 Απομείωση Λόγω Λοξότητας.....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	77
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α .....	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	77
Βιβλιογραφία .....	83
1. Βιβλία.....	83
2. Ηλεκτρονικές πηγές.....	85



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Η Οχυρωτική χαρακτηρίζεται ως η τέχνη της οργάνωσης μιας τοποθεσίας κατά την οποία οι αμυνόμενοι σ' αυτή να μπορούν να ανταπεξέλθουν εναντίον των εχθρικών επιθέσεων. Πρόκειται για στρατιωτική τέχνη που μελετά την κατασκευή προστατευτικών κατασκευών ικανών να αυξήσουν την επιβιωσιμότητα του προσωπικού και του εξοπλισμού. Η τέχνη της κατασκευής οχυρώσεων αποτελεί διαχρονικά συντελεστή επαύξησης της μαχητικής ισχύος του αμυνόμενου και κατά συνέπεια η αντοχή αυτών των έργων είναι ένας παράγοντας κρίσιμος. Δύο από τα εργαλεία με τα οποία μπορεί να αναλυθεί η αντοχή των έργων οχύρωσης είναι μεταξύ άλλων:

- Το μεταφρασμένο Τεχνικό Εγχειρίδιο (ΤΕ) του Αμερικάνικου Στρατού TM5-855-1 (1986) και
- Τις Οδηγίες για τη Μελέτη Οχυρωματικών Έργων - Ο.Μ.Ο.Ε. (2008).

Σε γενικές γραμμές, το ΤΕ χρησιμοποιείται κυρίως στο πεδίο. Αποτελεί ταχύτερη μέθοδο υπολογισμού της αντοχής των οχυρωματικών έργων καθώς χρησιμοποιεί σε μεγάλο βαθμό νομογραφήματα.

Οι Οδηγίες για τη Μελέτη Οχυρωματικών Έργων (ΟΜΟΕ) αφορούν στην ανάλυση και το σχεδιασμό νέων ενισχυμένων οχυρωματικών έργων, τα οποία, πέραν των συνήθων δράσεων, μελετώνται ώστε να αναλάβουν με τον επιθυμητό βαθμό βλάβης και ασφάλειας, δράσεις που προκαλούνται λόγω πλήγματος από συμβατικά όπλα. Πρόκειται για λεπτομερέστερη μέθοδο ανάλυσης, η οποία χρησιμοποιεί αριθμητικές μεθόδους.

Για την σύγκριση των δύο διατιθέμενων εργαλείων αρκεί η εξεύρεση ενός οχυρωματικού έργου το οποίο είναι προγενέστερο των μεθόδων. Μετά από έρευνα στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής, καταλληλότερο έργο κρίθηκε το Γερμανικό Οχυρό της Ραφήνας, το οποίο αναλύεται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

---

## **1.2 Σκοπός**

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η σύγκριση της ανάλυσης ενός οχυρωματικού έργου της περιόδου 1941-45, σύμφωνα με το TM5-855-1 (1986) και τις Οδηγίες Μελέτης Οχυρωματικών έργων - Ο.Μ.Ο.Ε. (2008).

## **1.3 Μεθοδολογία**

Η μεθοδολογία ανάλυσης που θα ακολουθηθεί στην εργασία αυτή είναι η εξής:

- Περιγραφή του οχυρωματικού έργου (Κεφάλαιο 2).
- Ανάλυση των απειλών (όπλα σχεδιασμού, δράσεις)(Κεφάλαιο 3).
- Εκτίμηση μέγιστης διείσδυσης μέσω TM5-855-1(Κεφάλαιο 4).
- Εκτίμηση μέγιστης διείσδυσης μέσω ΟΜΟΕ(Κεφάλαιο 5).
- Συμπεράσματα(Κεφάλαιο 6).

### *ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΧΥΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ*

#### **2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**

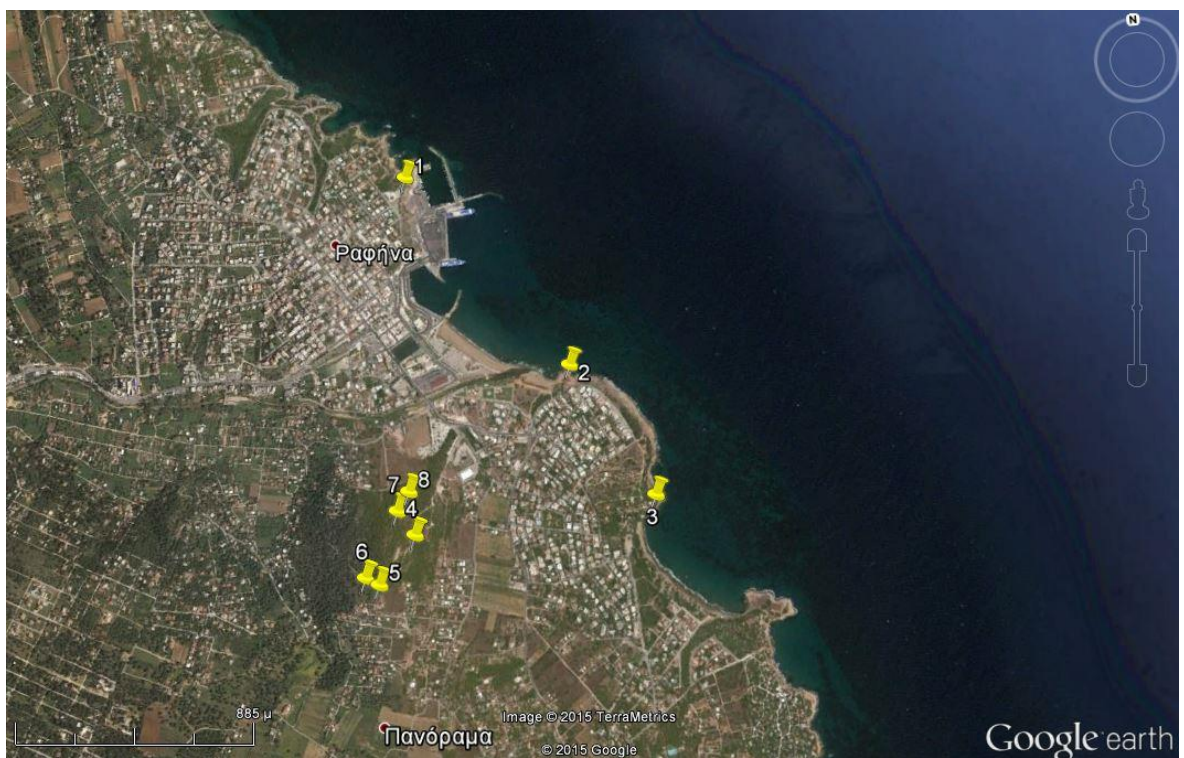
Στην περιοχή της Ραφήνας υπάρχουν υπόγεια και επιφανειακά οχυρωματικά έργα, τα οποία κατασκευάστηκαν την περίοδο 1941-45 από τον Γερμανικό Στρατό. Τα περισσότερα βρίσκονται στο Λόφο Οχυρού<sup>1</sup>. Υπάρχουν επάκτια πολυβολεία στην παραλία «Μαρίκες» και στη νοτιοδυτική πλευρά του λιμανιού. Στη βόρεια είσοδο του λιμανιού και στα θεμέλια του ιερού ναού Προφήτη Ηλία υπάρχει παρατηρητήριο. Παρακάτω, καταδεικνύονται σε δορυφορική φωτογραφία στην εικόνα 1 η ευρύτερη περιοχή των οχυρωματικών έργων καθώς και η περιοχή του Λόφου Οχυρού στην εικόνα 2 αντίστοιχα.

##### **2.1.1 Παρατηρητήριο**

Στη βόρεια είσοδο του λιμανιού της Ραφήνας δεσπόζει ο ιερός ναός του Προφήτη Ηλία. Ο ναός αυτός είναι κτισμένος στην άκρη του υψώματος, ακριβώς πάνω από το παρατηρητήριο.

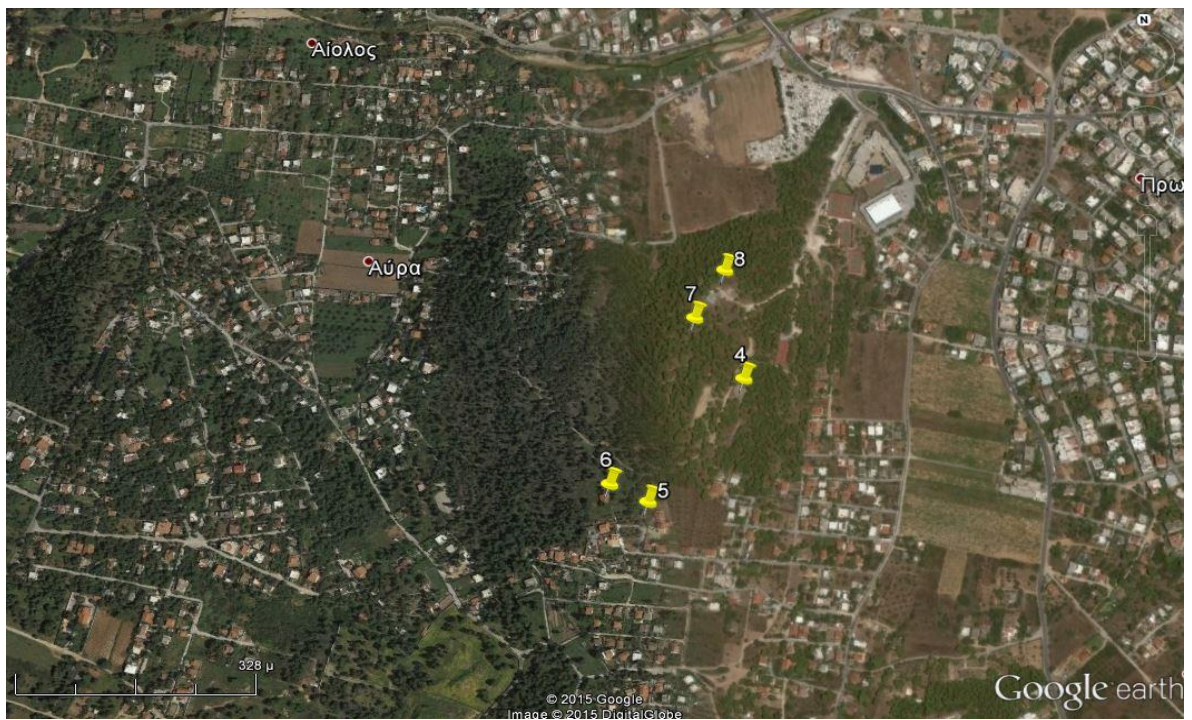
---

<sup>1</sup> Ο Λόφος Οχυρού πήρε την ονομασία αυτή κατά την περίοδο 1941-45, ενώ η προηγούμενη ονομασία του ήταν Λόφος Παναγίτσα.



**Εικόνα 1** Γενική άποψη των οχυρωματικών έργων της περιοχής της Ραφήνας.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 1		
A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΧΥΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΓΟΥ
1	Παρατηρητήριο	Ιερός Ναός Προφήτη Ηλία
2	Επάκτια Πολυβολεία	ΝΑ πλευρά λιμανιού
3	Επάκτια Πολυβολεία	Β πλευρά παραλίας «Μαρίκες»
4	Βάση Πυροβόλου- θέατρο	Λόφος Οχυρού
5	Βάση Πυροβόλου	
6	Πολυβολείο Αντιαεροπορικό 88mm	
7	Παθητικό Σκέπαστρο	
8	Βάση Πύργου Άρματος	



**Εικόνα 2** Δορυφορική φωτογραφία Λόφου Οχυρού.

<u>ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΕΙΚΟΝΑΣ 2</u>		
Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΧΥΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΓΟΥ
4	Βάση Πυροβόλου- θέατρο	Λόφος Οχυρού
5	Βάση Πυροβόλου	
6	Πολυβολείο Αντιαεροπορικό 88mm	
7	Παθητικό Σκέπαστρο	
8	Βάση Πύργου Άρματος	

### **2.1.2 Επάκτια Πολυβολεία**

Επάκτια πολυβολεία βρίσκονται σε δύο περιοχές:

Στη ΝΑ πλευρά του λιμανιού διακρίνονται δύο κατασκευές πολυβολείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως στην εικόνα3 και 4.





**Εικόνα 3** Θυρίδες πολυβολείου στη ΝΔ πλευρά του λιμανιού της Ραφήνας.



**Εικόνα 4** Θυρίδα πολυβολείου στην ΝΔ πλευρά του λιμανιού της Ραφήνας.

Στην παραλία «Μαρίκες» υπάρχουν δύο επάκτια πολυβολεία<sup>2</sup> (εικόνα 17) που είναι κατασκευασμένα από πέτρες. Είναι εξαγωνικού σχήματος με πλευρά μήκους 2 m και πάχος τοίχου 1 m. Ο τομέας βολής τους είναι νοτιοανατολικά της περιοχής που βρίσκονται.

### **2.1.3 Βάσεις Πυροβόλων**

Στην περιοχή του Λόφου Οχυρού είναι εμφανείς δύο βάσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα, πάνω στις οποίες εδράζονταν πυροβόλα. Η βάση του πυροβόλου<sup>3</sup> βρίσκεται στην

<sup>2</sup>Gordon L. Rottman, German Field Fortifications 1939-45, OSPRAY Publishing, 2004 σελ. 44

<sup>3</sup> Μαρτυρίες αναφέρουν ότι είχαν εγκατασταθεί πέντε πυροβόλα με μεταλλικούς πύργους, τα οποία μετέφεραν αυτούσια οι Γερμανοί από τη γραμμή Μαζινό, χωρίς όμως να υπάρχει κάποιο έγγραφο ή



---

νοτιοανατολική πλευρά του λόφου. Το σχήμα της είναι κανονικό οκτάγωνο με πλευρά 2 m, το οποίο εδράζεται σε κυκλική βάση διαμέτρου 3 m, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.



Εικόνα 5 Βάση πυροβόλου.

Η δεύτερη βάση έχει διάμετρο 10m και όπως διακρίνεται στην παρακάτω φωτογραφία, έχει αποκτήσει τη χρήση ως θεάτρου εκδηλώσεων για τους Προσκόπους.



---

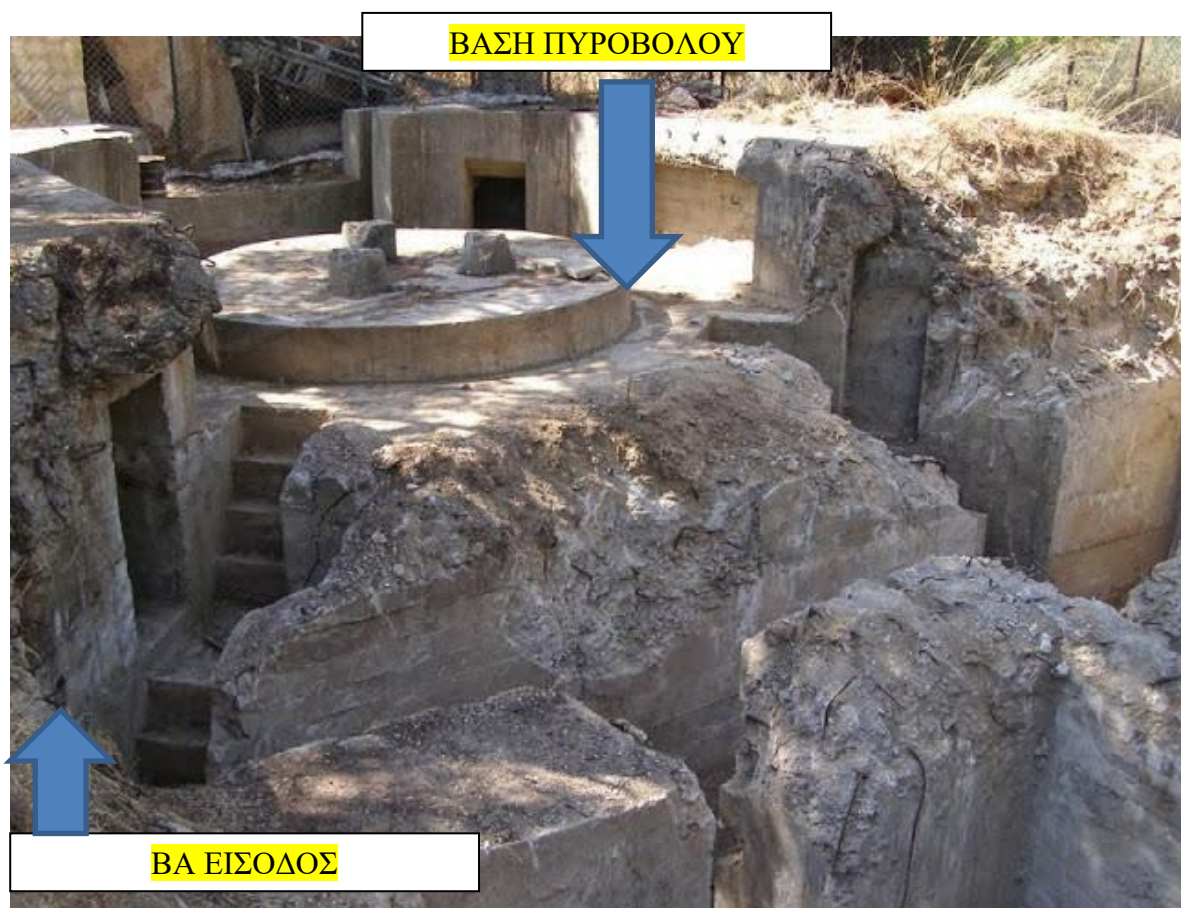
τεκμηριωμένη βιβλιογραφία που να πιστοποιεί αυτό το γεγονός. Με την αποχώρηση των Γερμανικών στρατευμάτων τα πυροβόλα αυτά πουλήθηκαν από τους κατοίκους για παλιοσίδερα.

Εικόνα 6 Βάση πυροβόλου.

Παρατηρώντας τη θέση των δύο βάσεων σε σχέση με τον χάρτη, αλλά και το γεγονός ότι η οχύρωση κατασκευάστηκε με σκοπό την αποτροπή απόβασης στην περιοχή της Ραφήνας, προκύπτει ότι το βεληνεκές του πυροβόλου έπρεπε να καλύπτει περιοχή ανατολικά μέχρι τη Ν. Εύβοια 18 km, βόρεια μέχρι τον Μαραθώνα 19 km και νότια μέχρι το Λαύριο 20 km.

#### 2.1.4 Αντιαεροπορικό Πολυβολείο 88mm

Το πολυβολείο αυτό χωροθετείται στην νοτιοανατολική πλευρά του Λόφου Οχυρού. Διακρίνεται η βάση πάνω στην οποία ήταν τοποθετημένο το πυροβόλο διαμέτρου 2 m. Στην ανατολική πλευρά και σε κατεύθυνση 45 μοιρών εκατέρωθεν της ανατολής υπάρχουν χώροι αποθήκευσης πυρομαχικών. Αντιδιαμετρικά, διακρίνονται δύο είσοδοι της υπόγειας εγκατάστασης, όπως διαφαίνεται στις εικόνες 7 και 8.



Εικόνα 7 Βάση έδρασης αντιαεροπορικού πυροβόλου από οπλισμένο σκυρόδεμα.

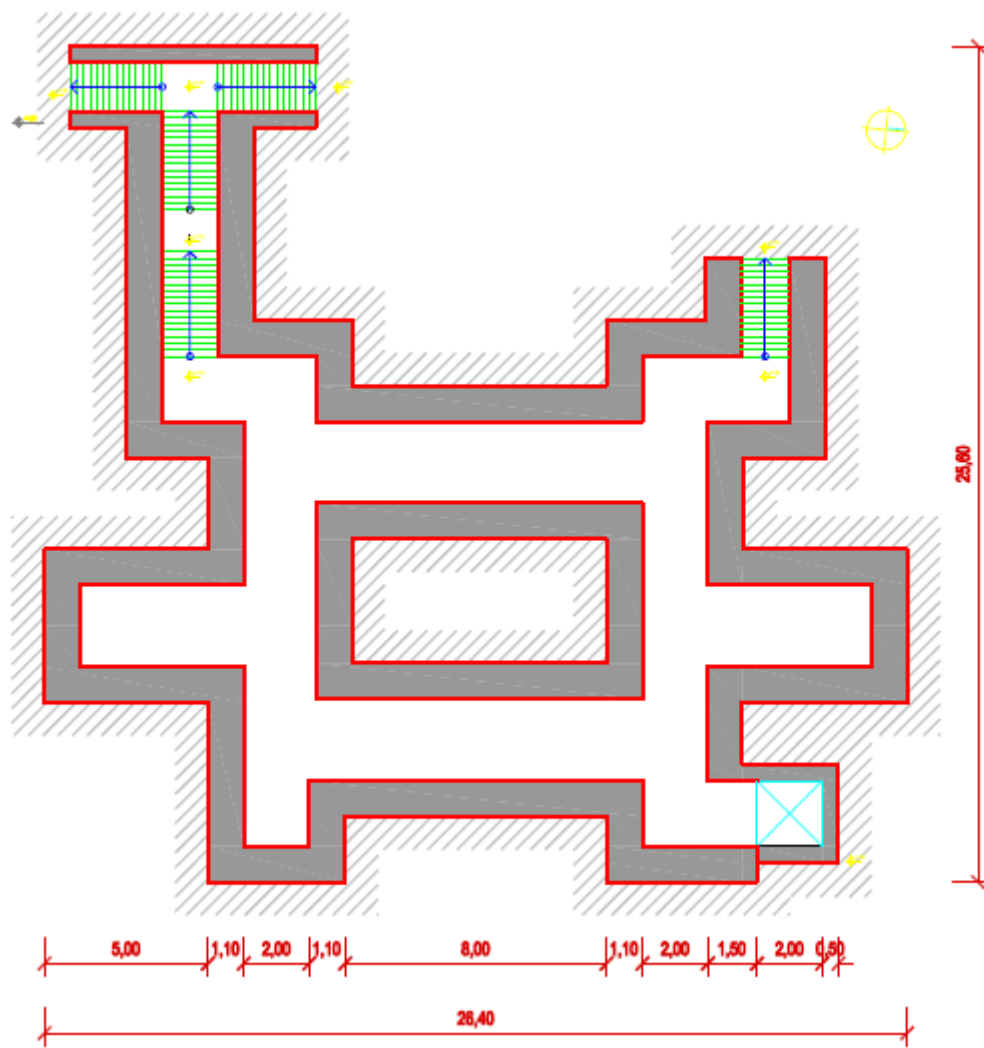




**Εικόνα 8** Υπόγειες εγκαταστάσεις αντιαεροπορικού πολυβολείου 88mm.

### **2.1.5 Παθητικό Σκέπαστρο**

Το παθητικό σκέπαστρο έχει δύο εισόδους στη δυτική πλευρά του λόφου εκ των οποίων η μία είναι καλυμμένη με χώματα. Αποτελείται από τέσσερις κύριους χώρους, τρεις βοηθητικούς και διαδρόμους, όπως φαίνεται στα παρακάτω σκαριφήματα και τις εικόνες.



Σχήμα 1 Σκαρίφημα κάτοψης παθητικού σκεπάστρου Λόφου Οχυρού.



**Εικόνα 9** Νοτιοδυτική (ΝΔ) Είσοδος σκεπάστρου.



**Εικόνα 10** Διάδρομος που ενώνει τη Βορειοανατολική (ΒΑ) είσοδο του σκεπάστρου (μη προσβάσιμη) με την τον αεραγωγό εξαερισμού.



---

Ο αερισμός είναι φυσικός και προέρχεται από έναν αεραγωγό καθώς δεν υπάρχουν ενδείξεις για τη χρησιμοποίηση μηχανικών μέσων παροχής αέρα. Ο αεραγωγός έχει ύψος 15m και από τις επισκέψεις που έγιναν αποδεικνύεται ότι είναι επαρκείς για τον αερισμό της υπόγειας εγκατάστασης.



**Ε** **Εικόνα 11** Αεραγωγός σκεπάστρου  
ό όπως φαίνεται στην επιφάνεια του  
ε εδάφους

### **2.1.6 Βάση Πύργου Άρματος με Πυροβόλο**

Στην δυτική πλευρά του λόφου διακρίνεται βάση από οπλισμένο σκυρόδεμα πάνω στην οποία προσαρμοζόταν πύργος άρματος<sup>4</sup>. Η βάση έχει εξωτερική διάμετρο 85 cm και εσωτερική διάμετρο 65 cm, όπως διαφαίνεται στην εικόνα 13. Το πυροβόλο αυτό κάλυπτε τη βορειοδυτική πλευρά του λόφου.

---

<sup>4</sup>(1) Military Intelligence Service - War Department, Special Series No 15 - German Coastal Defences, 15 June 1945, σελ 71,72.

(2) War Department TM-E 30-451, Handbook on German Military Forces, 15 March 1945, σελ V-4.



Εικόνα 13 Βάση πύργου άρματος με πολυβόλο.

### 2.1.7 Ορύγματα Συγκοινωνίας-Μάχης

Περιμετρικά της τοποθεσίας υπάρχουν ορύγματα συγκοινωνίας τα οποία συνδέουν τις θέσεις των πολυβολείων αλλά και των υπολοίπων υπόγειων εγκαταστάσεων. Τα περισσότερα έχουν επιχωματωθεί εν μέρει. Νοτιοανατολικά του αεραγωγού του παθητικού σκεπάστρου και σε απόσταση 3,5 m υπάρχει ένα τμήμα από όρυγμα συγκοινωνίας, το οποίο βρίσκεται σε καλή κατάσταση, όπως φαίνεται στην εικόνα 14.



Εικόνα 14 Όρυγμα συγκοινωνίας.



---

### 2.1.8 Υπόγειες Αποθήκες Πυρομαχικών

Σε απόσταση 5 m νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά της βάσης του πυροβόλου της παραγράφου 2.3.1 υπάρχουν δύο υπόγειες εγκαταστάσεις, οι οποίες λόγω τοποθεσίας και μεγέθους συμπεραίνεται ότι χρησιμοποιούνταν ως αποθήκες πυρομαχικών, όπως διακρίνεται στην εικόνα15.



Εικόνα 15 Υπόγεια αποθήκη πυρομαχικών.

## 2.2 ΥΛΙΚΟ

Τα υπό εξέταση οχυρωματικά έργα της περιοχής της Ραφήνας, έχουν κατασκευαστεί στην πλειοψηφία τους από οπλισμένο σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα, σε όλες τις κατασκευές που βρίσκονται στο Λόφο Οχυρού καθώς και στα επάκτια πολυβολεία της νοτιοανατολικής πλευράς του λιμανιού της Ραφήνας, έχει γίνει χρήση οπλισμένου σκυροδέματος, όπως διακρίνεται στην εικόνα 16. Αντίθετα, τα δύο πολυβολεία στην παραλία «Μαρίκες» έχουν ως κύριο δομικό υλικό την πέτρα, όπως φαίνεται στην εικόνα17.



**Εικόνα 16** Υπόγειες εγκαταστάσεις τμήματος αντιαεροπορικού πολυβολείου 88 mm στη νοτιοανατολική πλευρά του Λόφου Οχυρού. Διακρίνεται το τμήμα της εξωτερικής τοιχοποιίας (πορτοκαλί χρώμα) και ο εσωτερικός τοίχος (μπλε χρώμα).



**Εικόνα 17** Επάκτια πολυβολεία στην παραλία «Μαρίκες».

### 2.2.1 Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι χυτό επί τόπου και επιδρά αρνητικά στη θλιπτική του αντοχή η απουσία θραυστών αδρανών λατομείου. Τα αδρανή υλικά του σκυροδέματος προέρχονται από τα ρέματα της περιοχής όπως διακρίνεται άλλωστε στην εικόνα 18. Επίσης, έγινε χρήση υλικών από κατεδαφισείς κατοικιών στην περιοχή της Ραφήνας<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Αναλυτικά στοιχεία παρατίθενται στο βιβλίο: Πιστικίδης Θανάσης, Ριζώματα Βιώματα Παθήματα – Αληθινές Ιστορίες, Ραφήνα 1985.





Εικόνα 18 Φυσικά συλλεκτά αδρανή.

Η διαδικασία λήψης δοκιμίων και τα πειραματικά δεδομένα αναλύονται στις παρακάτω υποπαραγράφους.

### **2.2.1.1 Διαδικασία Λήψης δοκιμίων σκυροδέματος**

Για τη λήψη των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε η καροτιέρα υγρής κοπής BulleCDC-150 με διάμετρο οπής 85 mm. Για τη λειτουργία της συγκεκριμένης μηχανής απαιτήθηκε η παροχή ρεύματος από γεννήτρια καθώς και συνολικά 30 περίπου λίτρα νερού. Η διάνοιξη των οπών πραγματοποιήθηκε με τη μηχανή σε κατακόρυφη θέση, όπως φαίνεται στην εικόνα 19.

Το αντιαεροπορικό πολυβολείο των 88 mm επιλέχθηκε η πιο κατάλληλη τοποθεσία δειγματοληψίας, τόσο από άποψη ευκολίας, όσο και από ασφάλειας κατά την εργασία. Για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων αναφορικά με την ποιότητα του σκυροδέματος λήφθησαν συνολικά 3 δοκίμια.





Εικόνα 19 Καροτιέρα BULLECDC-150.

Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, τα δύο πρώτα δοκίμια ικανοποίησαν κατά προσέγγιση την απαίτηση ότι το ύψος του κυλίνδρου να είναι τουλάχιστον διπλάσιο από τη διάμετρό του, ενώ το τρίτο δοκίμιο δεν την ικανοποίησε. Χαρακτηριστικό της όλης διαδικασίας είναι η δυσκολία εξαγωγής του δοκιμίου από την οπή διάτρησης σε ύψος ίσο με αυτό της οπής. Και στις τρεις διατρήσεις της πλάκας, το βάθος της οπής ήταν περίπου 30 – 40 cm , ενώ το ύψος των δοκιμίων 7-13 cm, όπως αναλύεται στην υποπαράγραφο 2.2.1.2.

### 2.2.1.2 Διαδικασία εργαστηριακών δοκιμών

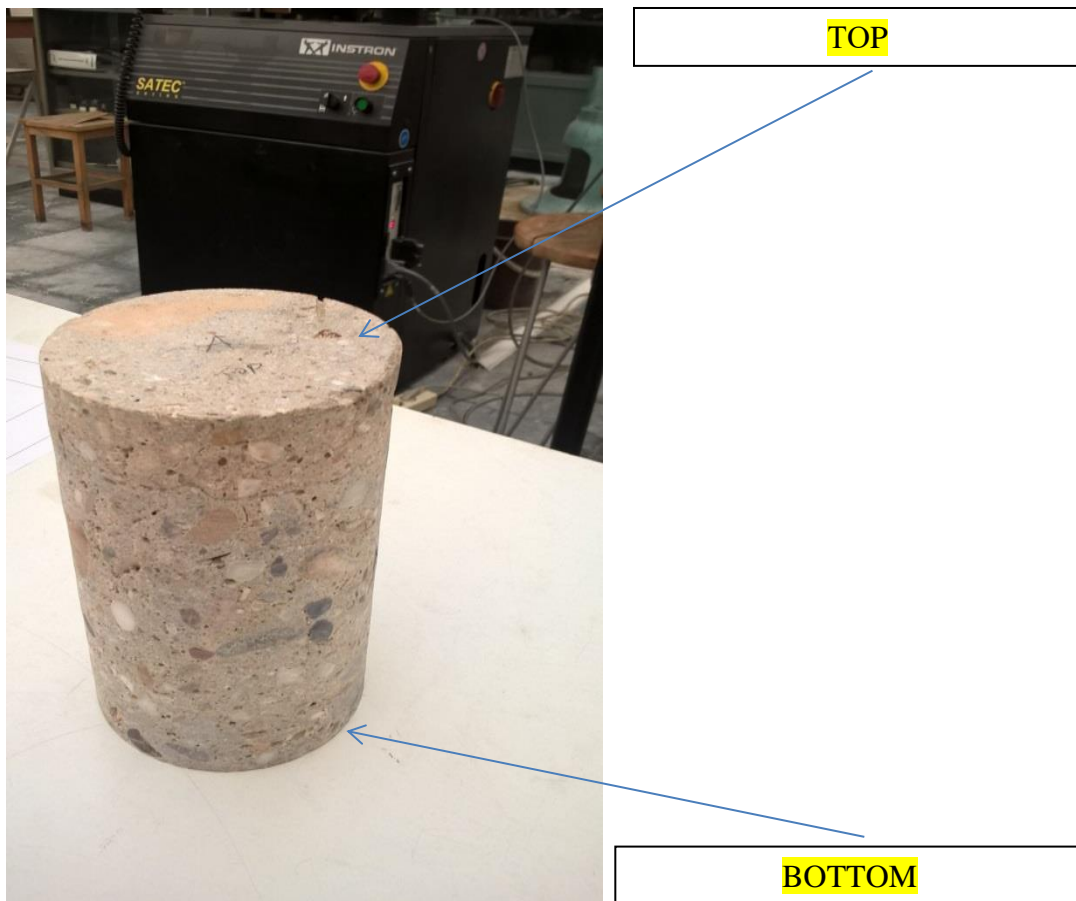
Σε πρώτη φάση, τα δοκίμια από σκυρόδεμα μεταφέρθηκαν σε εργαστήριο επεξεργασίας μαρμάρων ώστε να ομαλοποιηθούν οι βάσεις τους και να γίνουν όσο το δυνατόν παράλληλες μεταξύ τους. Βασική αρχή σε αυτή τη διαδικασία είναι η απώλεια όσο δυνατόν λιγότερης μάζας από το δοκίμιο.

Στη συνέχεια στο Εργαστήριο Αντοχής των Υλικών, έγινε η ονοματολογία των δοκιμίων. Στα δύο πρώτα δοκίμια **A** και **B**, καθορίστηκε μία βάση ως **BOTTOM** και μία βάση ως **TOP** για λόγους καθαρά διάκρισης αναφορικά με την μέτρηση της διαμέτρου. Στο τρίτο δοκίμιο **C**, η μία βάση ονομάστηκε Front και η άλλη Back για τον ίδιο λόγο. Στη συνέχεια έγινε μέτρηση των δοκιμίων<sup>6</sup> όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες. Για κάθε μέγεθος πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις με ακρίβεια 2 δεκαδικών και υπολογίστηκε ο μέσος όρος.

---

<sup>6</sup> Η διαδικασία των εργαστηριακών δοκιμών έγινε στα Εργαστήρια Αντοχής Υλικών του Ε.Μ.Π.

Η μέτρηση των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε με τη χρησιμοποίηση ηλεκτρονικού παχύμετρου limit, το οποίο ακολουθεί το πρότυπο ISO 9001:2000.



Εικόνα 20 Δοκίμιο Α πριν τη θραύση.

Πίνακας 2. Πίνακας γεωμετρικών δεδομένων δοκιμίου Α.

ΔΟΚΙΜΙΟ Α					
TOP Diameter		BOTTOM Diameter		HEIGHT	
A/A ΔΟΚΙΜΗΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	A/A ΔΟΚΙΜΗΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	A/A ΔΟΚΙΜΗΣ	ΥΨΟΣ (mm)
1.	84,50	1.	84,45	1.	134,01
2.	84,37	2.	84,40	2.	134,73
3.	84,26	3.	84,37	3.	136,58
4.	84,32	4.	84,42	4.	136,33
AVERAGE	84,36 mm	AVERAGE	84,41mm	AVERAGE	135,41 mm
AVERAGE (TOP,BOTTOM)			84,39mm		

$$\frac{\text{ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ}}{\text{ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ}} = \frac{135,41\text{mm}}{84,39\text{mm}} = 1,60 \quad (2.1)$$

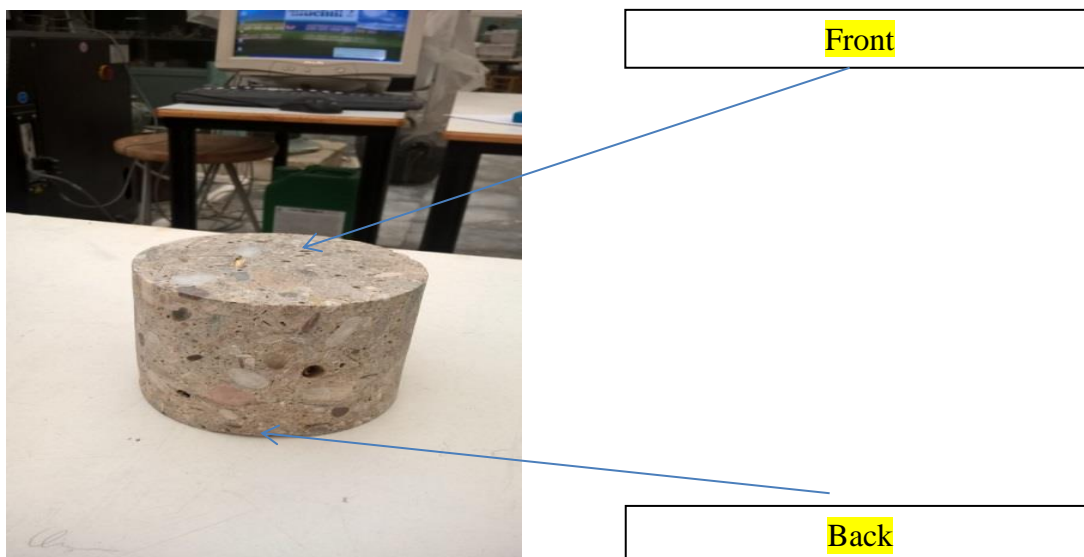


Εικόνα 21 Δοκίμιο B πριν την θραύση.

Πίνακας 2. 2 Πίνακας γεωμετρικών δεδομένων δοκιμίου B.

ΔΟΚΙΜΙΟ Β					
TOP Diameter		BOTTOM Diameter		HEIGHT	
A/A ΔΟΚΙΜΗΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	A/A ΔΟΚΙΜΗΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	A/A ΔΟΚΙΜΗΣ	ΥΨΟΣ (mm)
1.	84,42	1.	84,51	1.	131,62
2.	84,43	2.	84,36	2.	132,77
3.	84,27	3.	84,62	3.	131,94
4.	84,29	4.	84,41	4.	131,12
AVERAGE	84,35 mm	AVERAGE	84,48 mm	AVERAGE	131,86 mm
AVERAGE (TOP,BOTTOM)			84,42mm		

$$\frac{\text{ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ}}{\text{ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ}} = \frac{131,86\text{mm}}{84,42\text{mm}} = 1,56 \quad (2.2)$$



Εικόνα 22 Δοκίμιο C πριν την θραύση.

Πίνακας 2. 3 Πίνακας γεωμετρικών δεδομένων δοκιμίου C.

ΔΟΚΙΜΙΟ C					
TOP Diameter		BOTTOM Diameter		HEIGHT	
A/A ΔΟΚΙΜΗΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	A/A ΔΟΚΙΜΗΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	A/A ΔΟΚΙΜΗΣ	ΥΨΟΣ (mm)
1.	84,04	1.	84,47	1.	71,73
2.	82,68	2.	84,47	2.	70,52
3.	84,44	3.	84,53	3.	68,61
4.	83,85	4.	84,06	4.	70,91
AVERAGE	83,75mm	AVERAGE	84,38mm	AVERAGE	70,44mm
AVERAGE (TOP,BOTTOM)			84,07mm		

$$\frac{\text{ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ}}{\text{ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ}} = \frac{70,44\text{mm}}{84,07\text{mm}} = 0,84 \quad (2.3)$$

Γενικά και ανεξάρτητα με τους κανονισμούς, έχει παρατηρηθεί ότι στην περίπτωση των κυλινδρικών δοκιμίων, η αντοχή  $\sigma_{th}$  μεγαλώνει όσο ο λόγος  $h/d$  μικραίνει. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η επίδραση του λόγου ομοιότητας στην αντοχή των κυλινδρικών δοκιμίων και με γραμμική παρεμβολή βρίσκονται οι τιμές του συντελεστή διόρθωσης αντοχής<sup>7</sup> για τα δοκίμια A και B:

<sup>7</sup> Ι.Ν. Πρασιανάκης και Σ.Κ. Κουρκουλής, Πειραματική Αντοχή των Υλικών, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1999, σελ 138

Επίδραση του λόγου ομοιότητας στην αντοχή κυλινδρικών δοκιμίων	
Λόγος ύψους κυλίνδρου προς διάμετρο (h/d)	Συντελεστής διόρθωσης αντοχής
2,00	1,00
1,75	0,98
1,50	0,96
1,00	0,87
Δοκίμιο Α: 1,60	0,97
Δοκίμιο Β: 1,56	0,96

Έτσι λοιπόν, τα αποτελέσματα των πειραμάτων θα πολλαπλασιαστούν με τον συντελεστή διόρθωσης αντοχής του κάθε δοκιμίου.

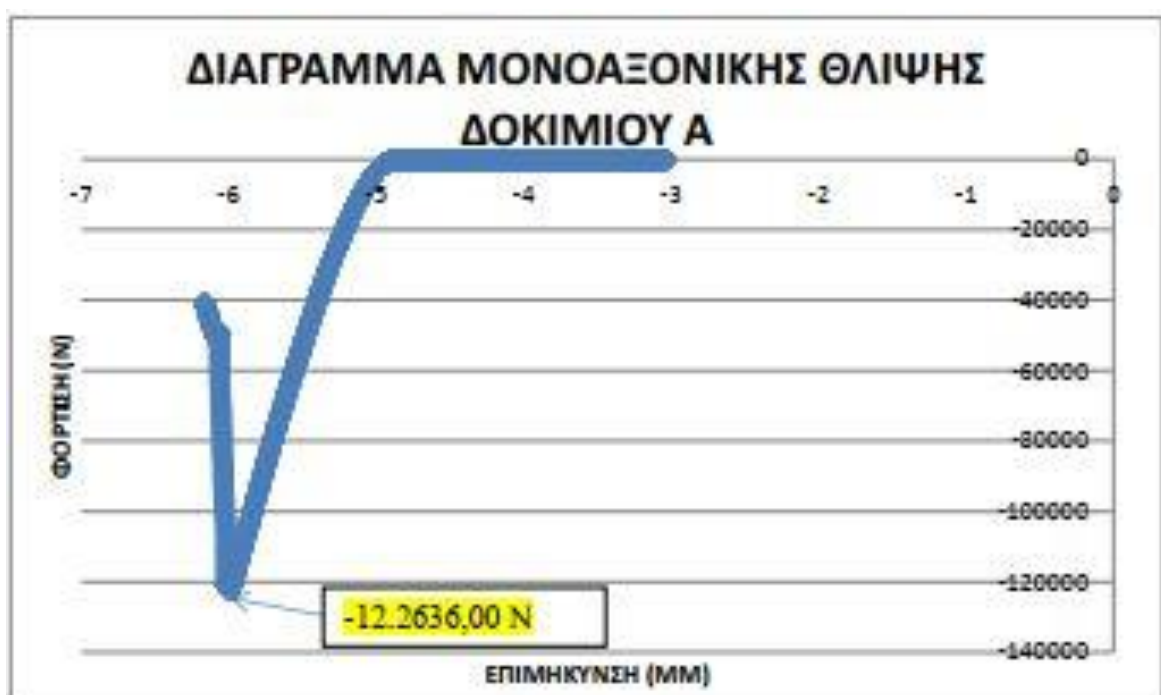
Για το έλεγχο της αντοχής των κυλινδρικών δοκιμίων από σκυρόδεμα έγιναν οι εξής δοκιμές:

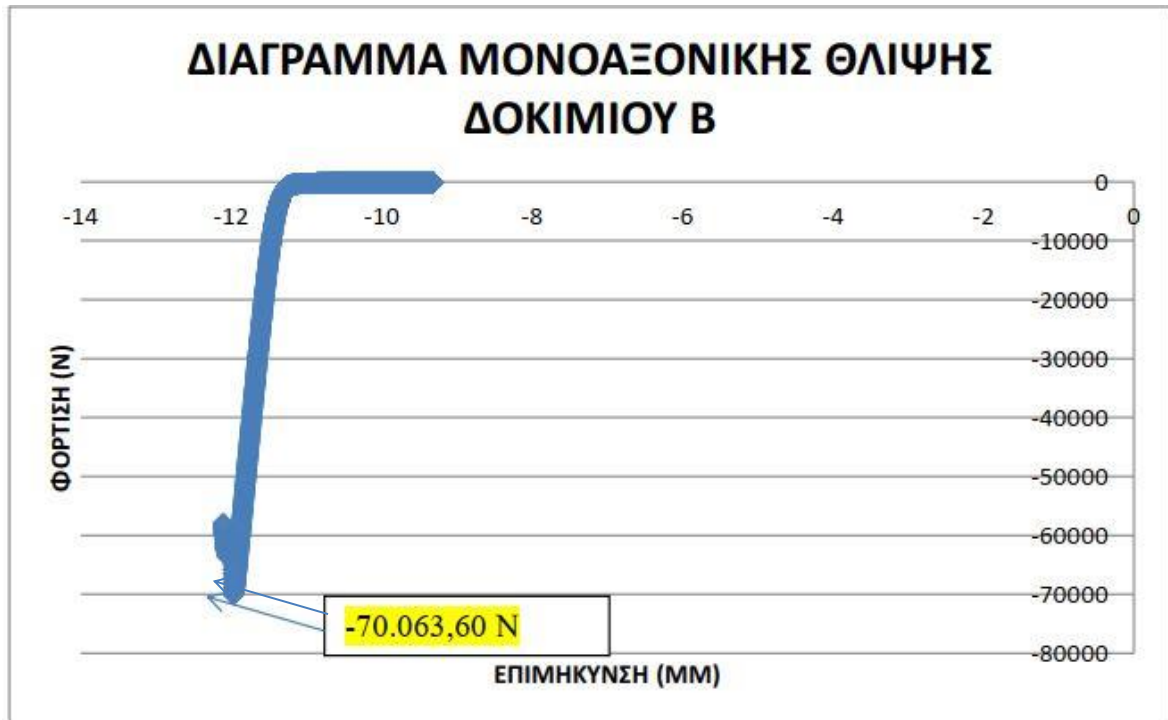
- Δοκιμή απλή θλίψης για το δοκίμιο Α με ρυθμό φόρτισης 1,0 mm/min.
- Δοκιμή απλή θλίψης για το δοκίμιο Β με ρυθμό φόρτισης 0,5 mm/min.
- Αντιδιαμετρική θλίψη για το δοκίμιο C με ρυθμό φόρτισης 0,5 mm/min.

Στη δοκιμή της απλής θλίψης, από το φορτίο θραύσεως σε θλίψη  $P_{\theta}^{\theta}$  που θα προκύψει, τη διάμετρο  $d$  της διατομής του κυλινδρικού δοκιμίου και τη Σχέση:

$$\sigma = \frac{4 \times P_{\theta}^{\theta}}{\pi \times d^2} \quad (2.4)$$

προσδιορίζεται η τάση θραύσεως σε καθαρή θλίψη.





Στη Σχέση (2.4) κάνουμε αντικατάσταση των τιμών των διαμέτρων των δοκιμίων A και B από τους αντίστοιχους πίνακες γεωμετρικών χαρακτηριστικών και από τα διαγράμματα της μονοαξονικής θλίψης την μέγιστη κατά απόλυτη τιμή φόρτιση. Με αυτό τον τρόπο υπολογίζουμε για το δοκίμιο A αντοχή σε θλίψη  $21.94 \text{ N/mm}^2$  και για το δοκίμιο B  $12.52 \text{ N/mm}^2$ . Στη συνέχεια, οι τιμές αυτές θα πολλαπλασιαστούν με τον συντελεστή δόρθωσης αντοχής που είναι για τα δοκίμια A και B 0,97 και 0,96 αντίστοιχα. Οπότε:

**Δοκίμιο A:**

$$21,94 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 0,97 = 21,28 \cong 21,00 \text{MPa} \quad (2.4.1)$$

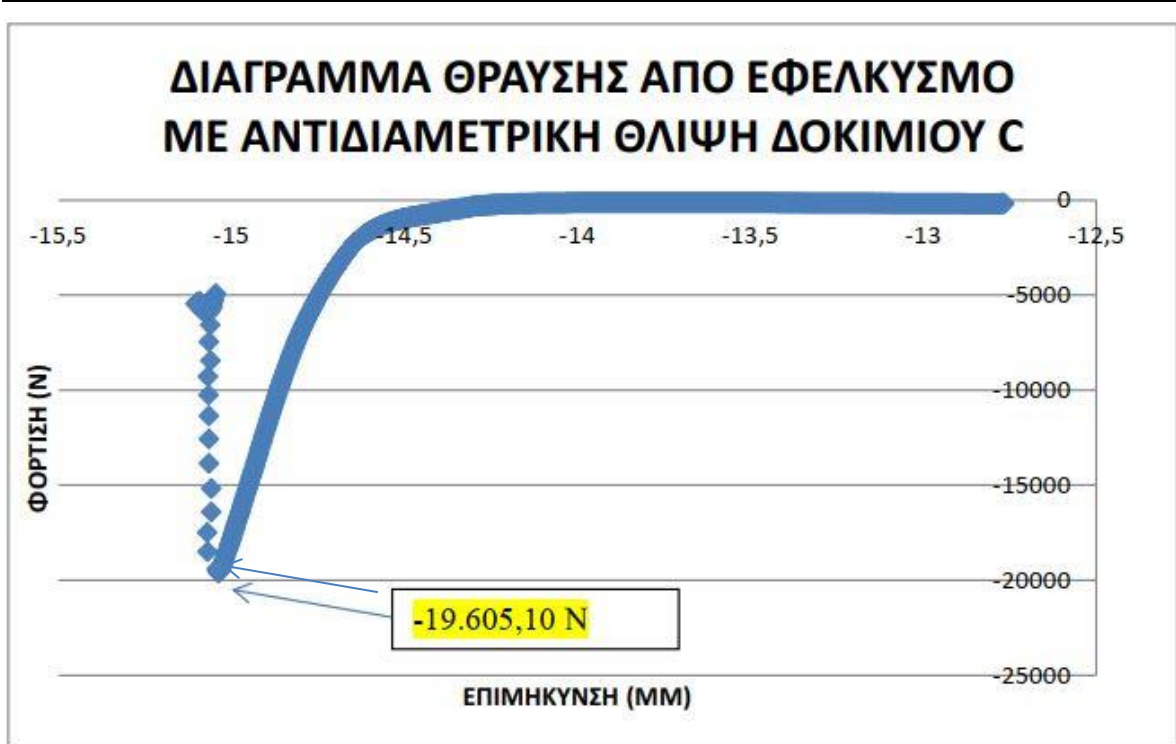
**Δοκίμιο B:**

$$12,52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 0,96 = 12,02 \cong 12,00 \text{MPa} \quad (2.4.2)$$

Στη δοκιμή της αντιδιαμετρικής θλίψης, καταγράφεται το μέγιστο φορτίο θραύσης  $P_{\theta}^{\varepsilon}$  και στη συνέχεια εκτιμάται η τάση θραύσης από εφελκυσμό με αντιδιαμετρική θλίψη, από την επόμενη Σχέση:

$$\sigma_{\varepsilon} = \frac{2 \times P_{\theta}^{\varepsilon}}{\pi \times L \times d} \quad (2.5)$$

όπου  $L$  είναι το μήκος του δοκιμίου, δη διάμετρος του.



Στη Σχέση (2.5) κάνουμε αντικατάσταση των τιμών των διαμέτρων του δοκιμίου C από τον αντίστοιχο πίνακα γεωμετρικών χαρακτηριστικών και από τα διάγραμμα της αντιδιαμετρικής θλίψης την μέγιστη κατά απόλυτη τιμή φόρτιση. Με αυτό τον τρόπο υπολογίζουμε για το δοκίμιο C αντοχή σε εφελκυσμό **2,11N/mm<sup>2</sup>**.



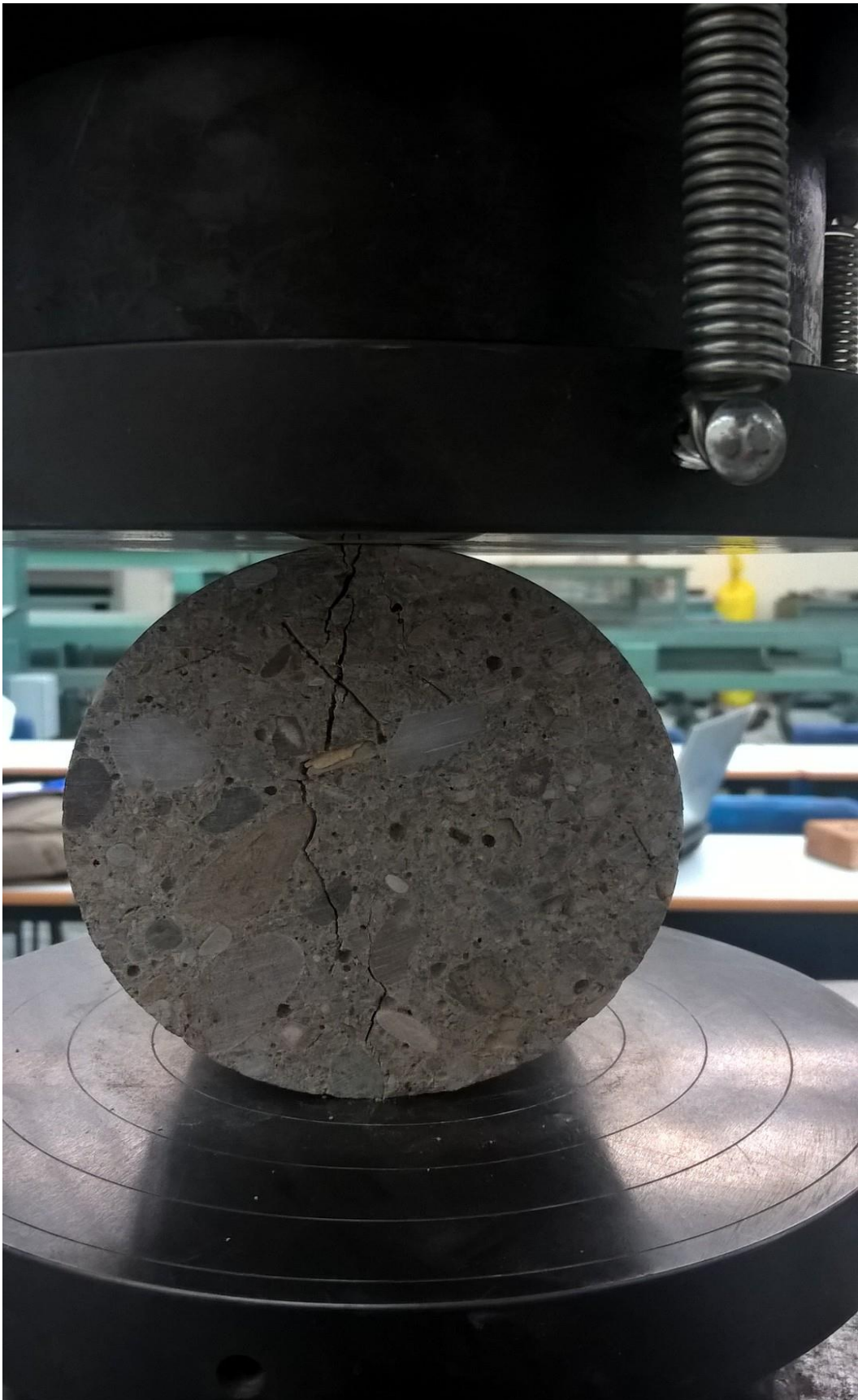


Εικόνα 23 Δοκίμιο Α μετά τη θραύση.





Εικόνα 24 Δοκίμιο Β μετά τη θραύση.



Εικόνα 25 Δοκίμιο C μετά τη θραύση.

---

Από τις Σχέσεις (2.4.1) και (2.4.2) παίρνοντας τον μέσο όρο, προκύπτει η ποιότητα του σκυροδέματος είναι **16 MPa**.<sup>8</sup>

## 2.2.2 Οπλισμός Σκυροδέματος

Ο οπλισμός των κατασκευών είναι λειογάλυβας. Διακρίνεται σε κύριο, και δευτερεύων. Ο οπλισμός έχει αποκαλυφθεί είτε λόγω αποσάθρωσης του εξωτερικού σκυροδέματος, είτε λόγω έκρηξης<sup>9</sup>. Συγκεκριμένα, στην νοτιοανατολική πλευρά του παθητικού σκεπάστρου, ο οπλισμός έχει αποκαλυφθεί λόγω φθοράς της επικάλυψης του σκυροδέματος από την πάροδο του χρόνου όπως διακρίνεται στις εικόνες 26 και 27.



**Εικόνα 26**Κύριος οπλισμός Φ16 και δευτερεύων οπλισμός Φ8 δεμένοι με συνδετήρες

---

<sup>8</sup> Η τιμή αυτή είναι κατ'εκτίμηση και γίνεται δεκτή καθώς το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η βλητική ανάλυση των επιλεχθέντων δύο οχρωματικών έργων.

<sup>9</sup> Η Γερμανική Διοίκηση του Οχυρού της Ραφήνας κατά την αποχώρηση των στρατευμάτων από την περιοχή διέταξε και πραγματοποίησε την καταστροφή των αποθηκών πυρομαχικών. Μάλιστα, ο Γερμανός Διοικητής ενημέρωσε τους κατοίκους της κοινότητας της Ραφήνας ώστε να απομακρυνθούν σε ασφαλή απόσταση.



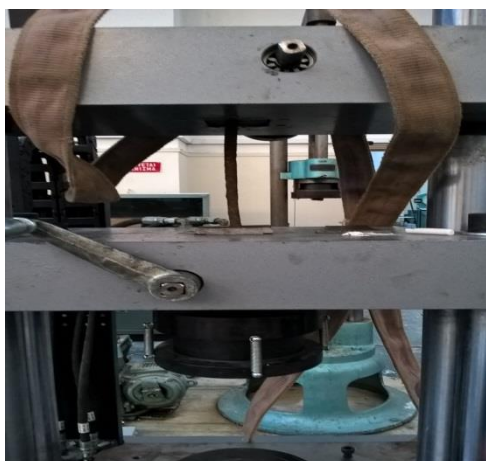


**Εικόνα 27** Αγκύρωση κυρίως οπλισμού της εικόνας 17.

### **2.2.2.1 Διαδικασία Λήψης Δοκιμίων**

Για τη λήψη των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε δίσκος ελεύθερης κοπής με παροχή ρεύματος από γεννήτρια. Το αντιαεροπορικό πολυβολείο των 88 mm επιλέχθηκε η πιο κατάλληλη τοποθεσία δειγματοληψίας, τόσο από άποψη ευκολίας, όσο και από ασφάλειας κατά την εργασία.

Για την εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων στο εργαστήριο, υπάρχουν ορισμένες απαιτήσεις αναφορικά με τη γεωμετρία των δοκιμίων. Τα δοκίμια πρέπει να είναι ευθεία με ελάχιστο μήκος 20 cm, ώστε να μπορούν να συγκρατηθούν από τις αρπάγες της μηχανής, όπως φαίνεται στην εικόνα 28. Η υλοποίηση των γεωμετρικών απαιτήσεων είναι εξαιρετικά δύσκολη στο συγκεκριμένο οχυρωματικό έργο. Ο εμφανής οπλισμός έχει διαβρωθεί και μετά από προσπάθεια ελήφθησαν 2 δοκίμια οπλισμού, τα οποία προσεγγίζουν όχι απόλυτα τις γεωμετρικές απαιτήσεις.



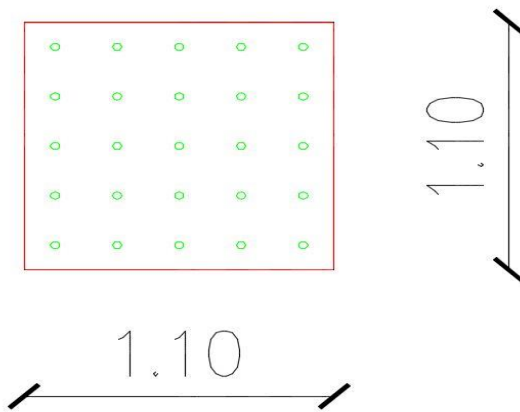
**Εικόνα 28** Δοκίμιο λειοχάλυβα πριν την έναρξη του πειράματος εφελκυσμού.

### 2.2.2.2 Διαδικασία Εργαστηριακών Δοκιμών

Η δοκιμή σε εφελκυσμό πραγματοποιήθηκε στα εργαστήρια Αντοχής Υλικών του Ε.Μ.Π. Μετά από τις εργαστηριακές δοκιμές, η αντοχή του οπλισμού σε εφελκυσμό εκτιμήθηκε στα 200MPa.

### 2.2.2.3 Ποσοστό Οπλισμού

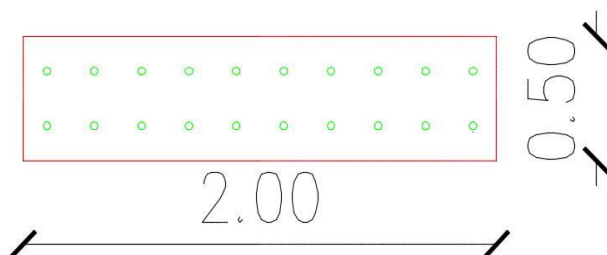
Το ποσοστό οπλισμού στις κατασκευές μετρήθηκε σε δύο σημεία του αντιαεροπορικού πολυβολείου, όπου λόγω καταστροφής της οροφής είναι εύκολα διακριτός. Ο υπολογισμός έγινε σε δύο διατομές, εξωτερικού και εσωτερικού τοίχου διαστάσεων 1,10 X 1,10 m<sup>2</sup> και 2,00 X 0,50 m<sup>2</sup>.



**Σχήμα 2** Διατομή εξωτερικού τοίχου διαστάσεων 1,10 X 1,10 m<sup>2</sup>. Διακρίνονται οι διατομές του οπλισμού Φ16.

Υπολογισμός ποσοστού οπλισμού τμήματος εξωτερικού τοίχου:

$$\rho = \frac{A_{\text{steel}}}{A_{\text{concrete}}} = \frac{25 \times \pi \times 0,016^2}{1,10 \times 1,10} = 0,017 \quad (2.3)$$



**Σχήμα 3** Διατομή εσωτερικού τοίχου διαστάσεων 2,00 X 0,50 m<sup>2</sup>. Διακρίνονται οι διατομές του οπλισμού Φ16.

Υπολογισμός ποσοστού οπλισμού τμήματος εσωτερικού τοίχου:

$$\rho = \frac{A_{\text{steel}}}{A_{\text{concrete}}} = \frac{10 \times \pi \times 0,016^2}{2,10 \times 0,50} = 0,008 \quad (2.4)$$

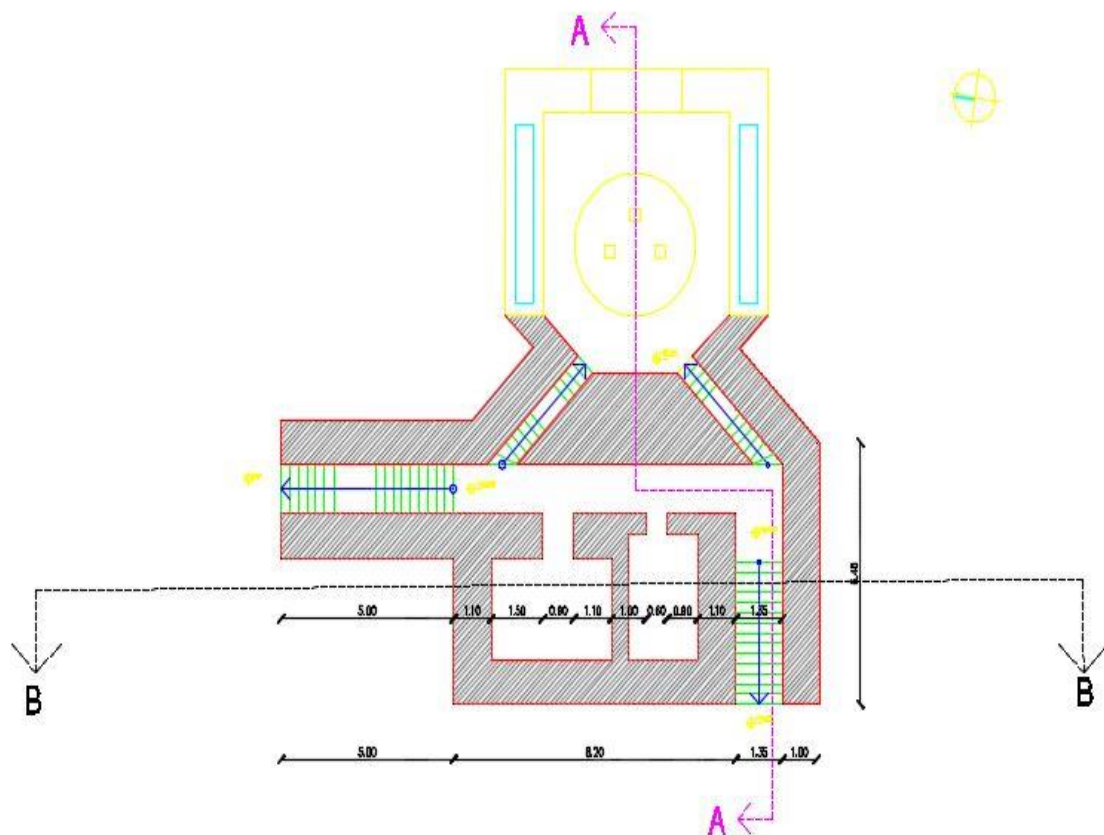
Κατόπιν των παραπάνω, από τα οχυρωματικά έργα που σώζονται στην περιοχή της Ραφήνας, θα αναλυθούν δύο έργα:

- Το αντιαεροπορικό πολυβολείο των 88mm και
- Το παθητικό σκέπαστρο.

## 2.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ–ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ

### 2.3.1 Αντιαεροπορικό Πολυβολείο 88mm

...



**Σχήμα 4** Σκαρίφημα κάτοψης πολυβολείου 88mm.

Το αντιαεροπορικό πολυβολείο χωροθετείται στη ΝΑ πλευρά του λόφου, όπως φαίνεται στην εικόνα 2. Έχει σχήμα σχεδόν ορθογωνικό. Αποτελείται από τρία επίπεδα, των οποίων οι στάθμες είναι ο παρακάτω, όπως φαίνονται στο σχήμα 5:

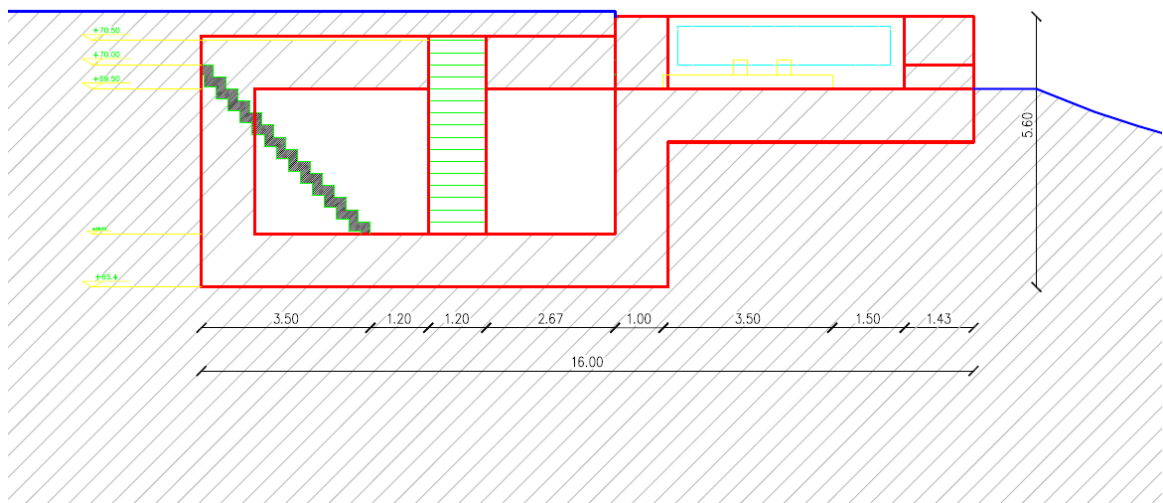
- Την επιφάνεια του εδάφους όπου βρίσκονται οι δύο εισοδοί του πολυβολείου.
- Την υπόγεια εγκατάσταση

Αποτελείται από δύο κύριους χώρους. Από το πάχος της τοιχοποιίας συμπεραίνεται ότι ήταν χώρος αποθήκευσης πυρομαχικών με διαστάσεις  $3.50 \times 2.50 \text{ m}^2$  και χώρος αποθήκευσης πυροδοτικών μηχανισμών με διαστάσεις  $2.00 \times 3.10 \text{ m}^2$ .

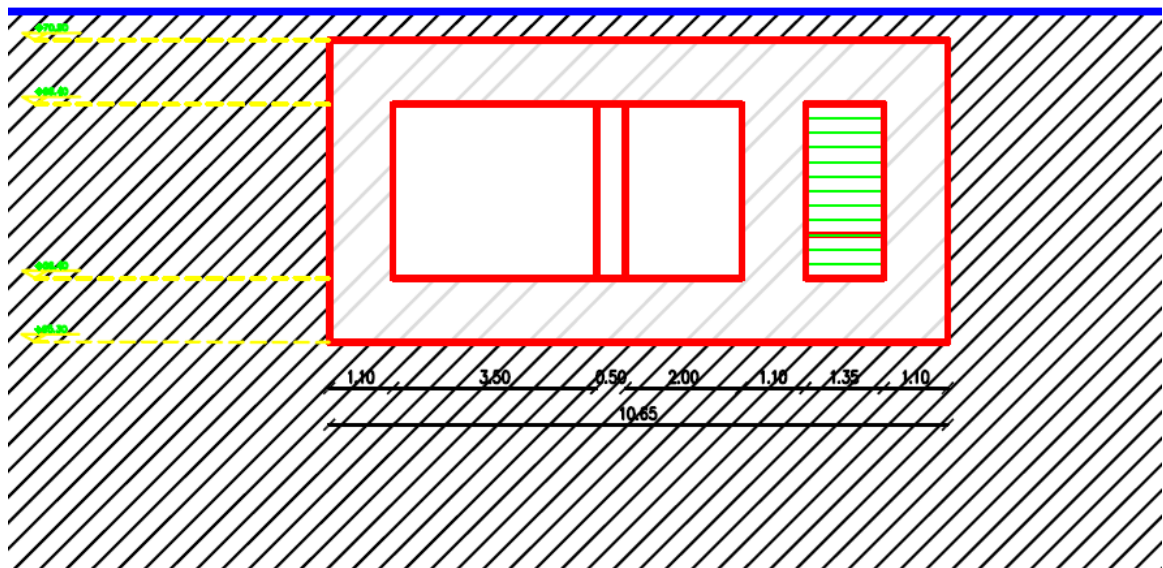
- Το επίπεδο έδρασης του πυροβόλου.

Διακρίνεται η βάση έδρασης του πυροβόλου με διάμετρο 3,50 m και ύψος 0,30 m. Πάνω στη βάση υπάρχουν τρεις κύβοι από οπλισμένο σκυρόδεμα διαστάσεων  $0,30 \times 0,30 \times 0,30 \text{ m}$ , οι οποίοι αποτελούν μέρος του συστήματος πάκτωσης του πυροβόλου.

Οι διαστάσεις και η διάταξη των χώρων φαίνονται στα σχήματα 4 και 5 και 6, ενώ φωτογραφίες του οχυρωματικού έργου έχουν παρουσιαστεί παραπάνω στο Κεφάλαιο 2. Το πάχος της εξωτερικής τοιχοποιίας ανέρχεται στο 1,1 m και το αντίστοιχο πάχος των εσωτερικών τοίχων στο 0,5 m.



Σχήμα 5 Πλάγια Τομή Α – Α πολυβολείου.



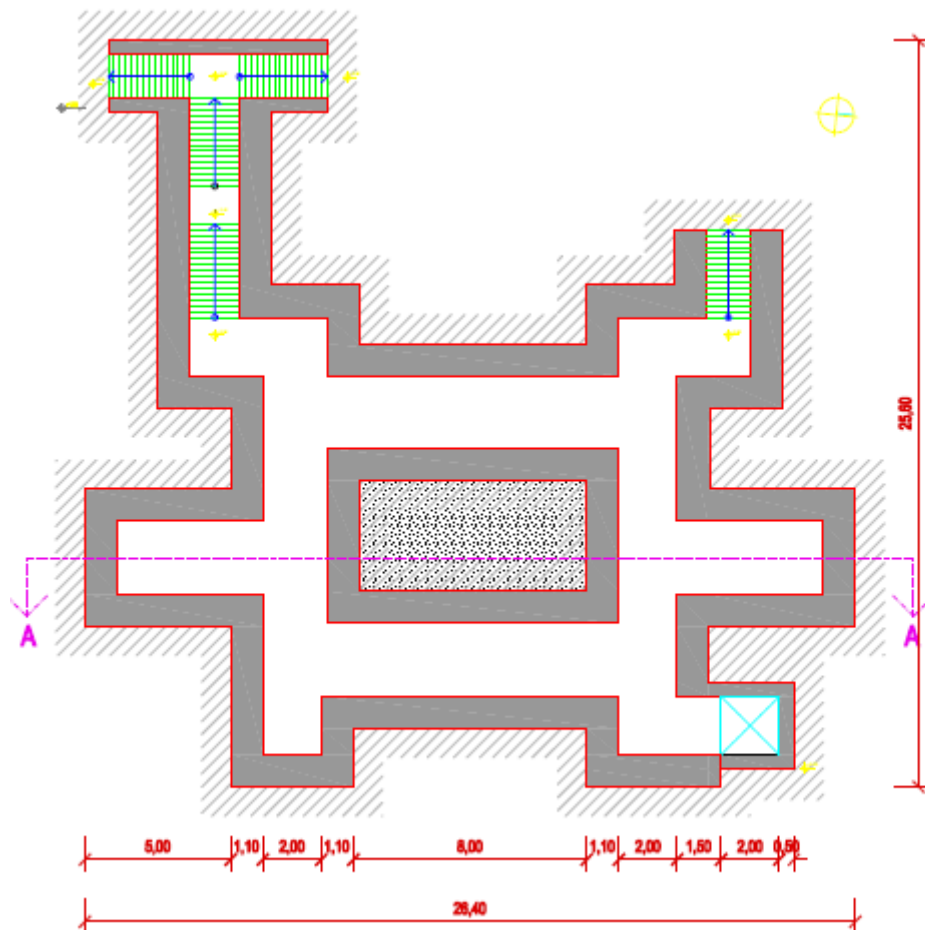
Σχήμα 6 Πλάγια Τομή Β – Β πολυβολείου.

### 2.3.2 Παθητικό Σκέπαστρο

Το παθητικό σκέπαστρο χωροθετείται στον κεντρικό τομέα του λόφου, όπως φαίνεται στην εικόνα 2. Είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αποτελείται από δύο επίπεδα:

- Την υπόγεια εγκατάσταση η οποία περιλαμβάνει τους χώρους όπως φαίνεται στο σχήμα 7. Είναι συνολικής έκτασης  $270,00\text{m}^2$ . Αναλυτικότερα, διακρίνονται δύο κύριοι χώροι διαστάσεων  $10,00 \times 2,50 \text{ m}^2$  και δύο βοηθητικοί χώροι με διαστάσεις  $5,00 \times 2,50 \text{ m}^2$ . Υπάρχουν δύο προθάλαμοι διαστάσεων  $4,50 \times 2,00\text{m}^2$  που οδηγούν στις δύο κλίμακες των εισόδων. Δύο διάδρομοι  $2,00 \times 15,00 \text{ m}^2$ . Τέλος, υπάρχει φρεάτιο αεραγωγού διαστάσεων  $0,60 \times 0,60 \times 15,00$ . Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 2.1.5, στον χώρο δεν έχει εντοπιστεί η ύπαρξη μηχανικών μέσων εξαερισμού και όλη η εγκατάσταση αερίζεται με φυσικό τρόπο από το φρεάτιο αυτό.





**Σχήμα 7** Σκαρίφημα κάτοψης παθητικού σκεπάστρου.

- Το επίπεδο του πρανούς, το οποίο στη ΝΑ είσοδο (εικόνες 29 και 30) έχει υψόμετρο 47,00m από τη Μέση Στάθμη Θάλασσας (ΜΣΘ) και υψομετρική διαφορά από το επίπεδο του υπογείου +9,60 m. Στον αεραγωγό το υψόμετρο του εδάφους είναι 52,40 m με υψομετρική διαφορά από το επίπεδο του υπογείου +15,00 m και από το επίπεδο της εισόδου +5,40 m. ΗΒΔ είσοδος είναι επιχωματωμένη και δεν μπορεί να διευκρινιστεί η στάθμη της. Αναλυτικά οι στάθμες του έργου εμφανίζονται στα σκαριφήματα των δύο τομών αυτής της παραγράφου.

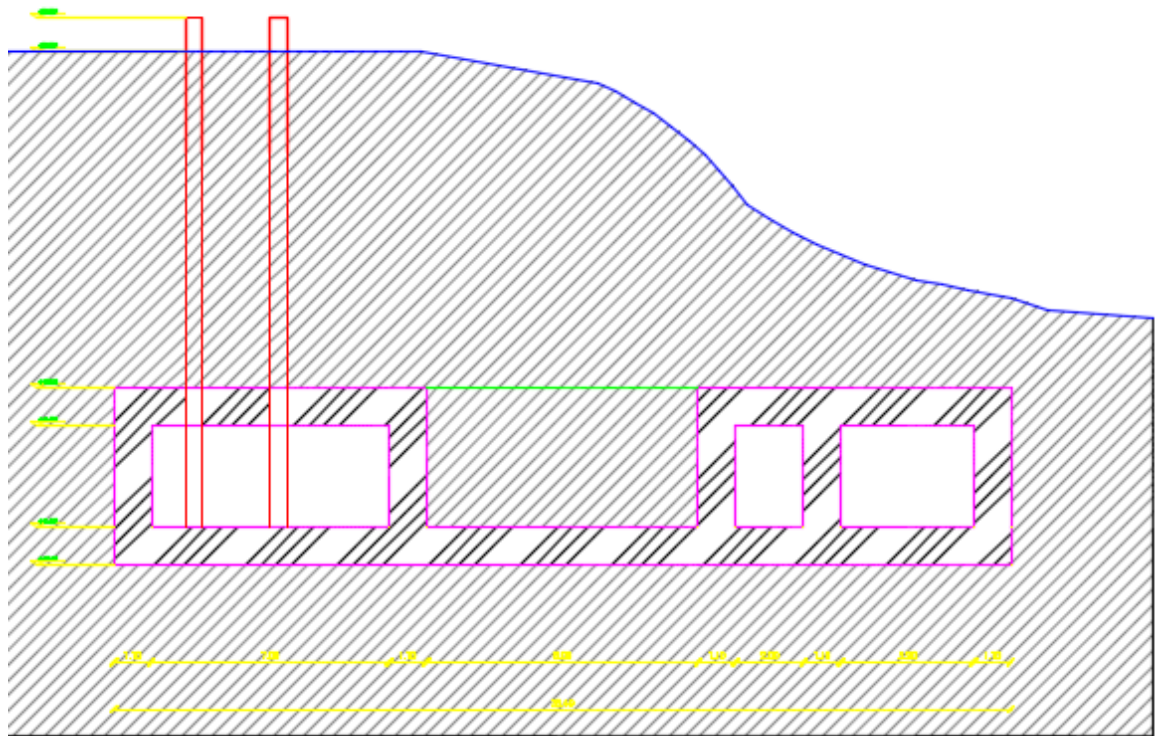


**Εικόνα 29** Αριστερό τμήμα ΝΑ εισόδου του παθητικού σκεπάστρου.



**Εικόνα 30** Δεξιό τμήμα ΝΑ εισόδου του παθητικού σκεπάστρου.



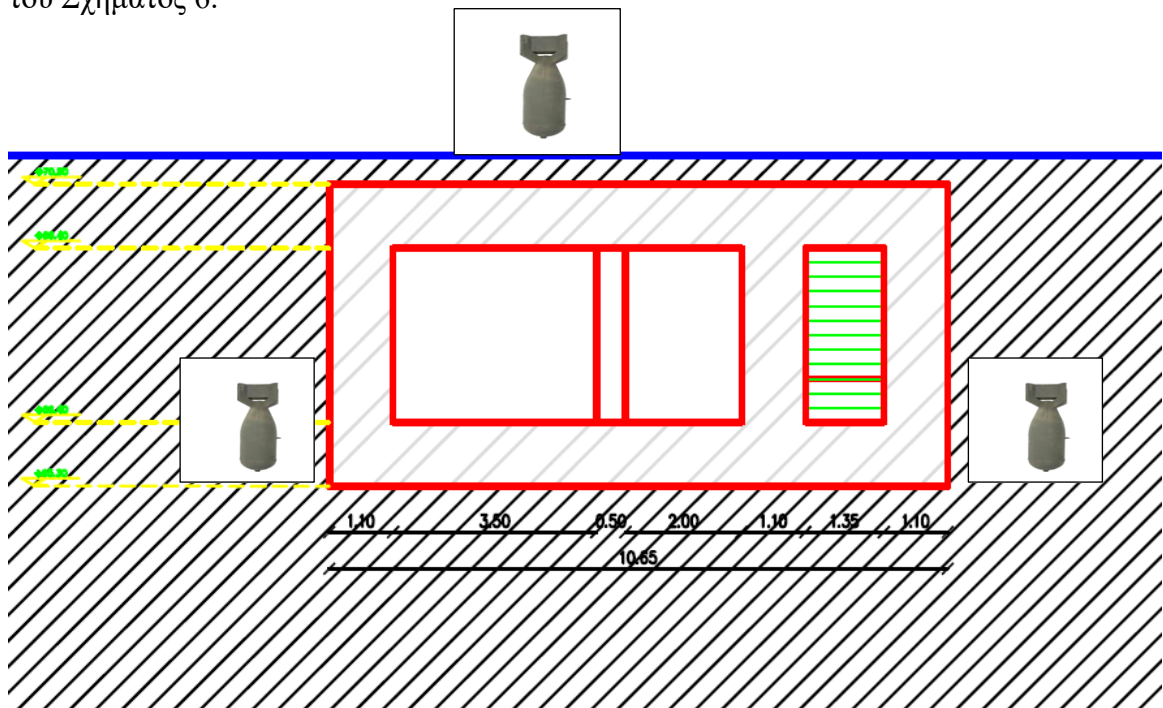


Σχήμα 8 Τομή Α – Ασκεπάστρου.

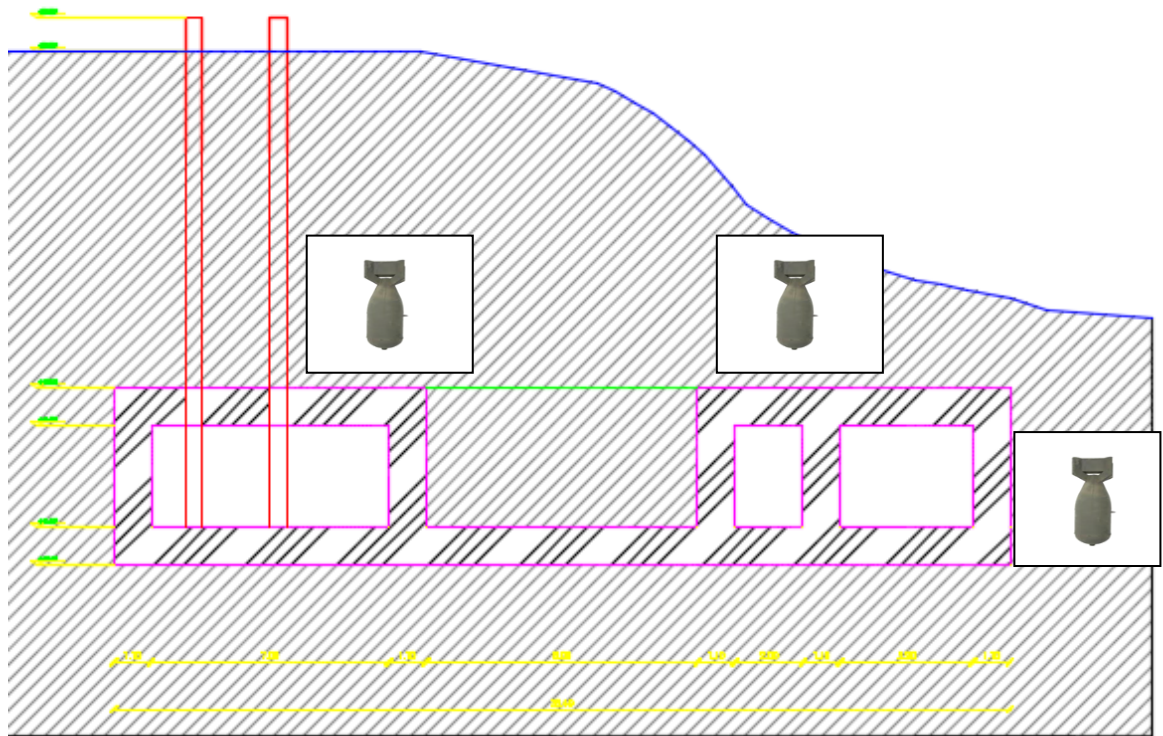
### 2.3.3 Αποτέλεσμα Αποτύπωσης – Τοπολογίας

Για την πλήρη μελέτη των εξεταζόμενων οχυρωματικών έργων αρκεί η βλητική ανάλυση των σκαριφημάτων που παρουσιάστηκαν στις υποπαραγράφους 2.3.1 και 2.3.2.

Αναφορικά με το αντιαεροπορικό πολυβολείο των 88 mm, η πιο κρίσιμη διατομή είναι αυτή του Σχήματος 6.



Αναφορικά με το παθητικό σκέπαστρο, η πιο κρίσιμη διατομή είναι αυτή του σχήματος 10.





## ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕΙΛΩΝ (ΟΠΛΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΔΡΑΣΕΙΣ)

### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η οχύρωση της περιοχής της Ραφήνας είχε ως αντικειμενικό σκοπό την προστασία του λιμανιού και της περιοχής από αποβατική επιχείρηση των Συμμάχων. Παράλληλα, η ύπαρξη αντιαεροπορικών πυροβόλων προστάτευε την περιοχή από τα Βρετανικά βομβαρδιστικά. Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθούν οι απειλές, ώστε να προσδιοριστεί το όπλο σχεδιασμού<sup>10</sup>.

### 3.2 ΑΠΕΙΛΗ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΑ

Η Μεγάλη Βρετανία είχε ισχυρή παρουσία στην Ανατολική Μεσόγειο κατά τη διάρκεια του Β΄ΠΠ. Κύριος οπλισμός των σκαφών επιφανείας ήταν κατά είδος σκάφους:

- Στα καταδρομικά μάχης κλάσης **Battlecruiser HMS Renown** το πυροβόλο διαμέτρου 15 inches (381mm)<sup>11</sup>.
- Στα βαρέα καταδρομικά μάχης κλάσης **Countryclass heavycruisers** το πυροβόλο διαμέτρου 8 inches (203 mm)<sup>12</sup> και
- Στα βαρέα καταδρομικά μάχης κλάσης **Townclass heavycruisers** το πυροβόλο διαμέτρου 6 inches (152 mm) <sup>13</sup>.

---

<sup>10</sup> Με τον όρο «**όπλο σχεδιασμού**» εννοείται το σύστημα εκτοξευτή/φορέα και βλήματος/κεφαλής, με το οποίο εκτιμάται ότι θα πληγεί το υπό μελέτη οχυρωματικό έργο.

<sup>11</sup>[http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR\\_15-42\\_mk1.htm](http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR_15-42_mk1.htm)

<sup>12</sup>[http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR\\_8-50\\_mk8.htm](http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR_8-50_mk8.htm)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/BL\\_8\\_inch\\_Mk\\_VIII\\_naval\\_gun](https://en.wikipedia.org/wiki/BL_8_inch_Mk_VIII_naval_gun)

<sup>13</sup>[http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR\\_6-45\\_mk12.htm](http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR_6-45_mk12.htm)

Στον Πίνακα 3.1 παραθέτονται τα γενικά χαρακτηριστικά των βλημάτων που αναφερθήκαμε παραπάνω:

**Πίνακας 3. 1** Κύρια χαρακτηριστικά Βρετανικών βλημάτων περιόδου Β'ΠΠ.

Τύπος Βλήματος	Διάμετρος D (inches)	Βάρος Βλήματος W(lbs)	Βάρος Εκρηκτικής Ύλης $W_E$ (lbs)	Ταχύτητα Πρόσκρουσης (ft/sec)
6 ιντσών	6,00	108,00	15,12	984,00
8 ιντσών	8,00	262,00	36,68	1200,00
15 ιντσών	15,00	1938,00	271,32	1500,00

### 3.3 ΑΠΕΙΛΗ ΑΠΟ ΑΕΡΑ

Όσον αφορά την αεροπορική απειλή, διακρίνονται δύο βασικές κατηγορίες αεροσκαφών<sup>14</sup>:

- Μαχητικά – βομβαρδιστικά και
- Βομβαρδιστικά.

των οποίων τα κύρια χαρακτηριστικά αναφέρονται στον Πίνακα 3.2:

**Πίνακας 3. 2** Κύρια χαρακτηριστικά Βρετανικών αεροσκαφών βομβαρδισμού περιόδου Β'ΠΠ.

A/A	ΤΥΠΟΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ	ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΟΡΟΦΗ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΛΕΥΣΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ
	(α)	(β)	(γ)	(δ)	(ε)	(στ)
1	Lightbomber	BristolBlenheim	1937	27,260 feet	198 mph	266 mph
2	Fighter/Fighter-bomber	SpitfireMk VII	1938	37,000 feet	245 mph	374 mph
3	Bomber	HandleyPageHalifax	November 1940	24,000 feet	215 mph	282 mph
4	Bomber	deHavillandMosquito	1941	37,000 feet	203 mph	415 mph
5	Bomber	ShortStirling	1941	18,000 feet	233 mph	280 mph
6	Bomber	AvroLancaster	1942	23,500 feet	227 mph	280 mph

Ο κύριος οπλισμός, ο οποίος αποτελεί απειλή για τα οχυρωματικά έργα που εξετάζονται, είναι οι βόμβες, των οποίων τα κύρια χαρακτηριστικά αναφέρονται στον Πίνακα 3.3<sup>15</sup>. Ο

<sup>14</sup><http://worldwar2headquarters.com/HTML/aircraft/britishAircraft>

<sup>15</sup>GP: General Purpose  
AP: Armor Persing

λόγος είναι διότι η βόμβα των 500 λιβρών έχει μεγαλύτερο βάρος και περισσότερη ποσότητα εκρηκτικής ύλης από το βλήμα των 8 ιντσών (βλέπε Πίνακες 3.1 και 3.3). Επίσης, η ταχύτητα πρόσκρουσής της είναι 1000ft/sec και η τιμή της είναι ανάλογη αυτής του βλήματος (βλέπε Πίνακας 3.1 και Σχήμα 12). Ως εκ τούτου, από τα μηχανικά χαρακτηριστικά προκύπτει ως δυσμενέστερη επίπτωση στο έργο η βόμβα των 500 λιβρών.

**Πίνακας 3. 3**Κύρια χαρακτηριστικά Βρετανικών βομβών περιόδου Β'ΠΠ.

ΤΥΠΟΣ ΠΥΡΟΜΑΧΙΚΟΥ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (LBS)	ΒΑΡΟΣ ΕΚΡΗΚΤΙΚΗΣ ΥΛΗΣ(LBS)	ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΒΑΡΟΥΣ ΓΕΜΙΣΜΑΤΟΣ (%)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ( IN )	ΤΜΗΜΑΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ (LB/IN <sup>2</sup> )
(α)	(β)	(γ)	(δ)	(ε)	(στ)
GP 500 LBS	447,00	224,00	50,00	12,90	3,40
GP 1000 LBS	1021,00	475,00	47,00	17,50	4,27
AP 250 LBS	245,00	24,00	17,00	9,20	3,70
AP 500 LBS	490,00	89,00	18,00	11,50	4,75
SAP 250 LBS	230,00	67,00	29,00	10,30	2,77
SAP 500 LBS	470,00	143,00	30,00	13,00	3,56

Σκοπός της εργασίας είναι η σύγκριση της ανάλυσης ενός οχρωματικού έργου της περιόδου 1941-45, σύμφωνα με το TM5-855-1 (1986) και τις Οδηγίες Μελέτης Οχρωματικών έργων - Ο.Μ.Ο.Ε. (2008). Για να υλοποιηθεί η σύγκριση αυτή ανάγονται οι βόμβες της εποχής του Β'ΠΠ (Πίνακας 3.3) σε ισοδύναμες σύγχρονες βόμβες για τις οποίες διατίθενται πλήρη στοιχεία που φαίνονται στον Πίνακα 3.4 σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ:

Πίνακας 3. 4Κύρια Χαρακτηριστικά Σύγχρονων Βομβών Η.Π.Α.

Χαρακτηριστικά	Τύπος βόμβας												
	GP 250	GP 500	SAP 500	GP 750	GP 1000	AP 1000	SAP 1000	AP 1600	GP 2000	PEN 2000	SAP 2000	GP 3000	PEN 4000
<b>Βόμβα</b>													
Συνολικό μήκος, $L_{BA}$ (m)	1.85	2.24	1.25	2.23	2.94	1.47	1.45	1.70	3.76	2.41	1.68	4.54	3.85
Συνολική μάζα, $m_B$ (kg)	117.9	239.0	231.3	363.3	446.8	489.9	453.6	721.2	907.2	871.8	925.3	1369.9	2002.2
Απόσταση κέντρου βάρους από ρύγχος, $L_{CG}$ (m)	0.724	0.96	-	0.696	1.19	-	-	-	1.52	1.29	-	1.40	2.03
Μήκος ρύγχους, $L_N$ (m)	0.704	0.889	-	0.602	0.978	-	-	-	1.32	0.533	-	0.803	-
Μήκος βύσματος ρύγχους, $L_{NP}$ (m)	0.069	0.069	-	0.069	0.038	-	-	-	0.069	N/A	-	0.069	N/A
Μήκος ρύγχους <sup>4</sup> , $L_n$ (m)	-	0.83	-	-	1.081	-	-	-	1.390	0.559	-	-	0.559
Πίεση διατομής (βάρος βόμβας/μέγιστο εμβαδόν διατομής) (kPa)	28.1	39.8	31.0	27.2	44.1	65.5	38.6	71.0	54.3	80.5	49.6	45.7	184.9
<b>Κεφαλή</b>													
Μήκος, $L_{BB}$ (m)	1.10	1.54	1.25	1.26	1.84	1.47	1.45	1.70	2.47	2.41	1.68	2.25	3.85
Διάμετρος, $D$ (mm)	229.0	274.0	305.0	409.0	356.0	305.0	381.0	356.0	457.0	368.0	483.0	612.0	368.0
Ελάχιστο πάχος περιβλήματος, $t_c$ (mm)	7.9	10.2	-	10.2	12.1	-	-	-	14.3	28.6	-	11.1	57.2
Διαμέτρημα-Ακτίνα-Κεφαλή (CRH)	5.311	5.315	-	2.565	5.314	-	-	-	5.311	3.00	-	2.564	-
<b>Μάζα<sup>2</sup>, <math>m_w</math> (kg)</b>	106.6	223.6	231.3	334.3	417.4	489.9	453.6	721.2	852.8	871.8	925.3	1281.8	2002.2
Μάζα περιβλήματος, $m_c$ (kg)	61.2	136.5	161.9	159.2	215.5	465.4	313.0	613.0	424.1	629.1	675.5	420.9	1708.7
Μάζα γόμωσης <sup>3</sup> , $W_E$ (kg)	45.4	87.1	69.4	175.1	201.9	24.5	140.6	108.2	428.7	242.7	249.8	860.9	293.5
Τύπος εκρηκτικού	Tritonial	Tritonial	-	Tritonial	Tritonial	-	-	-	Tritonial	Tritonial	-	Tritonial	Tritonial
Θέση του Κ.Β. της κεφαλής (m)	0.655	0.891	-	0.627	1.15	-	-	-	1.45	1.29	-	1.33	2.03
Λόγος μάζας γόμωσης/μάζα βόμβας (E/M, %)	42.6	39.0	30.0	52.4	48.4	5.0	31.0	15.0	50.3	27.8	27.0	67.2	14.7
Συντελεστής λυγηρότητας ( $L_{BB}/D$ )	4.8	5.62	4.10	3.08	5.17	4.80	3.80	4.80	5.40	6.55	3.50	3.68	10.5
Ροπή αδρανείας μάζας, κλίση ( $kg\cdot m^2$ )	20.3	38.0	-	67.8	100.5	-	-	-	400.0	438.8	-	949.1	2394.6
Ροπή αδρανείας μάζας, εκτροπή ( $kg\cdot m^2$ )	20.3	38.0	-	67.8	100.5	-	-	-	400.0	438.8	-	949.1	2394.6
Ροπή αδρανείας μάζας, περιστροφή ( $kg\cdot m^3$ )	1.4	1.9	-	6.8	7.0	-	-	-	24.6	19.3	-	67.8	42.1
<b>Κωνικό Πτερυγίο</b>													
Μήκος πτερυγίου, $L_{FA}$ (m)	0.701	0.663	-	0.975	1.09	-	-	-	1.25	N/A	-	2.29	N/A
Ανοιγμα πτερυγίου, $L_{FS}$ (m)	0.320	0.384	-	0.569	0.498	-	-	-	0.643	N/A	-	0.853	N/A
Μάζα πτερυγίου, $m_F$ (kg)	7.7	10.9	-	20.4	24.9	-	-	-	44.5	N/A	-	73.5	N/A



---

## 3.4 ΟΠΛΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Συμπερασματικά, τα υπό μελέτη οχυρωματικά έργα μπορούσαν να προσβληθούν με πυρά από θάλασσα και αέρα όπως παρακάτω:

### 3.4.1 Αντιαεροπορικό Πολυβολείο 88mm

Στη περίπτωση του αντιαεροπορικού πολυβολείου των 88mm, υπήρχε ο κίνδυνος της άμεσης βολής από πλοία επιφανείας καθώς και από βομβαρδισμό από αέρα.

Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των βλημάτων του ναυτικού που φαίνονται στον Πίνακα 3.1, πιο δυσμενή αποτελέσματα στον στόχο επιφέρει το βλήμα των 15 ιντσών, το οποίο όμως χρησιμοποιείτο μόνο εναντίον εχθρικών σκαφών επιφανείας και δεν αποτελούσε απειλή για το αντιαεροπορικό πολυβολείο<sup>16</sup>.

Για τον λόγο αυτό δεχόμαστε ότι ως όπλο σχεδιασμού για άμεση βολή είναι το βλήμα των 8 ιντσών, που αποτελεί τη δυσμενέστερη περίπτωση των διατιθέμενων βλημάτων. Για την πληρότητα της εργασίας θα αναλυθούν οι επιπτώσεις στον στόχο και των δύο άλλων βλημάτων, δηλαδή των 6 και 15 ιντσών.

Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των σύγχρονων βομβών που φαίνονται στον Πίνακα 3.4, πιο δυσμενή αποτελέσματα στον στόχο επιφέρει η βόμβα των 2000 λιβρών, η οποία αποτελεί και το όπλο σχεδιασμού για τα σύγχρονα οχυρωματικά έργα.

Τα Βρετανικά αεροσκάφη βομβαρδισμού της περιόδου του Β'ΠΠ ,των οποίων τα κύρια χαρακτηριστικά παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 3.2 σε καμία περίπτωση δεν είχαν τις δυνατότητες των σύγχρονων αεροσκαφών αναφορικά με την επιχειρησιακή οροφή και το ωφέλιμο φορτίο μεταφοράς. Επίσης, λόγω της μεγάλης αποτελεσματικότητας του Γερμανικού αντιαεροπορικού πυροβόλου των 88mm αλλά και του γεγονότος ότι οι βόμβες ήταν ελεύθερης πτώσης, οι αεροπορικές επιδρομές διεξάγονταν από μεγάλο υψόμετρο με ελάχιστα ποσοστά ευστοχίας και υψηλά ποσοστά απωλειών αεροσκαφών. Συνεπώς, για να

---

<sup>16</sup>[http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR\\_15-42\\_mk1.htm](http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR_15-42_mk1.htm)

Το βλήμα των 15 ιντσών παρείχε στο Βρετανικό Ναυτικό τακτικό πλεονέκτημα έναντι των Γερμανικών σκαφών επιφανείας, λόγω του βεληνεκούς του. Παράλληλα, το κόστος για κάθε βλήμα ήταν ιδιαίτερα μεγάλο για εκείνη την εποχή καθώς και η αντοχή των κανόν των πυροβόλων περιορισμένη σε σχέση με τα σύγχρονα πυροβόλα.

---

διεξαχθεί μια επιχείρηση βομβαρδισμού εκείνη την περίοδο απαιτούσε ικανοποιητικό αριθμό αεροσκαφών και βομβών.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, ως όπλο σχεδιασμού για προσβολή από αέρα θα δεχθούμε τη βόμβα γενικής χρήσης των 500 λιβρών. Για λόγους έρευνας θα αναλυθούν και οι επιπτώσεις στον στόχο και της βόμβας των 2000 λιβρών.

### **3.4.2 Παθητικό Σκέπαστρο**

Στην περίπτωση του παθητικού σκεπάστρου δεν ήταν δυνατή η προσβολή του με άμεση βολή από τη θάλασσα, παρά μόνο από αεροπορικό βομβαρδισμό. Επίσης, για τους λόγους που αναλύθηκαν στην υποπαράγραφο 3.4.1 αναφορικά με τους περιορισμούς των αεροπορικών επιχειρήσεων βομβαρδισμού εκείνης της περιόδου, ως όπλο σχεδιασμού για προσβολή από αέρα θα δεχθούμε τη βόμβα γενικής χρήσης των 500 λιβρών. Για λόγους έρευνας θα αναλυθούν και οι επιπτώσεις στον στόχο και της βόμβας των 2000 λιβρών.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΜΕΣΩ TM5-855-1

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα αποτελέσματα της προσβολής μιας πλάκας σκυροδέματος με βλήματα ή βόμβες, μπορούν να υπολογιστούν με προσεγγιστικές μεθόδους είτε με εμπειρικό - πειραματικούς τύπους είτε τελικά με νομοδιαγράμματα. Τα αποτελέσματα αυτά αναφέρονται σε διεισδύσεις μη παραμορφωμένων βλημάτων ή βομβών σε πλάκες σκυροδέματος.

Η συνολική διείσδυση ενός βλήματος ή μιας βόμβας σε μια πλάκα σκυροδέματος είναι συνήθως άθροισμα δύο επιμέρους διεισδύσεων. Η σημαντικότερη διείσδυση είναι η διείσδυση αδράνειας  $X_A$  που οφείλεται στη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του βλήματος σε πίεση – διείσδυση, ενώ η λιγότερο σημαντική είναι η διείσδυση που οφείλεται στην εκρηκτική ύλη του κυρίως γεμίσματος του βλήματος και ονομάζεται διείσδυση έκρηξης  $X_E$ .

Η Διείσδυση Αδράνειας  $X_A$  σε ίντσες, δίνεται από τον εμπειρικό – πειραματικό τύπο:

$$X_A = \frac{222 \times P \times D^{0,215} \times V^{1,5}}{\gamma} + \frac{D}{2} \quad (4.1)$$

Όπου :

$P$	=	εγκάρσια πίεση βλήματος ή βόμβας σε lbs/in <sup>2</sup>
$D$	=	Διάμετρος βλήματος ή βόμβας σε inches
$V$	=	Ταχύτητα πρόσκρουσης βλήματος ή βόμβας σε χιλιάδες ft/sec
$\gamma$	=	Τετραγωνική ρίζα της αντοχής του σκυροδέματος ( $\gamma = \sigma_b^{1/2}$ )

---

Οι τιμές που προκύπτουν από τη Σχέση (4.1) έχουν μια απόκλιση  $\pm 15\%$  για μεμονωμένη βολή.

Οι τιμές των  $D^{0,215}$  και  $V^{1,5}$  μπορούν να υπολογιστούν και γραφικά από τα Σχήματα 10 και 11 αντίστοιχα.

Η Σχέση(4.1) δίνει το πάχος της διείδυσης για κάθετη πρόσκρουση των παρακάτω τύπων βλημάτων και βομβών:

- Αδρανών διατρητικών βλημάτων
- Διατρητικών και Ημιδιατρητικών βλημάτων.

Η εγκάρσια πίεση βλήματος ή βόμβας υπολογίζεται από την παρακάτω Σχέση:

$$P = \frac{W}{\pi \times D^2 / 4}$$
$$= \frac{4 \times W}{\pi \times D^2} \quad (4.2)$$

Η Διείδυση Έκρηξης  $X_E$  σε ίντσες, δίνεται από την Σχέση:

$$\frac{X_E}{D} = 6100 \times \left[ \frac{W_E}{D^3} \right]^4 \quad (4.3)$$

Όπου:

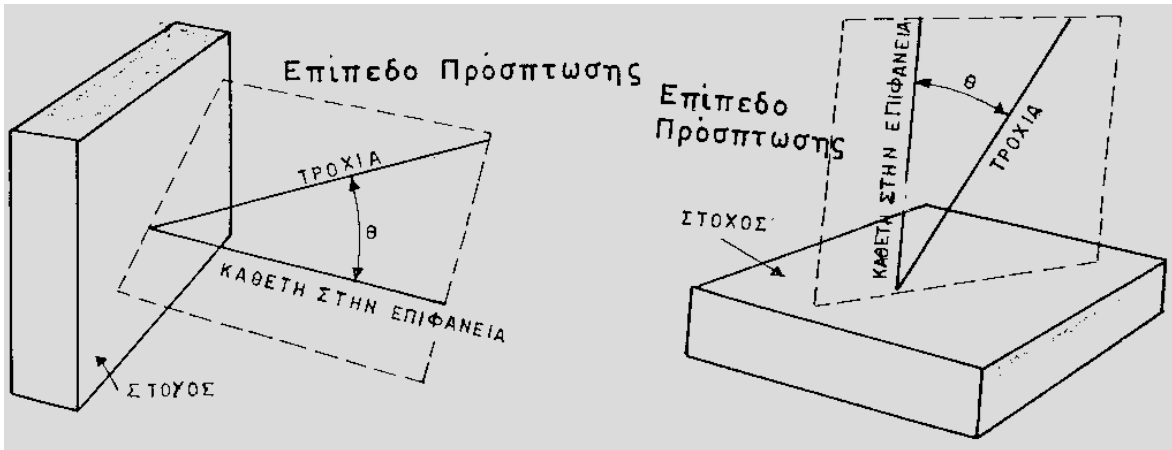
$W_E$	=	Βάρος εκρηκτική ύλης κυρίως γεμίσματος βλήματος ή βόμβας σε lbs
$D$	=	Διάμετρος βλήματος ή βόμβας σε inches

Η Συνολική Διείδυση  $X_S$  σε ίντσες, υπολογίζεται ως το άθροισμα των διειδύσεων αδράνειας και έκρηξης που υπολογίστηκαν από τις Σχέσεις(4.1) και (4.3) αντίστοιχα:

$$X_S = X_A + X_E \quad (4.4)$$

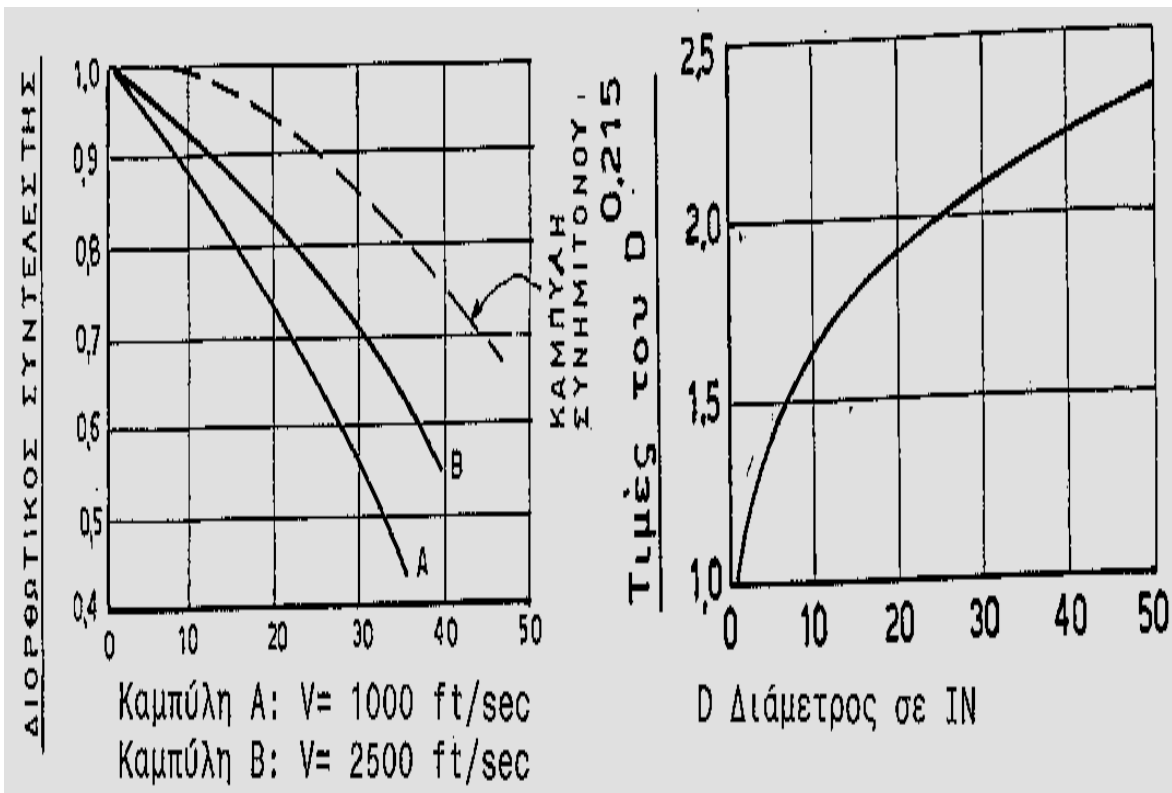
Η απόκλιση από μια κάθετη πρόσκρουση καλείται λοξότητα πρόσκρουσης (γωνία  $\Theta$ ) και μετριέται σε μοίρες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 9. Η λοξότητα είναι  $0^0$  όταν η βόμβα ρίχνεται κατακόρυφα και η τροχιά συναντά μια επίπεδη επιφάνεια κάθετα.





Σχήμα 9 Λοξότητα Πρόσπτωσης  $\theta$ .

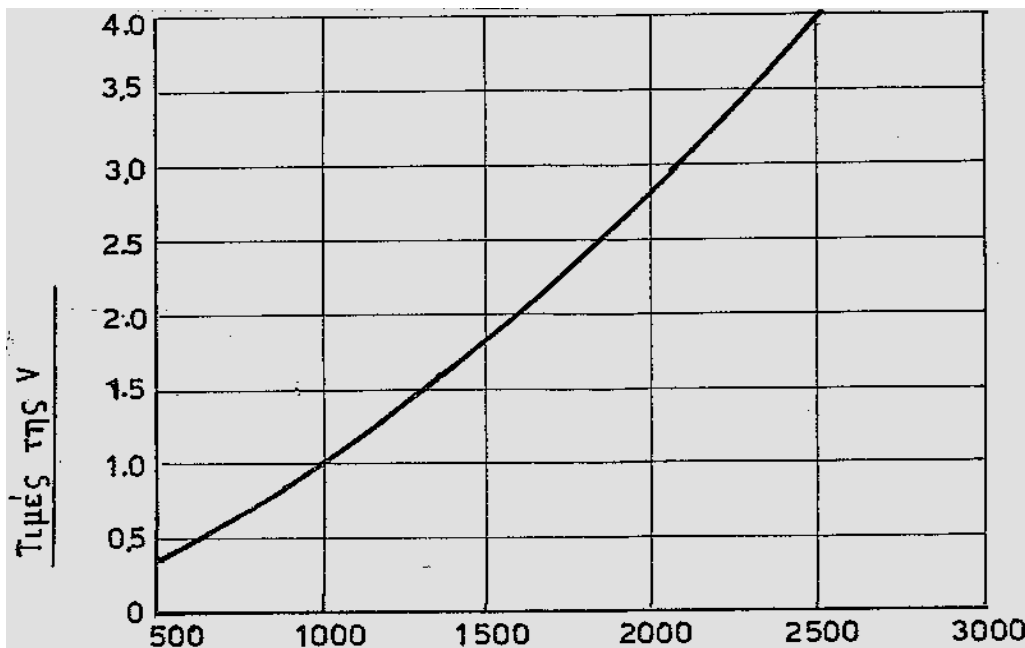
Στις συνήθεις συνθήκες οι βόμβες προσβάλουν μια επίπεδη επιφάνεια με διάφορες γωνίες. Για την εύρεση της τελικής διεύθυνσης μιας βόμβας ή βλήματος, επειδή οι Σχέσεις (4.1), (4.3), (4.4) υπολογίζουν την διεύθυνση για λοξότητα  $0^\circ$ , η τιμή πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή, που ονομάζεται συντελεστής διόρθωσης. Ο διορθωτικός συντελεστής έχει τιμές μικρότερες της μονάδας και υπολογίζεται από το Σχήμα 10.



Σχήμα 10 Υπολογισμός διορθωτικού συντελεστή διεύθυνσης λόγω λοξότητας και τιμές του  $D^{0.215}$  για τη Σχέση (4.2)

Παρατηρώντας το Σχήμα 10, συμπεραίνουμε τα εξής:

- Η μείωση της τιμής της διείσδυσης είναι μεγαλύτερη από την καμπύλη του συνημιτόνου.
- Η καμπύλη **A** δίνει τον διορθωτικό συντελεστή για διεισδύσεις βομβών – βλημάτων που έχουν ταχύτητες πρόσκρουσης μέχρι 1000 ft/sec, ενώ η καμπύλη **B** για ταχύτητες πρόσκρουσης μέχρι 2500 ft/sec. Για ενδιάμεσες ταχύτητες πρόσκρουσης γίνεται γραμμική παρεμβολή.



Σχήμα 11 Τιμές του  $V^{1.5}$  για τη Σχέση (4.1)

## 4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ

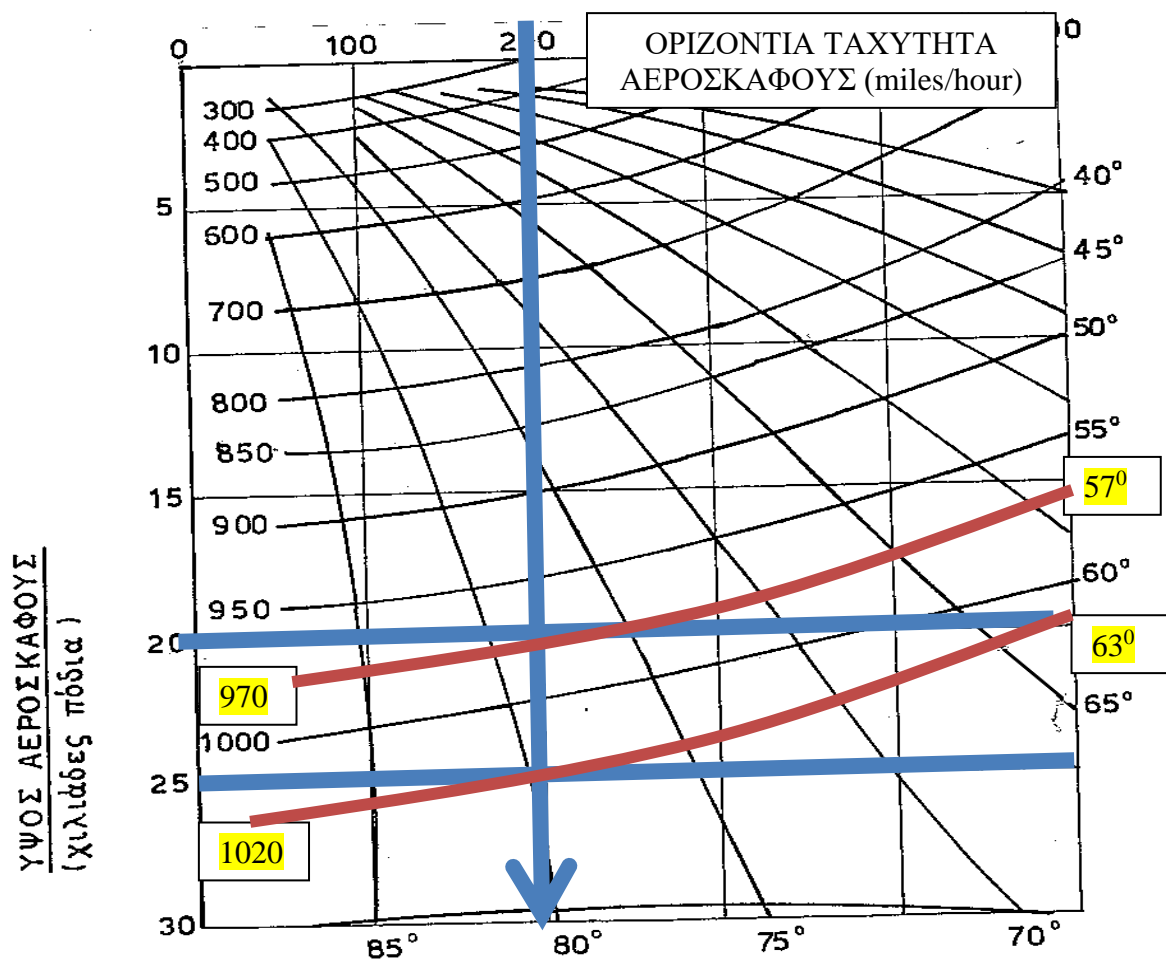
### 4.2.1 Υπολογισμός Διείσδυσης Αδράνειας $X_A$

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, αντικαθιστούμε στην Σχέση(4.1) τα δεδομένα των βλημάτων και βομβών που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 3, ώστε να υπολογιστεί η διείσδυση αδράνειας  $X_A$ . Έτσι έχουμε:

**Πίνακας 4. 1** Υπολογισμός Διείδυσης Αδρανείας σε ίντσες.

τύπος βλήματος ή βόμβας	μάζα βλήματος W (lbs)	$W_E$ (lbs) <sup>17</sup>	διάμετρος D (in)	$D^{0,215}$	ταχύτητα πρόσκρουσης V (ft/sec)	$V^{1,5}$	αντοχή σκυρ/τος $\sigma$ (psi) <sup>18</sup>	εγκάρσια πίεση P (lbs/in <sup>2</sup> )	XA (in)
6"	108,00	15,12	6,00	1,47	984,00	0,98	2320,00	3,82	28,27
8"	262,00	36,68	8,00	1,56	1200,00	1,31	2320,00	5,21	53,41
15"	1938,00	271,32	15,00	1,79	1300,00	1,48	2320,00	10,97	141,68
500 lbs	500,00	192,00	10,70	1,66	1000,00	1,00	2320,00	5,56	48,03
2000lbs	2000,00	945,12	17,99	1,86	1000,00	1,00	2320,00	7,87	76,53

Οι τιμές της στήλης (στ) για τις βόμβες, υπολογίζονται γραφικά από το Σχήμα 12:



**Σχήμα 12** Υπολογισμός ταχύτητας και Γωνίας Πτώσης για Βόμβες Γενικής Χρήσης 500 lbs

<sup>17</sup>[http://nigef.tripod.com/wt\\_of\\_fire.htm](http://nigef.tripod.com/wt_of_fire.htm): (Table 2 – ShellandFillingWeights):  $W_E = 0,14W$ , δηλαδή κατά μέσο όρο το βάρος της εκρηκτικής ύλης του κυρίως γεμίσματος των βλημάτων που χρησιμοποιούσε το Πολεμικό Ναυτικό της Μεγάλης Βρετανίας την περίοδο του Β'ΠΠ ήταν το 14% του συνολικού βάρους του βλήματος.

<sup>18</sup> $\sigma = 16,00 \text{ MPa} = 2320,00 \frac{\text{lbs}}{\text{in}^2} = 2320,00 \text{ psi}$

---

Αρχικά, πρέπει να προσδιοριστεί η οριζόντια ταχύτητα του αεροσκάφους, δηλαδή η ταχύτητα άφησης βομβών, λαμβάνεται η μέση τιμή των ταχυτήτων πτήσης των αεροσκαφών του Κεφαλαίου 3. Επομένως, η οριζόντια ταχύτητα του αεροσκάφους για το νομογράφημα είναι περίπου 200 miles/hour.

Στη συνέχεια, χρειάζεται η τιμή του ύψους του αεροσκάφους, η οποία θα πρέπει να είναι μικρότερη από το ύψος της επιχειρησιακής οροφής. Οπότε λαμβάνουμε δύο τιμές 20.000 και 25.000 feet.

Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν δύο τιμές της ταχύτητας πρόσκρουσης: 970 και 1020 mph, οι οποίες τιμές πλησιάζουν τη μέγιστη τιμή του νομοδιαγράμματος, οπότε λαμβάνουμε ως τιμή της ταχύτητας πρόσκρουσης 1.000 mph.

Για ταχύτητα πρόσκρουσης 1.000 mph η γωνία πτώσης είναι  $60^0$ , η οποία ως τιμή πλησιάζει το μέσο όρο των τιμών  $57^0$  και  $63^0$  που αντιστοιχούν στις ταχύτητες πρόσκρουσης 970 και 1020 mph αντίστοιχα.

Επειδή δεν υπάρχει νομογράφημα για βόμβες 2000 λιβρών, χρησιμοποιούμε το νομογράφημα του Σχήματος 12 με προσαύξηση των τιμών κατά 15%. Για τους συγκεκριμένους υπολογισμούς δεν υπάρχει μεγάλη απόκλιση στις τιμές, οπότε δεχόμαστε τις τιμές 1.000 mph για την ταχύτητα πρόσκρουσης και  $60^0$  για τη γωνία πτώσης.

#### 4.2.2 Υπολογισμός Διείδυσης Έκρηξης $X_E$

Αντικαθιστώντας στη Σχέση (4.3) τα δεδομένα των βλημάτων και βομβών που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 3, υπολογίζεται η διείδυση έκρηξης  $X_E$ . Έτσι έχουμε για κάθε περίπτωση:

τύπος βλήματος ή βόμβας	WE (lbs)	διάμετρος D(in)	$X_E$ (in)
6 "	15,12	6	0,88
8"	36,68	8,00	1,29
15"	271,32	15,00	3,82
500 lbs	192,00	10,70	39,38
2000lbs	945,12	17,99	76,20

#### 4.2.3 Υπολογισμός Συνολικής Διείδυσης $X_S$

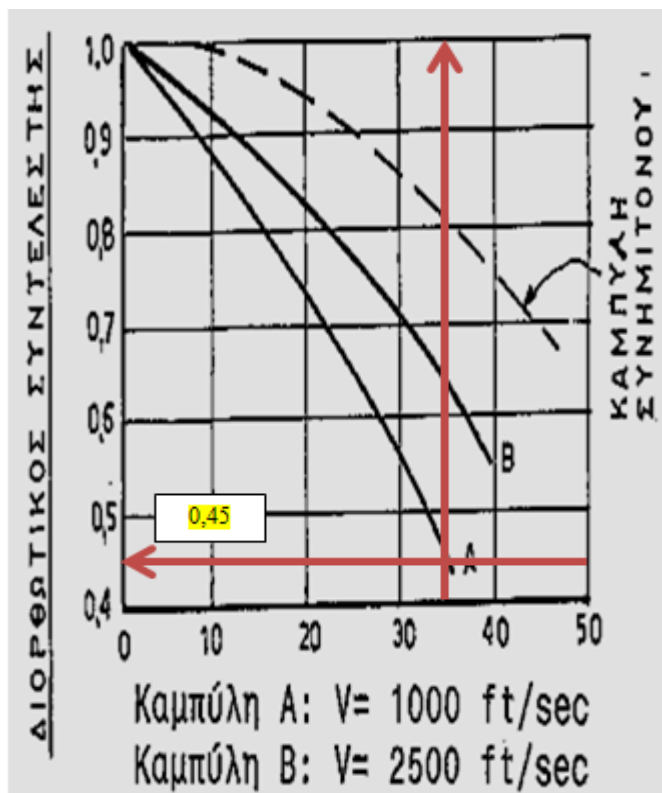
Αντικαθιστώντας στην Σχέση (4.4) τις τιμές της διείδυσης αδράνειας  $X_A$  και της διείδυσης έκρηξης  $X_E$  για κάθε πυρομαχικό και βόμβα προκύπτει:



Τύπος βλήματος ή βόμβας	$X_A$ (in)	$X_A$ ft	$X_E$ (in)	$X_Z$ (in)	$X_Z$ (ft)
6 "	28,27	2,35	0,88	29,15	2,42
8"	53,41	4,43	1,29	54,69	4,54
15"	141,68	11,76	3,82	145,50	12,08
500 lbs	48,03	3,99	39,38	87,42	7,26
2000lbs	76,53	6,35	76,20	152,73	12,68

#### 4.2.4 Υπολογισμός Διορθωτικού Συντελεστή Λοξότητας Πρόσκρουσης

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή του παρόντος Κεφαλαίου, η συνολική διείσδυση απομειώνεται λόγω λοξότητας κατά την πρόσπτωση στον στόχο. Ο υπολογισμός του ποσοστού απομείωσης, δηλαδή του διορθωτικού συντελεστή λοξότητας της πρόσκρουσης γίνεται γραφικά από το Σχήμα 10. Απαραίτητα προϋπόθεση αποτελεί η γνώση της λοξότητας πρόσκρουσης με μοίρες για κάθε πυρομαχικό και βόμβα. Για τις βόμβες υπολογίστηκε γραφικά στο Σχήμα 12 η γωνία πτώσης σε  $60^0$ . Για τα πυρομαχικά, η λοξότητα πρόσκρουσης υπολογίζεται γραφικά από το Σχήμα 10 όπως παρακάτω:



## 4.2.5 Υπολογισμός Τελικής Συνολικής Διείσδυσης

Για τον υπολογισμό της τελικής τιμής της Συνολικής Διείσδυσης στον στόχο αρκεί να πολλαπλασιαστεί η συνολική Διείσδυση  $X_{\Sigma}$  επί το Διορθωτικό Συντελεστή Λοξότητας Πρόσκρουσης. Οπότε έχουμε για κάθε περίπτωση βλήματος και βόμβας:

τύπος βλήματος ή βόμβας	Λοξότητα Πρόσκρουσης σε μοίρες	ταχύτητα πρόσκρουσης V (ft/sec)	διορθωτικός συντελεστής λοξότητας πρόσκρουσης	$X_{\Sigma}$ (in)	ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ $X_{\Sigma}$ (in)	ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ $X_{\Sigma}$ (ft)
6 "	35	984,00	0,45	29,15	13,12	1,09
8"	35	1200,00	0,45	54,69	24,61	2,04
15"	35	1300,00	0,45	145,50	65,48	5,43
500 lbs	60	1000,00	0,45	87,42	39,34	3,27
2000lbs	60	1000,00	0,45	152,73	68,73	5,70

## 4.2.6 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Όπως έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 2, το πάχος της εξωτερικής τοιχοποιίας των εξεταζόμενων οχυρωματικών έργων είναι 1,10 m, δηλαδή 3,61ft.

Η μέγιστη διείσδυση που επιφέρει στον στόχο το βλήμα των 15 ιντσών είναι 5,43 ft και είναι περίπου ίδια με τη διείσδυση της βόμβας των 2.000 λιβρών (5,70 ft). Για τους λόγους όμως που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 3 δεν θεωρούνται ως όπλα σχεδιασμού. Στην περίπτωση του αντιαεροπορικού πολυβολείου των 88mm απαιτείται πρόσθετη θωράκιση με γαϊόσακους για να ανταπεξέλθει σε τυχόν προσβολή από τα συγκεκριμένα όπλα.

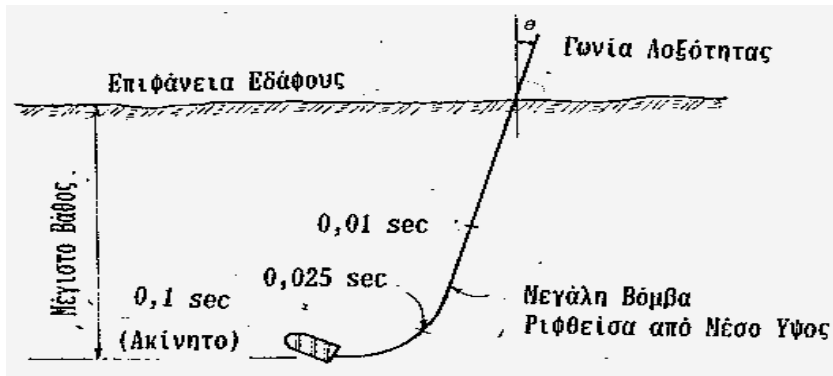
Η μέγιστη διείσδυση που επιφέρουν στον στόχο τα βλήματα των 6 και 8 ιντσών είναι 1,09 και 2,04 ft αντίστοιχα. Το αντιαεροπορικό πολυβολείο των 88mm επαρκεί για βόμβα των 500 λιβρών, της οποίας η μέγιστη διείσδυση στον στόχο θα αναλυθεί και στο επόμενο Κεφάλαιο.

## 4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΒΟΜΒΩΝ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ

### 4.3.1 Γενικά

Γενικά υπάρχει αβεβαιότητα αναφορικά με τη συμπεριφορά των βομβών και των βλημάτων όταν διεισδύουν σε ανομοιογενή υλικά, όπως οι γαίες. Ο υπολογισμός του μήκους της πορείας τους μέσα σε αυτά τα υλικά και της μετάθεσής τους θεωρούνται μόνο ως

προσεγγίσεις. Οι βόμβες που διεισδύουν σε γαίες ακολουθούν συνήθως τροχιά σχήματος J και το τελικό βάθος διείσδυσης είναι λίγο μικρότερο από το μήκος της τροχιάς. Το ευθύγραμμο τμήμα θα είναι το 2/3 του συνολικού μήκους της τροχιάς και το καμπύλο τμήμα το υπόλοιπο 1/3, ενώ η ακτίνα του καμπύλου τμήματος είναι συνήθως από 1/5 έως 1/3 του συνολικού μήκους της τροχιάς, όπως φαίνεται στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13 Τροχιά βομβών μέσα στο έδαφος.

Για τον υπολογισμό της συνολικής διείσδυσης των βομβών των 500 και 2000 λιβρών θα χρησιμοποιηθεί το νομοδιάγραμμα του Σχήματος 14 ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

### 4.3.2 Έλεγχος

Το νομοδιάγραμμα του Σχήματος 14 ισχύει για βλήματα και βόμβες με πυκνότητα διαμετρήματος<sup>19</sup> από 0,15 έως 0,65 lbs/in<sup>3</sup>.

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από τον Πίνακα 3.4 για τις βόμβες των 500 και 2.000 λιβρών προκύπτει:

BOMBA 500 ΛΙΒΡΩΝ:

$$\frac{239 \text{ Kgr}}{274 \text{ mm}} = \frac{526,905 \text{ lbs}}{(10,787 \text{ inches})^3} \cong 0,42 \quad , \text{επομένως η τιμή είναι εντός ορίων}$$

BOMBA 2.000 ΛΙΒΡΩΝ:

$$\frac{907,2 \text{ Kgr}}{457 \text{ mm}} = \frac{2000,034 \text{ lbs}}{(17,992 \text{ inches})^3} \cong 0,34 \quad , \text{επομένως η τιμή είναι εντός ορίων}$$

<sup>19</sup> Η πυκνότητα διαμετρήματος ισούται με το λόγο του βάρους του βλήματος σε λίβρες δια της διαμέτρου σε ίντσες υψωμένης στην τρίτη.

---

### 4.3.3 Κατηγοριοποίηση Αιχμής Βομβών

Στο νομοδιάγραμμα διακρίνονται καμπύλες με την ένδειξη AMBΛY,MEΣO,AIXMHPO και αφορούν βλήματα και βόμβες που η αιχμή τους διακρίνεται στο σχήμα και διέπεται από τη Σχέση :

$$\frac{R}{d} = \frac{\text{ακτίνατόξου (αιχμηρού)}}{\text{διάμετροςβλήματος}} \quad (4.5)$$

Αντικαθιστώντας στη Σχέση (7.1) τις τιμές από τον Πίνακα 3.4 για τη βόμβα των 500 λιβρών προκύπτει:

$$\frac{R}{d} = \frac{L_n (m)}{D (m)} = \frac{0,83 m}{0,274 m} \cong 3,0 \quad , \text{επομένως } \mathbf{AIXMHPO}$$

Ομοίως για τη βόμβα των 2.000 λιβρών:

$$\frac{R}{d} = \frac{L_n (m)}{D (m)} = \frac{1,39 m}{0,457 m} \cong 3,0 \quad , \text{επομένως } \mathbf{AIXMHPO}$$

### 4.3.4 Υπολογισμός Συνολικής Διείσδυσης

Για τον υπολογισμό του μήκους της τροχιάς διείσδυσης των βομβών στο έδαφος, αρχικά καθορίζεται η ταχύτητα πρόσκρουσης ( $X$  100 ft/sec), η οποία σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1 είναι 1.000 ft/sec και για τις δύο βόμβες.

Στη συνέχεια φέρεται κάθετη ευθεία (μπλε) που τέμνει την καμπύλη για σύνθεση εδάφους: ΑΡΓΙΛΟΣ και σχήματος αιχμής: ΑΙΧΜΗΡΟ.

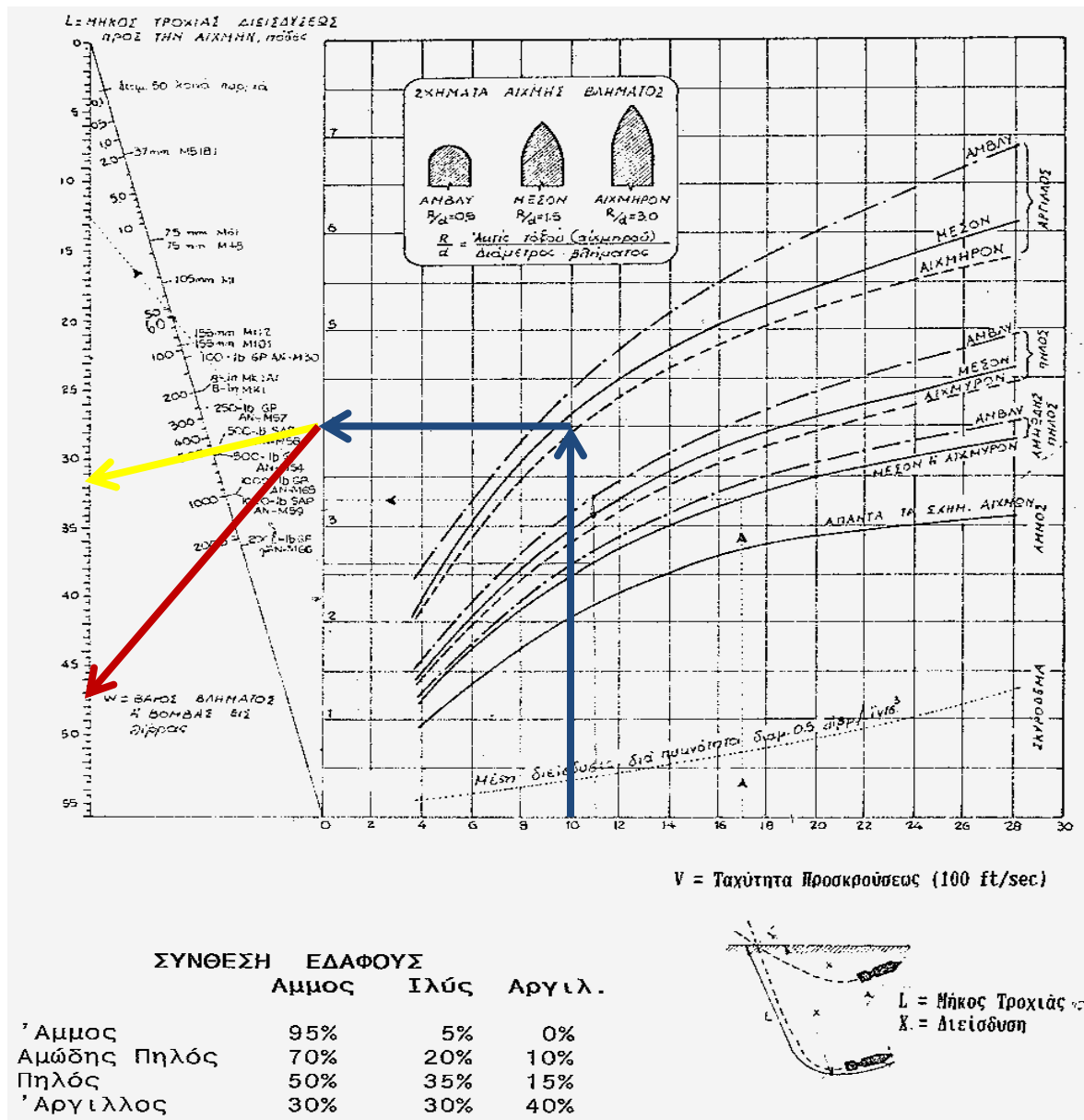
Από το σημείο αυτό τομής φέρεται παράλληλη ευθεία (μπλε) ως προς τον άξονα  $X$  του νομοδιαγράμματος μέχρι να τμήσει τον άξονα  $Y$ .

Από το σημείο αυτό σχεδιάζεται μία ευθεία για κάθε τύπο βόμβας (κίτρινη για 500 λιβρών και κόκκινη για 2.000 λιβρών), οι οποίες διέρχονται από τις αντίστοιχες τιμές της διαγώνιας κλίμακας που δείχνει το βάρος τους και τέμνουν την κάθετη κλίμακα του μήκους της τροχιάς διείσδυσης.

Με αυτό τον τρόπο υπολογίζεται ότι για τη βόμβα των 500 λιβρών το μήκος της τροχιάς διείσδυσης στο έδαφος είναι περίπου 30,5 ft και για τη βόμβα των 2.000 λιβρών είναι 47,0 ft.



Λόγω της καμπυλότητας της τροχιάς μέσα στο έδαφος η πραγματική διείσδυση στο έδαφος είναι μικρότερη. Για το λόγο αυτό η απόσταση από την επιφάνεια είναι συνήθως 10% έως 30% μικρότερη από το μήκος της τροχιάς διείσδυσης που υπολογίζεται στο Σχήμα 14.



**Σχήμα 14** Νομοδιάγραμμα υπολογισμού διείσδυσης βομβών και βλημάτων μέσα στο έδαφος.

Επομένως το εύρος τιμών της συνολικής διείσδυσης στο έδαφος είναι:

ΤΥΠΟΣ BOMBAΣ (LBS)	ΜΗΚΟΣ ΤΡΟΧΙΑΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (FT)	MIN(-30%) (FT)	MAX (-10%) (FT)	M.O. MIN, MAX (FT)
500	30,50	21,35	27,45	24,38
2.000	47,00	32,90	42,30	37,60
ΤΥΠΟΣ BOMBAΣ (LBS)	ΜΗΚΟΣ ΤΡΟΧΙΑΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (M)	MIN(-30%) (M)	MAX (-10%) (M)	M.O. MIN, MAX (M)
500	9,30	6,51	8,37	7,44
2.000	14,33	10,03	12,90	11,47

### 4.3.5 Συμπεράσματα

Σύμφωνα λοιπόν με τη περιγραφή της γεωμετρίας - τοπολογίας του παθητικού σκεπάστρου στην υποπαράγραφο 2.3.2, η εδαφική στρώση προφυλάσσει το παθητικό σκέπαστρο από βόμβα των 500 λιβρών , ενώ οριακά απαιτείται ενίσχυση της εδαφικής στρώσης για τη βόμβα των 2.000 λιβρών.

Είναι προφανές λοιπόν ότι το παθητικό σκέπαστρο αντέχει τα σημερινά όπλα σχεδιασμού έστω και οριακά. Σημαντικός παράγοντας προς αυτό κατέχει η τοποθεσία στην οποία έχει επιλεγεί να κατασκευαστεί.

Αναφορικά με το αντιαεροπορικό πολυβολείο των 88mm , παρόλο το γεγονός ότι είναι σχεδόν επιφανειακό οχυρωματικό έργο, η ανάλυση έδειξε ότι ο φέρον οργανισμός είναι ανθεκτικός σε προσβολή με βόμβα των 500 λιβρών, ενώ απαιτείται ενίσχυση για την περίπτωση της βόμβας των 2.000 λιβρών.

## 4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΚΡΗΞΗ BOMBAΣ 2000 ΛΙΒΡΩΝ

### 4.4.1 Γενικά

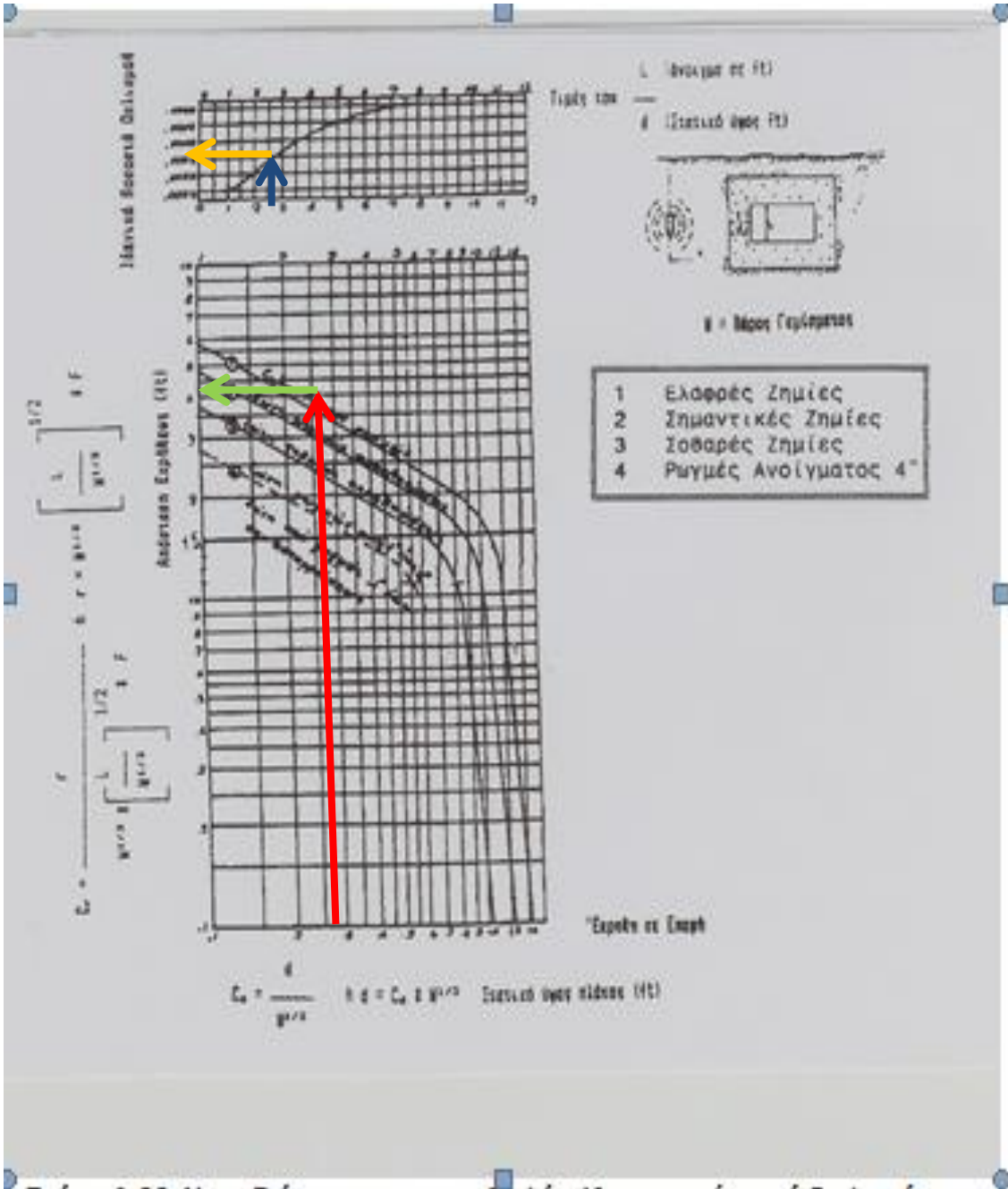
Κατά την υπόγεια έκρηξη, το εκρηκτικό κύμα εξαπλώνεται μέσα στο έδαφος με ταχύτητα που εξαρτάται από τη φύση του εδάφους. Μία εμπειρική σχέση για οριζόντιες μετακινήσεις που προέκυψε από μετρήσεις μετακινήθων πασάλων που είχαν εμπηχθεί στο έδαφος για τον σκοπό αυτό είναι:

$$D_h = \frac{1,3 \times W_E^{\frac{4}{3}}}{\left(\frac{r}{W_E^{\frac{1}{3}}}\right)^3} = \frac{1,3 \times W_E^{\frac{4}{3}}}{r^3} ft \quad (4.5)$$

$D_h$	Μόνιμη οριζόντια μετακίνηση σε ft
-------	-----------------------------------

$W_E$	Βάρος εκρηκτικής ύλης σε lb
$r$	Οριζόντια απόσταση από το σημείο της έκρηξης σε ft

Η Σχέση (4.5) προέκυψε από δοκιμές σε ιλοαργιλώδες και αμμώδες έδαφος, σε τοπικές εναποθέσεις χωρίς συνεχή στρώματα και ακανόνιστη διάταξη. Για τον υπολογισμό μετακινήσεων σε άλλους τύπους εδαφών, χρησιμοποιείται ο συντελεστής διόρθωσης εδάφους που δίνεται στον Πίνακα 4.2 και στο νομοδιάγραμμα του Σχήματος :



**Σχήμα 15** Νομοδιάγραμμα για τη μελέτη των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα έναντι αποτελεσμάτων υπόγειας έκρηξης

**Πίνακας 4. 2** Διορθωτικός συντελεστής εδάφους σε διάφορες περιπτώσεις εδαφών

Έδαφος	Σταθερά Εδάφους K	Συντελεστής Διόρθωσης F
Συμπιεσμένη Άμμος	30.000	— 1,5
Άμμος σε υγρασία	20.000	— 1,4
Αργιλοαμμώδες	10.000	— 1,2
Χαλικώδες Έδαφος	5.000	—
Αργιλος-Πηλός		— 1,0
Χαλαρό έδαφος με υγρασία	2.000	— 0,75
Χαλαρό έδαφος ξερό	1.000	— 0,57

#### 4.4.2 Υπολογισμός Απόστασης r

Τα δεδομένα του προβλήματος προς επίλυση είναι :

ΟΠΛΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	
Βόμβα 2000 λιβρών	$W_E = 1340 \text{ lb}$
ΟΧΥΡΩΜΑΤΙΚΟ ΕΡΓΟ	
Πάχος τοιχοποιίας t	3,61 ft
Στατικό ύψος L	9,84 ft
Επικάλυψη	0,25 ft
d=t-επικάλυψη	3,36 ft
L/d	2,90
Πραγματικό ποσοστό οπλισμού ρ	0,008
ΕΔΑΦΟΣ	
Σταθερά εδάφους K	7.500
Συντελεστής διόρθωσης εδάφους F	1,1



---

Αρχικά υπολογίζεται η τιμή του  $C_d$  (άξονας X του νομοδιαγράμματος του Σχήματος 15) υπολογίζεται από τη Σχέση:

$$C_d = \frac{d}{W_E^{1/3}} = 0,30 \quad (4.6)$$

Στη συνέχεια, από την ευρεθείσα τιμή της Σχέσης (4.6) σχεδιάζεται κάθετη ευθεία μέχρι το σημείο τομής της με την καμπύλη «1. Ελαφριές Ζημιές». Από το σημείο τομής αυτό, φέρεται παράλληλη ευθεία με τον άξονα X του νομοδιαγράμματος μέχρι το σημείο τομής με τον άξονα Y, οπότε βρίσκεται η τιμή του συντελεστή  $C_r$ , η οποία είναι 3,5.

Η απόσταση της έκρηξης βρίσκεται από την Σχέση:

$$r = C_r \times W_E^{1/3} \times \left( \frac{L}{W_E^{1/3}} \right)^{1/2} \times F \cong 40 \text{ ft} \cong 12 \text{ m} \quad (4.7)$$

Από το νομοδιάγραμμα επίσης υπολογίζεται και το ιδανικό ποσοστό οπλισμού  $\rho$ , γνωρίζοντας τον λόγο  $L/d$ , όπως φαίνεται στο Σχήμα 15 .

Επειδή η τιμή του ιδανικού ποσοστού οπλισμού που υπολογίστηκε γραφικά ( $\rho=0,0035$ ) διαφέρει από το πραγματικό ποσοστό οπλισμού ( $\rho=0,017$ ), πολλαπλασιάζεται η ευρεθείσα τιμή της απόστασης  $r$  (Σχέση 4.7) με τον συντελεστή:

$$\left[ \frac{P(\text{Ιδανικό})}{P(\text{Πραγματικό})} \right]^{1/3} = \left[ \frac{0,0035}{0,008} \right]^{1/3} \cong 0,81 \quad (4.8)$$

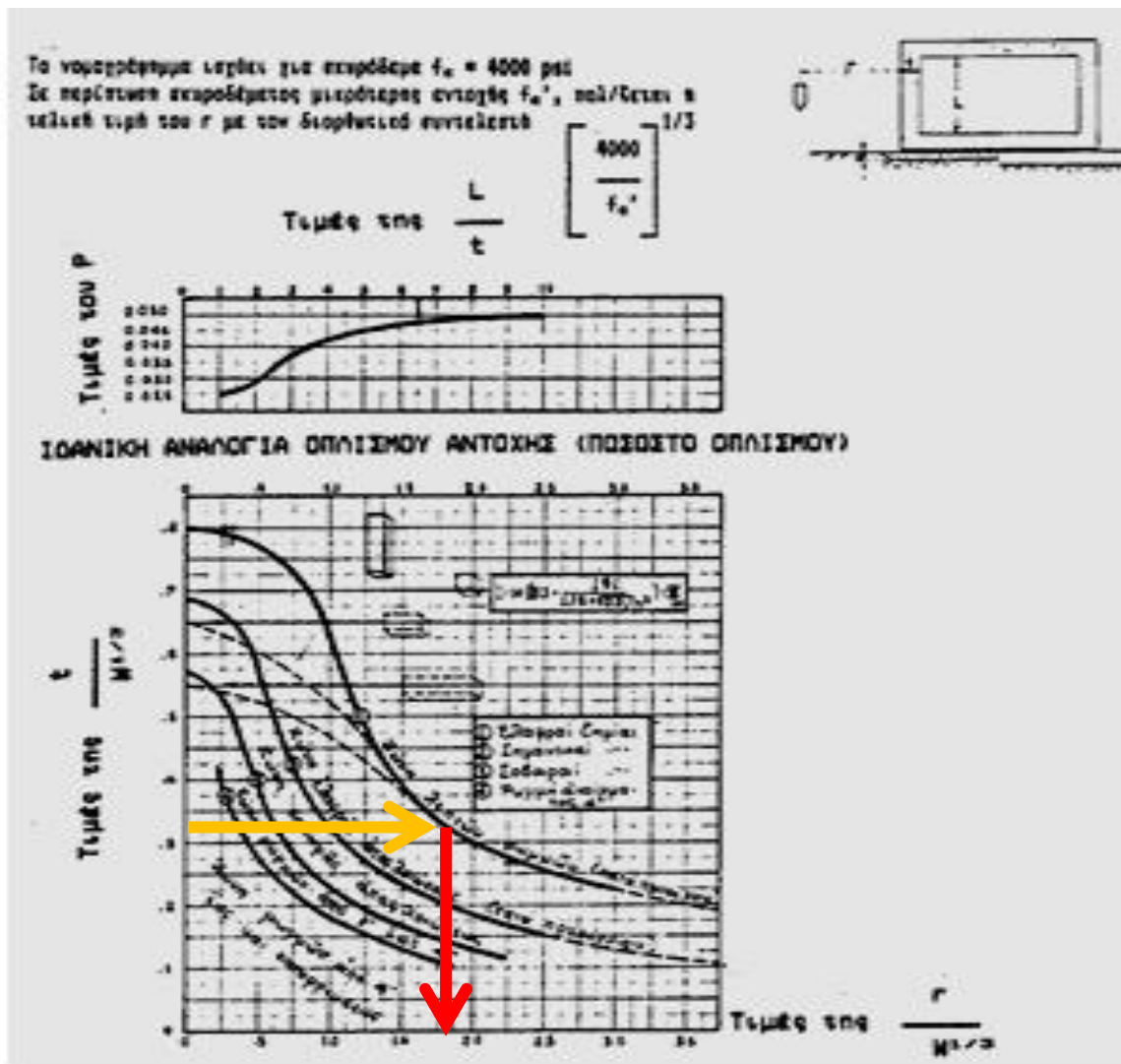
$$r = 12 \times 0,81 \cong 9,95 \text{ m} \quad (4.9)$$

Επομένως το οχυρωματικό έργο αντέχει υπόγεια έκρηξη βόμβας των 2000 λιβρών σε οριζόντια απόσταση από το οχυρωματικό έργο περίπου 10 μέτρων.

## 4.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΝΑΕΡΙΑ ΕΚΡΗΞΗ ΒΟΜΒΑΣ 2000 ΛΙΒΡΩΝ

### 4.5.1 Υπολογισμός Απόστασης r

Για τον υπολογισμό της απόστασης ασφαλείας για εναέρια έκρηξη βόμβας 2.000 λιβρών θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα του Πίνακα της υποπαραγράφου 4.4.2 και το νομοδιάγραμμα του σχήματος 16.



**Σχήμα 16** Απαιτούμενο πάχος πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος για την αποφυγή ζημιών από εναέρια έκρηξη.

---

Αρχικά υπολογίζεται η τιμή του άξονα Y του νομοδιαγράμματος από τη Σχέση :

$$\frac{t}{W_E^{1/3}} = 0,33 \quad (4.10)$$

Στη συνέχεια, σχεδιάζεται παράλληλη ευθεία μέχρι το σημείο τομής με την καμπύλη «1. Ελαφριές ζημιές». Από αυτό το σημείο σχεδιάζεται ευθεία κάθετη στον άξονα X και βρίσκουμε την τιμή 1,75. Επομένως η απόσταση r υπολογίζεται από τη Σχέση:

$$r = W_E^{1/3} \times 1,75 = 19,3 \text{ feet} \cong 5,9 \text{ m} \quad (4.11)$$

Επομένως το οχυρωματικό έργο αντέχει εναέρια έκρηξη βόμβας των 2000 λιβρών σε απόσταση 10 μέτρων.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΜΕΣΩ ΟΜΟΕ

### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Με βάση την ανάλυση πειραματικών αποτελεσμάτων – τόσο εργαστηριακών όσο και στο πεδίο – καθώς και την αδιαστατοποιημένη ανάλυση των παραμέτρων του προβλήματος διείσδυσης στο οπλισμένο σκυρόδεμα, έχει προταθεί πληθώρα εμπειρικών εξισώσεων για τον υπολογισμό του βάθους διείσδυσης, τόσο από κανονιστικές αρχές όσο και από ανεξάρτητους ερευνητές.

Επεκτείνοντας τις εμπειρικές εξισώσεις του National Defence Research Committee, προτείνεται η εμπειρική εξίσωση υπολογισμού του βάθους διείσδυσης (5.1-5.2), ανάλογα με το πάχος του δομικού στοιχείου, τη μέση θλιπτική αντοχή κυλίνδρου του σκυροδέματος, χωρίς αύξηση της τιμής λόγω φαινομένων ρυθμού επιβολής του φορτίου, αλλά ενδεχόμενη μείωσή της λόγω διάρκειας ωρίμανσης κάτω της τριετίας, τη μέγιστη διάσταση του αδρανούς, τη μάζα του βλήματος, το σχήμα του βλήματος, και τη ταχύτητα πρόσκρουσής του. Το πεδίο εφαρμογής της εξίσωσης αυτής καλύπτει σκυροδέματα θλιπτικής αντοχής κυλίνδρου  $f_c'$  από 20 έως 110 MPa.

$$P = D + f_{age} \times \left(\frac{D}{c}\right)^{0,15} \times \frac{56,60 \times \left(\frac{m}{D^3}\right)^{0,075} \times N \times M \times V^{1,8}}{D^2 \times (f_c')^{0,5}}, P > 2D \quad (5.1)$$

$$P = \left(M \times \frac{N}{D} \times f_{age}\right)^{0,5} \times \left(\frac{D}{c}\right)^{0,075} \times \frac{15,10 \times \left(\frac{M}{D^3}\right)^{0,038} \times V^{0,9}}{(f_c')^{0,25}}, P \leq 2D \quad (5.2)$$

P το μέγιστο βάθος διείσδυσης (mm)



$f_{age}$  συντελεστής ωρίμανσης του σκυροδέματος, που λαμβάνει τις τιμές (επιτρέπεται η γραμμική παρεμβολή):

$f_{age}$	Ηλικία (ημέρες)
1,0	$\geq 360$
1,01	180
1,02	66
1,05	$\leq 28$

$f_c$  η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (μη περισφιγμένη) (MPa)

M η μάζα του βλήματος (kg),

N ο συντελεστής συμπεριφοράς του ρύγχους, όπως δίδεται από τη Σχέση 5.3,

D η διάμετρος του βλήματος (mm),

c η μέγιστη διάσταση αδρανούς στο σκυρόδεμα (mm) και

V η ταχύτητα πρόσκρουσης του βλήματος (m/s).

Ο συντελεστής συμπεριφοράς του ρύγχους N δίδεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$N = 0,72 + 0,25 \frac{L_n}{D}, \quad \text{με } \frac{L_n}{D} = (CRH - 0.25)^{0.5} \quad (5.3)$$

όπου :

CRH διαμέτρημα-ακτίνα-κεφαλή (βλ. Πίνακας 3.4),

$L_n$  το μήκος του ρύγχους (m) και

D η διάμετρος του βλήματος (m).

Η Σχέση 5.3 έχει προκύψει για βλήματα με σφηνοειδές (tangento-give) ρύγχος, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για βλήματα με διαφορετικό τύπο ρύγχους, αρκεί να υπολογιστεί ένας ισοδύναμος λόγος  $L_n / D$ .

Κάνοντας χρήση των παραπάνω εμπειρικών εξισώσεων, υπολογίζονται τα ακόλουθα νομογραφήματα των Σχημάτων 14 και 15, τα οποία παρέχουν το βάθος διείσδυσης P (σε mm) σε δομικό στοιχείο από ΟΣ απείρου πάχους, λόγω κάθετης πρόσπτωσης βομβών γενικής χρήσης 500 και 2000 λιβρών, βάσει στοιχείων του Πίνακα 3.4. Θεωρούνται:

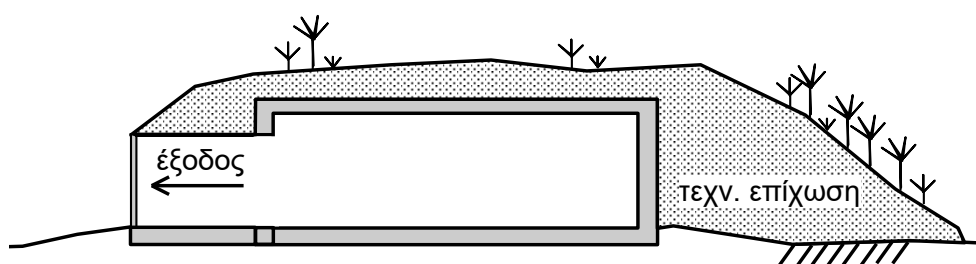
- ταχύτητες πρόσκρουσης 100, 200, 300 και 350 m/s,
- σκυρόδεμα μέσης θλιπτικής αντοχής κυλίνδρου 20 έως 70 MPa (μετά από παρέλευση χρόνου τουλάχιστον τριών ετών από τη σκυροδέτηση, άρα  $f_{age} = 1,0$ ).

- μέγιστη διάσταση αδρανούς = 25 και 45mm.

Επομένως, για να υπολογιστεί η συνολική διείσδυση μέσω των νομογραφημάτων είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της ταχύτητας πρόσκρουσης.

## 5.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΟΧΥΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΤΑ ΟΜΟΕ

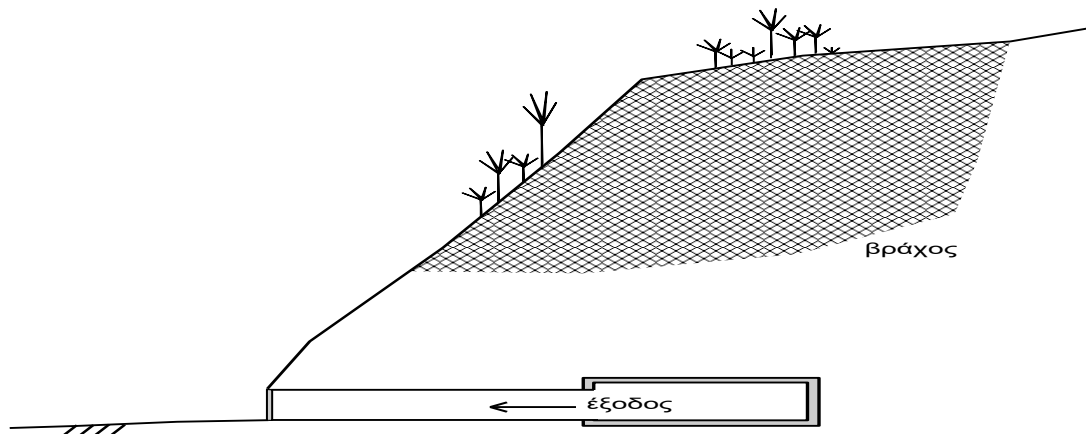
Σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ διακρίνονται τρεις τύποι οχυρωματικών έργων<sup>20</sup>. Το αντιαεροπορικό πολυβολείο των 88mm κατατάσσεται ως οχυρωματικό έργο **Τύπου Ι** (Σχήμα 17) και είναι κατασκευασμένο κοντά ή επί της επιφάνειας του εδάφους, χωρίς να λαμβάνονται ειδικά μέτρα για την προστασία τους έναντι άμεσης κρούσης και διείσδυσης του όπλου σχεδιασμού.



**Σχήμα 17** Ενδεικτικό σκαρίφημα οχυρωματικού έργου Τύπου Ι χωρίς κλίμακα.

Το παθητικό σκέπαστρο ως οχυρωματικό έργο **Τύπου ΙΙΙ** (Σχήμα 18), καθώς το έργο καθίσταται πρακτικά μη-ανιχνεύσιμο από την επιφάνεια ή από τον αέρα και η μόρφωση του φορέα στο συγκεκριμένο έργο ουσιαστικά το προστατεύει από οποιαδήποτε απειλή.

<sup>20</sup> ΕΜΠ Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Οδηγίες Μελέτης Οχυρωματικών Έργων, Αθήνα 2008: Κεφάλαιο 9: Παράγραφος 9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΟΧΥΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ



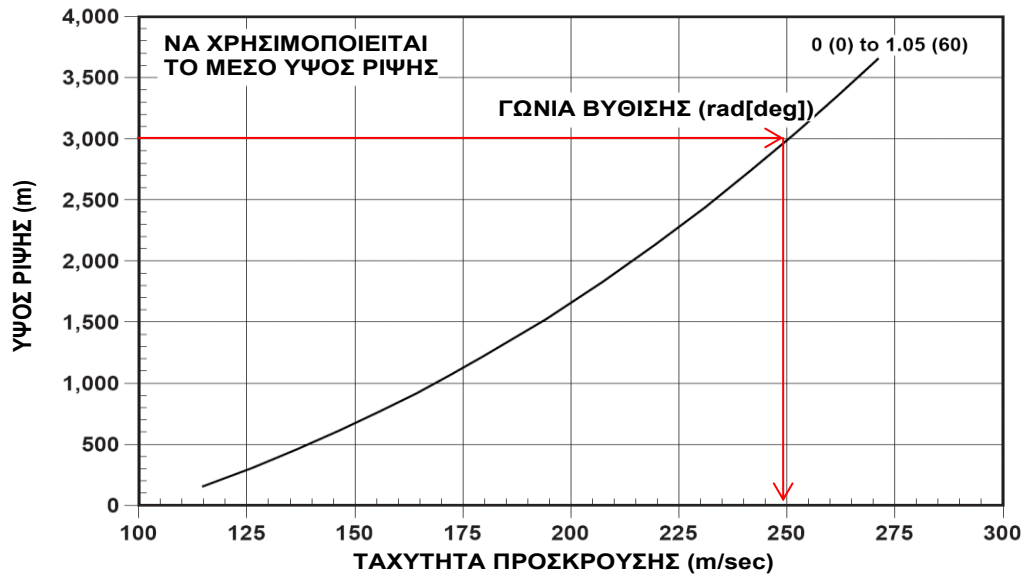
**Σχήμα 18** Ενδεικτικό σκαρίφημα οχυρωματικού έργου Τύπου III χωρίς κλίμακα.

Στην Ελλάδα σήμερα, τα οχυρωματικά έργα Τύπου III είναι πολύ περιορισμένα και συναντώνται μόνο σε Στρατηγεία Μείζονων Σχηματισμών. Η πλειονότητα των οχυρωματικών έργων είναι Τύπου I.

## **5.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ**

### **5.3.1 Υπολογισμός Ταχύτητας Πρόσκρουσης**

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας πρόσκρουσης του όπλου, χρησιμοποιείται το διάγραμμα υπολογισμού του Σχήματος 19. Στην συγκεκριμένη περίπτωση λαμβάνεται ως ταχύτητα του αεροσκάφους 103 m/sec και ύψος ρίψης 3.000 m. Προκύπτει λοιπόν ταχύτητα πρόσκρουσης του όπλου στον στόχο ίση με 250 m/sec.



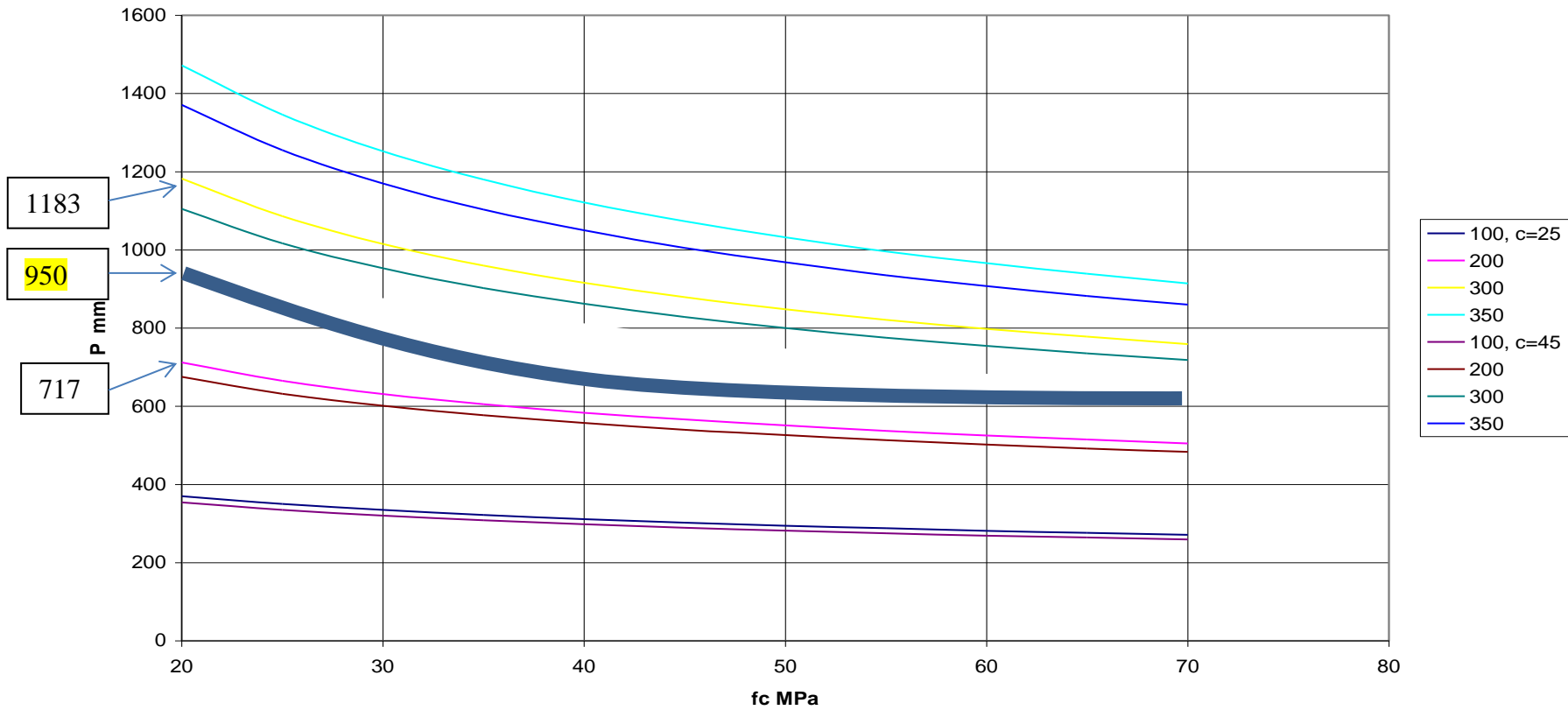
**Σχήμα 19** Ταχύτητες πρόσκρουσης για τυπικές μη-επιβραδυνόμενες βόμβες για ταχύτητα αεροσκάφους 103 m/sec (200 KTAS).

### 5.3.2 Υπολογισμός Συνολικής Διείδυσης

Έχοντας λοιπόν ως δεδομένα την ταχύτητα πρόσκρουσης ίση με 250 m/sec, τη μέση θλιπτική αντοχή κυλίνδρου σκυροδέματος 20 MPa και τη μέγιστη διάσταση αδρανών 25mm, σχεδιάζουμε την καμπύλη διείδυσης (μπλε παχιά καμπύλη) στο Σχήμα 20 για τη βόμβα των 500 λιβρών, της οποίας κάθε σημείο προκύπτει ως μέσος όρος των σημείων των καμπυλών 200 m/sec (ροζ λεπτή καμπύλη) και 300 m/sec (κίτρινη λεπτή καμπύλη). Την ίδια διαδικασία ακολουθούμε και στο Σχήμα 21 για την βόμβα των 2.000 λιβρών.

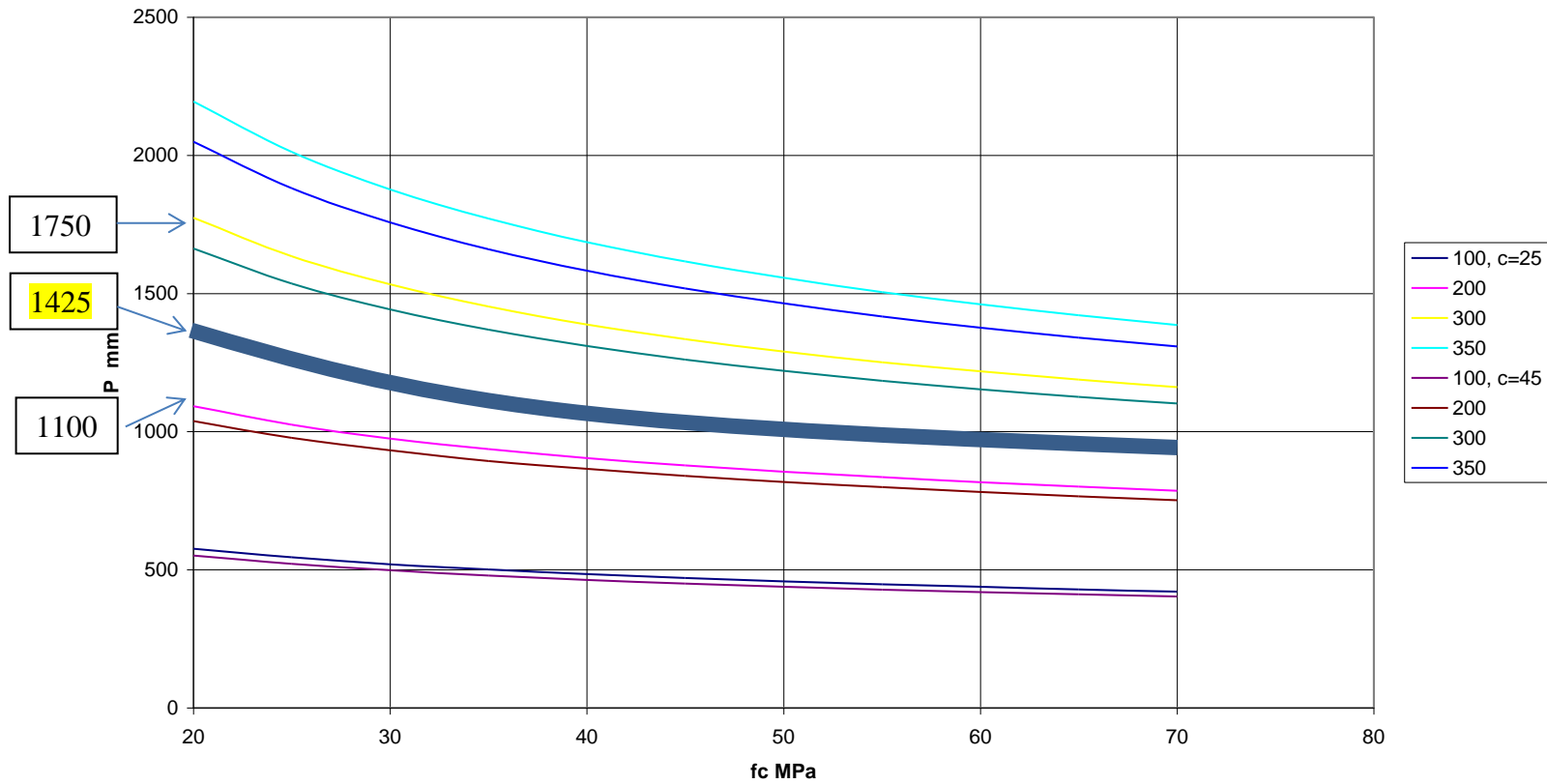


### GP500



Σχήμα 20 Βάθος διείσδυσης συναρτήσει της μέσης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος για βόμβα γενικής χρήσης GP500 ( $D = 274$ mm).

### GP2000

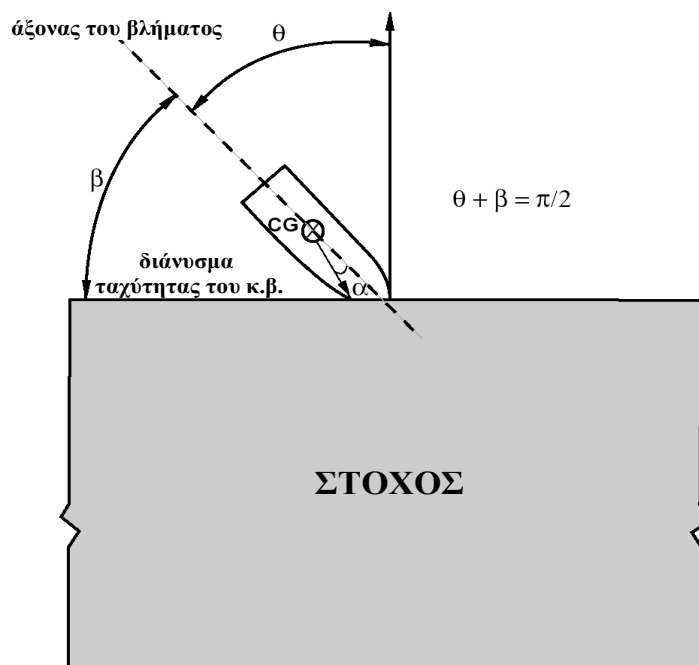


**Σχήμα 21** Βάθος διείσδυσης συναρτήσει της μέσης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος για βόμβα γενικής χρήσης GP2000 (D =457mm).

Συνεπώς, από τα νομογραφήματα των Σχημάτων 20 και 21 προκύπτει ότι η μέγιστη διείσδυση της βόμβας των 500 λιβρών στον στόχο είναι **950,00mm** και η αντίστοιχη της βόμβας των 2.000 λιβρών είναι **1.425,00mm**.

### 5.2.3 Απομείωση Λόγω Λοξότητας

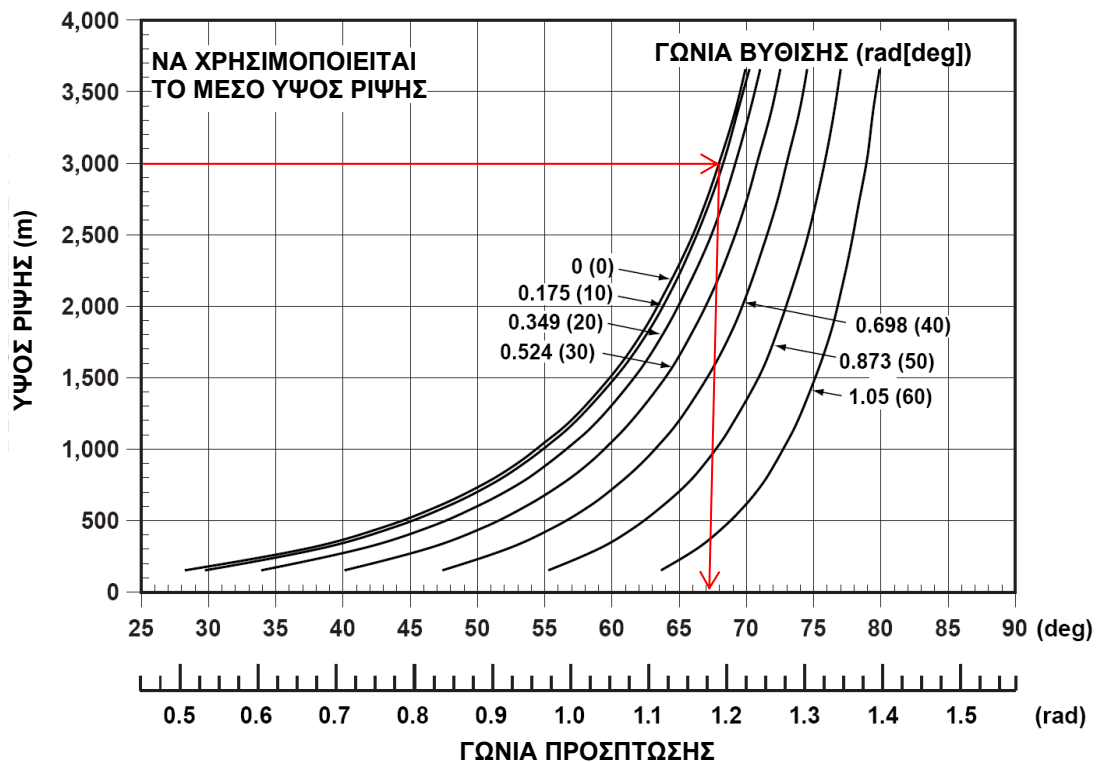
Βασικό χαρακτηριστικό από το οποίο εξαρτάται το βάθος διείσδυσης του βλήματος στο στόχο είναι η ταχύτητα πρόσκρουσής του. Επιπλέον, θα πρέπει να είναι γνωστή η γωνία πρόσπτωσης του βλήματος,  $\beta$  (ή τη συμπληρωματική της  $\theta$ ), και τη γωνία προσβολής  $\alpha$ , οι οποίες ορίζονται στο Σχήμα 22.



$\theta$ =γωνία λοξότητας-μετράται από την κάθετο στο στόχο  
 $\beta$ =γωνία πρόσπτωσης-μετράται από την επιφάνεια του στόχου  
 $\alpha$ =γωνία προσβολής-η γωνία που σχηματίζει ο άξονας του βλήματος με το διάνυσμα της ταχύτητας του κέντρου βάρους. Η φορά της είναι θετική όταν είναι σύμφωνη, και αρνητική όταν είναι αντίθετη με τη φορά των δεικτών του ρολογίου.

**Σχήμα 22** Γεωμετρικά χαρακτηριστικά της βολής που επηρεάζουν τη διείσδυση

Για τον υπολογισμό της γωνίας πρόσπτωσης χρησιμοποιείται το διάγραμμα υπολογισμού του Σχήματος 23, λαμβάνοντας ύψος ρίψης 3.000 m , ταχύτητα αεροσκάφους 103 m/sec και γωνία βύθισης  $0^\circ$ . Προκύπτει λοιπόν ότι η γωνία πρόσπτωσης είναι  $68^\circ$ .



**Σχήμα 23** Γωνίες πρόσπτωσης για τυπικές μη-επιβραδυνόμενες βόμβες για ταχύτητα αεροσκάφους 103 m/sec (200 KTAS).

Επομένως, λόγω των παραπάνω θα ισχύει η Σχέση 5.4:

$$P'_D = P_D \times \cos(90^\circ - 68^\circ) \quad (5.4)$$

	500 lbs	2000 lbs
$P_D$ (mm)	950,00	1.425,00
$P'_D$ (mm)	893,84	1.340,76

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 1. Σύγκριση Αποτελεσμάτων:

Στον Πίνακα 6.1 παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης και των δύο μεθόδων:

**Πίνακας 6. 1** Συγκεντρωτικός Πίνακας αποτελεσμάτων βλητικής ανάλυσης

ΤΥΠΟΣ ΒΟΜΒΑΣ	500 lbs	2000 lbs
	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ TM5-855-1</b>	
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ(mm)	894	1.341
	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΟΜΟΕ</b>	
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ(mm)	997	1737
ΑΠΟΚΛΙΣΗ	10%	20%

Τα αποτελέσματα είναι δυσμενέστερα σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ, το οποίο είναι αναμενόμενο, διότι στις Οδηγίες τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών αποκτούν σημαντικό ρόλο.

Παρά την παρέλευση 30 ετών από τη συγγραφή των εγχειριδίων ανάλυσης (TM5-855-1) προκύπτει μια διαφορά στα αποτελέσματα της τάξης του 10% έως 20%, γεγονός αναμενόμενο λόγω της χρησιμοποίησης εμπειρικών σχέσεων που με την εξέλιξη των πειραματικών δεδομένων βελτιώνονται.

2. Σύμφωνα με τις προσεγγιστικές μεθόδους εκτίμησης της αντοχής των οχυρωματικών έργων, η τεχνολογία των υλικών δεν επηρεάζει των αντοχή τους. Το Γερμανικό Οχυρό της περιόδου 1940-45 που κατασκευάστηκε με κονιάματα, αδρανή και οπλισμό της εποχής του και απέδωσε μια χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή 16MPa, αντέχει τις σύγχρονες βόμβες γενικής χρήσης των 500 λιβρών και οριακά των 2.000 λιβρών. Τα όπλα αυτά αποτελούν και σήμερα όπλα σχεδιασμού της πλειονότητας των οχυρωματικών έργων.

3. Τα όπλα σχεδιασμού από πλευράς ισχύος φαίνεται ότι δεν παρουσιάζουν αξιοσημείωτες βελτιώσεις, αλλά άλλαξαν σημαντικά ως προς την ακρίβειά τους.



---

4. Τα οχυρωματικά έργα Τύπου III εκμεταλλευόμενα την απορρόφηση της ενέργειας του όπλου σχεδιασμού από το έδαφος παρουσιάζουν επάρκεια απέναντι και στα δυσμενέστερα εξ αυτών.

5. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι το TM5-855-1 συνεχίζει να αποτελεί ένα γρήγορο και αξιόπιστο εργαλείο υπολογισμού στα πλαίσια του επιχειρησιακού πεδίου.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Στο Παράρτημα Α παρατίθεται η ευχαριστήρια επιστολή του τότε Δημάρχου Ραφήνας-Πικερμίου κ. Βασίλειο Πιστικίδη.

Αθήνα 29/07/2016

**Προς:**

-Ταγματάρχη Μηχανικού, κύριο Αθανάσιο Μάρκο

**Κοινοποίηση:**

- Διοικητή Σχολής Τεχνικής Εκπαίδευσης Αξιωματικών Μηχανικού,  
Παπαδιαμαντοπούλου 190 , Γουδί

Αξιότιμε κύριε Μάρκο,

Ως Δήμαρχος Ραφήνας - Πικερμίου, θα ήθελα να σας ευχαριστήσω για τη συμβολή σας στη βελτίωση της ασφάλειας των πολιτών του Δήμου και την ανάδειξη του ιστορικού Λόφου Οχυρού, τα οχυρωματικά έργα του οποίου, χρονολογούνται από τον Β'ΠΠ.

Με την πρωτοβουλία σας και τις ενέργειές σας, στο πλαίσιο της φοίτησης και της πτυχιακής σας εργασίας στην Σχολή Τεχνικής Εκπαίδευσης Αξιωματικών Μηχανικού, παρέχετε στην Δημοτική μας Αρχή τις απαραίτητες τεχνικές πληροφορίες ώστε να καταστεί δυνατή η διερεύνηση και εκκαθάριση της περιοχής του Λόφου του Οχυρού από την αρμόδια Στρατιωτική Υπηρεσία και να καταστεί ασφαλής για δημόσια χρήση από τους δημότες.

Με εκτίμηση,

  
Βασίλης Πιστικίδης

Δήμαρχος Ραφήνας - Πικερμίου



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Στο Παράρτημα Β παρατίθεται η επιστολή-απάντηση του αιτήματος παροχής στοιχείων αναφορικά με τις Στρατιωτικές Μονάδες του Γερμανικού Στρατού που είχαν εγκατασταθεί την περίοδο 1940-1945 στην περιοχή της Ραφήνας και κάθε άλλου στοιχείου σχετικά με την κατασκευή των οχυρωματικών έργων της περιοχής από την Υπηρεσία των Ομοσπονδιακών Αρχείων της Γερμανίας. Δυστυχώς λόγω υποχρεωτικής παρουσίας στις εγκαταστάσεις της υπηρεσίας για τις ανάγκες της έρευνας και έλλειψης χρηματοδότησης δεν κατέστη δυνατόν η πραγματοποίηση έρευνας στις εγκαταστάσεις της συγκεκριμένης υπηρεσίας.



Postanschrift		Militärarchiv	
Postanschrift	Bundesarchiv, Abt. Militärarchiv, Wiesenstr. 10, 79115 Freiburg i. Br.	Postanschrift	Wiesenstr. 10, 79115 Freiburg i. Br.
	Mr Athanasios Markos athanmarkos@windowslive.com		Bundesarchiv, Abt. Militärarchiv Wiesenstr. 10 79115 Freiburg i. Br.
		Telefon	+49 (0)761 47817-867
		Fax	+49 (0)761 47817-900
		Kontaktperson	Frank Anze
		E-Mail	militaerarchiv@bundesarchiv.de
		Internet	www.bundesarchiv.de
		Datum	7 September 2015
		Objektbezeichnung	MA 5 – 201504-2872 (Markos, Athanasios)

**Betreff:** Rafina  
**Betreff:** Your request to the Federal Archives dated 24<sup>th</sup> August  
**Betreff:** "Benutzungsantrag"  
Selke Company Information sheet and copy form  
List of research services

Dear Mr Markos,

Thank you for your kind letter.

We are in charge of Prussian-German military files which have been originated since 1867 the North German Confederation was founded.

A great deal of records of the Wehrmacht has not survived the war.

Our archival holdings are arranged to the military departments and units that have produced them. A search for places is therefore very difficult. First would be to clarify which German units were deployed there.

Öffnungszeiten des Benutzersaals  
Mo. – Do. 08:00 – 18:00 Uhr  
Fr. 08:00 – 16:00 Uhr

Zahlungsverkehr  
über die Bundeskasse Titel  
Deutsche Bundesbank Filiale Saarbrücken  
(BLZ 530 505 00) Konto-Nr. 580 010 10  
BIC: COB1 3333 0000 0010 10  
BIC: MARKDE33 3333 0000 0000 0000  
BIC: MARKDE33 3333 0000 0000 0000  
Postbank Ludwigshafen  
(BLZ 545 100 07) Konto-Nr. 22 35 44 - 672

Für dieses Schreiben wurde umweltschonendes Papier verwendet

---

Some of our archival holdings could be relevant:

- RM 7 (Seekriegsleitung der Kriegsmarine)
- RM 20 (Marinekommandoamt der Reichsmarine und Kriegsmarine)
- RM 36-III (Marinegruppenkommando Süd der Kriegsmarine)
- RM 46-V (Dienststellen und Kommandostellen der Kriegsmarine im Bereich Süd / Südost)

The Federal Archives preserves files and makes them available for research. Researches have to be done in our reading room by yourself or by a research service which you have mandated.

Our available files and archival holdings are listed online by our search engine **Invenio** (<https://invenio.bundesarchiv.de>). Some documents have been digitized so that you may view them online. Please be aware however, that not all our archival holdings are fully searchable in the database. In some cases there are only typed inventories which may be viewed in our reading room.

You are welcome to attend our reading room in Frelburg. To get a reservation for a seat in the reading room, please announce your visit four weeks in advance directly at our staff (Tel.: +49 (0) 761 47817-911, E-Mail: [benutzersaal.frelburg@bundesarchiv.de](mailto:benutzersaal.frelburg@bundesarchiv.de)).

In order to prepare your visit please fill in, sign and return the enclosed form "Benutzungsantrag". If possible, please tell us the precise identifiers of the documents you wish to read, so that they can be placed ready before your visit.

If you are not able to visit Frelburg a research service may assist. Please contact directly one of the research services which are known here for more detailed information on working methods, chances of success and service fees (see attached list).

Copies can be made by the company Selke. Order form and information sheet with an overview of prices and terms are attached. If desired please return the Selke form and additionally the archival form "Benutzungsantrag". Please be advised that, falling instructions to the contrary, copies of the entire file will be made. If you wish to receive only selected items from the files a research service may assist you with preparing your order for copies.

---

---

\*\*\* Regarding the Organization Todt which possibly was involved please contact additionally the department "Deutsches Reich" of the Federal Archives in Berlin (berlin@bundesarchiv.de).

If you answer by e-mail, please contact our general address:  
militaerarchiv@bundesarchiv.de

Yours sincerely  
On behalf of the Federal Archives  
Frank Anton



## 1. Βιβλία

1. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Οδηγίες Μελέτης Οχρωματικών Έργων, Αθήνα 2008.
2. Δημήτρης Μακρής, ΤΟ ΟΧΥΡΟΤΗΣΡΑΦΗΝΑΣ, Ελληνικό Κέντρο Τέχνης και Πολιτισμού, 2015.
3. Πιστικίδης Θανάσης, Ριζώματα Βιώματα Παθήματα – Αληθινές Ιστορίες, Ραφήνα 1985.
4. Ι.Ν. Πρασιανάκης και Σ.Κ. Κουρκουλή, Πειραματική Αντοχή των Υλικών, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1999
5. TM5-855-1 (1986) «Fundamentals of Protective Design..... Weapons», Headquarters, Department of Army, USA
6. TME30-451(1945) «Handbook on German Military Forces», Department of Army, USA
7. FM5-15 (1940) «Field Fortifications», Department of Army, USA
8. FM5-15 (1944) «Field Fortifications», Department of Army, USA
9. FM5-15 (1968) «Field Fortifications», Department of Army, USA
10. Military Intelligence Service - War Department, Special Series No 15 - German Coastal Defences, 15 June 1945
11. Notes on German Obstacles No.1, Department of Army, USA May 1944
12. Neil Short, German Defenses in Italy in World War II, OSPRAY Publishing, 2004

- 
13. Gordon L. Rottman, German Field Fortifications 1939-45, OSPRAY Publishing, 2004
  14. Washington Government Printing Office, Note on the Constructions of Deep Gallery Shelters, Oct 1917
  15. Southern Medical Journal, vol 83, No 7: Efficacy of Bomb Shelters: With Lessons from the Hamburg Firestorm, July 1990
  16. Chris Bishop, The Encyclopedia of weapons of World War II, Brown Packaging Books Ltd, London 1998
  17. Karl Heinz Schmeelke & Michael Schmeelke, German Defensive Batteries & Gun Emplacements on the Normandy Beaches Invasion : D-Day, June 6, 1944
  18. David Nidey, The Hamlyn Concise Guide to British Aircraft of World War II, Chancellor Press
  19. Mirosław Skwiot, German Naval Artillery vol. 1, AJ Press
  20. Werner Müller, The 88mm FLAK in the First and Second World Wars, Schiffer Military/Aviation History
  21. Clayton Donnell, The German Fortress on Metz 1870-1944, OSPRAY Publishing
  22. Darren Fa & Clive Finlayson, The Fortifications of Gibraltar 1068-1945, OSPRAY Publishing
  23. Griffith, Fortifications of the Western Front 1914-18, OSPRAY Publishing
  24. William Allcorn, The Maginot Line 1928-45, OSPRAY Publishing
  25. Steven J Zaloga, D-Day Fortifications in Normandy, OSPRAY Publishing

---

## 2. Ηλεκτρονικές πηγές

1. [http://urbanspeleology.blogspot.gr/2013/09/blog-post\\_29.html](http://urbanspeleology.blogspot.gr/2013/09/blog-post_29.html)
2. <http://www.pasp.gr/?eidiseis=37955>
3. <http://www.mixanitouxronou.gr/tous-estisan-ston-ticho-gia-ektelesi-ke-o-germanos-diikitis-tin-mateose-tin-teleftea-stigmi-to-agnosto-sampotaz-tis-rafinas-ke-to-ischiro-ochiro-ton-nazi/>
4. [http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR\\_15-42\\_mk1.htm](http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR_15-42_mk1.htm)
5. [http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR\\_8-50\\_mk8.htm](http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR_8-50_mk8.htm)
6. [https://en.wikipedia.org/wiki/BL\\_8\\_inch\\_Mk\\_VIII\\_naval\\_gun](https://en.wikipedia.org/wiki/BL_8_inch_Mk_VIII_naval_gun)
7. [http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR\\_6-45\\_mk12.htm](http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR_6-45_mk12.htm)
8. <http://worldwar2headquarters.com/HTML/aircraft/britishAircraft>
9. [http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR\\_15-42\\_mk1.htm](http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR_15-42_mk1.htm)
10. [http://niglelf.tripod.com/wt\\_of\\_fire.htm](http://niglelf.tripod.com/wt_of_fire.htm)