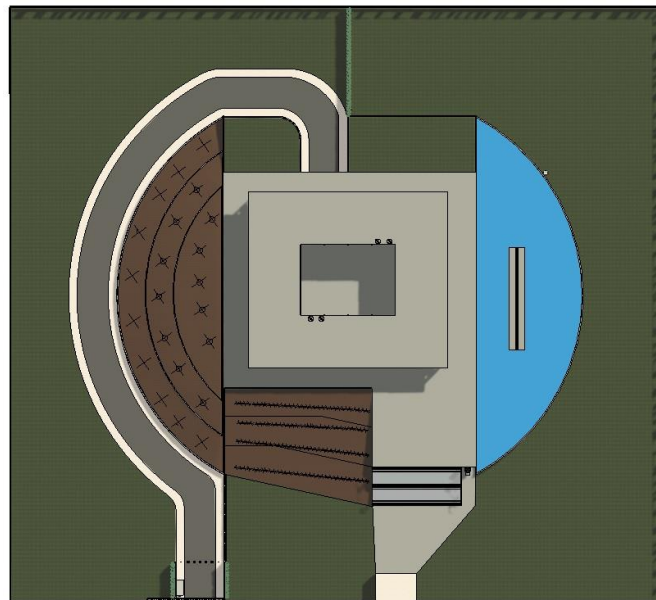




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



## ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΕΚΡΗΞΕΙΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΟ ΠΡΕΣΒΕΙΑΣ



Διπλωματική Εργασία  
**ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΛΑΔΑΣ**

EMK ΔΕ 2023 9  
ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ  
ΧΑΡΗΣ ΓΑΝΤΕΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π  
Δρ. ΟΡΕΣΤΗΣ ΙΟΑΝΝΟΥ  
ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2023



Copyright © Απόστολος Λαδάς, 2023  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Apostolos Ladas, 2023  
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Απόστολος Λαδάς (2023)  
**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΕΚΡΗΞΕΙΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΟ ΠΡΕΣΒΕΙΑΣ**  
ΕΜΚ ΔΕ 2023 9  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Apostolos Ladas (2023)  
EMK DE 2023 9  
**DESIGN OF BUILDINGS FOR PROTECTION AGAINST EXPLOSIONS WITH APPLICATION TO AN EMBASSY  
BUILDING**  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

## Ευχαριστίες

Αρχικά ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Παναγιώτη και Παρασκευή που ήταν συνοδοιπόροι καθ' όλη την διάρκεια της φοιτητικής μου πορείας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ορέστη Ιωάννου, για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσε, καθώς και το Καθηγητή κύριο Χάρη Γαντέ που επέβλεψε την εργασία και η καθοδήγησή του ήταν ανεκτίμητη καθ' όλη τη διάρκεια αυτού του εγχειρήματος.

*Στη πολυαγαπημένη γιαγιά μου Μαργαρίτα Κολοβού Λαδά*



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΜΚ ΔΕ 2023 9

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΕΚΡΗΞΕΙΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ  
ΚΤΙΡΙΟ ΠΡΕΣΒΕΙΑΣ**

**ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΛΑΔΑΣ**

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Καθηγητής, Ε.Μ.Π  
Συνεπιβλέπων: Ορέστης Ιωάννου, Διδακτορικός

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η εύρυθμη λειτουργία των σύγχρονων κοινωνιών βασίζεται σε ιδιαίτερος εύθραυστα συστήματα όπως σιδηρόδρομοι, αεροπορικές εταιρείες, αγωγούς κτλ. Έτσι οι βομβιστικές τρομοκρατικές επιθέσεις αυξάνονται με τη πάροδο του χρόνου διότι προκαλούν σκληρότερα αποτελέσματα από τις συμβατικές μεθόδους με μικρότερο κόπο. Η προστασία των κτιρίων από βομβιστικές επιθέσεις λόγω των συμβάντων που έχουν πραγματοποιηθεί, είναι ένα επίκαιρο αλλά αχαρτογράφητο θέμα για το μελετητή αφού τα σχεδιαστικά εργαλεία και οι τεχνολογίες που παράγονται για την αντιμετώπιση εκρήξεων στα κτίρια προστατεύονται εσωτερικά από τις χώρες που τα παράγουν. Η καταστροφικότητα μιας έκρηξης εξαρτάται κυρίως από δυο παράγοντες, την απόσταση που πυροδοτείται η έκρηξη από το κτίριο και τα κιλά των εκρηκτικών. Μια φιλοσοφία σχεδιασμού που αποτρέπει τον επιτιθέμενο να πλησιάσει το κτίριο σε τρωτά σημεία μπορεί να αποβεί ιδιαίτερος αποτελεσματική. Η δημιουργία σχεδίου απειλής, η αναγνώριση των βασικών κινδύνων και ο σχεδιασμός του οικοπέδου ως μια αρένα για τη λήψη μέτρων ασφαλείας και την επίδειξη των μηχανισμών άμυνας στους επιτιθέμενους, μπορεί να αποβεί μια οικονομικότερη λύση με καλύτερα αποτελέσματα στη πράξη από την υπερένισχυση του στατικού φορέα. Ο τρόπος που εφαρμόζονται τα εκρηκτικά φορτία διαφέρει από τα συμβατικά όπως ο άνεμος ή ο σεισμός και τελικά ένα εκρηκτικό φορτίο μπορεί να καθορίσει τη τελική διαστασιολόγηση ενός στατικού συστήματος. Για αυτό το σκοπό πέραν των μέτρων ασφαλείας οι σημαντικές κατασκευές μελετώνται έτσι ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν και σε εκρηκτικά φορτία. Συμπερασματικά η πρόκληση για το μελετητή είναι ισχυρή διότι στη πραγματικότητα η έννοια της απόλυτης ασφάλειας δεν μπορεί να υπάρχει, η πεμπτοσύνη αυτού του σχεδιασμού είναι η αναγνώριση του τι χρειάζεται προστασία και πως μπορεί αυτή να επιτευχθεί. Φυσικά όλη αυτή η μελέτη δεν αφορά μόνο τη στατική επάρκεια ενός κτιρίου μετά την έκρηξη, αλλά και τη διαφύλαξη της ανθρώπινης ζωής καθώς και τη λειτουργικότητα των χώρων. Η κατοικία ή το γραφείο που ξοδεύει κάποιος το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου του είναι «η μηχανή του να ζεις» και οφείλει να είναι χρηστική. Η εφαρμογή ενός τέτοιου σχεδιασμού παρουσιάζεται για ένα κτίριο Ελληνικής πρεσβείας στο οποίο έχει εφαρμοστεί πληθώρα καλών πρακτικών για την αντιμετώπιση εκρηκτικών φορτίων καθώς και ο τρόπος που θα μπορούσε ο μελετητής να πάρει απαντήσεις σχετικά με την απόκριση δομικών στοιχείων από χρονιστορίες εκρηκτικών φορτίσεων.







NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES



DIPLOMA THESIS  
EMK ΔΕ 2023 9

**DESIGN OF BUILDINGS FOR PROTECTION AGAINST EXPLOSIONS WITH APPLICATION TO  
AN EMBASSY BUILDING**

**APOSTOLOS LADAS**

Supervisor: Charis Gantes, Professor, National Technical University of Athens  
Co-supervisor: Orestis Ioannou, Researcher - Engineer

**ABSTRACT**

The smooth operation of modern societies is based on particularly fragile systems such as railways, airlines, pipelines, etc. As a result, terrorist bombing attacks have been increasing over time because they yield more devastating results than conventional methods with less effort. Protecting buildings from bomb attacks, given the events that have occurred, is a timely yet uncharted subject for the researcher, as the design tools and technologies developed to address building explosions are internally protected by the countries that produce them. The destructiveness of an explosion depends primarily on two factors: the distance at which the explosion is triggered from the building and the weight of the explosives. Therefore, a design philosophy that prevents the attacker from approaching the building at vulnerable points can be particularly effective. Creating a threat plan, identifying key risks, and designing the site as an arena for implementing security measures and showcasing defence mechanisms can be a more cost-effective solution with better practical results than over-reinforcing the structural system. The way explosive charges are applied differs from conventional forces such as wind or earthquakes, and ultimately, an explosive load can determine the final dimensioning of a static system. For this purpose, beyond security measures, significant structures are studied so that they can withstand explosive loads. In conclusion, the challenge for the researcher is strong because, in reality, the concept of absolute security cannot exist. The essence of this design lies in recognizing what needs protection and how protection can be achieved. Of course, this entire study does not only concern the structural adequacy of a building after an explosion but also the preservation of human life and the functionality of spaces. The residence or office where someone spends the majority of their time is "the machine of living" and should be functional. The implementation of such a design is presented for a Greek embassy building, in which a plethora of good practices for handling explosive loads has been applied, as well as the way in which the researcher could obtain answers regarding the response of structural elements from historical records of explosive charges.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>17</b>
1.1	ΙΣΤΟΡΙΚΟ.....	17
1.2	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	19
1.3	ΤΡΟΜΟΚΡΑΤΙΑ.....	20
1.4	ΚΙΝΔΥΝΟΣ - ΡΙΣΚΟ .....	20
1.5	ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.....	21
1.6	Η ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΕΣΗ ...	22
1.7	ΒΟΜΒΙΣΤΙΚΕΣ ΕΠΙΘΕΣΕΙΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ DRONE .....	22
<b>2</b>	<b>ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΡΗΞΕΩΝ.....</b>	<b>25</b>
2.1	ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΚΡΗΞΕΩΝ.....	25
2.1.1	ΚΥΜΑΤΑ ΕΚΡΗΞΗΣ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ ΑΠΟ ΙΣΧΥΡΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΑ (Detonation).....	25
2.2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ.....	27
2.3	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΚΡΗΞΗΣ.....	28
2.4	ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ TNT .....	28
2.5	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΚΡΗΞΕΩΝ.....	29
<b>3</b>	<b>Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ (STAND-OFF) .....</b>	<b>32</b>
3.1	ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ.....	32
3.2	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΚΡΗΞΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ.....	35
3.3	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ .....	36
3.4	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....	37
<b>4</b>	<b>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....</b>	<b>40</b>
4.1	ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΗ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΜΥΝΑΣ .....	40
4.1.1	ΠΡΩΤΟ ΣΤΡΩΜΑ ΑΜΥΝΑΣ .....	40
4.1.2	ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΡΩΜΑ ΑΜΥΝΑΣ.....	41
4.1.3	ΤΟ ΤΡΙΤΟ ΣΤΡΩΜΑ ΑΜΥΝΑΣ .....	41
4.2	ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΜΥΝΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΧΩΡΟ ΤΟΥ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ .....	42
4.3	ΚΑΛΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....	43
4.3.1	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΡΙΣΚΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ .....	43
4.3.2	ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ .....	43
4.3.3	ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ .....	43
4.3.4	ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ .....	43
4.3.5	ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	43
4.3.6	ΕΠΙΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ.....	43
4.3.7	ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ.....	44

4.4	ΜΙΑ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ.....	44
4.4.1	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ.....	44
4.4.2	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ .....	46
4.4.3	ΦΥΣΙΚΑ ΕΜΠΟΔΙΑ .....	47
4.5	ΠΛΑΓΙΟΚΑΛΥΨΗ-ΕΙΔΗ ΓΥΑΛΙΩΝ .....	48
4.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	50
<b>5</b>	<b>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΕΛΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΕΚΡΗΞΕΩΝ.....</b>	<b>52</b>
5.1	ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ .....	52
5.2	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΙΩΝ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ.....	53
5.2.1	ΑΥΞΗΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ .....	53
5.2.2	ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ.....	54
5.2.3	ΟΡΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ .....	54
5.2.4	ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ .....	54
5.3	ΠΙΝΑΚΕΣ .....	56
<b>6</b>	<b>ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ .....</b>	<b>60</b>
6.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ .....	60
6.2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΩΝ .....	62
6.3	Η ΣΥΛΛΗΨΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΙΔΕΑΣ.....	63
6.4	ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ .....	65
<b>7</b>	<b>ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΚΡΗΞΕΩΝ .....</b>	<b>67</b>
7.1	ΠΡΩΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ- ΜΙΚΡΗ ΜΑΖΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΣΕ ΚΟΝΤΙΝΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ.....	67
7.1.1	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΡΟΠΗ ΕΠΙΘΕΣΗΣ (Σενάριο 1).....	67
7.1.2	ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΕΠΕΙΩΝ (Σεναρίου 1) .....	69
7.1.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ SDOF (Σενάριο 1).....	69
7.1.4	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (Σενάριο 1) ...	74
7.2	ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ-ΜΕΓΑΛΗ ΜΑΖΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΣΕ ΒΑΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΡΑΞΗΣ ...	75
7.2.1	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΡΟΠΗ ΕΠΙΘΕΣΗΣ (Σενάριο 2).....	75
7.2.2	ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΕΠΕΙΩΝ (Σενάριο 2) .....	76
7.2.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ SDOF (Σενάριο 2).....	76
7.2.4	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (Σενάριο 2) ...	78
7.3	ΤΡΙΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ-ΕΚΡΗΞΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ - ΒΟΜΒΑ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ .....	78
7.3.1	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΡΟΠΗ ΕΠΙΘΕΣΗΣ (Σενάριο 3).....	78
7.3.2	ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΕΠΕΙΩΝ (Σενάριο 3) .....	79
7.3.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ SDOF (Σενάριο 3).....	80
7.3.4	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (Σενάριο 3) ...	82
7.4	ΤΕΤΑΡΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ-ΕΚΡΗΞΗ UAS ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ .....	82
7.4.1	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΡΟΠΗ ΕΠΙΘΕΣΗΣ (Σενάριο 4).....	82
7.4.2	ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΕΠΕΙΩΝ (Σενάριο 4) .....	83
7.4.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ SDOF.....	83

7.4.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (Σενάριο 4) ...83

**8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... 85**

**9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 88**

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1. Έκρηξη στο κτίριο Alfred P.Murrah [αναδημοσίευση από FEMA (1996)]: α)Κτίριο Alfred P.Murrah πριν την έκρηξη β) Κτίριο Alfred P. Murrah μετά την έκρηξη γ) Κρατήρας που δημιούργησε η έκρηξη και θέση φορτηγού κατά την έκρηξη δ) Ζημιές που προκλήθηκαν στα γύρω κτίρια.....	18
Εικόνα 1-2. Επίθεση UAS σε Βιομηχανική Εγκατάσταση ηλιέλαιου στο λιμάνι του Μικολαίβ, Ουκρανία [Πηγή: Υπηρεσία Έκτακτης Ανάγκης της Ουκρανίας μέσω του REUTERS]. .....	18
Εικόνα 1-3. Ζημιές γύρω από το λιμάνι της Βηρυτού μετά την έκρηξη [αναδημοσίευση από τους Sivaraman και Varadharajan (2021)]. .....	19
Εικόνα 1-4. Στοιχεία Μεσαιωνικού κάστρου [αναδημοσίευση από FEMA E 155].....	20
Εικόνα 1-5. α) Επιπτώσεις εκρηκτικού κύματος: απώλειες, ρήξη τυμπάνου β) Κλάση drone ανάλογα με το ωφέλιμο φορτίο [3] .....	22
Εικόνα 1-6. Διάγραμμα βάρους διαφορετικών τύπων UAVs, ωφέλιμο φορτίο, χρονική ικανότητα πτήσης. [4].....	23
Εικόνα 3-1. Επίπεδο προστασίας σε σχέση με κιλά εκρηκτικών και απόσταση [Πηγή: APPLIED RESEARCH ASSOCIATES, INC]. .....	33
Εικόνα 3-2. Εκρηκτικά περιβάλλοντα: απόσταση έκρηξης σε σχέση με τραυματισμούς και αστοχία δομικών στοιχείων [αναδημοσίευση από FEMA 453]. .....	34
Εικόνα 4-1. Τα τρία στρώματα άμυνας. [1].....	42
Εικόνα 4-2. Οι γυάλινες επιφάνειες που είναι προσανατολισμένες κάθετα μακριά από τους δρόμους [Πηγή: U.S AIR FORSCE, INSTALLATION PROTECTION GUIDE]. .....	45
Εικόνα 4-3. Εσοχές στο εξωτερικό του κτιρίου όπου οι πιέσεις από έκρηξη μπορούν να αυξηθούν ....	46
Εικόνα 4-4. Τοποθέτηση πορτών εσωτερικά του κτιρίου με απόκλιση [Πηγή: U.S AIR FORSCE, INSTALLATION PROTECTION GUIDE].....	47
Εικόνα 4-5. Δίχτυα επιφάνειας (nets). .....	48
Εικόνα 4-6. Jerseys.....	48
Εικόνα 4-7. Αστυνομικά οχήματα ή κυβερνητικά οχήματα παρατεταγμένα έξω από τη πρεσβεία Ηνωμένων Πολιτειών στην Αθήνα για τη προστασία της πρόσοψης σε μέρες αυξημένου κινδύνου. ...	48
Εικόνα 4-8. Επιδράσεις στις κατασκευές: Αστοχία υαλοπινάκων [αναδημοσίευση από EU Digital Winter School for the protection of public spaces]. .....	49
Εικόνα 5-1. Στοιχεία ισοδύναμου μονοβάθμιου ταλαντωτή για δοκούς .....	57
Εικόνα 5-2. Στοιχεία ισοδύναμου μονοβάθμιου ταλαντωτή για πλάκες. ....	58

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2-1. Διάγραμμα πίεσης – χρόνου εκρηκτικού κύματος συμπυκνωμένης φάσης (κατάρρηξη).....	26
Σχήμα 2-2. Διάγραμμα πίεσης – χρόνου εκρηκτικού κύματος συμπυκνωμένης φάσης με γραμμικοποίηση. .....	26
Σχήμα 2-3. Διάγραμμα πίεσης – χρόνου εκρηκτικού κύματος. ....	27
Σχήμα 2-4. Ανακλώμενη υπερπίεση έναντι της προσπίπτουσας υπερπίεσης. ....	28
Σχήμα 3-1. Σπίτι, δέντρο και σκύλος υποβάλλονται σε εκρηκτικό φορτίο [αναδημοσίευση από Kinney G.F. and Graham K.J. Explosive Shocks in Air, 2nd edition.Springer-Verlag, New York, 1985]. ....	36
Σχήμα 6-1. 3-D Απεικόνιση οικοπέδου, γεωμετρίας κτιρίου Ελληνικής Πρεσβείας και κτιρίων της γύρω περιοχής. ....	60
Σχήμα 6-2. 3-D Απεικόνιση Ελληνικής Πρεσβείας και γύρο κτιρίων. ....	61
Σχήμα 6-3. Νότια πλευρά οικοπέδου. ....	62
Σχήμα 6-4. Δυτική πλευρά οικοπέδου. ....	62
Σχήμα 6-5. Βόρεια πλευρά οικοπέδου. ....	62
Σχήμα 6-6. Ανατολική πλευρά οικοπέδου. ....	62
Σχήμα 6-7. Γενική διάταξη στύλων κάτοψη ισογείου κτιρίου Ελληνικής Πρεσβείας ....	63
Σχήμα 6-8. Τομή εγκάρσια. ....	63
Σχήμα 6-9. Τομή διαμήκης. ....	63
Σχήμα 6-10. 3-D Απεικόνιση του έργου τέχνης. ....	64
Σχήμα 6-11. 3-D Απεικόνιση των αναχωμάτων που έχει φυτευτεί με το δέντρο της Ελιάς. ....	65
Σχήμα 6-12. 3-D Απεικόνιση του Αμπελώνα. ....	65
Σχήμα 7-1. Απόσταση περιφραξής από το κτίριο. ....	68
Σχήμα 7-2. Χαλύβδινη διατομή HEB300. ....	71
Σχήμα 7-3 . Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στύλου στο λογισμικό RCblast, Σενάριο 1, φόρτιση στα 5m. ....	72
Σχήμα 7-4 . Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στύλου στο λογισμικό RCblast, Σενάριο 1, φόρτιση στα 13m. ....	73
Σχήμα 7-5 . Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στύλου στο λογισμικό RCblast, Σενάριο 1, φόρτιση στα 20m. ....	74
Σχήμα 7-6. Διάγραμμα επιπέδου προστασίας ανάλογα με την απόσταση, Σενάριο 1. ....	75
Σχήμα 7-7 . Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στύλου στο λογισμικό RCblast, Σενάριο 2, φόρτιση στα 54m. ....	76

Σχήμα 7-8,. Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στύλου στο λογισμικό RCBlasT, Σενάριο 2, φόρτιση στα 75m .....	77
Σχήμα 7-9. Διάγραμμα επιπέδου προστασίας ανάλογα με την απόσταση, Σενάριο 2. ....	78
Σχήμα 7-10. Απεικόνιση εισόδου οχημάτων. ....	79
Σχήμα 7-11. Περιοχή εντός του οικοπέδου που μπορεί να βρεθεί Όχημα – Βόμβα.....	79
Σχήμα 7-12. Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στύλου στο λογισμικό RCBlasT, Σενάριο 3, φόρτιση στα 25m .....	80
Σχήμα 7-13. Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στύλου στο λογισμικό RCBlasT, Σενάριο 3, φόρτιση στα 36m .....	81
Σχήμα 7-14. Διάγραμμα επιπέδου προστασίας ανάλογα με την απόσταση, Σενάριο 3. ....	82
Σχήμα 7-15. Διάγραμμα επιπέδου προστασίας ανάλογα με την απόσταση, Σενάριο 4. ....	83



# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

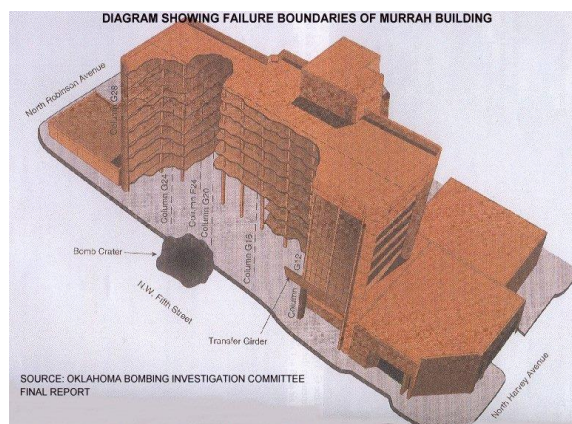
## 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Στις σύγχρονες κοινωνίες ο κίνδυνος να συμβεί μια έκρηξη σε σημείο κρίσιμο για την λειτουργία της κοινωνίας αποτελεί μια μεγάλη ανησυχία διότι συνήθως οδηγεί σε σοβαρές ζημιές και ανθρώπινες απώλειες. Τα εκρηκτικά φορτία που προκαλούνται από εκρήξεις σε εξωτερικούς χώρους φορτίζουν τα κτίρια τυπικά σε μεγάλο πλάτος για μικρό χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να ενεργοποιούν διαφορετικούς μηχανισμούς απόκρισης από τα τυπικά φορτία όπως το χιόνι ο άνεμος ή ο σεισμός και να προκαλούν δομικές αστοχίες. Η απόσταση που συμβαίνει μια πιθανή έκρηξη σε σχέση με το κτίριο - στόχο και τα κιλά εκρηκτικών θα καθορίσουν τις επιπτώσεις της σε αυτό και το κοινωνικό του πλαίσιο. Εκρήξεις μπορούν να προέρχονται είτε από εσκεμμένη χρήση εκρηκτικών από τρομοκράτες είτε από ανθρώπινα λάθη.

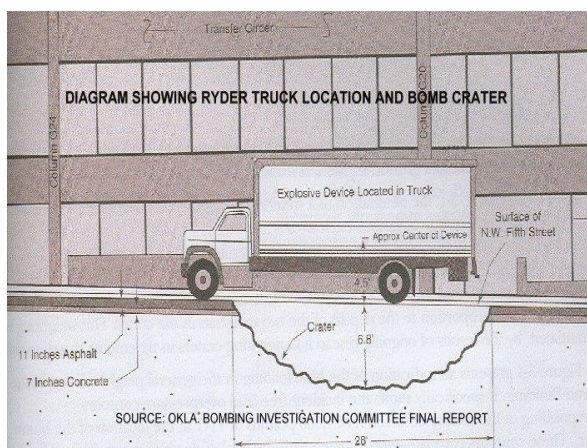
Στην πρώτη κατηγορία εκρήξεων που αναφέρονται σε εσκεμμένη χρήση εκρηκτικών από τρομοκράτες, τρανό παράδειγμα αποτελεί η έκρηξη κοντά στο κτίριο του Alfred P. Murrah Oklahoma City 1995 όπου σε ένα ενοικιαζόμενο φορτηγό τοποθετήθηκαν 1814 κιλά TNT και πυροδοτήθηκε έκρηξη σε απόσταση περίπου 6 μέτρων από το κτίριο η οποία ανατίναξε τη μπροστινή όψη και δημιούργησε προοδευτική κατάρρευση μέρους της δομής του. Οι συνέπειες της έκρηξης δεν περιορίστηκαν στο κτίριο αλλά εξαπλώθηκαν σε σημαντικά μεγάλη ακτίνα όπως φαίνεται στην εικόνα ( ).



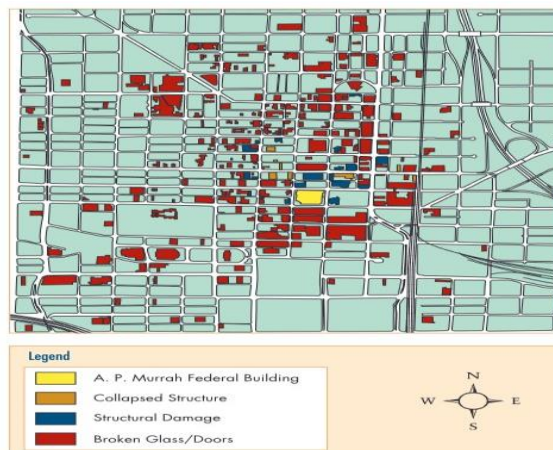
(α)



(β)



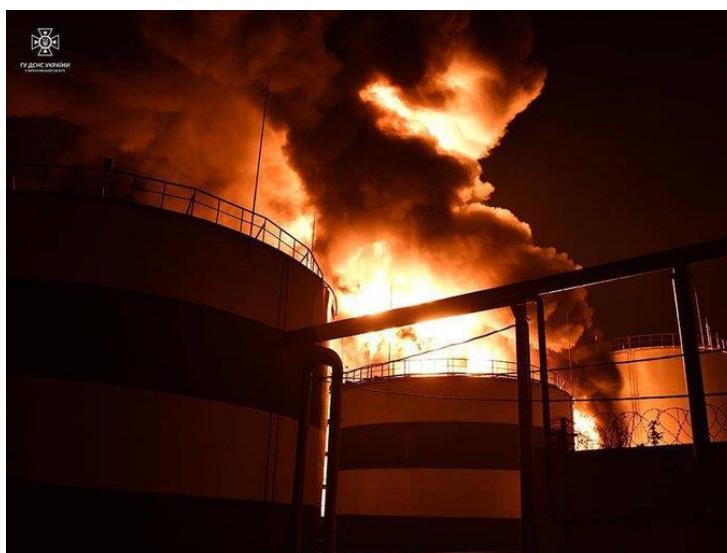
(γ)



(δ)

Εικόνα 1-1. Έκρηξη στο κτίριο Alfred P. Murrah [αναδημοσίευση από FEMA (1996)]: α) Κτίριο Alfred P. Murrah πριν την έκρηξη β) Κτίριο Alfred P. Murrah μετά την έκρηξη γ) Κρατήρας που δημιούργησε η έκρηξη και θέση φορτηγού κατά την έκρηξη δ) Ζημιές που προκλήθηκαν στα γύρω κτίρια.

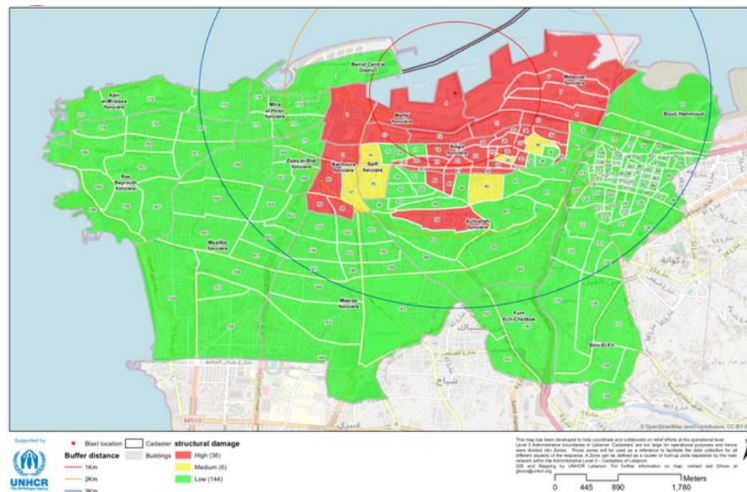
Ένα ακόμη παράδειγμα της πρώτης κατηγορίας αποτελεί η επίθεση εν καιρώ πολέμου που διέπραξε στις 17 Οκτωβρίου του 2022 ο Ρωσικός στρατός ενάντια της Ουκρανίας, όπου στο λιμάνι του Μικολάιβ τρία μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAS) έπληξαν ένα στόχο βιομηχανικής υποδομής και πήραν φωτιά δεξαμενές ηλιέλαιου. Τα εξοπλισμένα με εκρηκτικά UAS κοστίζουν σημαντικά λιγότερο από ένα πύραυλο, μπορούν να μεταφέρουν σημαντική ποσότητα ισχυρών εκρηκτικών και να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στα κτίρια απειλώντας την ανθρώπινη ζωή ενώ ταυτόχρονα μπορεί να τα αγοράσει ο καθένας σε προσιτή τιμή.



Εικόνα 1-2. Επίθεση UAS σε Βιομηχανική Εγκατάσταση ηλιέλαιου στο λιμάνι του Μικολάιβ, Ουκρανία [Πηγή: Υπηρεσία Έκτακτης Ανάγκης της Ουκρανίας μέσω του REUTERS].

Στη δεύτερη κατηγορία εκρήξεων, που έχει προκληθεί από ανθρώπινο λάθος, παράδειγμα αποτελεί η έκρηξη που συνέβη 4 Αυγούστου 2020 στο λιμάνι της Βηρυτού στο Λίβανο. Η έκρηξη σημειώθηκε σε χώρο φύλαξης πυροτεχνημάτων (Sivaraman and Varadharajan, 2021) και στη συνέχεια επεκτάθηκε σε χώρο που ήταν αποθηκευμένοι 2750 τόνοι νιτρικού αμμωνίου όπου δεν είχαν παρθεί τα απαραίτητα μέτρα προστασίας για την φύλαξή του. Η ουσία, που ισοδυναμούσε με 1100000 kg TNT, πυροδοτήθηκε

τελικά από πυρκαγιά. Η έκρηξη που σημειώθηκε ήταν τόσο ογκώδης (Εικόνα 1-3) που έγινε αισθητή ακόμη και στη Κύπρο (που βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από 240 χλμ).

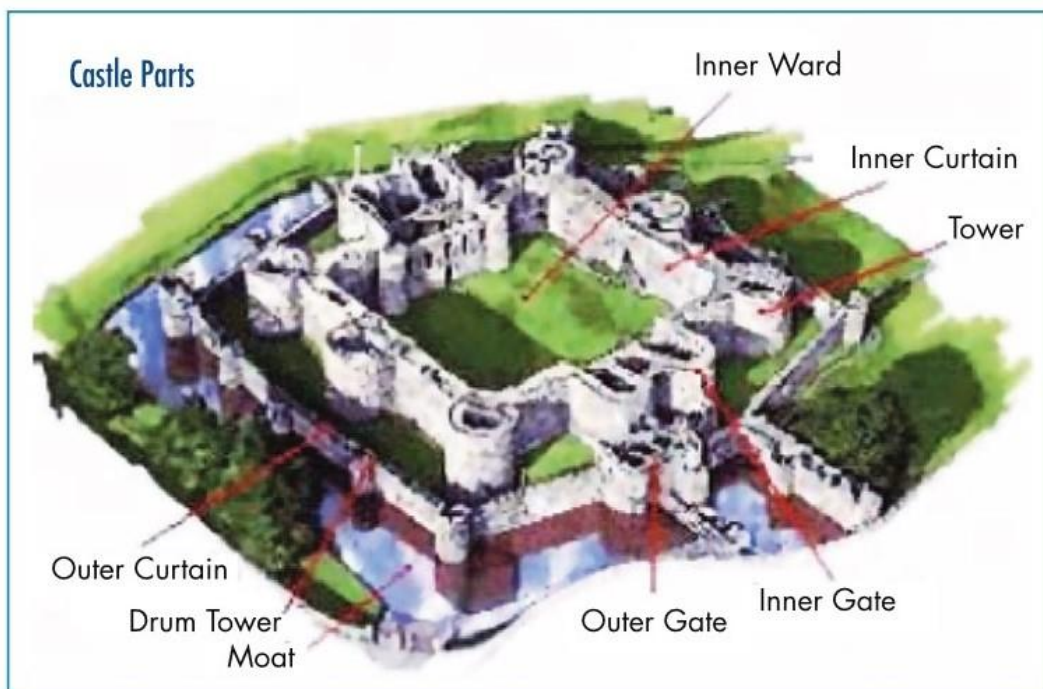


Εικόνα 1-3. Ζημιές γύρω από το λιμάνι της Βηρυτού μετά την έκρηξη [αναδημοσίευση από τους Sivaraman και Varadharajan (2021)].

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο σχεδιασμός των κτιρίων για τη προστασία των ενοίκων από επιθέσεις ξεκινάει τόσο παλιά όσο και η ίδια η ιστορία της Αρχιτεκτονικής. Με την εφεύρεση της πυρίτιδας και τη δημιουργία των πρώτων κανονιών στα χρόνια του Μεσαίωνα οι τοίχοι των κτιρίων έγιναν κοντύτεροι και παχύτεροι για να προστατεύονται από τις μπάλες των κανονιών. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία του προμαχώνα ο οποίος αναπτύχθηκε περύτερα όλο και περισσότερο. Με έναν ευρύ ανοιχτό χώρο μπροστά από την τάφρο, τη κινητή γέφυρα, εσωτερικές και εξωτερικές εισόδους, το ψηλά τείχη με τα μικρά ανοίγματα, τις πολεμίστρες και τους καλά φυλαγμένους πύργους δείχνουν ότι το συγκρότημα στην ώριμη μορφή του πληρεί όλα τα στοιχεία του σημερινού δόγματος των τριών στρωμάτων άμυνας.

Ο σχεδιασμός στρατιωτικών κατασκευών για να αντιστέκονται σε πυρά πυροβολικού ή βομβών είναι μια ειδική κατηγορία μελέτης που δεν εφαρμόζεται συνήθως στις κατασκευές. Ωστόσο ο σχεδιασμός για την ασφάλεια με την έννοια της προστασίας των ενοίκων από εγκληματική συμπεριφορά είναι μια γνώριμη, αν όχι εξέχουσα πτυχή του καθημερινού σχεδιασμού κατασκευών. Για πολλά χρόνια ήταν περιορισμένος στις πόρτες και τα παράθυρα ασφαλείας, στις αστικές περιοχές, αλλά λόγω της εξάπλωσης και της πολυπλοκότητας του καθημερινού εγκλήματος αναπτύχθηκαν και άλλα μέτρα ασφαλείας.



Εικόνα 1-4. Στοιχεία Μεσαιωνικού κάστρου [αναδημοσίευση από FEMA E 155].

Σήμερα η κατασκευή περιφραξης στα οικόπεδα των κατοικιών, οι περιφραγμένες εταιρείες και κυβερνητικές εγκαταστάσεις που επιτρέπουν την είσοδο σε επισκέπτες διεξάγοντας έλεγχο με παρουσία τοπικής αστυνομίας καθώς και οι ραδιοελεγχόμενες πύλες σε ένα πολυτελές διαμέρισμα είναι κοινός τόπος. [1]

### 1.3 ΤΡΟΜΟΚΡΑΤΙΑ

Η τρομοκρατία έχει οριστεί ως η σκόπιμη χρήση βίας για την δημιουργία αίσθησης σοκ, φόβου και αγανάκτησης στο μυαλό ενός πληθυσμιακού στόχου. Πολλοί παράγοντες στο τρόπο που ζούμε τώρα το καθιστούν εύκολα επιτεύξιμο. Πρώτον, οι τρομοκράτες μπορούν να κάνουν χρήση των μέσων ενημέρωσης όσο ποτέ άλλοτε, προκαλώντας αίσθημα τρόμου για το πληθυσμό-στόχο. Η τηλεόραση ειδικότερα δίνει στους τρομοκράτες έναν πολιτικό μοχλό δυσανάλογο σε σχέση με τις άλλες εξουσίες. Δεύτερον, οι αναπτυγμένες κοινωνίες έχουν γίνει πολύ εξαρτημένες από σύνθετα, «εύθραυστα» συστήματα (π.χ. σιδηρόδρομοι, αεροπορικές εταιρείες, αγωγοί αερίου, μεγάλες εμπορικές περιοχές και επιχειρηματικά κέντρα) που είναι ευάλωτα και κρίσιμα για τη λειτουργία της κοινωνίας δίνοντας στον τρομοκράτη πολλούς κατάλληλους στόχους. Τρίτον, οι τρομοκράτες κρύβονται πίσω από το καμουφλάζ της κανονικής καθημερινής ζωής. Αυτό σημαίνει ότι σχεδόν όλα τα αποτελεσματικά μέτρα για τη καταπολέμηση της τρομοκρατίας έχουν σημαντικούς περιορισμούς στις ατομικές ελευθερίες και συχνά οι κυβερνήσεις διστάζουν ή αποφεύγουν να τα επιβάλουν. Αυτό οδηγεί σε πολλά συμπεράσματα: η τρομοκρατία σήμερα είναι πολύ πιο εύκολο να αναπτυχθεί παρά να εξαλειφθεί. Υπάρχουν λίγα απολύτως αποδεκτά αντίδοτα σε αυτό. Ο συνετός σχεδιασμός θα επιτρέψει την αποτροπή της, όπου κι αν είναι εφικτό και οικονομικά προσιτό. [2]

### 1.4 ΚΙΝΔΥΝΟΣ - ΡΙΣΚΟ

Η προστασία δεν είναι απόλυτη έννοια και υπάρχει ένα επίπεδο προστασίας όπου το κόστος της σε σχέση με το κόστος της πιθανής απώλειας είναι σε ισορροπία. Η προστασία δεν μπορεί ποτέ να προσφέρει εγγύηση ασφάλειας. Αντίθετα, η υπερβολική προστασία είναι σπατάλη πόρων όσον αφορά το τι σώζεται. Επιπλέον, οι συνέπειες της απώλειας ποικίλλουν. Κάποια απώλεια είναι σταδιακή, αλλά ορισμένες απώλειες, όπως η ανθρώπινη ζωή, βασικά αρχεία ή ειδικός εξοπλισμός, είναι καταστροφικές. Για αυτούς τους λόγους η προσέγγιση του σχεδιασμού κατά της τρομοκρατίας θα πρέπει να βασίζεται στο κίνδυνο,

αξιολογώντας έναν συνδυασμό του τύπου, την πιθανότητα και τις συνέπειες μιας επίθεσης. Μερικοί κίνδυνοι θα πρέπει να γίνουν δεκτοί, ενώ άλλοι πρέπει να εκτραπούν με κάθε κόστος. [2]

## **1.5 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

Οι επιθέσεις της 11<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου 2001 ήταν μια σειρά τεσσάρων τρομοκρατικών επιθέσεων που έλαβαν χώρα στις Ηνωμένες Πολιτείες από την Ισλαμική Τρομοκρατική Οργάνωση Αλ Κάιντα. Η καταστροφική επίθεση στο βόρειο και νότιο πύργο Παγκοσμίου Εμπορίου καθώς και αυτή του Πενταγώνου (έδρα του Αμερικανικού Στρατού) απέδειξαν πλήρως το κίνδυνο εκρηκτικών επιθέσεων σε μεγάλα κτίρια, με πάνω από 3000 νεκρούς και ζημιές που φτάνουν τα 10 δις δολάρια σε υποδομές και ιδιοκτησίες. Η πρόσκρουση των αεροσκαφών στους Δίδυμους Πύργους κρίθηκε ότι δεν ήταν ο αποφασιστικός παράγοντας για την κατάρρευσή τους. Η ανάφλεξη του καυσίμου που έφεραν τα αεροπλάνα προκάλεσε την ολική κατάρρευση. Αυτή η διαφορά στην απειλή σχεδιασμού και την πραγματική επίθεση απεικονίζει το κρίσιμο της σημασίας δημιουργίας της βάσης Σχεδίου Απειλής, όπως περιγράφεται στη διαδικασία αξιολόγησης κινδύνου. Η φύση του σχεδιασμού, οι συνέπειες στα περιουσιακά στοιχεία και η εύρεση των τρωτών σημείων των κτιρίων οδηγούν στη συνολική εκτίμηση του κινδύνου και την μελέτη εναλλακτικών στρατηγικών για τη προστασία τους.

Η επίθεση στο μέγεθος της καθώς και ο σχεδιασμός της, αποτελεί ένα μοναδικό συμβάν. Ωστόσο η απόφαση να συμπεριληφθεί η πρόσκρουση αεροσκάφους στα κτίρια ως παράμετρος σχεδιασμού θα άλλαζε ριζικά το τρόπο σχεδιασμού, τη χρηστικότητα, τη βιωσιμότητα και το κόστος της κατασκευής. Ένα μεγάλο όπλο της τρομοκρατίας σήμερα αποτελούν οι βόμβες αυτοκίνητα ή φορτηγά, διότι είναι σχετικά απλή η τοποθέτησή τους και μεγάλη η ζημιά που μπορούν να προκαλέσουν. Ενώ τα εμπόδια οχημάτων δεν προστατεύουν από αεροπορική επίθεση, ένας καλός σχεδιασμός εμποδίων για οχήματα μπορεί να μειώσει σημαντικά το αντίκτυπο πιθανής επίθεσης.

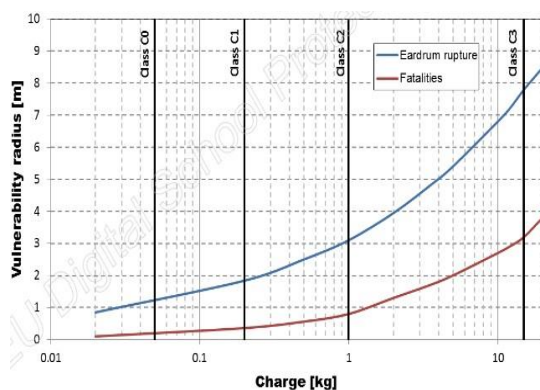
Τα περισσότερα εμπορικά κτίρια είναι στα κέντρα των πόλεων και πολλές φορές η κατασκευή για την οποία γίνεται ο σχεδιασμός ασφαλείας δεν είναι το επίκεντρο της πιθανής επίθεσης. Έτσι μια κατασκευή μπορεί να βρίσκεται κοντά σε έναν ή περισσότερους στόχους υψηλού προφίλ. Στη περίπτωση αυτή υπόκειται ολόκληρος ο χώρος καθώς και παρακείμενα κτίρια σε παράπλευρες επιπτώσεις οι οποίες ποικίλουν σε σοβαρότητα ανάλογα με την εγγύτητα προς το στόχο και το μέγεθος της επίθεσης. Στρατηγικές και μέτρα ασφαλείας έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται από το 1980 όπου έλαβαν χώρα πληθώρα εκρηκτικών επιθέσεων σε πρεσβείες των Ηνωμένων Πολιτειών. Το Υπουργείο Εξωτερικών ΗΠΑ εφάρμοσε τη περιμετρική προστασία των κτιρίων και τον υποχρεωτικό έλεγχο των διερχομένων οχημάτων ώστε να αποτραπεί η προσέγγισή τους σε τρωτά σημεία των κτιρίων μέσα στις εγκαταστάσεις. Παράλληλα διεξάχθηκε εκτενής έρευνα στην αντοχή των κτιρίων σε φορτία εκρήξεων, τη προοδευτική κατάρρευση και τη θραύση κρυστάλλων. Αρμόδιοι από το στρατό δημιούργησαν επίσημες μεθοδολογίες για την αξιολόγηση των κινδύνων, την ευαλωτότητα και το ρίσκο στις κατασκευές. Από την εμπειρία σε παρόμοια συμβάντα και τη μελέτη των επιπτώσεων εκρήξεων σε κτίρια αναγνωρίστηκε η σημαντικότητα της απόστασης μεταξύ κτιρίου και έκρηξης ως κύριος παράγοντας μείωσης του αντίκτυπού της σε αυτά. Έτσι τα μέτρα ελάχιστων αποστάσεων αποτελούν κύριο στοιχείο του σχεδιασμού ασφαλείας και κανονιστική απαίτηση του σχεδιασμού κατασκευών που αξιοποιούνται από Ομοσπονδιακές Κυβερνητικές Υπηρεσίες. Συμπερασματικά ο χώρος που εμπεριέχει το κτίριο-στόχο της επίθεσης, εφόσον υπάρχει, αποτελεί μια μεγάλη αρένα σχεδιασμού ασφαλείας και η οργάνωσή του καθοριστικό παράγοντα για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων εκρηκτικών επιθέσεων στα κτίρια. [1]

## 1.6 Η ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΕΣΗ

Μετά την επίθεση της 11<sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου πολλά μέτρα ασφαλείας εφαρμόστηκαν άμεσα σε σημαντικές κατασκευές. Ένα από τα πιο ευρέως γνωστά εμπόδια ασφαλείας αποτελεί το Jersey Barrier. Χρησιμοποιείται για τη περιμετρική ασφάλεια του χώρου και αποτρέπει μη εξουσιοδοτημένα οχήματα ή πεζούς να εισέλθουν σε προστατευόμενες εγκαταστάσεις, δρόμους και πλατείες. Η λανθασμένη τοποθέτησή του μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη ποιότητα και το χαρακτήρα του δημοσίου χώρου μειώνοντας σημαντικά την αίσθηση προσβασιμότητας. Ο σχεδιασμός ασφαλείας με κέντρο το κτίριο μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στη λειτουργικότητα και την αισθητική του περιβάλλοντα χώρου. Έτσι η εξισορρόπηση των μέτρων ασφαλείας και της λειτουργικότητας είναι το επίκεντρο του αστικού σχεδιασμού. Με έναυσμα αυτά τα προβλήματα το National Capital Planning Commition (NCPC) που αποτελεί τη κυβερνητική υπηρεσία σχεδιασμού περιοχών στα κέντρα των πόλεων συγκάλεσε ειδική ομάδα για να αναγνωρίσει και να αναλύσει τις συνέπειες του σχεδιασμού ασφαλείας κτιρίων, συμπεριλαμβανομένου του κλεισίματος οδών και πεζοδρομιών στην εύρυθμη λειτουργία των πόλεων. Κύριος σκοπός αυτού του σχεδίου είναι η αποκατάσταση της ομορφιάς των αστικών περιοχών και η ενσωμάτωση της περιμετρικής ασφάλειας σε ένα ελκυστικό οδικό τοπίο με το συντονισμό του σχεδιασμού και της εγκατάστασης εμποδίων ασφαλείας. [1]

## 1.7 ΒΟΜΒΙΣΤΙΚΕΣ ΕΠΙΘΕΣΕΙΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ DRONE

Τα drones, γνωστά και ως μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAS), έχουν γίνει όλο και πιο συνηθισμένα τόσο στον εμπορικό όσο και στο στρατιωτικό τομέα τα τελευταία 15 χρόνια. Σήμερα, τα drones είναι ευρέως διαθέσιμα για αγορά από καταστήματα λιανικής ή online από το ευρύ κοινό σχεδόν παντού στον κόσμο. Ο τύπος, η απόδοση, η διαθεσιμότητα και η οικονομική προσιτότητα των εμπορικών drones αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς, ενισχύοντας τους πιθανούς κινδύνους. Εκτός από την ευκολία και τη χαμηλότερη τιμή αγοράς, τα drones συνεχίζουν να βελτιώνουν τις δυνατότητές τους, να επεκτείνουν την περιοχή πτήσης τους, την ταχύτητα πτήσης τους καθώς και τα κιλά εκρηκτικών που μπορούν να μεταφέρουν. Τα περισσότερα κτίρια σήμερα σχεδιάζονται για να αντέχουν σε έκρηξη από οχήματα ή άτομα σε επίπεδο δρόμου ή σε χαμηλότερα επίπεδα του κτιρίου, ωστόσο ένα φορτίο βάρους 5-10kg (ή ακόμα και μικρότερο) μπορεί να προκαλέσει σοβαρές τοπικές ζημιές και απώλεια ανθρώπινων ζώων εάν εκραγεί κοντά σε ένα τζάμι τοίχου ή παράθυρο. Οι σχεδιαστές σημαντικών κτιρίων είναι θεμιτό να λάβουν υπόψιν τις εκρήξεις σε υψόμετρο και να λαμβάνουν μέτρα ασφαλείας για αυτές, διότι αποτελούν μια βασική απειλή για τις κατασκευές και τους ενοίκους.

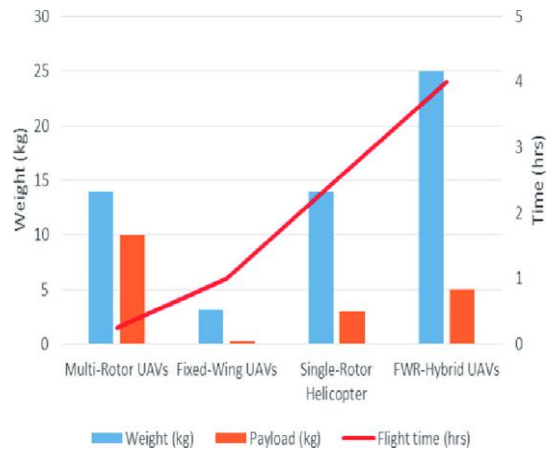


(α)

UAS Class	MTOM [kg]	Max. payload [kg]
C0	0.25	0.05
C1	0.90	0.20
C2	4.00	1.00
C3	25.00	15.00

(β)

Εικόνα 1-5. α) Επιπτώσεις εκρηκτικού κύματος: απώλειες, ρήξη τυμπάνου β) Κλάση drone ανάλογα με το ωφέλιμο φορτίο [3]



Εικόνα 1-6. Διάγραμμα βάρους διαφορετικών τύπων UAVs, ωφέλιμο φορτίο, χρονική ικανότητα πτήσης. [4]





## 2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΚΡΗΞΕΩΝ

### 2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΚΡΗΞΕΩΝ

Για τη καλύτερη κατανόηση του φαινομένου παρουσιάζεται η βασικότερη κατηγοριοποίηση των εκρήξεων. Οι εκρήξεις διακρίνονται σε:

- Φυσικές εκρήξεις, όπως η έκρηξη ηφαιστείου.
- Πυρηνικές εκρήξεις, όπως η έκρηξη ατομικής βόμβας.
- Χημικές εκρήξεις, όπως η έκρηξη με τη χρήση δυναμίτη.
- Ηλεκτρικές εκρήξεις, όπως η έκρηξη ηλεκτρικού τόξου.
- Μηχανικές εκρήξεις, όπως η έκρηξη από διάρρηξη δοχείου πίεσης

Οι αναφορές συμβάντων έκρηξης σε αυτό το κείμενο αφορούν τις χημικές εκρήξεις που προκαλούνται από ισχυρά εκρηκτικά. Οι φυσικές και πυρηνικές εκρήξεις υπερβαίνουν την κλίμακα συνεπειών σε ένα κτίριο και οι ηλεκτρικές και μηχανικές αντιμετωπίζονται με τα μέτρα προστασίας που παρουσιάζονται για τις χημικές εκρήξεις.

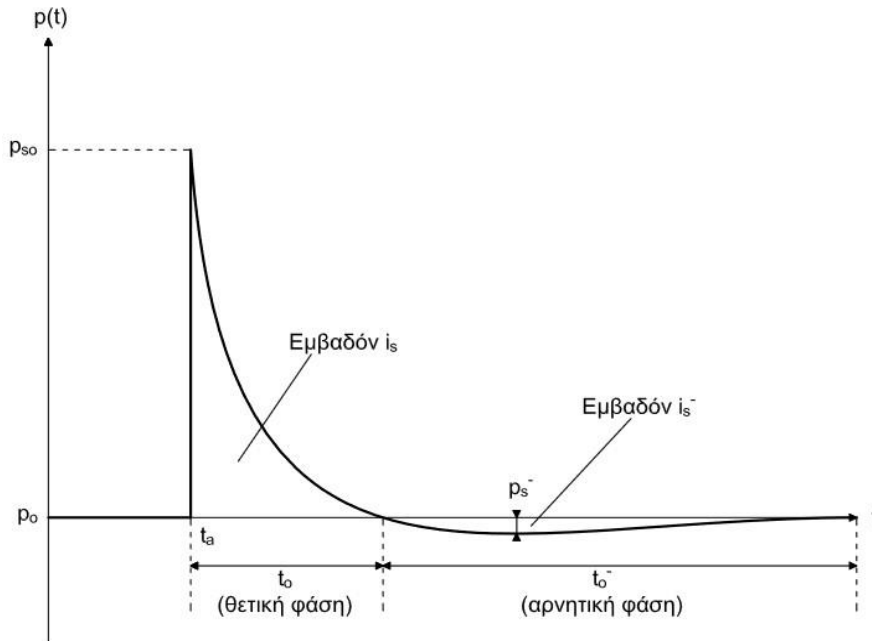
#### 2.1.1 ΚΥΜΑΤΑ ΕΚΡΗΞΗΣ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ ΑΠΟ ΙΣΧΥΡΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΑ (Detonation)

Όταν εκκινείται ένα συμπυκνωμένο ισχυρό εκρηκτικό, η αντίδραση έκρηξης αρχικά παράγει θερμό αέριο (τα προϊόντα της έκρηξης), πίεση 10-30 GPa και σε θερμοκρασία περίπου 3000-4000°C. Μια βίαιη διαστολή αυτών των αερίων προϊόντων συμβαίνει και ο περιβάλλοντας αέρας αναγκάζεται να βγει από τον όγκο που καταλαμβάνει. Κατά συνέπεια το στρώμα του αέρα που περιβάλλει τα αέρια προϊόντα συμπιέζεται και αυτό το στρώμα, το κύμα έκρηξης περιέχει ως ενέργεια πίεσης το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που απελευθερώνεται από την έκρηξη. Εφόσον δημιουργείται έτσι μια ανισορροπία μεταξύ του υψηλά πεπιεσμένου αέρα στο κύμα έκρηξης και του αδιατάρακτου αέρα μπροστά από αυτό, το κύμα έκρηξης ταξιδεύει προς τα έξω από το κέντρο της έκρηξης. Η συνολική ενέργεια στο σύστημα είναι πλέον σταθερή επειδή το εκρηκτικό έχει πλέον εκραγεί πλήρως και η πίεση στο μέτωπο του κύματος της έκρηξης μειώνεται καθώς το μέτωπο κύματος ταξιδεύει πιο μακριά από την πηγή έκρηξης. Η ορμή του αερίου προκαλεί την υπερβολική διαστολή του, με αποτέλεσμα η πίεση στην ουρά του κύματος έκρηξης να πέφτει κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση. Αυτό δημιουργεί μια αρνητική φάση όπου εφαρμόζεται μια επιβραδυντική δύναμη στα γύρω μόρια αερίου, με αποτέλεσμα την αντιστροφή της ροής πίσω προς στο κέντρο έκρηξης. Τελικά η ισορροπία αποκαθίσταται. Ένα τυπικό προφίλ πίεσης-χρόνου σε ένα σταθερό σημείο για ένα ωστικό κύμα στον ελεύθερο αέρα φαίνεται στο . Η μέγιστη πίεση στην αρνητική φάση είναι σχετικά μικρή σε σχέση με τη μέγιστη πίεση στη θετική φάση. [2]

Για την εξαγωγή της πίεσης σε σχέση με το χρόνο ο Friedlander πρότεινε την εξής σχέση:

$$p(t) = p_s \cdot \left[ 1 - \frac{t}{t_0} \right] \cdot \exp \left\{ -\frac{b \cdot t}{t_0} \right\} \quad (2-1)$$

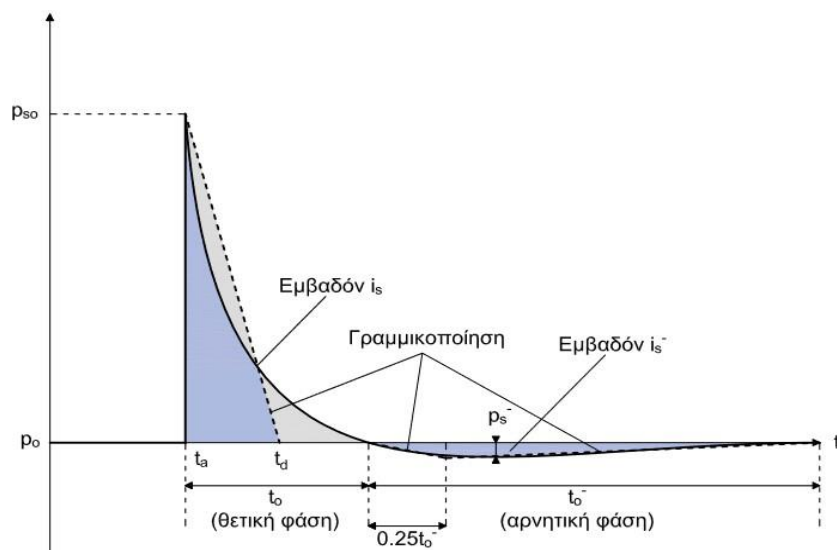
b: Παράμετρος σχήματος του κύματος



Σχήμα 2-1. Διάγραμμα πίεσης – χρόνου εκρηκτικού κύματος συμπυκνωμένης φάσης (κατάρρηξη).

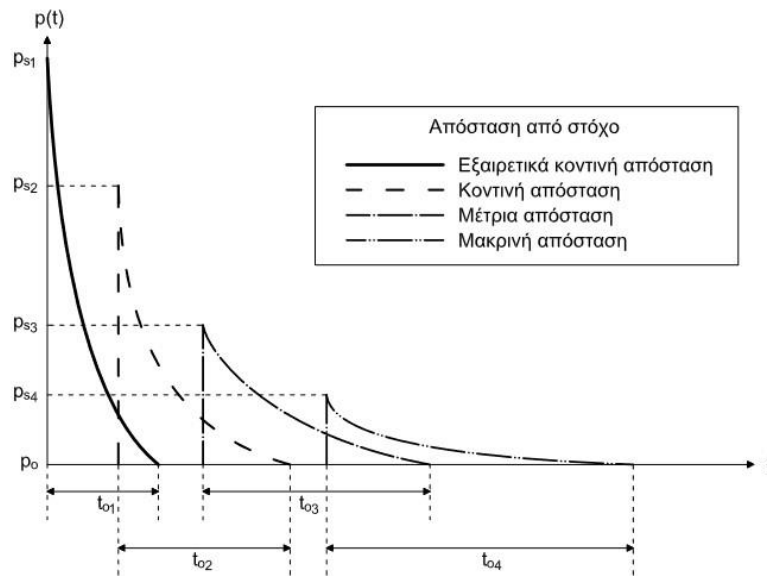
Πολλές φορές γίνεται για λόγους ευχρηστίας γραμμικοποίηση της σχέσης καθιστώντας τη διάρκεια πλέον της θετικής φάσης ως  $t_d$ . Η γραμμικοποίηση προκύπτει από τη διατήρηση της ίδιας ώθησης, δηλαδή του ίδιου εμβαδού της θετικής φάσης. Άρα:

$$T_d = \frac{2 \cdot i_s}{p_s} \quad (2-2)$$



Σχήμα 2-2. Διάγραμμα πίεσης – χρόνου εκρηκτικού κύματος συμπυκνωμένης φάσης με γραμμικοποίηση.

Σημαντικό ρόλο παίζει, επίσης, η απόσταση από το στόχο (Stand-off) η οποία καθορίζει σημαντικά το φορτίο που δέχεται η υπόψιν κατασκευή.

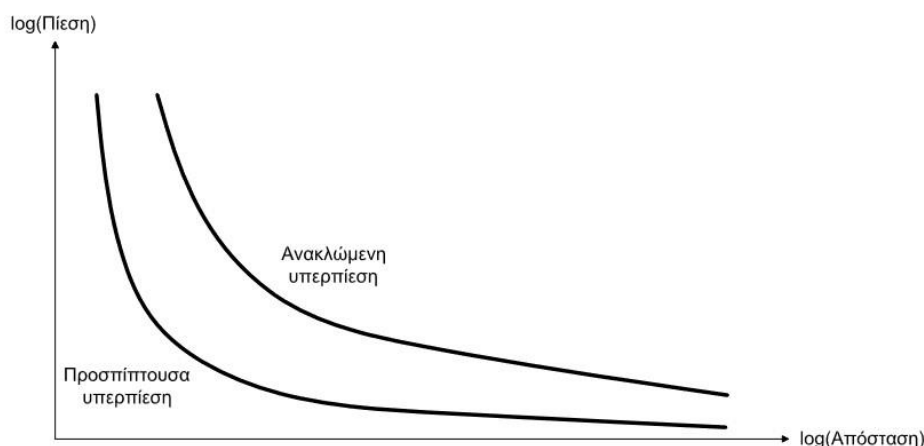


Σχήμα 2-3. Διάγραμμα πίεσης – χρόνου εκρηκτικού κύματος.

## 2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

Τα διαγράμματα Πίεσης – Χρόνου αφορούν ένα αντικείμενο το οποίο βρίσκεται στο δρόμο του εκρηκτικού κύματος αλλά δεν έχει τη δυνατότητα να το επηρεάσει. Δέχεται ενέργεια από το εκρηκτικό κύμα υπό τη μορφή της ενέργειας πίεσης. Η πίεση που δέχεται ονομάζεται προσπίπτουσα υπερπίεση  $p_s$ . Γενικότερα, όμως, όταν το εκρηκτικό κύμα συναντήσει μια στερεή επιφάνεια, τότε ανακλάται ή και υπόκειται σε περιθλαση γύρω της (ανάλογα με το μέγεθος της επιφάνειας). Απλούστερη μορφή ενός τέτοιου παραδείγματος αποτελεί μια απείρως μεγάλη, στιβαρή επιφάνεια, προκαλώντας ολική ανάκλαση (όπως το έδαφος σε μια έκρηξη σε ελεύθερο περιβάλλον ή ένα τεράστιο κτίριο). Κατά την ανάκλαση, δημιουργείται τοπικά μια ζώνη περαιτέρω πίεσης στην οποία η επιφάνεια προκαλεί τα μόρια του αέρα να αποκτήσουν αντίθετη ορμή. Η αλλαγή της ορμής αυξάνει τοπικά τη πίεση και τη φτάνει πάνω από τα επίπεδα της προσπίπτουσας πίεσης. Η πίεση αυτή ονομάζεται μέγιστη ανακλώμενη υπερπίεση  $p_r$ .

Η μέγιστη πίεση βρίσκεται στο μέτωπο του εκρηκτικού κύματος και ονομάζεται μέγιστη προσπίπτουσα υπερπίεση  $p_{s0}$ , ενώ υπάρχει και η μέγιστη δυναμική υπερπίεση  $q_s$  η οποία αφορά τη πίεση που ασκείται σε ένα αντικείμενο λόγω της ταχύτητας του αέρα που το προσπερνά. Η ανακλώμενη υπερπίεση είναι πάντα μεγαλύτερη της προσπίπτουσας υπερπίεσης.



Σχήμα 2-4. Ανακλώμενη υπερπίεση έναντι της προσπίπτουσας υπερπίεσης.

### 2.3 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΚΡΗΞΗΣ

Η ταχύτητα έκρηξης (Velocity of Detonation- VOD) αναφέρεται στη ταχύτητα με την οποία ένα κύμα έκρηξης διαδίδεται μέσα από μια στήλη εκρηκτικού υλικού. Αντιπροσωπεί το ρυθμό με τον οποίο συμβαίνει η χημική αντίδραση σε μια εκρηκτική στήλη, οδηγώντας στην απελευθέρωση μεγάλης ποσότητας ενέργειας σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Η ταχύτητα της έκρηξης επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες:

- Τη χημική σύνθεση του εκρηκτικού
- Τη πυκνότητα γόμωσης
- Τη διάμετρο γόμωσης
- Τη Κοκκομετρία εκρηκτικής ύλης
- Τις συνθήκες εγκλεισμού.
- Τη συσκευασία της εκρηκτικής ύλης
- Τη θερμοκρασία
- Το χρόνο αποθήκευσης της εκρηκτικής ύλης
- Το περιβάλλον διαμετρήματος
- Το μήκος διαμετρήματος
- Το χρόνο αναμεσά στη γόμωση και την έναυση
- Τη διαδικασία έναυσης

Τα διαφορετικά εκρηκτικά έχουν διαφορετικές ταχύτητες έκρηξης, οι οποίες μπορεί να κυμαίνονται από μερικές χιλιάδες μέτρα ανά δευτερόλεπτο έως πάνω από 9.000 μέτρα ανά δευτερόλεπτο.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ταχύτητα έκρηξης διαφέρει από την ταχύτητα του ήχου στο εκρηκτικό υλικό. Η ταχύτητα του ήχου αντιπροσωπεί τη ταχύτητα με την οποία ένα κύμα πίεσης ταξιδεύει μέσα από ένα μέσο, ενώ η ταχύτητα έκρηξης αναφέρεται συγκεκριμένα στη διάδοση του κύματος έκρηξης.

### 2.4 ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ TNT

Υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση στην αποτελεσματικότητα των διαφορετικών εκρηκτικών. Η διαφορά στην απόδοση μπορεί να οφείλεται στη χημεία ή στη διαδικασία παραγωγής τους. Το τελευταίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα αυτοσχέδια εκρηκτικά, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί συχνά από τρομοκράτες. Είναι βολικό να συγκρίνουμε τη σχετική αποτελεσματικότητα ενός εκρηκτικού με ένα εκρηκτικό αναφοράς. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το TNT (Tri-nitro-toluene) και συγκρίνεται η

εκρηκτική μάζα κάποιου εκρηκτικού με την μάζα TNT που απαιτείται για το ίδιο αποτέλεσμα. Συνεπώς, μια φόρτιση μπορεί να οριστεί ως ισοδύναμη με ένα συγκεκριμένο μέγεθος εκρηκτικής ύλης TNT σε κιλά.

Ένα εκρηκτικό μπορεί επίσης να οριστεί ως έχον ισοδύναμη TNT, η οποία είναι ένας λόγος της επίδρασης του. Εάν ο λόγος ισοδυναμίας είναι μεγαλύτερος από τη μονάδα, τότε το εκρηκτικό είναι ισχυρότερο από το TNT. Να σημειωθεί ότι η ισοδυναμία του TNT μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την επίδραση που λαμβάνεται υπόψη, συνήθως αυτές είναι η μέγιστη πίεση ή η ώθηση, ενώ συχνά χρησιμοποιείται μια μέση τιμή. Ο Πίνακας B-1 (ISO 16933) και ο Πίνακας 2.6 στο (Conrath, et al.) και (Maienschein, 2002) παρέχουν ισοδυναμίες TNT για εκρηκτικά που χρησιμοποιούνται συνήθως. Το πεδίο έκρηξης κοντά στο φορτίο επηρεάζεται σημαντικά από το σχήμα του φορτίου. Για να εξασφαλιστεί ότι η διάδοση του κύματος έκρηξης είναι συνεπής, τα υπέργεια φορτία θα πρέπει να είναι σφαιρικά για να ξεκινήσουν σφαιρική διάδοση. Ομοίως τα φορτία στο έδαφος πρέπει να είναι ημισφαιρικά.

## 2.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΚΡΗΞΕΩΝ

Υπάρχουν διάφορα είδη εκρηκτικών όπως αυτά του εμπορίου, τα στρατιωτικά, τα αυτοσχέδια, τα χημικά και αυτά που αποτελούνται από αναμειγξίς καυσίμων με οξυγόνο. Σε μια έκρηξη αυτοσχέδιου εκρηκτικού μηχανισμού (IED) ο τρομοκράτης πυροδοτεί έναν πυροκροτητή που περιέχει ένα ευαίσθητο πρωτεύον εκρηκτικό, το οποίο παράγει ένα κρουστικό κύμα που ταξιδεύει με υπερηχητική ταχύτητα προκαλώντας μια πολύ γρήγορη και σταθερή χημική αντίδραση. Η ταχύτητα είναι γνωστή ως ταχύτητα έκρηξης και μπορεί να είναι φτάσει ως τα 8000 m/s για στρατιωτικά εκρηκτικά. Το κύμα έκρηξης μετατρέπει το εκρηκτικό σε πολύ καυτά αέρια υψηλής πίεσης που προκαλούν κρουστικό μέτωπο στον αέρα και διαστέλλονται για να υποστηρίξουν το κύμα έκρηξης. Υπάρχει μια σειρά από επιπτώσεις που προκαλούνται από την έκρηξη υψηλών εκρηκτικών. Αυτά είναι:

**Θραύση (Brisance).** Εάν ένα IED πυροδοτηθεί σε επαφή ή πολύ κοντά σε έναν στόχο, το κύμα υψηλής ταχύτητας από το εκρηκτικό θα ταξιδέψει απευθείας στο στόχο, δημιουργώντας θρυμματισμό. Η σοβαρότητα αυτού του αποτελέσματος εξαρτάται από τη ταχύτητα έκρηξης του εκρηκτικού, η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη στα στρατιωτικά εκρηκτικά.

**Μπάλα φωτιάς (Fire-Ball).** Τα αέρια υψηλής θερμοκρασίας που προκύπτουν από την έκρηξη σχηματίζουν μια μπάλα φωτιάς, που θα διαρκέσει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα παράγοντας θερμότητα και μπορεί να προκαλέσει ζημιά λόγω θερμότητας ή πυρκαγιές κοντά στην έκρηξη.

**Ριπή ανέμου (Gust of wind).** Όπως σημειώθηκε παραπάνω, ένα κύμα έκρηξης προκαλείται από τη μετάδοση του ωστικού κύματος από το εκρηκτικό στον αέρα και την επακόλουθη διαστολή των αερίων. Είναι ο κύριος τρόπος με τον οποίο εφαρμόζονται τα φορτία της έκρηξης στις κατασκευές.

Εάν μια έκρηξη λάβει χώρα σε ανοιχτό χώρο και κοντά στο έδαφος, το ωστικό κύμα θα επεκταθεί ημισφαιρικά. Για εσωτερικές εκρήξεις το κρουστικό κύμα θα αντανακλάται από τους τοίχους, το δάπεδο και την οροφή. Αυτό συμβαίνει επανειλημμένα με μειωμένη ένταση, δημιουργώντας ένα πολύπλοκο πεδίο πίεσης. Αν δεν υπάρχουν ανοίγματα που επιτρέπουν στα αέρια να διαφύγουν, τελικά τα αέρια θα φτάσουν σε μια σταθερή πίεση γνωστή ως οιονεί στατική πίεση (QSP).

**Κύμα στο έδαφος.** Εάν ένα IED πυροδοτηθεί κοντά στο έδαφος ή σε ένα οδόστρωμα, η έκρηξη θα προκαλέσει κρατήρα. Το ωστικό κύμα που προκαλεί το σχηματισμό του κρατήρα θα συνεχίσει μέσω του εδάφους και είναι γνωστό Ground shock.

**Τα πρωτεύοντα θραύσματα (Primary Fragments)** είναι μέρη του IED που οδηγούνται με υψηλή ταχύτητα από το εκρηκτικό αποτέλεσμα. Αυτά μπορεί να είναι μέρη του δοχείου (π.χ. το όχημα) ή θραύσματα που προστέθηκαν σκόπιμα.

**Τα δευτερεύοντα θραύσματα (Secondary Fragments)** είναι αντικείμενα εξωτερικά του IED που προωθούνται από το κύμα της έκρηξης και τις υψηλές πιέσεις αερίων. Τέτοια αντικείμενα μπορεί να είναι είτε οικοδομικά συντρίμια που προκαλούνται από την έκρηξη ή αλλά αντικείμενα, όπως χαλίκι.

Δεν είναι συνετό να σχεδιαστεί το γυαλί ώστε να αντιστέκεται στη θραύση που προκαλείται από έκρηξη επαφής, ωστόσο η μπάλα φωτιάς και το κύμα του εδάφους δεν είναι πιθανό να το επηρεάσουν.

Σε σχετικά κοντινές αποστάσεις θα υπάρχει συνδυασμένη επίδραση φορτίων έκρηξης και πρόσκρουσης από τα πρωτεύοντα θραύσματα.

Δεδομένα για πρωτεύοντα θραύσματα από IED που μεταφέρονται από προσωπικό (PBIED ή IEDs) που μεταφέρονται από οχήματα (VBIED) μπορούν να αξιοποιηθούν. Θα ήταν δυνατό να αναπτυχθούν αντιπροσωπευτικά θραύσματα και να πραγματοποιηθούν βαλλιστικές δοκιμές ακολουθώντας παρόμοιες διαδικασίες δοκιμών με εκείνες για γυαλί ανθεκτικό στις σφαίρες EN 1063.



## 3 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ (STAND-OFF)

### 3.1 ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

Η απόσταση μεταξύ κτιρίου και έκρηξης είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες στο καθορισμό της έκτασης της ζημιάς για ένα όπλο δεδομένου μεγέθους. Αυτό συμβαίνει επειδή όπως σημειώθηκε παραπάνω η φόρτιση έκρηξης φθίνει γρήγορα με την απόσταση. Γενικά, εάν η απόσταση διπλασιαστεί, η φόρτιση μειώνεται με συντελεστή 3 έως 8, με βάση την απόσταση από το κτίριο και το ισοδύναμο βάρος TNT, με τη μικρότερη μείωση να ισχύει για μικρότερες αποστάσεις.

Οι εικόνες 2-5, 2-6 και ο Πίνακας 2-1 απεικονίζουν την επιρροή της απόστασης στις ζημιές κτιρίων και τα θύματα. Αυτά τα γραφήματα παρέχουν μόνο μια ένδειξη των επιπτώσεων, οι οποίες θα ποικίλλουν σημαντικά ανάλογα με το είδος κατασκευής, την ηλικία και ποιότητα του κτιρίου, τη θέση και τη διαμόρφωσή του.

Η εικόνα 2-5 αντιπροσωπεύει το επίπεδο προστασίας που παρέχεται από μια συμβατική κατασκευή σε μια δεδομένη απόσταση από την έκρηξη. Οι πράσινες μπάρες στο σχήμα δείχνουν ότι δεν παρέχεται κάποια ουσιαστική προστασία από την επιρροή της έκρηξης στο κτίριο σε τόσο μικρές αποστάσεις.

Η μπλε μπάρα υποδεικνύει χαμηλό επίπεδο προστασίας. Σε αυτές τις αποστάσεις, ένα συμβατικά κατασκευασμένο κτίριο συνήθως θα υποστεί μέτρια έως βαριά βλάβη. Οι ένοικοι της εκτεθειμένης κατασκευής ενδέχεται να υποστούν προσωρινή απώλεια ακοής και τραυματισμούς από τη δύναμη του κύματος έκρηξης και τη θραύση κτιριακών συντριμμίων. Δομικά στοιχεία και περιεχόμενα ενδέχεται να υποστούν ζημιά.

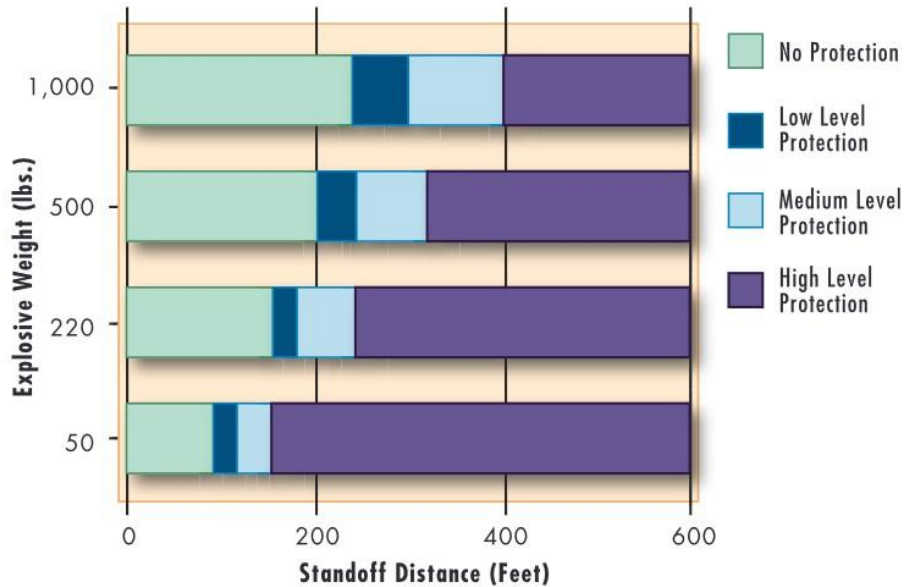
Η απαλή μπλε μπάρα υποδεικνύει ένα μεσαίο επίπεδο προστασίας. Σε αυτές τις αποστάσεις τα κτίρια που κατασκευάζονται συμβατικά θα υποστούν γενικά ελαφριά ως μέτρια ζημιά. Οι ένοικοι των εκτεθειμένων κατασκευών ενδέχεται να υποφέρουν ελαφρά από δευτερογενείς επιπτώσεις προκαλούμενες από οικοδομικά συντρίμια.

Η μωβ μπάρα υποδηλώνει υψηλό επίπεδο προστασίας. Σε αυτές τις αποστάσεις, τα κτίρια που κατασκευάζονται συμβατικά θα υποστούν γενικά μικρές ζημιές. Τα ιπτάμενα συντρίμια μπορεί επίσης να προκαλέσουν επιφανειακούς τραυματισμούς και μικρές ζημιές σε δομικά στοιχεία και περιεχόμενα.

Σημειώστε ότι για 500-lbs βόμβα (που μεταφέρεται με αυτοκίνητο ή ελαφρύ φορτηγό) για να υπάρχει χαμηλό επίπεδο προστασίας χρειάζεται απόσταση τουλάχιστον 200 ποδιών.



Για 50 lbs βόμβα (βαλίτσα ή βομβιστής αυτοκτονίας) το χαμηλό επίπεδο προστασίας ξεκινά περίπου στα 80 πόδια.

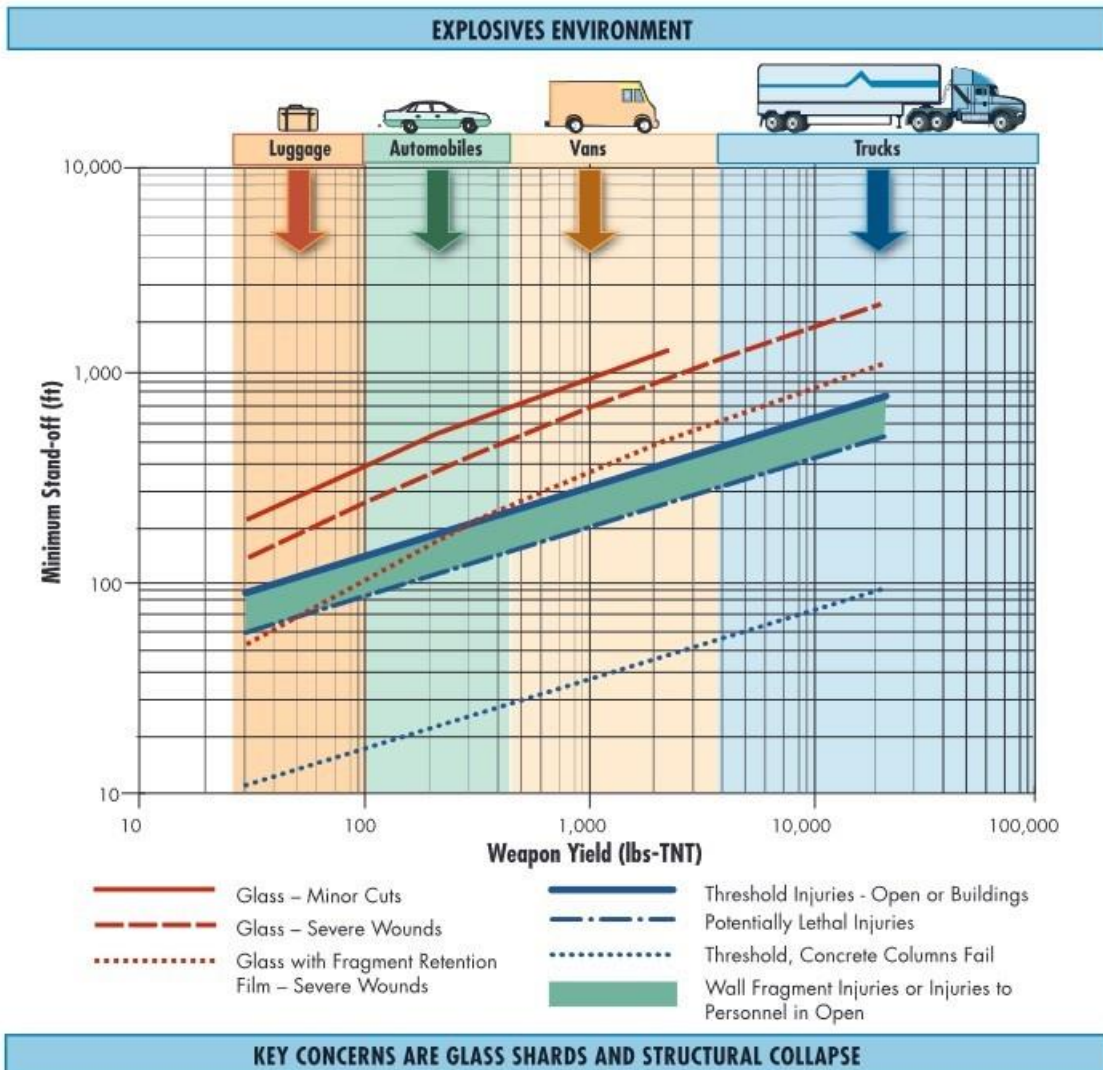


Εικόνα 3-1. Επίπεδο προστασίας σε σχέση με κιλά εκρηκτικών και απόσταση [Πηγή: APPLIED RESEARCH ASSOCIATES, INC].

Τα όρια μεταξύ διαφορετικών τύπων τραυματισμών που σχετίζονται με ζημιές από θραύσματα τοίχου και υαλοπίνακες απεικονίζονται στην Εικόνα 3-2. Αυτό το διάγραμμα ελάχιστης απόστασης-επιπτώσεων δείχνει μια γενική αλληλεπίδραση μεταξύ του βάρους της εκρηκτικής απειλής και της απόστασής της από ένα κτίριο-στόχο. Αυτά τα γενικά διαγράμματα, για συμβατικές κατασκευές, παρέχουν πληροφορίες στις αστυνομικές αρχές για να λάβουν ασφαλείς αποστάσεις εκκένωσης εάν υπάρχει υποψία ή εντοπισμός εκρηκτικού μηχανισμού.

Βάσει των πληροφοριών από το διάγραμμα οι κίνδυνοι από τα θραύσματα των υαλοπινάκων σχετίζονται με την απόσταση σε ορούς εκατοντάδων ποδιών ενώ οι αστοχίες σε κολώνες ή δομικά στοιχεία σε απόσταση δεκάδων ποδιών.

Σημειώστε επίσης από την επιθεώρηση της Εικόνα 3-2, ότι το κατώφλι δυνητικά θανατηφόρων τραυματισμών από 50-λίβρες βόμβα είναι περίπου 70-75 πόδια, απόσταση πολύ μεγαλύτερη από τη διαθέσιμη σε τυπικά αστικά περιβάλλοντα.



Εικόνα 3-2. Εκρηκτικά περιβάλλοντα: απόσταση έκρηξης σε σχέση με τραυματισμούς και αστοχία δομικών στοιχείων [αναδημοσίευση από FEMA 453].

Το διάγραμμα επικεντρώνεται στις δύο κύριες ανησυχίες κατά τη διάρκεια εκρηκτικής έκρηξης: τραυματισμοί από γυαλί και σταδιακή κατάρρευση του κτιρίου. Στις περισσότερες, αλλά όχι σε όλες, τις περιπτώσεις, το γυαλί αποτελεί το ασθενέστερο στοιχείο του εξωτερικού περιβλήματος του κτιρίου. Αντιθέτως, οι στύλοι, είτε από σκυρόδεμα είτε από χάλυβα, συνήθως αποτελούν τα ισχυρότερα στοιχεία του εξωτερικού περιβλήματος του κτιρίου. (Ένας λειτουργικός κανόνας είναι ότι οι στύλοι από χάλυβα απαιτούν περίπου διπλάσια απόσταση από τους στύλους από σκυρόδεμα για την ίδια εκρηκτική δύναμη.)

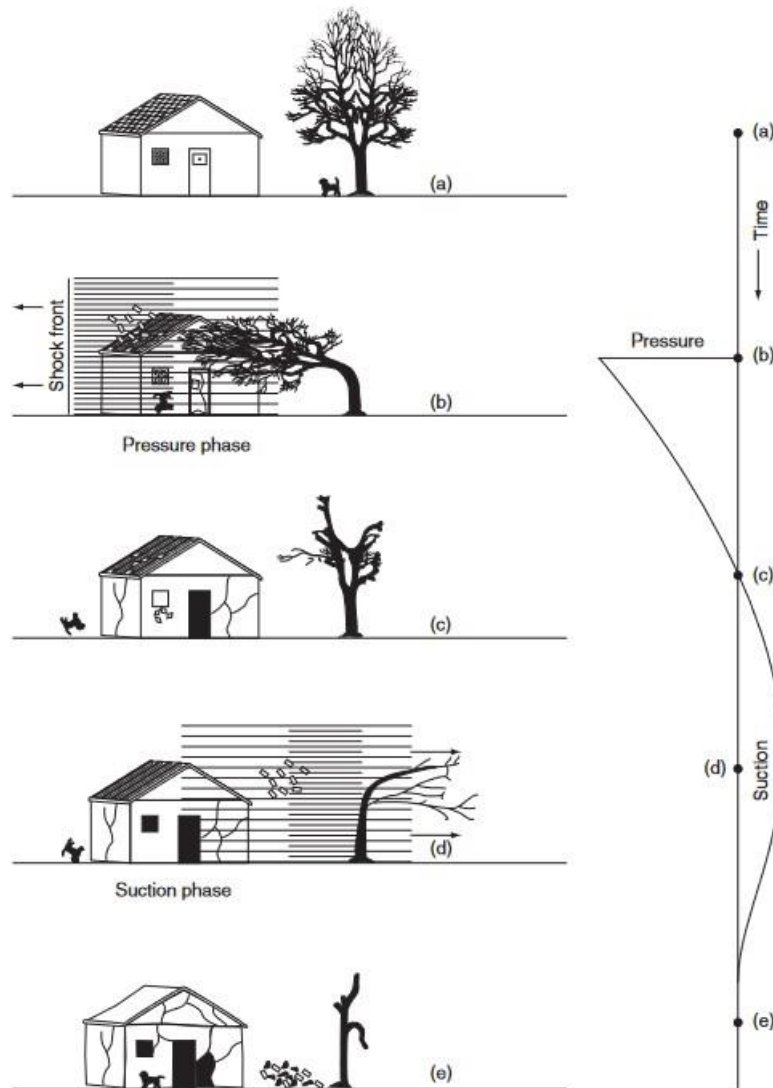
Η απόδοση που απεικονίζεται γραφικά στην εικόνα 2-6 μπορεί επίσης να μεταφραστεί ως ένα εύρος αποστάσεων σε σχέση με αυξανόμενους τραυματισμούς και ζημιές. Ο Πίνακας 2-1 προέρχεται από την εικόνα 2-6 και δείχνει τραυματισμούς που σχετίζονται με αποστάσεις για 500-lb βόμβα (που μεταφέρεται από αυτοκίνητο ή ελαφρύ βαν) σε σύγκριση με αυτούς των 5.000 λιβρών (βόμβα που μεταφέρθηκε από βαρύτερο όχημα). Όπως και στα προηγούμενα σχήματα, οι τιμές είναι γενικές: η πρόθεση είναι μόνο να εξηγηθεί το γενικό όφελος από την αύξηση της απόστασης μεταξύ πιθανών στόχων και πιθανών απειλών. Δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ως εργαλεία σχεδιασμού.

Injury and/or Damage	Stand-off (feet)	
	500-lb. Bomb	5,000-lb. Bomb
Threshold of failure, concrete columns	30	60
Potentially lethal injuries	150	350
Injuries from wall fragments or to people in open	150-250	350-500
Severe glass wounds (glass with applied film)	250	650
Severe glass wounds (unprotected glass)	500	1,000+
Minor cuts	800	1,000+

Πίνακας 3-1. Τραυματισμός ή αστοχία δομικών στοιχείων σε σχέση με την απόσταση [αναδημοσίευση από FEMA 453].

### 3.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΚΡΗΞΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ

Το σχήμα 3-1 απεικονίζει τις επιπτώσεις σε έναν αριθμό στόχων που υποβλήθηκαν σε ένα ωστικό κύμα που παρήχθει από την έκρηξη μεγάλης ποσότητας ισχυρής εκρηκτικής ύλης σε κάποια απόσταση, έτσι ώστε η διάρκεια του κύματος έκρηξης να είναι επαρκής για να θέσει τα αντικείμενα σε κίνηση. Το σχήμα 3-1(a) δείχνει ένα σπίτι, ένα δέντρο και ένα σκύλο πριν από την άφιξη του κύματος. Το σχήμα 3-1(b) δείχνει τους στόχους όπως ανταποκρίνονται αμέσως μετά το πέρασμα του μετώπου των κυμάτων έκρηξης. Οι μεγαλύτεροι στόχοι όπως π.χ το σπίτι και το δέντρο εξαιτίας της περιθλασης αντιμετωπίζουν κάποιο επίπεδο φόρτισης σε όλες τις επιφάνειες. Για παράδειγμα ο τοίχος του σπιτιού που βλέπει στο δέντρο φορτίζεται από την ανακλώμενη υπερπίεση ενώ ο μπροστινός τοίχος με τη μπροστινή πόρτα υφίσταται φόρτωση συμβάντος. Ως αποτέλεσμα, αδύναμα στοιχεία του κτιρίου, όπως τα τζάμια, αποτυγχάνουν. Ωστόσο, το σπίτι και το δέντρο, είναι σταθερά θεμελιωμένα στο έδαφος και δεν κινούνται κάτω από αυτά τα φορτία. Ο σκύλος είναι πολύ πιο ελαφρύς και αντιμετωπίζει επίσης την ίδια φόρτωση με το σπίτι και το δέντρο αλλά ανταποκρίνεται διαφορετικά. Αν και «στριμωγμένος» από τα ανακλώμενα και προσπίπτοντα κύματα, ο σκύλος ανταποκρίνεται πολύ ορατά στη δυναμική πίεση της έκρηξης που σχετίζεται με τη ταχύτητα των μορίων του αέρα πίσω από το μέτωπο του κύματος.



Σχήμα 3-1. Σπίτι, δέντρο και σκύλος υποβάλλονται σε εκρηκτικό φορτίο [17]

Ως αποτέλεσμα, ο σκύλος μεταφέρεται μαζί με τη ριπή ανέμου από την έκρηξη. Επίσης λιγότερο σταθερά στερεωμένα αντικείμενα στο σπίτι (π.χ. τα κεραμίδια) και στο δέντρο (φύλλα και μικρότερα κλαδιά) αποσπώνται από το στοιχείο δυναμικής πίεσης. Το σχήμα 3-1(c) δείχνει τη κατάσταση μόλις τελειώσει η θετική φάση. Στο σχήμα 3-1(d), όλοι οι στόχοι βιώνουν την αρνητική φάση που σχετίζεται με ροή αέρα πίσω προς το σημείο της έκρηξης καθώς αποκαθίσταται η ισορροπία. Το σχήμα 3-1(e) δείχνει τη κατάσταση όταν η έκρηξη έχει ολοκληρωθεί, με μια σειρά από κατεστραμμένους στόχους.

### 3.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΙΑ ΚΤΙΡΙΑ

Για τους σκοπούς ανάλυσης, η προστασία που παρέχεται από μια εγκατάσταση ή τα στοιχεία της μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις κατηγορίες προστασίας, όπως περιγράφονται παρακάτω:

1. Κατηγορία Προστασίας 1 - Προστασία του προσωπικού από την μη ελεγχόμενη απελευθέρωση επικίνδυνων υλικών, συμπεριλαμβανομένων τοξικών χημικών, ακτινοβολιολογικών και/ή βιολογικών υλικών· εξασθένιση των πιέσεων από έκρηξη και των κινήσεων της δομής σε ένα επίπεδο που είναι αποδεκτό για την ανεκτικότητα του προσωπικού· και προστασία του προσωπικού από πρωτογενή και δευτερογενή κομμάτια και πτώση μερών της δομής και/ή εξοπλισμού.

2. Κατηγορία Προστασίας 2 - Προστασία εξοπλισμού, προμηθειών ή αποθηκευμένων εκρηκτικών από δευτερογενή θραύσματα, πιέσεις από την έκρηξη και την απόκριση της δομής.
3. Κατηγορία Προστασίας 3 - Αποτροπή της επικοινωνίας της έκρηξης από θραύσματα, υψηλές πιέσεις έκρηξης και δομική απόκριση.
4. Κατηγορία Προστασίας 4 - Αποτροπή της μαζικής έκρηξη εκρηκτικών ως αποτέλεσμα επακόλουθων εκρήξεων που παράγεται από την επικοινωνία της έκρηξης μεταξύ δύο παρακείμενων περιοχών ή/και δομών. Αυτή η κατηγορία είναι παρόμοια με την Κατηγορία 3 με τη διαφορά ότι δεν είναι επιτρεπτή ούτε μια ελεγχόμενη επικοινωνία των χώρων. [5]

### 3.4 ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας είναι η μικρότερη επιτρεπτή απόσταση που θα πρέπει να διατηρείται σε περίπτωση που συμβεί μια έκρηξη, ανεξάρτητα από οποιαδήποτε ανάλυση ή ενίσχυση των κτιρίων που θα επιτρέπει μικρότερες αποστάσεις, εκτός αν ορίζεται κάτι διαφορετικό για υπάρχοντα κτίρια. Να σημειωθεί ότι η επίτευξη της ελάχιστης απόστασης ασφαλείας απαιτεί συνήθως σημαντικό βαθμό ενίσχυσης των κτιριακών στοιχείων. Επομένως, όταν παρέχεται μόνο η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας, πρέπει να υπάρχουν αποτελέσματα ανάλυσης που να δείχνουν ότι μπορεί να επιτευχθεί διατηρώντας το αντίστοιχο επίπεδο προστασίας. Η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας  $R_M$  εκφράζεται βάση της ακόλουθης εξίσωσης:

$$\text{Για πόδια : } R_M = 3\sqrt[3]{W} \quad (3-1)$$

$$\text{Για μέτρα: } R_M = 1,19\sqrt[3]{W} \quad (3-2)$$

Όπου:

$W$  είναι το βάρος της απειλητικής εκρηκτικής ύλης σε λίβρες για πόδια ή κιλά για μέτρα.

$R_M$  είναι η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας σε πόδια ή μέτρα

Level of Protection	Potential Building Damage/Performance <sup>2</sup>	Potential Door and Glazing Hazards <sup>3,4</sup>	Potential Injury
Below AT standards <sup>1</sup>	Severe damage. Progressive collapse likely. Space in and around damaged area will be unusable.	* Windows will fail catastrophically and result in lethal hazards. ( <i>High hazard rating</i> ) * Doors will be thrown into rooms. ( <i>Category V</i> )	Majority of personnel in collapse region suffer fatalities. Potential fatalities in areas outside of collapsed area likely.
Very Low	Heavy damage - Onset of structural collapse, but progressive collapse is unlikely. Space in and around damaged area will be unusable.	* Glazing will fracture, come out of the frame, and is likely to be propelled into the building, with potential to cause serious injuries. ( <i>Low hazard rating</i> ) * Doors will become dislodged from the structure but will not create a flying debris hazard. ( <i>Category IV</i> )	Majority of personnel in damaged area suffer serious injuries with a potential for fatalities. Personnel in areas outside damaged area will experience minor to moderate injuries.
Low	Moderate damage – Building damage will not be economically repairable. Progressive collapse will not occur. Space in and around damaged area will be unusable.	* Glazing will fracture, potentially come out of the frame, but at reduced velocity, does not present a significant injury hazard. ( <i>Very low hazard rating</i> ) * Doors will experience non-catastrophic failure, but will have permanent deformation and may be inoperable. ( <i>Category III</i> )	Majority of personnel in damaged area suffer minor to moderate injuries with the potential for a few serious injuries, but fatalities are unlikely. Personnel in areas outside damaged areas will potentially experience minor to moderate injuries.
Medium	Minor damage – Building damage will be economically repairable. Space in and around damaged area can be used and will be fully functional after cleanup and repairs.	* Glazing will fracture, remain in the frame and results in a minimal hazard consisting of glass dust and slivers. ( <i>Minimal hazard and No Hazard ratings</i> ) * Doors will be openable but will have permanent deformation. ( <i>Category II</i> )	Personnel in damaged area potentially suffer minor to moderate injuries, but fatalities are unlikely. Personnel in areas outside damaged areas will potentially experience superficial injuries.
High	Minimal damage. No permanent deformations. The facility will be immediately operable.	* Innermost surface of glazing will not break. (No Break hazard rating) * Doors will be substantially unchanged and fully operable. ( <i>Category I</i> )	Only superficial injuries are likely.
<p>1. This is not a level of protection and should never be a design goal. It only defines a realm of more severe structural response, and may provide useful information in some cases.</p> <p>2. For damage / performance descriptions for primary, secondary, and non-structural members, refer to PDC Technical Report 06-08.</p> <p>3. Glazing hazard ratings are from ASTM F 2912.</p> <p>4. Door damage level categories are from ASTM F 2247 and F 2927.</p>			

Πίνακας 3-2. Επίπεδα προστασίας - Νέα και Παλιά κτίρια.

Για τα νέα κτίρια, δεν πρέπει να επιτρέπονται αποστάσεις μικρότερες από έναν κλιμακωμένο παράγοντα. Για τα υπάρχοντα κτίρια, θα πρέπει να παρέχονται οι ελάχιστες αποστάσεις, εκτός εάν αυτό δεν είναι δυνατό. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορεί να επιτραπούν μικρότερες αποστάσεις όταν μπορεί να επιδειχθεί ότι επιτυγχάνεται το αναγκαίο επίπεδο προστασίας μέσω ανάλυσης ή μέσω ενίσχυσης του κτιρίου ή άλλων μειωτικών μέτρων κατασκευής ή αναβάθμισης. [6]



## 4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Το κανονιστικό πλαίσιο για το σχεδιασμό κατασκευών αποτελεί μια σειρά προτύπων για τον υπολογισμό της μηχανικής αντοχής των κατασκευών και των στοιχείων τους με έμφαση στην ασφάλεια. Πιο πρόσφατα, οι κανονισμοί έχουν αντιμετωπίσει φυσικές καταστροφές (σεισμούς, χιονοθύελλες, πλημμύρες, τυφώνες, ανεμοστρόβιλους) που αποτελούν απειλή για την ανθρώπινη ασφάλεια μέσω απαιτήσεων σχεδιασμού, αποδεκτών αναλύσεων, φυσικών δοκιμών, προτύπων αναφοράς και απαιτήσεων επιθεώρησης. Μερικοί ανθρωπογενείς κίνδυνοι όπως η αποθήκευση εύφλεκτων υλικών (HazMat) έχουν αντιμετωπισθεί εξίσου με αυτό το τρόπο. Ωστόσο αυτά τα ελάχιστα πρότυπα δεν εγγυώνται πλήρη ασφάλεια ή ακόμη και καθορισμένο επίπεδο απόδοσης. Η συμμόρφωση με τους κανονισμούς παρέχει ένα επίπεδο μείωσης του κινδύνου που θεωρείται αποδεκτό. Στη περίπτωση της προστασίας κτιρίων από έκρηξης λόγω της απουσίας κανονιστικών προτύπων η συνετή και κατάλληλη προσέγγιση θα πρέπει να βασίζεται στην αναμενόμενη απόδοση και το κόστος που σχετίζεται με την απειλή βάσης σχεδιασμού, την ευπάθεια του κτιρίου και την απόφαση του ιδιοκτήτη ως προς τον αποδεκτό κίνδυνο. Η επιλογή της κατάλληλης απειλής είναι θεμελιώδους σημασίας για τη διαδικασία σχεδιασμού και ως εκ τούτου απαιτεί πολύ προσεκτική θεώρηση. Μόλις εντοπιστεί μια απειλή σχεδιασμού (π.χ. τρομοκρατική ενέργεια ή φυσικός κίνδυνος), ο αρχικός προσδιορισμός της ασφάλειας και των μέτρων μετριασμού πρέπει να βασίζονται σε ευρείες ταξινομήσεις των πιθανών αναλαμβανόμενων κινδύνων και την αναμενόμενη απόδοση. Για την αξιολόγηση της απειλής, η ευπάθεια των περιουσιακών στοιχείων και οι συνέπειες της ζημιάς καθιστούν απαραίτητη τη συστηματική ποσοτική αξιολόγηση και διαχείριση του κινδύνου. Μια τέτοια διαδικασία περιγράφεται λεπτομερώς στο FEMA 452: Κίνδυνος- Αξιολόγηση: Ένας οδηγός για το μετριασμό πιθανών τρομοκρατικών επιθέσεων σε κτίρια σε συνεργασία με τον ιδιοκτήτη, το διευθυντή της εγκατάστασης και τους ενοίκους. [1]

### 4.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΡΧΗ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΑΜΥΝΑΣ

#### 4.1.1 ΠΡΩΤΟ ΣΤΡΩΜΑ ΑΜΥΝΑΣ

Το πρώτο στρώμα άμυνας αναφέρεται στη γειτονιά και το περιβάλλον της κοινότητας συμπεριλαμβανομένων των κτιριακών τύπων, των μισθώσεων ή χρήσεων, τη φύση και ένταση των δραστηριοτήτων που διεξάγονται στο παρακείμενο χώρο του κτιρίου. Το κοινωνικό πλαίσιο του κτιρίου είναι ότι βρίσκεται εκτός και μέχρι το πρώτο στρώμα άμυνας και μπορεί να τροποποιήσει τις απαιτήσεις βάσης σχεδιασμού του πρώτου στρώματος καθώς και την εικόνα του. Η γραμμή οριοθέτησης μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου στρώματος άμυνας αποτελεί την αμυνομένη περίμετρο, η οποία επηρεάζει



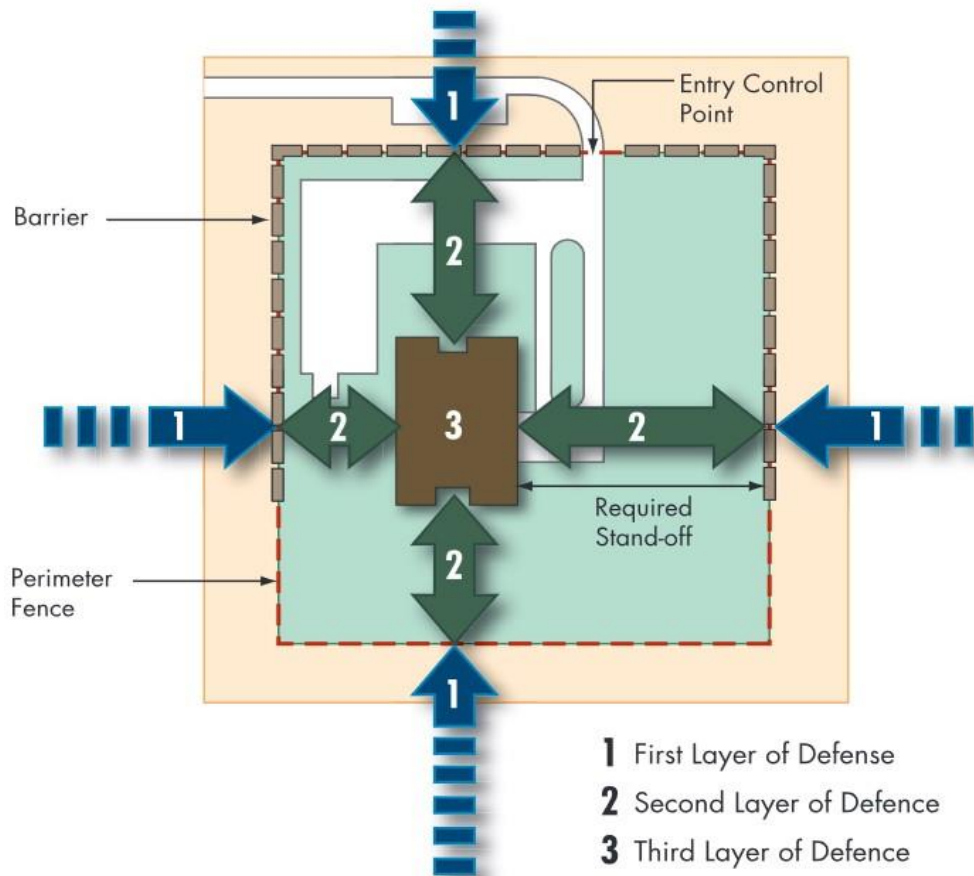
την εμπειρία του διερχομένου με ορατά εμπόδια και ελεγχόμενα σημεία εισόδου και παρέχει στους χρήστες τη πρώτη επαφή με τη φύση των μέτρων ασφαλείας. Είναι σημαντικό ο μελετητής να εξοικειωθεί με το περίγυρο του κτηρίου και να ανιχνεύσει πιθανές απειλές. Το GIS και το FEMA'S HAZUS αποτελούν σημαντικά εργαλεία διότι παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά των πέριξ κτιρίων όπως τις χρήσεις των παρακείμενων κτιρίων, επικίνδυνα υλικά, μέσα μαζικής μεταφοράς ακόμα και δημογραφικά δεδομένα. Η διερεύνηση του περιβάλλοντα χώρου οφείλει να μην περιορίζεται μόνο σε αυτό το επίπεδο αλλά και στον εναέριο και υπόγειο χώρο ώστε να παρθούν τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας.

#### **4.1.2 ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΡΩΜΑ ΑΜΥΝΑΣ**

Το δεύτερο στρώμα άμυνας αναφέρεται στο χώρο ανάμεσα στο πρώτο στρώμα άμυνας και το ένα ή περισσότερα κτίρια ή εγκαταστάσεις που χρειάζονται προστασία. Ο σκοπός σχεδιασμού του είναι η μεγιστοποίηση της απόστασης μεταξύ πιθανής έκρηξης και κτιρίου-στόχος, δεδομένου ότι τα φορτία των εκρήξεων μειώνονται ραγδαία με την απόσταση. Η περιφερειακή ασφάλεια αυξάνεται με τη τοποθέτηση κατασκευών γύρω από το κτίριο, την αποτροπή προσέγγισης οχημάτων στο κτίριο με μεγάλη ταχύτητα και την αξιοποίηση της τοπογραφίας, είτε φυσικής, είτε τεχνητής. Σημαντικός παράγοντας σε κτίρια αστικών περιοχών είναι η διαχείριση του χώρου στάθμευσης, η επιλογή της θέσης του καθώς και η πολιτική επιτρεπόμενης εισόδου σε αυτό. Επιπλέον στοιχεία όπως ο φωτισμός ασφαλείας, τα εμπόδια οχημάτων, η βλάστηση και η σήμανση είναι αποδεδειγμένα οικονομικότερη και αποτελεσματικότερη λύση αντιμετώπισης του προβλήματος από τη θωράκιση των κτιρίων ενάντια εκρήξεων. Προϋπόθεση ενός πετυχημένου σχεδιασμού δευτέρου στρώματος άμυνας αποτελεί η αρχική ολοκληρωμένη αξιολόγηση ανθρωπογενών και φυσικών απειλών.

#### **4.1.3 ΤΟ ΤΡΙΤΟ ΣΤΡΩΜΑ ΑΜΥΝΑΣ**

Το τρίτο στρώμα άμυνας αναφέρεται στη προστασία που διαθέτει το ίδιο το κτίριο. Είναι το τελευταίο στρώμα άμυνας και σε περίπτωση που δεν διατίθεται ο χώρος για να αναπτυχθούν πλήρως τα άλλα δυο στρώματα αυξάνεται ιδιαίτερα και το κόστος κατασκευής, ειδικά σε υπάρχοντα κτίρια. Σε αυτό το στρώμα οι μελετητές επικεντρώνονται κυρίως στη ποσοτικοποίηση των εκρηκτικών φορτίσεων του βασικού όπλου απειλής, τη στατική αναβάθμιση του φορέα, το σχεδιασμό για προοδευτική κατάρρευση και τη θωράκιση του εξωτερικού κελύφους του κτιρίου. Μικρότερη απόσταση από το συμβάν απαιτεί ενισχυμένο φέροντα οργανισμό, παχύτερους και ανθεκτικότερους υαλοπίνακες και καλύτερες συνδέσεις πλαισίων παραθύρων με το στατικό σύστημα ή τους τοίχους. Επίσης σημαντικό ρόλο έχει ο σχεδιασμός του εσωτερικού του κτιρίου, της πυρασφάλειας, των μηχανολογικών, ηλεκτρολογικών και υδραυλικών εγκαταστάσεων καθώς και τα κλειστά κυκλώματα παρακολούθησης. Στόχος του στρώματος είναι να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο ασφαλείας και να μειωθεί ο κίνδυνος κατάρρευσης ή οποιαδήποτε άλλη απειλή για την ανθρώπινη ζωή.



Εικόνα 4-1. Τα τρία στρώματα άμυνας. [1]

#### 4.2 ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΜΥΝΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΧΩΡΟ ΤΟΥ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Παρόλο που τα στρώματα άμυνας σε κτίρια που βρίσκονται σε κέντρα αστικών περιοχών είναι συνήθως στενά ή και πολλές φορές ταυτίζονται, η γενική αρχή των τριών στρωμάτων σχεδιασμού ισχύει. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες κτιρίων σε αστικές περιοχές:

- Τα κτίρια που είναι χτισμένα πάνω στην ρυμοτομική γραμμή και δεν διαθέτουν χώρο προστασίας από τη πιθανή επίθεση (zero setback site).
- Τα κτίρια που είναι χτισμένα σε κάποια μικρή απόσταση από τη ρυμοτομική γραμμή και διαθέτουν μια μικρή αυλή ή παρτέρι, συνήθως διαμορφωμένο (buildings with yards).
- Τα κτίρια με πλατείες που είναι τοποθετημένα σε δημόσιο ή ιδιωτικό χώρο και υπάρχει πρόσβαση από το κοινό (buildings with plazas). [1]

Όπως είναι διακριτό και στις τρεις περιπτώσεις υπάρχει ένα κοινό σύνολο αστικών στοιχείων όπως πεζοδρόμια, δρόμοι, φυτά, ζαρντινιέρες, πινακίδες κτλ. Ο σχεδιασμός και η τοποθέτηση στοιχείων ασφαλείας στα κέντρα των πόλεων οφείλει να μην είναι επιβλαβής για το κρίσιμο σχεδιασμό αστικών περιοχών και να συμβάλει στη δημιουργία ζωντανών και βιώσιμων πόλεων. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα καλά συνδεδεμένο σύστημα δρόμων όπου οι οδηγοί και οι πεζοί έχουν πολλές επιλογές για ελιγμούς και διατηρείται εύρυθμα η κυκλοφοριακή ροή και η κίνηση πεζών. Με τη δημιουργία ορθά διαμορφωμένων πεζοδρομίων που δίνουν τη δυνατότητα στους πεζούς να περιμένουν τα μέσα μαζικής μεταφοράς και να απολαύσουν εμπορικές, εκπαιδευτικές και δραστηριότητες αναψυχής. Αν αυτές δεν είναι προσβάσιμες σε επίπεδο ισογείου θα πρέπει να διαμορφώνονται εξωτερικοί χώροι ή κιόσκια που να τις στεγάζουν. Τέλος θα πρέπει να τοποθετούνται ελκυστικά και ανθεκτικά έπιπλα και υποδομές κοινής ωφέλειας όπως

σήμανση, δέντρα, παγκάκια, κολώνες φωτισμού, κάδοι απορριμμάτων και άλλα στοιχεία ασφάλειας. Ιδιαίτερως στην πρώτη κατηγορία που το δεύτερο στρώμα άμυνας δεν υπάρχει, για αυτό και η έκταση του πεζοδρομίου παίζει σημαντικό ρόλο.

### **4.3 ΚΑΛΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ**

#### **4.3.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΡΙΣΚΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ**

- Πραγματοποίηση μιας ολοκληρωμένης εκτίμησης κινδύνου για τον εντοπισμό τρωτών σημείων και πιθανών απειλών ειδικά για το κτίριο.
- Ανάπτυξη ισχυρού σχεδίου ασφαλείας που αντιμετωπίζει διάφορα σενάρια και περιλαμβάνει μέτρα για τη πρόληψη, τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση πιθανών τρομοκρατικών δραστηριοτήτων.

#### **4.3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ**

- Εφαρμογή ελεγχόμενων σημείων πρόσβασης με προσωπικό ασφαλείας ή ηλεκτρονικά συστήματα, όπως κάρτες-κλειδιά, βιομετρικά συστήματα ή κωδικούς πρόσβασης, για τη διαχείριση της εισόδου στο κτίριο.
- Χρήση τουρνικέ, ανιχνευτή μετάλλων ή μηχανήματα ακτινών Χ στα σημεία εισόδου για τον έλεγχο ατόμων και των υπάρχοντών τους.
- Περιορισμός της πρόσβασης σε ευαίσθητες περιοχές εντός του κτιρίου, όπως δωμάτια διακομιστών ή βοηθητικοί χώροι.

#### **4.3.3 ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ**

- Εγκατάσταση φυσικών εμποδίων γύρω από το κτίριο, όπως κολώνες, ζαρντινιέρες ή φράχτες, για την αποτροπή μη εξουσιοδοτημένων οχημάτων να πλησιάζουν τις εγκαταστάσεις.
- Χρήση συστημάτων ελέγχου πρόσβασης οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των πυλών ή των αναδυσόμενων φραγμών, για τη ρύθμιση της εισόδου και της εξόδου των οχημάτων.

#### **4.3.4 ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ**

- Ανάπτυξη εκπαιδευμένου προσωπικού ασφαλείας που είναι σε εγρήγορση, έμπειρο στις διαδικασίες αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και ικανό να χειρίζεται πιθανές απειλές.
- Ορατή παρουσία ασφαλείας για την αποτροπή πιθανού εισβολέα και τη παροχή μια αίσθησης ασφάλειας στους ενοίκους του κτιρίου.

#### **4.3.5 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ**

- Ανάπτυξη σχεδίου αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης που περιγράφει διαδικασίες για διαφορετικούς τύπους απειλών και διεξαγωγή ασκήσεων για τη διασφάλιση της ετοιμότητας.
- Δημιουργία συστημάτων επικοινωνίας, όπως ενδοεπικοινωνίες, συστήματα αναγγελιών ή συστήματα ειδοποίησης έκτακτης ανάγκης, για γρήγορη διάδοση πληροφοριών κατά τη διάρκεια έκτακτης ανάγκης.
- Συντονισμός με τις τοπικές υπηρεσίες επιβολής του νόμου και τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης για τη δημιουργία σαφών καναλιών επικοινωνίας και πρωτοκόλλων.

#### **4.3.6 ΕΠΙΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ**

- Εγκατάσταση ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης βίντεο που καλύπτει κρίσιμους χώρους του κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων των εισόδων, των κοινόχρηστων χώρων και των χώρων στάθμευσης.

- Χρήση προηγμένων αναλυτικών στοιχείων βίντεο για εντοπισμό ύποπτης συμπεριφοράς, μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση ή εγκαταλελειμμένα αντικείμενα.
- Εφαρμογή συστήματος ανίχνευσης εισβολής που περιλαμβάνει αισθητήρες, συναγερμούς και ειδοποιήσεις για την ειδοποίηση του προσωπικού ασφαλείας για μη εξουσιοδοτημένη είσοδο ή ύποπτες δραστηριότητες.

#### **4.3.7 ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ**

- Παροχή προγραμμάτων κατάρτισης για την εκπαίδευση των εργαζομένων σχετικά με την αναγνώριση και την αναφορά ύποπτων δραστηριοτήτων, πακέτων ή συμπεριφορών.
- Προώθηση μιας κουλτούρας επαγρύπνησης και ενθάρρυνσης των υπαλλήλων να αναφέρουν εγκαίρως τυχόν προβλήματα ασφαλείας.

### **4.4 ΜΙΑ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ**

Ένα σημείο εκκίνησης για το σχεδιασμό ενός κτιρίου που αντέχει σε εκρήξεις είναι να εξετάσει κανείς τη διάταξη και τη διαρρύθμισή του. Ο στόχος εδώ είναι να αποφασιστεί τι χρειάζεται προστασία (το περιεχόμενο ή η ίδια η δομή). Φανταστείτε πώς θα προκληθεί ζημιά ή ο τραυματισμός και πώς το κτίριο ή η δομή μπορεί να διευθετηθεί έτσι ώστε να δίνει την καλύτερη εγγενής προστασία. Ειδικά για τη προστασία από τρομοκρατικές επιθέσεις, ο σχεδιασμός του κτιρίου πρέπει να επιτυγχάνει όσο περισσότερα είναι εφικτά από τα ακόλουθα:

1. Εκτροπή τρομοκρατικής επίθεσης δείχνοντας μέσω της διάταξης, την ασφάλεια και τις άμυνες. Ότι η πιθανότητα επιτυχίας για το τρομοκράτη είναι μικρή.
2. Συγκάλυψη σημαντικών σημείων ενός πιθανού στόχου, έτσι ώστε η ενέργεια της επίθεσης να σπαταλιέται σε λάθος περιοχή και η επίθεση, αν ολοκληρωθεί να αποτυγχάνει, να έχει τον αντίκτυπο που επιδιώκει ο τρομοκράτης. Μειώνεται έτσι σε μια αποδεκτή ενόχληση.
3. Διασκόρπιση πιθανού στόχου, έτσι ώστε μια επίθεση να μην μπορεί να καλύψει μια αρκετά μεγάλη έκταση για να προκαλέσει σημαντικές καταστροφές και ως εκ τούτου επιπτώσεις. Είναι κατάλληλο για αγροτική βιομηχανική εγκατάσταση, αλλά πιθανώς ανέφικτο για οποιοδήποτε κτίριο στο κέντρο της πόλης.
4. Αποτροπή μιας επίθεσης που φτάνει σε έναν πιθανό στόχο στήνοντας φυσικά εμπόδια στη μέθοδο επίθεσης. Αυτό καλύπτει μια σειρά μέτρων από κλώνες και εμπόδια οχημάτων έως ελέγχους στην είσοδο πεζών. Ενάντια σε ένα πολύ μεγάλο αυτοκίνητο, συγκεκριμένα, αυτή είναι η μόνη άμυνα που πιθανόν θα έχει επιτυχία.
5. Ενίσχυση της δομής για να απορροφήσει την ενέργεια της επίθεσης και να προστατευτούν πολύτιμα περιουσιακά στοιχεία.

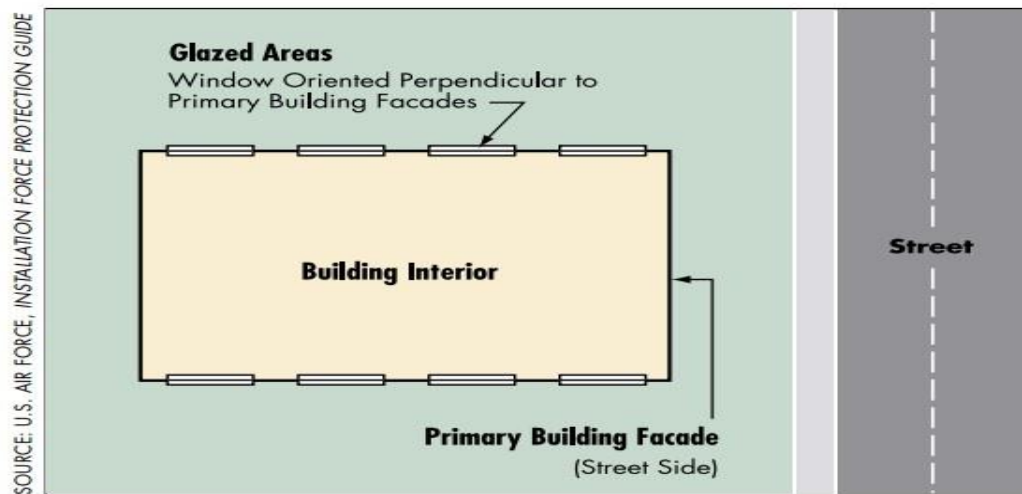
Οι τρεις πρώτοι από αυτούς τους στόχους μπορούν συχνά να επιτευχθούν χωρίς κόστος, ενώ τα δύο τελευταία απαιτούν επιπλέον κεφάλαια. [2]

#### **4.4.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ**

Πολλά μπορούν να εφαρμοστούν αρχιτεκτονικά για το μετριασμό των επιπτώσεων για εκρήξεις σε εγκαταστάσεις. Αυτά τα μέτρα συχνά δεν κοστίζουν τίποτα ή πολύ λίγο εάν εφαρμοστούν νωρίς στο σχεδιασμό. Αρχιτεκτονικές προτάσεις περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση κτιρίου και το σχεδιασμό εσωτερικών χώρων. Το σχήμα του κτιρίου μπορεί επίσης να συμβάλει στη συνολική ζημιά της δομής. Για παράδειγμα, τα κτίρια σε σχήμα "U" ή "L" τείνουν να παγιδεύουν τα κρουστικά κύματα, τα οποία μπορεί να επιδεινώσουν την επίδραση μιας έκρηξης. Για το λόγο αυτό, συνιστάται να αποφεύγονται οι γωνίες. Γενικά, κυρτά και όχι κοίλα σχήματα προτιμώνται για το εξωτερικό του κτιρίου. Τα κυκλικά κτίρια συμπεριφέρονται καλύτερα σε εκρηκτικά φορτία επειδή η γωνία πρόσπτωσης του ωστικού κύματος αυξάνεται ταχύτερα από ότι σε ένα ορθογώνιο κτίριο. Αυτό συμβαίνει γιατί στα ορθογωνικά σχήματα υπάρχουν συνήθως ευθείες και γωνίες που οδηγούν σε ανακλάσεις του κύματος, ενώ στα κυκλικά κτίρια λόγω έλλειψης γωνιών το κύμα εξαπλώνεται σε μεγαλύτερο όγκο κτιρίου.

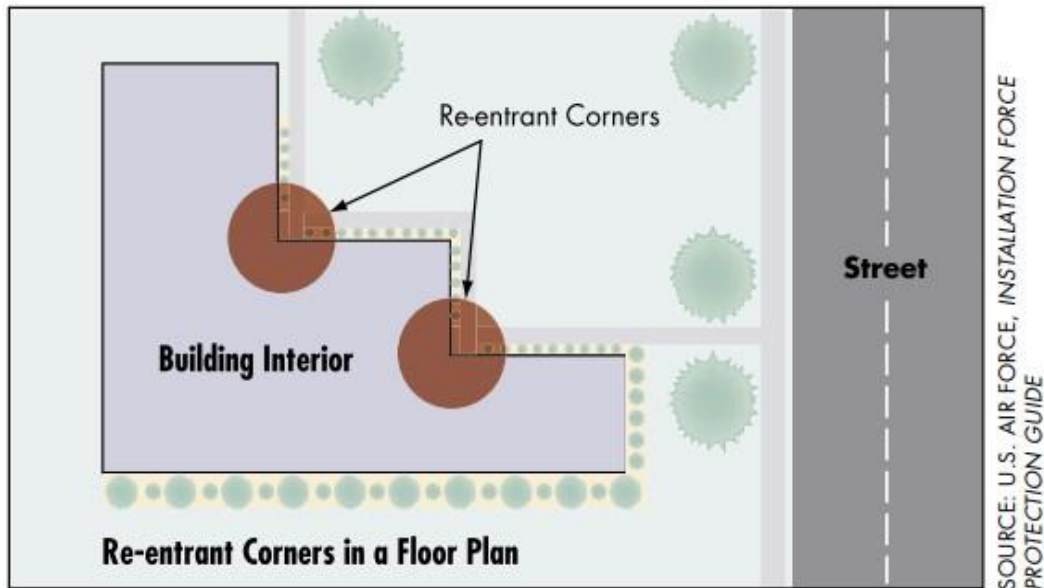
Οι ακόλουθες σχεδιαστικές προτάσεις συνιστώνται:

- Μείωση της ευπάθειας ενός κτιρίου σε επιθέσεις χρησιμοποιώντας γήινο σχεδιασμό.
- Προσανατολισμός των κτιρίων οριζόντια και όχι κατακόρυφα για μείωση της έκθεσής τους.
- Τοποθέτηση του ισογείου του κτιρίου σε υψόμετρο τουλάχιστον 4 πόδια (1,20m) για την αποφυγή εμβολισμού του από όχημα.
- Αποφυγή κατασκευής προεξοχών και μαρκίζας επειδή αποτελούν σημεία μεγάλων τοπικών πιέσεων κατά την έκρηξη.
- Προσανατολισμός γυάλινων επιφανειών κάθετα στην κύρια πρόσοψη για να μειωθεί η έκθεση σε εκρήξεις και πυροβολισμούς.



Εικόνα 4-2. Οι γυάλινες επιφάνειες που είναι προσανατολισμένες κάθετα μακριά από τους δρόμους [Πηγή: U.S AIR FORSCE, INSTALLATION PROTECTION GUIDE].

- Αποφυγή τοποθέτησης εκτεθειμένων δομικών στοιχείων, όπως κολώνες, στο εξωτερικό της εγκατάστασης
- Κατασκευή στέγης ή δώματος με κλήση για την αποτροπή προσγείωσης UAS με εκρηκτικά.
- Αποφυγή σχεδιασμού εσοχών στο εξωτερικό αποτύπωμα του κτιρίου, όπου μπορεί να αναπτυχθούν πιέσεις από εκρήξεις.



Εικόνα 4-3. Εσοχές στο εξωτερικό του κτιρίου όπου οι πιέσεις από έκρηξη μπορούν να αυξηθούν

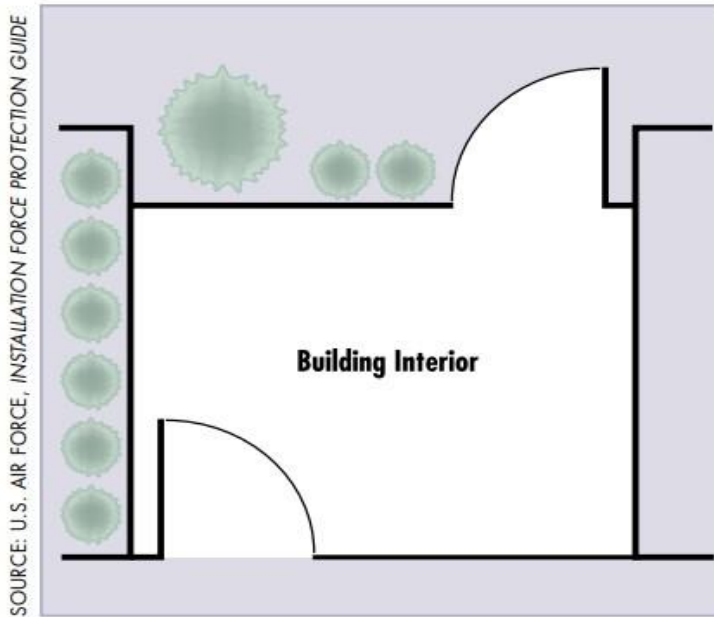
[Πηγή: U.S AIR FORSCE, INSTALLATION PROTECTION GUIDE].

#### 4.4.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Στο σχεδιασμό εσωτερικών χώρων, οι μη ασφαλείς περιοχές ενδείκνυται να είναι φυσικά διαχωρισμένες από τις προστατευόμενες στο μέτρο του δυνατού. Για παράδειγμα, ένα ξεχωριστό λόμπι ή μια αποβάθρα φόρτωσης έξω από το κτιριακό αποτύπωμα παρέχει ενισχυμένη προστασία από ζημιές και πιθανή κατάρρευση κτιρίου σε περίπτωση έκρηξης. Ομοίως, τοποθέτηση χώρων στάθμευσης έξω από το κτίριο μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματική πρακτική στη μείωση της ευπάθειας. Η προστασία του εσωτερικού του κτιρίου μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες: λειτουργική διάταξη και Δομική διάταξη. Από πλευράς λειτουργικής διάταξης, δημόσιοι χώροι όπως το λόμπι, η αποβάθρα φόρτωσης, η αίθουσα αλληλογραφίας, το γκαράζ και οι χώροι λιανικής πρέπει να διαχωρίζονται από τους πιο ασφαλείς χώρους της εγκατάστασης. Αυτό μπορεί να γίνει με τη δημιουργία εσωτερικών ζωνών προστασίας, χρησιμοποιώντας κλιμακοστάσια, φρεάτια ανελκυστήρα, διαδρόμους και χώρους αποθήκευσης μεταξύ δημόσιων και χώρων που επιδιώκεται η ασφάλεια. Σε χώρους λόμπι, ο αρχιτέκτονας θα ήταν φρόνιμο να εξετάσει τις απαιτήσεις ουράς μπροστά από τους σταθμούς επιθεώρησης έτσι ώστε οι επισκέπτες να μην στέκονται έξω κατά τη διάρκεια κακών καιρικών συνθηκών ή σε ένα συνωστισμένο λόμπι ενώ περιμένουν να εισέλθουν στις ασφαλείς περιοχές.

Οι ακόλουθες προτάσεις συνιστώνται:

- Αποφυγή τοποθέτησης εγκαταστάσεων υψηλού κινδύνου με ενοικιαστές χαμηλότερου κινδύνου. Για παράδειγμα, ένα ταχυδρομείο να βρίσκεται στο ίδιο κτίριο με μια μονάδα φύλαξης παιδιών.
- Τοποθέτηση των σημαντικότερων χώρων όσο το δυνατόν πιο βαθιά στο εσωτερικό ενός κτιρίου.
- Τοποθέτηση περιοχών με έντονη δραστηριότητα επισκεπτών μακριά από μέρη που είναι επιθυμητή η ασφάλεια.
- Εξάλειψη χώρων που δεν υπάρχει ορατότητα από τους ενοίκους μέσα στο κτίριο.
- Χρήση εσωτερικών εμποδίων για διαφοροποίηση επίπεδων ασφαλείας μέσα σε ένα κτίριο.
- Τοποθέτηση πορτών εσωτερικά του κτιρίου με απόκλιση μεταξύ τους (σχήμα 5.2).
- Κατασκευή αιθουσών υποδοχής με ενισχυμένα τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοποθέτηση των εσωτερικών και εξωτερικών πορτών με απόκλιση.



Εικόνα 4-4. Τοποθέτηση πορτών εσωτερικά του κτιρίου με απόκλιση [Πηγή: U.S AIR FORSCCE, INSTALLATION PROTECTION GUIDE].

#### 4.4.3 ΦΥΣΙΚΑ ΕΜΠΟΔΙΑ

##### Στατικά Εμπόδια (Passive or static barriers)

- Κολώνες (fixed Bollards)
- Γλάστρες (planters)
- Δέντρα (trees)
- Έπιπλα δρόμου (Street Furniture)
- Φράχτες (fences)
- Τάφροι (ditches)

##### Κινούμενα Εμπόδια (ACTIVE BARRIERS)

- Αναδυσόμενες κολώνες (retractable bollards) Ένα σύστημα αναδυσόμενων κολώνων αποτελείται από μια ή περισσότερες κολώνες που λειτουργούν ανεξάρτητα ή σε ομάδες. Η κολώνα αποτελείται από μια δομή από οπλισμένο σκυρόδεμα που τοποθετείται κάτω από το έδαφος και έναν βαρύ κύλινδρο που μπορεί να ανασηκωθεί ή να κατέβει με τη χρήση υδραυλικής μονάδας ισχύος, η οποία ελέγχεται απομακρυσμένα.
- Πύλες (gates)
- Εμπόδια αποκλεισμού δρόμων (road blockers) αποτελούνται από μια ανθεκτική μεταλλική δομή που εμποδίζει τη διέλευση οχημάτων. Όταν η συσκευή είναι ενεργοποιημένη, η μεταλλική δομή ανασηκώνεται από το έδαφος και αποτρέπει την πρόσβαση των οχημάτων. Όταν η συσκευή απενεργοποιηθεί επιτρέπει το ελεύθερο πέρασμα των οχημάτων. Συνήθως τοποθετούνται σε εισόδους και εξόδους από περιορισμένες περιοχές, όπως αεροδρόμια, εγκαταστάσεις υψηλής ασφάλειας και Πρεσβείες.
- Αντιολισθητικά εμπόδια (wedge barriers) Όταν ενεργοποιηθούν, ανεβαίνουν από το έδαφος υπό γωνία, δημιουργώντας ένα εμπόδιο σε σχήμα τριγώνου στη διαδρομή ενός προσερχόμενου οχήματος. Αυτό το τριγωνικό σχήμα βοηθά στην ακινητοποίηση ή απόκρουση του οχήματος, εμποδίζοντας την περαιτέρω μετακίνησή του.
- Μπάρες (drop arm beams) Όταν το σύστημα είναι ανενεργό, η μπάρα παραμένει σε οριζόντια θέση, επιτρέποντας το ελεύθερο πέρασμα των οχημάτων. Όταν υπάρχει ανάγκη για περιορισμό

της πρόσβασης, η μπάρα αποκλείει τη διέλευση των οχημάτων καθώς κατεβαίνει κάθετα προς το έδαφος.

#### **Καινοτόμα προσωρινά (Innovative/Temporary barriers)**

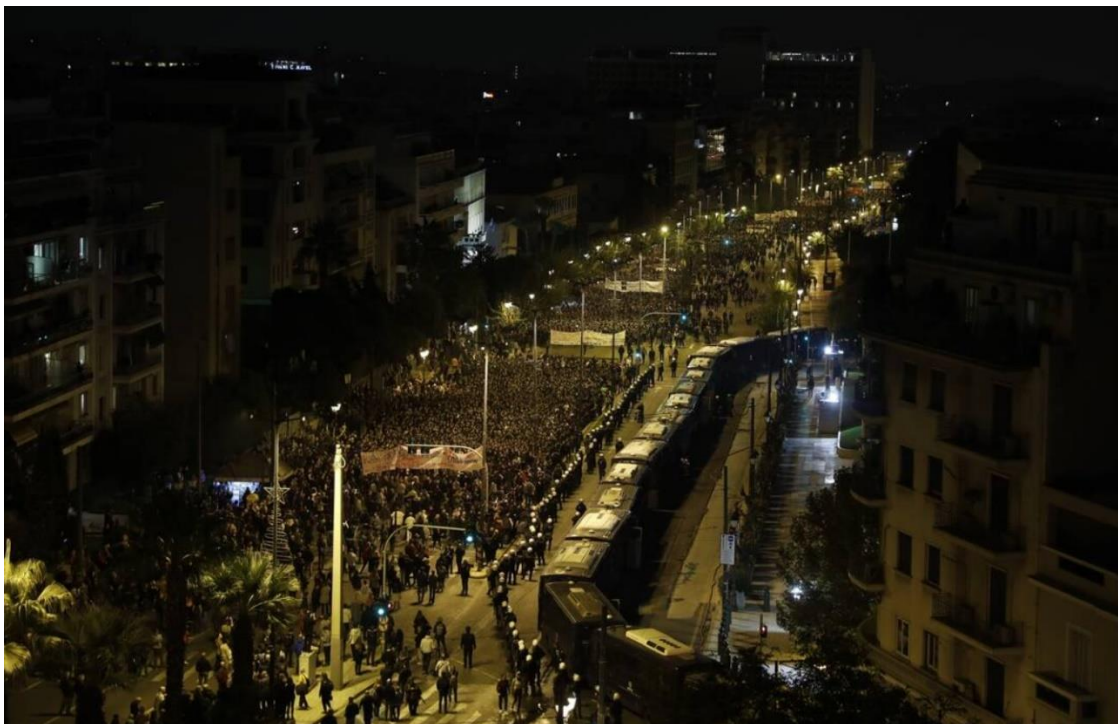
- Δίχτυα επιφάνειας (nets).
- Jerseys.
- Κλούβες ή κυβερνητικά οχήματα για τη προστασία της πρόσοψης σε μέρες αυξημένου κινδύνου.



Εικόνα 4-5. Δίχτυα επιφάνειας (nets).



Εικόνα 4-6. Jerseys.



Εικόνα 4-7. Αστυνομικά οχήματα ή κυβερνητικά οχήματα παρατεταγμένα έξω από τη πρεσβεία Ηνωμένων Πολιτειών στην Αθήνα για τη προστασία της πρόσοψης σε μέρες αυξημένου κινδύνου.

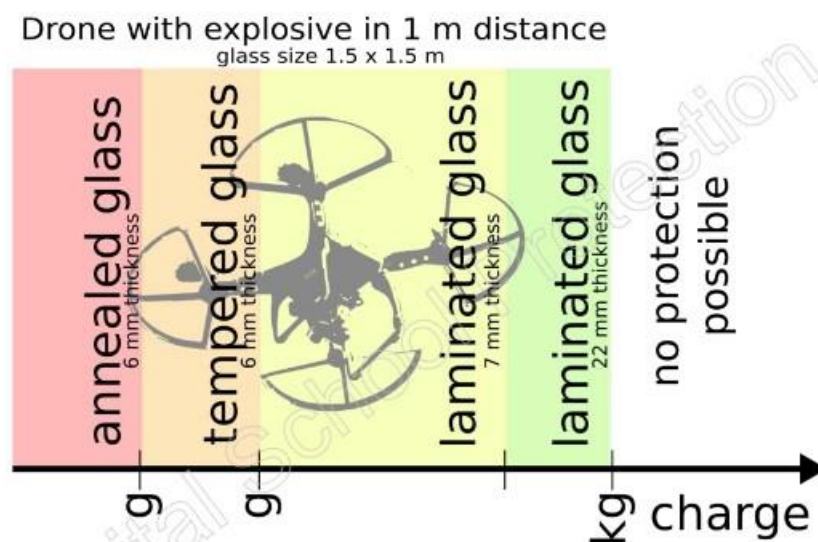
#### **4.5 ΠΛΑΓΙΟΚΑΛΥΨΗ-ΕΙΔΗ ΓΥΑΛΙΩΝ**

Τα είδη γυαλιού που χρησιμοποιούνται είναι τα:

- Πλωτό γυαλί (floating glass) και ρολαρισμένο γυαλί: Επιδεικνύουν ψαθυρή συμπεριφορά και μεγάλη ευθραυστότητα λόγω των υπάρχουσών μικρορηγματώσεων στην επιφάνεια του γυαλιού υπό τη δράση εφελκυστικών τάσεων. Έτσι, η θραύση ξεκινά από μία τυχαία ορισμένη στέλεια και ο υαλοπίνακας θραύεται ακανόνιστα σε γωνιακά και αιχμηρά θρύμματα.



- **Θερμικώς σκληρυμένο γυαλί (ESG):** Προκύπτει από την επαναθέρμανση απλού γυαλιού προς δημιουργία παραμενουσών θλιπτικών τάσεων στην επιφάνεια και εφελκυστικών στον πυρήνα λόγω της δημιουργούμενης αυτεντατικής κατάστασης. Έτσι, εξισορροπούνται οι εφελκυστικές τάσεις που δημιουργούνται λόγω εξωτερικής φόρτισης. Κατά τη φόρτιση και θραύση του, δημιουργούνται μικρά σε μέγεθος ζαριού θρύμματα με αμβλυμένες γωνίες. Ωστόσο, παρά τις αμβλυμένες γωνίες τους, αναπτύσσουν τόσο υψηλή ταχύτητα κατά την έκρηξη που εξακολουθούν να αποτελούν σημαντικότατο κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή. Παρ' όλα αυτά, εμφανίζουν μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με το πλωτό και το ρολαρισμένο γυαλί.
- **Θερμικώς ενισχυμένο γυαλί (TVG):** Για την παραγωγή του ακολουθείται κοινή διαδικασία με αυτήν του θερμικώς σκληρυμένου γυαλιού αλλά σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Εμφανίζει αντοχή ανάμεσα σε αυτήν του πλωτού γυαλιού ή του ρολαρισμένου γυαλιού και του θερμικώς σκληρυμένου γυαλιού. Ενώ έχει κοινή μορφή θραύσης με αυτήν του πλωτού γυαλιού και του ρολαρισμένου γυαλιού αλλά με μεγαλύτερα θρύμματα.
- **Laminated ή Triplex γυαλί:** Πρόκειται για σύνθετο στοιχείο που αποτελείται από διαδοχικές στρώσεις γυαλιού και ενδιάμεσης πλαστικής μεμβράνης συνήθως πολυβινολομπουτυραλιού (PVB) η οποία είναι ιδιαίτερα πλάστιμη. Η μεμβράνη αυτή έχει πολύ καλή συνάφεια με το γυαλί σε σημείο που μετά τη θραύση του υαλοπίνακα τα θρύμματα γυαλιού παραμένουν συνδεδεμένα με αυτήν. Έτσι, κατά τη θραύση του γυαλιού τα θρύμματα είναι επικολλημένα στη πλαστική μεμβράνη που πλέον λειτουργεί στατικά μόνη της ως εφελκυσόμενη μεμβράνη μέχρις ότου αρχίσει να διατρύπεται από τα θρύμματα ή μέχρις ότου αποκολληθεί ολόκληρο το πλαίσιο του υαλοπίνακα. Η πλαστική μεμβράνη μπορεί να είναι και από πολυουρεθάνη διατηρώντας κοινές ιδιότητες με αυτές του πολυβινολομπουτυραλιού αλλά έχοντας τα επιπλέον πλεονεκτήματα της διατήρησής τους σε θερμοκρασίες κάτω του μηδενός και της διατήρησης της στιβαρότητας σε υψηλές θερμοκρασίες. Ακρυλικές ρητίνες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως μεμβράνη αλλά δεν είναι επιθυμητές λόγω χαμηλότερης αντοχής.
- **Πολυκαρβονικά φύλλα:** Δεν αποτελούνται από γυαλί αλλά από διαφανές πλαστικό το οποίο όμως μπορεί να συνδυαστεί με στρώσεις γυαλιού. Δεν είναι εύθραυστα αλλά κάμπτονται έντονα με ελαστικό τρόπο σε σημείο που μπορεί να αποκολληθούν από το πλαίσιο τους. Επιπλέον, λόγω της ελαστικότητάς τους προκαλούν έντονες τόσο εντός όσο και εκτός επιπέδου δυνάμεις στήριξης σε σημείο που καθίσταται δυσχερής ο σχεδιασμός τους.



Εικόνα 4-8. Επιδράσεις στις κατασκευές: Αστοχία υαλοπινάκων [αναδημοσίευση από EU Digital Winter School for the protection of public spaces].

#### **4.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Οι κατευθυντήριες γραμμές προστασίας προορίζονται να ισχύουν σε ένα ευρύ φάσμα κρατικών και ιδιωτικών τύπων κτιρίων. Ανάλογα με τη γεωγραφική τους τοποθεσία, μπορούν επίσης να αντιμετωπίσουν ένα ευρύ φάσμα φυσικών κινδύνων όπως σεισμοί, γεγονότα με ισχυρούς ανέμους, κατολισθήσεις και πλημμύρες. Κάθε εγκατάσταση έχει τα δικά της χαρακτηριστικά τοποθεσίας, προφίλ απειλών, ανοχές κινδύνου και οικονομικούς περιορισμούς. Υπό αυτές τις συνθήκες, είναι ανέφικτη και σίγουρα αναποτελεσματική η παρουσίαση ομοιόμορφων λύσεων ασφάλειας και μετριασμού των κινδύνων για όλα τα κτίρια ανεξαρτήτως τύπου, χρήσης και τοποθεσίας.



## 5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΜΕΛΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΕΚΡΗΞΕΩΝ

Εκτός από τα μέτρα που είναι εφικτό να εφαρμοστούν στο επίπεδο της δυσχέρειας της προσβασιμότητας σε τρωτά σημεία σημαντικών εγκαταστάσεων, τον έλεγχο των διερχομένων, την αξιοποίηση της τοπογραφίας, τη παρακολούθηση των χώρων με κλειστά κυκλώματα και πολλών ακόμα καλών πρακτικών που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και συμβάλουν ουσιαστικά στη προστασία της κατασκευής από εκρήξεις, μια μεγάλη πρόκληση για το μηχανικό αποτελεί ο σχεδιασμός των δομικών μελών των κατασκευών. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η μέθοδος υπολογισμού δομικών στοιχείων χάλυβα έναντι εκρηκτικών φορτίων και το πλάνο δράσης προκειμένου να υπολογιστούν τα φορτία που επενεργούν στη κατασκευή.

### 5.1 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ

- Εκτίμηση σεναρίου έκρηξης βάσει γεωμετρίας κατασκευής, πιθανών εμποδίων και κυκλοφορόντων οχημάτων, όπου προσδιορίζεται το είδος της εκρηκτικής ύλης, η απόστασή της από τη κατασκευή, το μέγεθός της μέσα από τον όγκο του οχήματος. Σε περίπτωση που είναι πολλά τα σενάρια έκρηξης, εκτελούνται τα δυσμενέστερα εκ των σεναρίων.
- Διακριτοποίηση της κατασκευής ώστε να υπολογιστούν τα εκρηκτικά φορτία σε διαφορετικά σημεία. Τα διάφορα σημεία θα έχουν διαφορετικά φορτία λόγω της διαφορετικής γεωμετρίας της κατασκευής.
- Υπολογισμός του ισοδύναμου φορτίου TNT.
- Υπολογισμός της κλιμακωτής απόστασης και αντιστοίχιση στα διαγράμματα με ανάλογη προσαρμογή στις επιφάνειες της κατασκευής (αν πρόκειται για μπροστινή όψη, πίσω όψη κ.τ.λ.) ή χρήση κατάλληλου λογισμικού.
- Εκτίμηση τελικού φορτίου κάθε μέρους της κατασκευής και μορφής φορτίου, δηλαδή αν θα είναι τριγωνικό ή όχι.

## 5.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΙΩΝ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Μια μεγάλη μερίδα των κτιρίων δημοσίας χρήσης που είναι εκτεθειμένα περισσότερο σε μια τρομοκρατική επίθεση είναι κατασκευασμένα από δομικό χάλυβα. Οι κύριες διαφορές που έχει ο σχεδιασμός μιας συμβατικής κατασκευής με μια κατασκευή που επιθυμεί ο ιδιοκτήτης να είναι ικανή να παραλάβει εκρηκτικά φορτία έγκειται στα παρακάτω χαρακτηριστικά.

- Αυξάνεται η αντοχή του δομικού χάλυβα.
- Υπάρχει υποχρεωτική ανάγκη για πλαστιμότητα.
- Όρια παραμορφώσεων.
- Διαφορετικές μέθοδοι για τον υπολογισμό των διατομών.
- Διαφορετική στατική λειτουργία έναντι έκρηξης.

### 5.2.1 ΑΥΞΗΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΜΙΚΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Ο δομικός χάλυβας εμφανίζει έναντι έντονης δυναμικής φόρτισης, αυξημένη αντοχή. Αυτή η αντοχή παρουσιάζεται ως δυναμική αντοχή χάλυβα. Η αύξηση αντοχής έγκειται τόσο στην αύξηση της αντοχής θραύσης όσο και στην αύξηση της αντοχής διαρροής ενώ το μέτρο ελαστικότητας και το όριο πλαστικών στρωφών δεν φαίνεται να μεταβάλλονται. Η αύξηση της στατικής αντοχής στα επίπεδα της δυναμικής αντοχής γίνεται μέσω του δυναμικού συντελεστή αύξησης (Dynamic increase factor – DIF). Αυτός ποικίλλει ανάλογα με το είδος του χρησιμοποιηθέντος χάλυβα και κάθε φορά θα πρέπει να αναζητείται ή να προσεγγίζεται προς την πλευρά της ασφάλειας. Διαφέρει ως προς το εάν πρόκειται για τον υπολογισμό της αντοχής θραύσης ή της αντοχής διαρροής, για κάμψη, διάτμηση, θλίψη ή εφελκυσμό και σχετίζεται άμεσα με το ρυθμό παραμόρφωσης.

Επιπλέον, υπάρχει και ο συντελεστής αύξησης αντοχής που έχει να κάνει με το γεγονός ότι η αντοχή που λαμβάνεται υπόψιν στο σχεδιασμό είναι χαμηλότερη της πραγματικής (Strength increase factor – SIF). Τα UFC 3-340-02 ορίζουν ότι στην περίπτωση του δομικού χάλυβα ο SIF μπορεί να ληφθεί ίσος με 1.10 για χάλυβα αντοχής έως και 355MPa ενώ για τα υπόλοιπα είδη θεωρείται ίσος με 1.00. Για διατομές δε ψυχρής έλασης θεωρείται συνήθως ίσος με 1.21.

$$f_{y,dyn} = DIF \cdot SIF \cdot f_y$$

Είδος φόρτισης	Κατηγορία προστασίας	Δυναμική αντοχή
Κάμψη	1	$f_{y,dyn} = f_{y,dyn}$ με συντελεστή 0.90 για διατομές ψυχρής έλασης
	2	$f_{y,dyn} = f_{y,dyn} + \frac{1}{4} \cdot (f_{u,dyn} - f_{y,dyn})$
Διάτμηση	Όλες	$0.55 \cdot f_{y,dyn}$

Πίνακας 5-1. Δυναμική αντοχή χαλύβδινων στοιχείων σύμφωνα με τα UFC 3-340-02. [7]

$f_y$  : Αντοχή διαρροής.

$f_{y,dyn}$ : Δυναμική αντοχή διαρροής.

$f_{y,dyn}$ : Δυναμική αντοχή διαρροής σχεδιασμού.

$f_u$  : Αντοχή θραύσης.

$f_{u,dyn}$ : Δυναμική αντοχή θραύσης.

## 5.2.2 ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑ

Για το σχεδιασμό έναντι έκρηξης είναι απαραίτητη η εμφάνιση πλαστιμότητας από τη πλευρά της κατασκευής προκειμένου να αποφευχθεί η πιθανότητα ψαθυρής αστοχίας στην οποία είναι επιρρεπής μια κατασκευή υπό έκρηξη. Έτσι, αναγκαίος είναι ο σχεδιασμός με διατομές κατηγορίας 1.

Η απαίτηση αυτή προκύπτει από την ανάγκη αποτροπής εμφάνισης τοπικής αστάθειας σε κάποιο σημείο της κατασκευής που μπορεί να οδηγήσει σε αλυσιδωτές επιπτώσεις. Το ενδεχόμενο τοπικής αστάθειας είναι έντονο έναντι δυναμικής ή ωστικής φόρτισης από έκρηξη ιδιαίτερα στις μεταλλικές κατασκευές. Επιπλέον, δεν πρέπει να παραλείπεται η εξασφάλιση της αντοχής σε εναλλαγή του πρόσημου φόρτισης λόγω της έκρηξης. Ενώ συνολικά, η κατασκευή θα πρέπει να εμφανίζει έναν αξιόπιστο πλαστικό μηχανισμό κατάρρευσης.

Τέλος, κατάλληλη μέριμνα πρέπει να δίνεται στις μεταλλικές συνδέσεις οι οποίες πρέπει να έχουν την ανάλογη στιβαρότητα και αντοχή ώστε να δίνουν τη δυνατότητα ανάπτυξης πλαστικών στροφών, ώστε να αντιμετωπίζεται η φόρτιση της έκρηξης. Σε αυτές, επιπρόσθετο βαρύνοντα ρόλο παίζει ο ικανοτικός σχεδιασμός ο οποίος επιβάλλει η αντοχή του κόμβου να είναι μεγαλύτερη της αντοχής των συνδεόμενων μελών. Εκεί ελλοχεύει ο κίνδυνος εμφάνισης αυξημένης αντοχής (δυναμικής αντοχής) στα συνδεόμενα μέλη. Ωστόσο, τόσο οι συγκολλήσεις όσο και οι κοχλίες έχουν ανάλογη αύξηση στην αντοχή τους.

## 5.2.3 ΟΡΙΑ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Το όριο παραμορφώσεων είναι ιδιαίτερα σημαντικό στο σχεδιασμό χαλύβδινων κατασκευών έναντι έκρηξης καθώς είναι αυτό που κρίνει σε σημαντικό βαθμό τη τελική προστασία που επιβάλλεται και άρα, αποτελεί βασικό παράγοντα κατά τη φάση διαστασιολόγησης. Για τη προστασία της ανθρώπινης ζωής τα όρια ενισχύονται σε σχέση με εκείνα που επιβάλλονται για τη προστασία των δομικών στοιχείων.

Είδος στοιχείου	Ειδικότερα στοιχεία	Είδος επικρατούσας παραμόρφωσης	Μέγιστη παραμόρφωση για Medium level	Μέγιστη παραμόρφωση για Low level
Δοκοί, τεγίδες	-	θ	3°	12°
		μ	3	10
Μηκίδες	Με δράση καλωδίου	θ	4°	12°
Πλαίσια, σύνδεσμοι δυσκαμψίας	-	θ	-	3°
		μ	1	3
Μεταλλικά φύλλα ψυχρής έλασης, πετάσματα	Με δράση μεμβράνης	θ	3°	6°
		μ	3	6

Πίνακας 5-1. Όρια παραμορφώσεων σύμφωνα με το PDC-TR 06-08.

## 5.2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Όπως προαναφέρθηκε, σημαντικό ρόλο παίζουν τα όρια παραμορφώσεων ανάλογα με τη προστασία που επιβάλλεται. Έτσι, ανάλογα με την απαιτούμενη προστασία ακολουθείται η κάτωθι διαδικασία:

### Βήματα

1. Υπολογισμός της απαιτούμενης ισοδύναμης στατικής αντίστασης που εμφανίζει το κάθε μέλος έναντι του φορτίου της έκρηξης ανάλογα με τη κατηγορία προστασίας.
2. Υπολογισμός απαιτούμενης αντοχής δομικού μέλους από την απαιτούμενη αντίσταση και τις ιδιότητες του δομικού μέλους.

3. Διαστασιολόγηση του μέλους βάσει της απαιτούμενης αντοχής.
4. Υπολογισμός ιδιοπεριόδου του δομικού μέλους και εφαρμογή του ισοδύναμου μονοβάθμιου ταλαντωτή για τον έλεγχο του είδους της κατάστασης (οιονεί στατική ή δυναμική κατάσταση και ωστική κατάσταση).
  - Για την οιονεί στατική ή δυναμική κατάσταση διεξάγεται έλεγχος εξασφάλισης των ορίων παραμορφώσεων μέσω των διαγραμμάτων απόκρισης του μονοβάθμιου ταλαντωτή.
  - Για την ωστική κατάσταση διεξάγεται έλεγχος εξασφάλισης των ορίων παραμορφώσεων με επίλυση της βασικής εξίσωσης ώθησης.

Όπου η βασική εξίσωση ώθησης για στροφές στήριξης  $\theta < 5^\circ$  προκύπτει ως:

$$i^2 \cdot A^2 / 2 \cdot KLM \cdot M = Rm \cdot XE / 2 + Rm \cdot (Xm - XE) \quad (5-1)$$

Συνήθως, προκύπτει οιονεί στατική ή δυναμική κατάσταση για τα δομικά στοιχεία από χάλυβα. Επιπλέον, για χαμηλές πιέσεις μπορεί να εκτελεστεί ένας προκαταρκτικός υπολογισμός διατομής σύμφωνα με την ισοδύναμη στατική αντίσταση:

Κατηγορία προστασίας	Ισοδύναμη στατική αντίσταση
1	$1.0 \cdot p_{max} \cdot A$
2	$0.5 \cdot p_{max} \cdot A$

Πίνακας 5-2. Ισοδύναμη στατική αντίσταση σύμφωνα με τα UFC 3-340-02. [7]


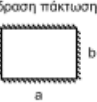
### 5.3 ΠΙΝΑΚΕΣ

Φορτίο	Μοζο	Συμπεριφορά	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	k	K <sub>c</sub>	V <sub>1</sub>	v	V		
		Ελαστική	0.64	0.50	0.78	$\frac{8M_{max}}{L}$	$\frac{384EI}{5L^3}$	384EI	$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.39R+0.11F		
		Πλαστική	0.50	0.33	0.66	$\frac{8M_{max}}{L}$	0		$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.38R <sub>0</sub> +0.12F		
		Ελαστική	0.64	1.00	1.56	$\frac{8M_{max}}{L}$	$\frac{384EI}{5L^3}$		$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.50R		
		Πλαστική	0.50	1.00	2.00	$\frac{8M_{max}}{L}$	0		$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.50R <sub>0</sub>		
		Ελαστική	1.00	0.49	0.49	$\frac{4M_{max}}{L}$	$\frac{48EI}{L^3}$		48EI	$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.78R-0.28F	
		Πλαστική	1.00	0.33	0.33	$\frac{4M_{max}}{L}$	0			$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.75R <sub>0</sub> -0.25F	
		Ελαστική	0.87	0.50	0.58	$\frac{6M_{max}}{L}$	$\frac{56.4EI}{L^3}$	56.4EI	$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.525R-0.025F		
		Πλαστική	1.00	0.56	0.56	$\frac{6M_{max}}{L}$	0		$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.52R <sub>0</sub> -0.02F		
		Ελαστική	0.87	0.76	0.87	$\frac{6M_{max}}{L}$	$\frac{56.4EI}{L^3}$		$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.50R		
		Πλαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{6M_{max}}{L}$	0		$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.50R <sub>0</sub>		
			Ελαστική	0.53	0.41	0.77	$\frac{12M_{max}}{L}$		$\frac{384EI}{L^3}$	307EI	$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.36R+0.14F
			Ελαστοπλαστική	0.64	0.50	0.78	$\frac{8(M_{max}+M_{ext})}{L}$		$\frac{384EI}{5L^3}$		$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.39R+0.11F
		Ελαστική	0.53	1.00	1.88	$\frac{12M_{max}}{L}$	0	$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$		0.50R		
		Ελαστοπλαστική	0.64	1.00	1.56	$\frac{8(M_{max}+M_{ext})}{L}$	$\frac{384EI}{5L^3}$	$\frac{R_1}{2}$	$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$		0.50R		
		Ελαστική	1.00	0.37	0.37	$\frac{4(M_{max}+M_{ext})}{L}$	$\frac{192EI}{L^3}$	192EI	$\frac{R_1}{2}$		$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.71R-0.21F	
		Πλαστική	1.00	0.33	0.33	$\frac{4(M_{max}+M_{ext})}{L}$	0		$\frac{R_1}{2}$		$R_1 \frac{1}{2d_1} \frac{1}{L}$	0.75R <sub>0</sub> -0.25F	
		Ελαστική	0.58	0.45	0.78	$\frac{8M_{max}}{L}$	$\frac{185EI}{L^3}$	160EI	$V_1 = \frac{3R_1}{8} - \frac{5R_2}{8}$	$v_1 = R_1 \frac{3}{8d_1} - \frac{5}{8d_2} \frac{1}{L}$	$V_1 = 0.26R + 0.12F$		
		Ελαστοπλαστική	0.64	0.50	0.78	$\frac{4(M_{max}+2M_{ext})}{L}$	$\frac{384EI}{5L^3}$		$V_1 = \frac{3R_1}{8} - \frac{5R_2}{8}$	$v_1 = R_1 \frac{3}{8d_1} - \frac{5}{8d_2} \frac{1}{L}$	$V_1 = 0.39R + 0.11F + \frac{M_{ext}}{L}$		
		Ελαστική	0.58	1.00	1.73	$\frac{8M_{max}}{L}$	$\frac{185EI}{L^3}$		$V_1 = \frac{3R_1}{8} - \frac{5R_2}{8}$	$v_1 = R_1 \frac{3}{8d_1} - \frac{5}{8d_2} \frac{1}{L}$	$V_1 = 0.38R + 0.12F + \frac{M_{ext}}{L}$		
		Ελαστοπλαστική	0.64	1.00	1.56	$\frac{4(M_{max}+2M_{ext})}{L}$	$\frac{384EI}{5L^3}$		$V_1 = \frac{3R_1}{8} - \frac{5R_2}{8}$	$v_1 = R_1 \frac{3}{8d_1} - \frac{5}{8d_2} \frac{1}{L}$	$V_1 = 0.375R - \frac{M_{ext}}{L}$		
		Ελαστική	1.00	0.43	0.43	$\frac{16M_{max}}{3L}$	$\frac{107EI}{L^3}$		$V_1 = \frac{3R_1}{8} - \frac{5R_2}{8}$	$v_1 = R_1 \frac{3}{8d_1} - \frac{5}{8d_2} \frac{1}{L}$	$V_1 = 0.50R + \frac{M_{ext}}{L}$		
		Πλαστική	0.50	1.00	2.00	$\frac{4(M_{max}+2M_{ext})}{L}$	0		$V_1 = \frac{3R_1}{8} - \frac{5R_2}{8}$	$v_1 = R_1 \frac{3}{8d_1} - \frac{5}{8d_2} \frac{1}{L}$	$V_1 = 0.50R + \frac{M_{ext}}{L}$		
		Ελαστική	1.00	0.43	0.43	$\frac{16M_{max}}{3L}$	$\frac{107EI}{L^3}$	106EI	$V_1 = \frac{5R_1}{16} - \frac{11R_2}{16}$	$v_1 = \frac{5R_1}{16d_1} - \frac{11R_2}{16d_2} \frac{1}{L}$	$V_1 = 0.25R + 0.07F$		
		Ελαστοπλαστική	1.00	0.49	0.49	$\frac{2(M_{max}+2M_{ext})}{L}$	$\frac{48EI}{L^3}$		$V_1 = \frac{5R_1}{16} - \frac{11R_2}{16}$	$v_1 = \frac{5R_1}{16d_1} - \frac{11R_2}{16d_2} \frac{1}{L}$	$V_1 = 0.78R - 0.28F + \frac{M_{ext}}{L}$		
		Ελαστική	1.00	0.33	0.33	$\frac{2(M_{max}+2M_{ext})}{L}$	0		$V_1 = \frac{5R_1}{16} - \frac{11R_2}{16}$	$v_1 = \frac{5R_1}{16d_1} - \frac{11R_2}{16d_2} \frac{1}{L}$	$V_1 = 0.75R - 0.25F + \frac{M_{ext}}{L}$		
		Πλαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{2(M_{max}+2M_{ext})}{L}$	$\frac{48EI}{L^3}$		$V_1 = \frac{5R_1}{16} - \frac{11R_2}{16}$	$v_1 = \frac{5R_1}{16d_1} - \frac{11R_2}{16d_2} \frac{1}{L}$	$V_1 = 0.375R - \frac{M_{ext}}{L}$		
		Ελαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{16M_{max}}{3L}$	$\frac{107EI}{L^3}$		$V_1 = \frac{5R_1}{16} - \frac{11R_2}{16}$	$v_1 = \frac{5R_1}{16d_1} - \frac{11R_2}{16d_2} \frac{1}{L}$	$V_1 = 0.50R + \frac{M_{ext}}{L}$		
		Πλαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{2(M_{max}+2M_{ext})}{L}$	0		$V_1 = \frac{5R_1}{16} - \frac{11R_2}{16}$	$v_1 = \frac{5R_1}{16d_1} - \frac{11R_2}{16d_2} \frac{1}{L}$	$V_1 = 0.50R + \frac{M_{ext}}{L}$		



			Ελαστική	0.58	0.45	0.78	$\frac{8M_{ps}}{L}$	$\frac{160EI}{L^3}$	$V_{s1} = \frac{3R_m}{8}$ $V_{s2} = \frac{5R_m}{8}$ $V_1 = R_m$ $v_1 = \frac{3}{80} \frac{1}{L}$ $v_2 = R_m$ $\frac{5}{80} \frac{1}{L}$ $V_1 = 0.26R + 0.12F$ $V_2 = 0.43R + 0.19F$	
			Ελαστοπλαστική	0.64	0.50	0.78	$\frac{4(M_{ps} + 2M_{sp})}{L}$	$\frac{384EI}{5L^3}$		$V_{s1} = \frac{3R_m}{8}$ $V_{s2} = \frac{5R_m}{8}$ $V_1 = R_m$ $v_1 = \frac{3}{80} \frac{1}{L}$ $v_2 = R_m$ $\frac{5}{80} \frac{1}{L}$ $V = 0.39R + 0.11F \pm \frac{M_{ps}}{L}$
			Πλαστική	0.50	0.33	0.66	$\frac{4(M_{ps} + 2M_{sp})}{L}$	0		$V_{s1} = \frac{3R_m}{8}$ $V_{s2} = \frac{5R_m}{8}$ $V_1 = R_m$ $v_1 = \frac{3}{80} \frac{1}{L}$ $v_2 = R_m$ $\frac{5}{80} \frac{1}{L}$ $V = 0.38R_m + 0.12F \pm \frac{M_{ps}}{L}$
			Ελαστική	0.58	1.00	1.73	$\frac{8M_{ps}}{L}$	$\frac{165EI}{L^3}$		$V_{s1} = \frac{3R_m}{8}$ $V_{s2} = \frac{5R_m}{8}$ $V_1 = R_m$ $v_1 = \frac{3}{80} \frac{1}{L}$ $v_2 = R_m$ $\frac{5}{80} \frac{1}{L}$ $V_1 = 0.375R$ $V_2 = 0.625R$
			Ελαστοπλαστική	0.64	1.00	1.58	$\frac{4(M_{ps} + 2M_{sp})}{L}$	$\frac{384EI}{5L^3}$		$V_{s1} = \frac{3R_m}{8}$ $V_{s2} = \frac{5R_m}{8}$ $V_1 = R_m$ $v_1 = \frac{3}{80} \frac{1}{L}$ $v_2 = R_m$ $\frac{5}{80} \frac{1}{L}$ $V = 0.50R \pm \frac{M_{ps}}{L}$
			Πλαστική	0.50	1.00	2.00	$\frac{4(M_{ps} + 2M_{sp})}{L}$	0		$V_{s1} = \frac{3R_m}{8}$ $V_{s2} = \frac{5R_m}{8}$ $V_1 = R_m$ $v_1 = \frac{3}{80} \frac{1}{L}$ $v_2 = R_m$ $\frac{5}{80} \frac{1}{L}$ $V = 0.50R \pm \frac{M_{ps}}{L}$
			Ελαστική	1.00	0.43	0.43	$\frac{16M_{ps}}{3L}$	$\frac{107EI}{L^3}$	$V_{s1} = \frac{5R_m}{16}$ $V_{s2} = \frac{11R_m}{16}$ $v_1 = \frac{5R_m}{16d_s}$ $v_2 = \frac{11R_m}{16d_s}$ $V_1 = 0.25R + 0.07F$ $V_2 = 0.54R + 0.14F$	
			Ελαστοπλαστική	1.00	0.49	0.49	$\frac{2(M_{ps} + 2M_{sp})}{L}$	$\frac{48EI}{L^3}$		$V_{s1} = \frac{5R_m}{16}$ $V_{s2} = \frac{11R_m}{16}$ $v_1 = \frac{5R_m}{16d_s}$ $v_2 = \frac{11R_m}{16d_s}$ $V = 0.78R - 0.28F \pm \frac{M_{ps}}{L}$
			Πλαστική	1.00	0.33	0.33	$\frac{2(M_{ps} + 2M_{sp})}{L}$	0		$V_{s1} = \frac{5R_m}{16}$ $V_{s2} = \frac{11R_m}{16}$ $v_1 = \frac{5R_m}{16d_s}$ $v_2 = \frac{11R_m}{16d_s}$ $V = 0.75R_m - 0.25F \pm \frac{M_{ps}}{L}$
			Ελαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{16M_{ps}}{3L}$	$\frac{107EI}{L^3}$		$V_{s1} = \frac{5R_m}{16}$ $V_{s2} = \frac{11R_m}{16}$ $v_1 = \frac{5R_m}{16d_s}$ $v_2 = \frac{11R_m}{16d_s}$ $V_1 = 0.375R$ $V_2 = 0.625R$
			Ελαστοπλαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{2(M_{ps} + 2M_{sp})}{L}$	$\frac{48EI}{L^3}$		$V_{s1} = \frac{5R_m}{16}$ $V_{s2} = \frac{11R_m}{16}$ $v_1 = \frac{5R_m}{16d_s}$ $v_2 = \frac{11R_m}{16d_s}$ $V = 0.50R \pm \frac{M_{ps}}{L}$
			Πλαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{2(M_{ps} + 2M_{sp})}{L}$	0		$V_{s1} = \frac{5R_m}{16}$ $V_{s2} = \frac{11R_m}{16}$ $v_1 = \frac{5R_m}{16d_s}$ $v_2 = \frac{11R_m}{16d_s}$ $V = 0.50R \pm \frac{M_{ps}}{L}$
			Ελαστική	0.81	0.45	0.55	$\frac{6M_{ps}}{L}$	$\frac{132EI}{L^3}$	$V_{s1} = \frac{R_m}{3}$ $V_{s2} = \frac{2R_m}{3}$ $v_1 = \frac{R_m}{3d_s}$ $v_2 = \frac{2R_m}{3d_s}$ $V_1 = 0.17R + 0.17F$ $V_2 = 0.33R + 0.33F$	
			Ελαστοπλαστική	0.87	0.52	0.60	$\frac{2(M_{ps} + 3M_{sp})}{L}$	$\frac{58EI}{L^3}$		$V_{s1} = \frac{R_m}{3}$ $V_{s2} = \frac{2R_m}{3}$ $v_1 = \frac{R_m}{3d_s}$ $v_2 = \frac{2R_m}{3d_s}$ $V = 0.525R - 0.025F \pm \frac{M_{ps}}{L}$
			Πλαστική	1.00	0.56	0.56	$\frac{2(M_{ps} + 3M_{sp})}{L}$	0		$V_{s1} = \frac{R_m}{3}$ $V_{s2} = \frac{2R_m}{3}$ $v_1 = \frac{R_m}{3d_s}$ $v_2 = \frac{2R_m}{3d_s}$ $V = 0.52R_m - 0.02F \pm \frac{M_{ps}}{L}$
			Ελαστική	0.81	0.67	0.83	$\frac{6M_{ps}}{L}$	$\frac{132EI}{L^3}$		$V_{s1} = \frac{R_m}{3}$ $V_{s2} = \frac{2R_m}{3}$ $v_1 = \frac{R_m}{3d_s}$ $v_2 = \frac{2R_m}{3d_s}$ $V_1 = 0.375R$ $V_2 = 0.625R$
			Ελαστοπλαστική	0.87	0.76	0.87	$\frac{2(M_{ps} + 3M_{sp})}{L}$	$\frac{58EI}{L^3}$		$V_{s1} = \frac{R_m}{3}$ $V_{s2} = \frac{2R_m}{3}$ $v_1 = \frac{R_m}{3d_s}$ $v_2 = \frac{2R_m}{3d_s}$ $V = 0.50R \pm \frac{M_{ps}}{L}$
			Πλαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{2(M_{ps} + 3M_{sp})}{L}$	0		$V_{s1} = \frac{R_m}{3}$ $V_{s2} = \frac{2R_m}{3}$ $v_1 = \frac{R_m}{3d_s}$ $v_2 = \frac{2R_m}{3d_s}$ $V = 0.50R \pm \frac{M_{ps}}{L}$
			Ελαστική	0.40	0.26	0.65	$\frac{2M_{ps}}{L}$	$\frac{8EI}{L^3}$	$R_m$ $R_m$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $0.69R + 0.31F$	
			Πλαστική	0.50	0.33	0.66	$\frac{2M_{ps}}{L}$	0		$R_m$ $R_m$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $0.75R_m + 0.25F$
			Ελαστική	0.40	1.00	2.50	$\frac{2M_{ps}}{L}$	$\frac{8EI}{L^3}$		$R_m$ $R_m$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $0.50R + 0.50F$
			Πλαστική	0.50	1.00	2.00	$\frac{2M_{ps}}{L}$	0		$R_m$ $R_m$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $0.50R_m + 0.50F$
			Ελαστική	1.00	0.24	0.24	$\frac{M_{ps}}{L}$	$\frac{3EI}{L^3}$		$R_m$ $R_m$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $1.74R - 0.74F$
			Πλαστική	1.00	0.33	0.33	$\frac{M_{ps}}{L}$	0		$R_m$ $R_m$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $1.50R_m - 0.50F$
			Ελαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{M_{ps}}{L}$	$\frac{3EI}{L^3}$	$R_m$ $R_m$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $1.00R$	
			Πλαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{M_{ps}}{L}$	0		$R_m$ $R_m$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $1.00R_m$
			Ελαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{M_{ps}}{L}$	$\frac{3EI}{L^3}$		$R_m$ $R_m$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $1.00R$
			Πλαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{M_{ps}}{L}$	0		$R_m$ $R_m$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $1.00R_m$
			Ελαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{M_{ps}}{L}$	$\frac{3EI}{L^3}$		$R_m$ $R_m$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $1.00R$
			Πλαστική	1.00	1.00	1.00	$\frac{M_{ps}}{L}$	0		$R_m$ $R_m$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $\frac{1}{d_s} \frac{1}{L}$ $1.00R_m$

Πίνακας 5-3. Στοιχεία ισοδύναμου μονοβάθμιου ταλαντωτή για δοκούς  
 (\*Μόνο για  $M_{ps} = M_{pm}$ , s support – m midspan).

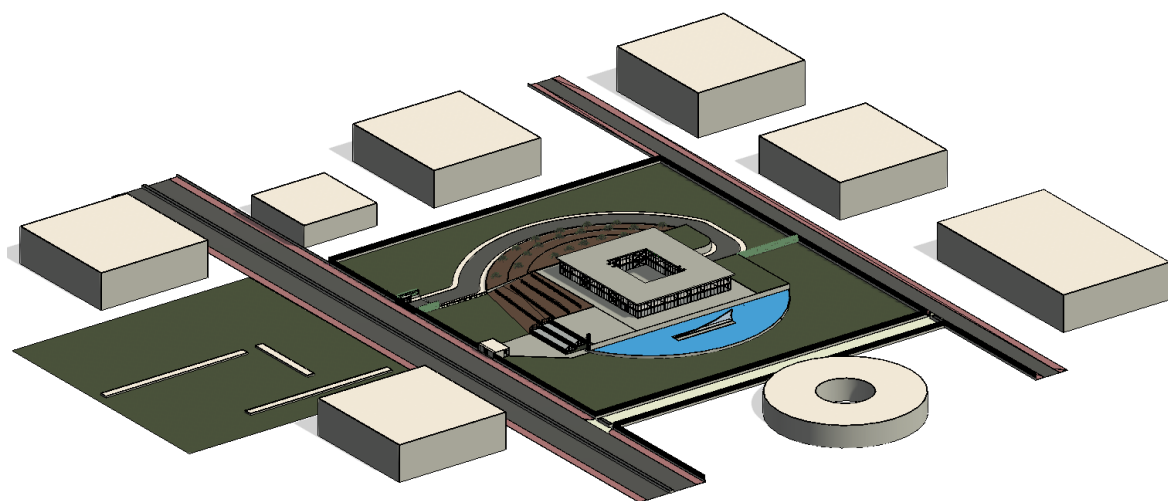
Είδος	Μάζα	Συμπεριφορά	a/b	$K_L$	$K_{M1}$	$K_{M2}$	$R_m$	k	V
Απλή έδραση 	Κατανομημένη	Ελαστική	1.00	0.46	0.31	0.67	$\frac{12}{a}(M_{psa}+M_{psb})$	$\frac{252EI}{a^2}$	$V_A=0.07F+0.18R$ $V_B=0.07F+0.18R$
			0.90	0.47	0.33	0.70	$\frac{1}{a}(12M_{psa}+11.0M_{psb})$	$\frac{230EI}{a^2}$	$V_A=0.06F+0.16R$ $V_B=0.08F+0.20R$
			0.80	0.49	0.35	0.71	$\frac{1}{a}(12M_{psa}+10.3M_{psb})$	$\frac{212EI}{a^2}$	$V_A=0.06F+0.14R$ $V_B=0.08F+0.22R$
			0.70	0.51	0.37	0.73	$\frac{1}{a}(12M_{psa}+9.8M_{psb})$	$\frac{201EI}{a^2}$	$V_A=0.05F+0.13R$ $V_B=0.08F+0.22R$
			0.60	0.53	0.39	0.74	$\frac{1}{a}(12M_{psa}+9.3M_{psb})$	$\frac{197EI}{a^2}$	$V_A=0.04F+0.11R$ $V_B=0.09F+0.26R$
			0.50	0.55	0.41	0.75	$\frac{1}{a}(12M_{psa}+9.0M_{psb})$	$\frac{201EI}{a^2}$	$V_A=0.04F+0.09R$ $V_B=0.09F+0.28R$
		Πλαστική	1.00	0.33	0.17	0.51	$\frac{12}{a}(M_{psa}+M_{psb})$	0.00	$V_A=0.09F+0.16R_m$ $V_B=0.09F+0.16R_m$
			0.90	0.35	0.18	0.51	$\frac{1}{a}(12M_{psa}+11.0M_{psb})$	0.00	$V_A=0.08F+0.15R_m$ $V_B=0.09F+0.18R_m$
			0.80	0.37	0.20	0.54	$\frac{1}{a}(12M_{psa}+10.3M_{psb})$	0.00	$V_A=0.07F+0.13R_m$ $V_B=0.10F+0.20R_m$
			0.70	0.38	0.22	0.58	$\frac{1}{a}(12M_{psa}+9.8M_{psb})$	0.00	$V_A=0.06F+0.12R_m$ $V_B=0.10F+0.22R_m$
			0.60	0.40	0.23	0.58	$\frac{1}{a}(12M_{psa}+9.3M_{psb})$	0.00	$V_A=0.05F+0.10R_m$ $V_B=0.10F+0.25R_m$
			0.50	0.42	0.25	0.59	$\frac{1}{a}(12M_{psa}+9.0M_{psb})$	0.00	$V_A=0.04F+0.08R_m$ $V_B=0.11F+0.27R_m$
Έδραση πάκτωσης 	Κατανομημένη	Ελαστική	1.00	0.33	0.21	0.63	$29.2M_{psb}^0$	$\frac{810EI}{a^2}$	$V_A=0.10F+0.15R$ $V_B=0.10F+0.15R$
			0.90	0.34	0.23	0.68	$27.4M_{psb}^0$	$\frac{742EI}{a^2}$	$V_A=0.09F+0.14R$ $V_B=0.10F+0.17R$
			0.80	0.36	0.25	0.69	$26.4M_{psb}^0$	$\frac{705EI}{a^2}$	$V_A=0.08F+0.12R$ $V_B=0.11F+0.19R$
			0.70	0.38	0.27	0.71	$26.2M_{psb}^0$	$\frac{692EI}{a^2}$	$V_A=0.07F+0.11R$ $V_B=0.11F+0.21R$
			0.60	0.41	0.29	0.71	$27.3M_{psb}^0$	$\frac{724EI}{a^2}$	$V_A=0.06F+0.09R$ $V_B=0.12F+0.23R$
			0.50	0.43	0.31	0.72	$30.2M_{psb}^0$	$\frac{806EI}{a^2}$	$V_A=0.05F+0.08R$ $V_B=0.12F+0.25R$
		Ελαστοπλαστική	1.00	0.46	0.31	0.67	$\frac{1}{a}[12(M_{psa}+M_{psb})+12.0(M_{psb}+M_{psb})]$	$\frac{252EI}{a^2}$	$V_A=0.07F+0.18R$ $V_B=0.07F+0.18R$
			0.90	0.47	0.33	0.70	$\frac{1}{a}[12(M_{psa}+M_{psb})+11.0(M_{psb}+M_{psb})]$	$\frac{230EI}{a^2}$	$V_A=0.06F+0.16R$ $V_B=0.08F+0.20R$
			0.80	0.49	0.35	0.71	$\frac{1}{a}[12(M_{psa}+M_{psb})+10.3(M_{psb}+M_{psb})]$	$\frac{212EI}{a^2}$	$V_A=0.06F+0.14R$ $V_B=0.08F+0.22R$
			0.70	0.51	0.37	0.73	$\frac{1}{a}[12(M_{psa}+M_{psb})+9.8(M_{psb}+M_{psb})]$	$\frac{201EI}{a^2}$	$V_A=0.05F+0.13R$ $V_B=0.08F+0.24R$
			0.60	0.53	0.39	0.74	$\frac{1}{a}[12(M_{psa}+M_{psb})+9.3(M_{psb}+M_{psb})]$	$\frac{197EI}{a^2}$	$V_A=0.04F+0.11R$ $V_B=0.09F+0.26R$
			0.50	0.55	0.41	0.75	$\frac{1}{a}[12(M_{psa}+M_{psb})+9.0(M_{psb}+M_{psb})]$	$\frac{201EI}{a^2}$	$V_A=0.04F+0.09R$ $V_B=0.09F+0.28R$
		Πλαστική	1.00	0.33	0.17	0.51	$\frac{1}{a}[12(M_{psa}+M_{psb})+12.0(M_{psb}+M_{psb})]$	0.00	$V_A=0.09F+0.16R_m$ $V_B=0.09F+0.16R_m$
			0.90	0.35	0.18	0.51	$\frac{1}{a}[12(M_{psa}+M_{psb})+11.0(M_{psb}+M_{psb})]$	0.00	$V_A=0.08F+0.15R_m$ $V_B=0.09F+0.18R_m$
			0.80	0.37	0.20	0.54	$\frac{1}{a}[12(M_{psa}+M_{psb})+10.3(M_{psb}+M_{psb})]$	0.00	$V_A=0.07F+0.13R_m$ $V_B=0.10F+0.20R_m$
			0.70	0.38	0.22	0.58	$\frac{1}{a}[12(M_{psa}+M_{psb})+9.8(M_{psb}+M_{psb})]$	0.00	$V_A=0.06F+0.12R_m$ $V_B=0.10F+0.22R_m$
			0.60	0.40	0.23	0.58	$\frac{1}{a}[12(M_{psa}+M_{psb})+9.3(M_{psb}+M_{psb})]$	0.00	$V_A=0.05F+0.10R_m$ $V_B=0.10F+0.25R_m$
			0.50	0.42	0.25	0.59	$\frac{1}{a}[12(M_{psa}+M_{psb})+9.0(M_{psb}+M_{psb})]$	0.00	$V_A=0.04F+0.08R_m$ $V_B=0.11F+0.27R_m$

Πίνακας 5-4. Στοιχεία ισοδύναμου μονοβάθμιου ταλαντωτή για πλάκες.

Εναλλακτικά δομικά στοιχεία με διάφορες συνθήκες στήριξης υπάρχουν σε αφθονία στο [7].



## 6 ΟΙΚΟΠΕΔΟ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

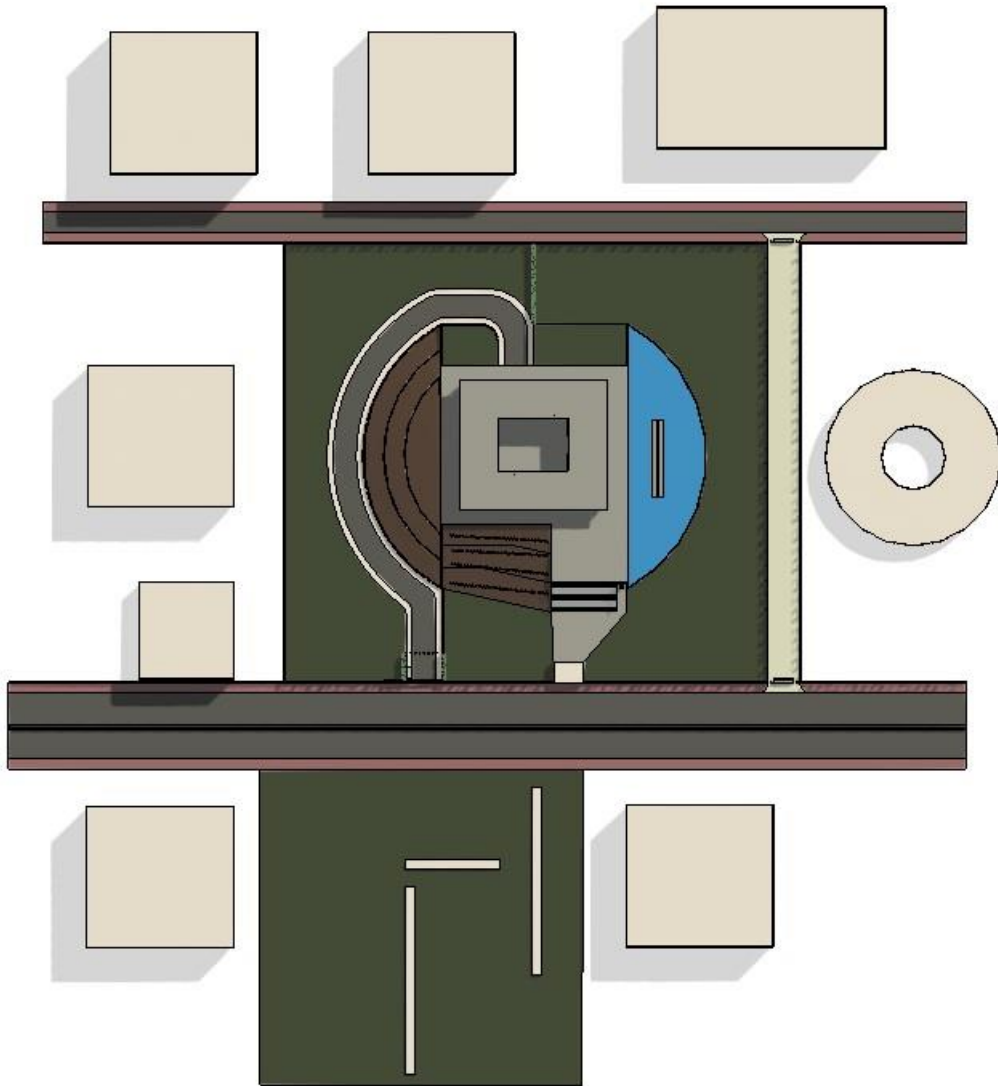


Σχήμα 6-1. 3-D Απεικόνιση οικοπέδου, γεωμετρίας κτιρίου Ελληνικής Πρεσβείας και κτιρίων της γύρω περιοχής.

### 6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ

Πρόκειται για ένα οικόπεδο 24.795 τ.μ με τη μεγαλύτερη πλευρά σε κεντρική λεωφόρο. Έχει ορθογωνικό σχήμα διαστάσεων 165,30x150,00 m και είναι επίπεδο. Στη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου προβλέπονται δυο σημεία εισόδου, ένα για πεζούς και ένα για οχήματα, τα οποία βρίσκονται στη νότια πλευρά του οικοπέδου. Έχει μελετηθεί να κατασκευαστεί περίφραξη περιμετρικά των πλευρών του ύψους 3,00m. Στη νότια πλευρά υπάρχει πεζοδρόμιο πλάτους 3,50m ενώ στη βόρεια και ανατολική πλευρά 2,50m. Το οικόπεδο συνορεύει ανατολικά με πεζοδρόμο στην απέναντι πλευρά του οποίου βρίσκεται κυκλικό κτίριο με περίφραξη, που αποτελεί τα κεντρικά γραφεία διαφημιστικής εταιρείας. Δυτικά το οικόπεδο συνορεύει με τετραώροφη οικοδομή όπου στεγάζει δικηγορική εταιρεία καθώς και βοηθητικό κτίριο γραφείων της ίδιας εταιρείας. Βόρεια συνορεύει με κάθετη οδό της ανατολικής παρόδου. Τα τρία κτίρια στο βόρειο μέρος στεγάζουν τους εργαζόμενους μεγάλης κατασκευαστικής

εταιρείας. Ενώ τα δυο κάτω κτίρια που έχουν ανάμεσα πλατεία στεγάζουν, το αριστερά ένα διαγνωστικό κέντρο και το δεξιά πολυτελής νεόδμητη κατοικία.



Σχήμα 6-2. 3-D Απεικόνιση Ελληνικής Πρεσβείας και γύρο κτιρίων.



Σχήμα 6-3. Νότια πλευρά οικοπέδου.



Σχήμα 6-4. Δυτική πλευρά οικοπέδου.



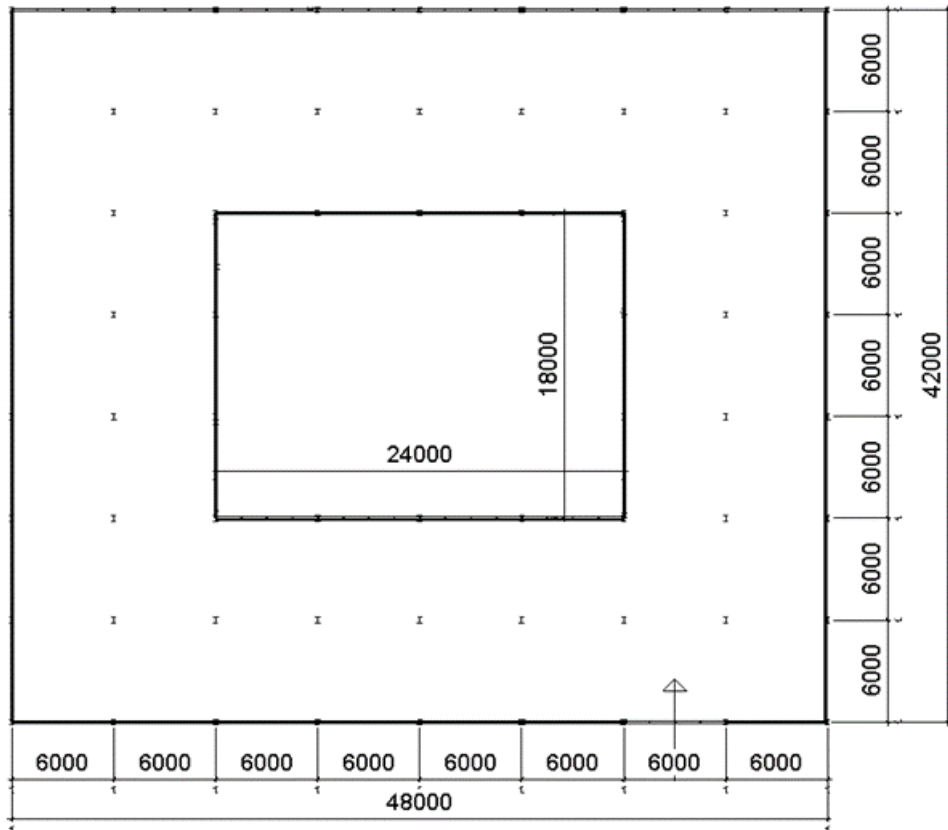
Σχήμα 6-5. Βόρεια πλευρά οικοπέδου.



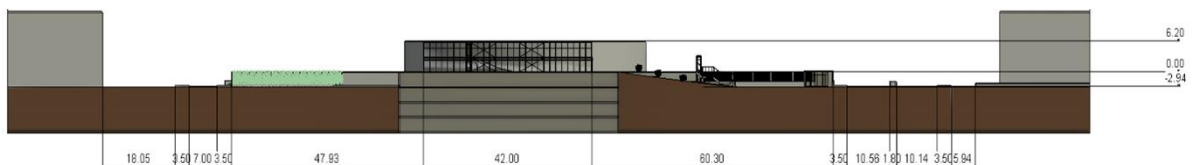
Σχήμα 6-6. Ανατολική πλευρά οικοπέδου.

## 6.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΩΝ

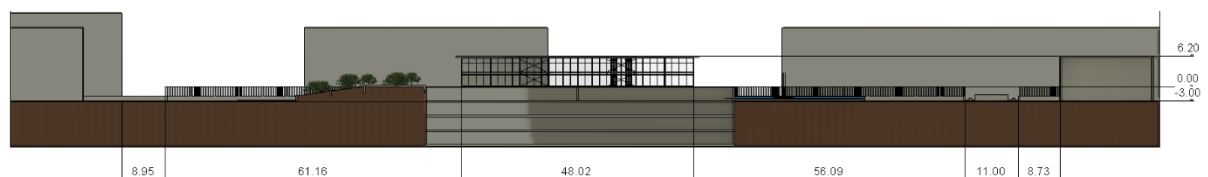
Στη παρούσα εφαρμογή μέτρων ασφαλείας για προστασία από εκρήξεις, το κτίριο που σχεδιάστηκε αποτελεί τη σύλληψη για το πως θα ήταν μια ελληνική πρεσβεία σε μια ευρωπαϊκή χώρα. Πρόκειται για ένα ορθογωνικό μεταλλικό κτίριο διαστάσεων 48,00x42,00 μέτρων και ύψους 6,20 μέτρα. Το κτίριο διαθέτει εσωτερική αυλή διαστάσεων 24,00x18,00 μέτρων Σχήμα 6-7. Αποτελείται από δυο ορόφους, ισόγειο και πρώτο όροφο καθώς και τέσσερα υπόγεια διαστάσεων 64,00x55,00 μέτρων. Το κυρίως κτίριο είναι τοποθετημένο κεντρικά του οικοπέδου με τη μεγαλύτερη πλευρά του κτιρίου να έχει νότιο προσανατολισμό. Η πρόσβαση στο κτίριο γίνεται για τους πεζούς από το ισόγειο στη νότια όψη. Το πρώτο υπόγειο του κτιρίου χρησιμοποιείται ως χώρος στάθμευσης και η πρόσβαση σε αυτό διεξάγεται από τη βόρεια όψη του. Το ισόγειο και ο πρώτος όροφος διαθέτουν χώρο υποδοχής των επισκεπτών και γραφεία εργαζομένων της πρεσβείας. Ενώ στα άλλα τρία υπόγεια υπάρχουν χώροι εκδηλώσεων, χώροι αποθήκευσης, γυμναστήριο και γραφεία ανωτέρων στελεχών της πρεσβείας. Στη νότια πλευρά του οικοπέδου υπάρχει άλλο ένα μικρότερο βοηθητικό κτίριο διαστάσεων 10,30x6,30 μέτρων από οπλισμένο σκυρόδεμα όπου διεξάγεται ο έλεγχος των εργαζομένων και επισκεπτών κατά την είσοδό τους στις εγκαταστάσεις της πρεσβείας.



Σχήμα 6-7. Γενική διάταξη στύλων κάτοψη ισογείου κτιρίου Ελληνικής Πρεσβείας



Σχήμα 6-8. Τομή εγκάρσια.

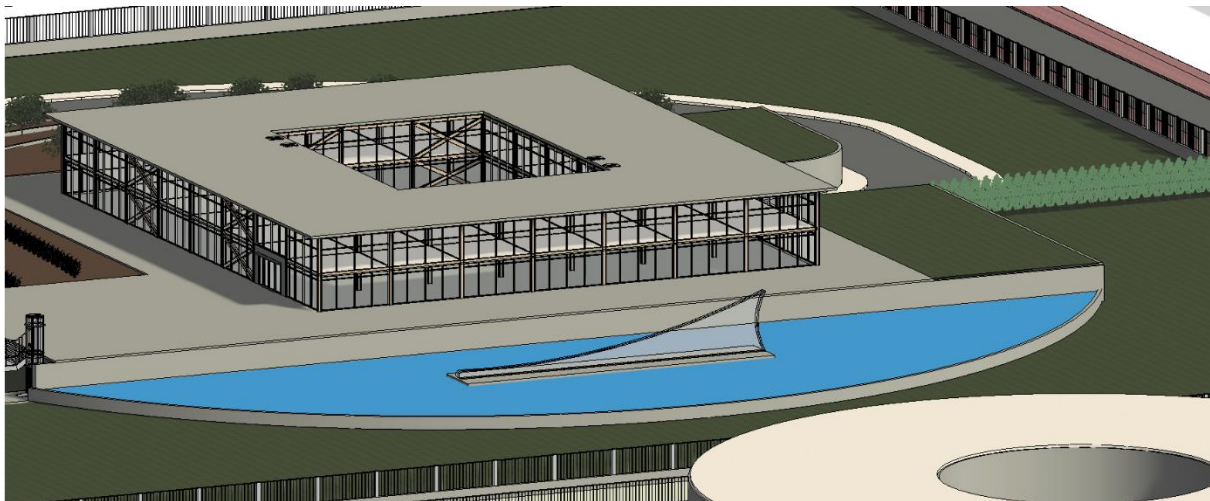


Σχήμα 6-9. Τομή διαμήκης.

### 6.3 Η ΣΥΛΛΗΨΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΙΔΕΑΣ

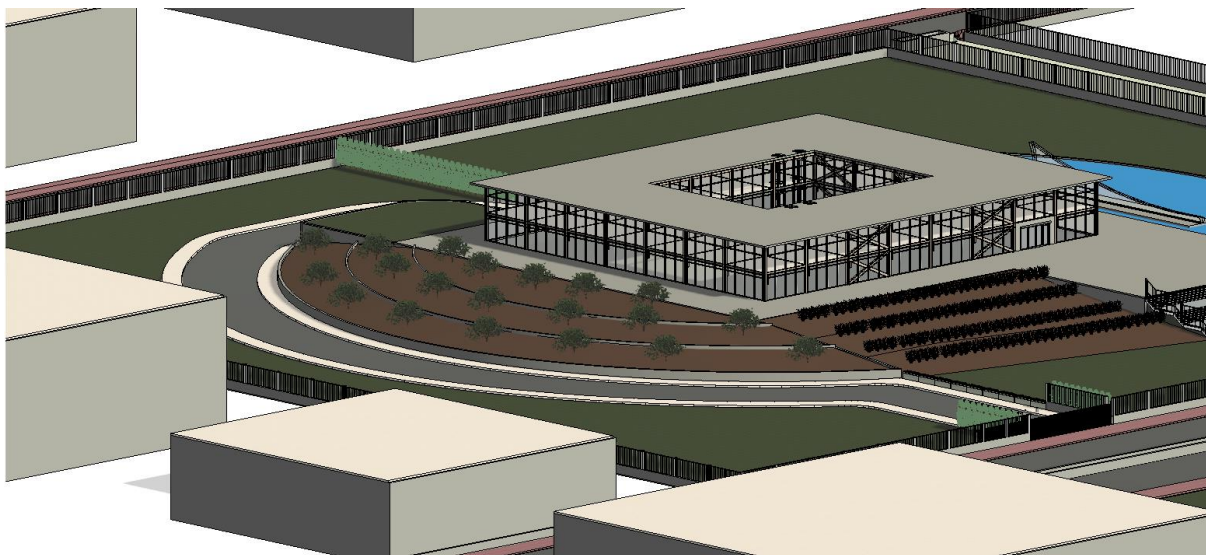
Ένα τέτοιο κτίριο πρεσβείας με την αρχιτεκτονική μορφολογία του μπορεί να εκπροσωπεί το πολιτισμό μιας χώρας σε μια άλλη. Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλη πολιτιστική κληρονομιά και επίσης σημερινή μεγάλη κλίμακα αντίστοιχης δραστηριότητας. Σε αυτή την εφαρμογή το κτίριο είναι εμπνευσμένο από τα λόγια του τιμημένου με Νόμπελ Λογοτεχνίας Έλληνα ποιητή Οδυσσέα Ελύτη «Εάν αποσυνθέσεις την Ελλάδα, στο τέλος θα δεις να σου απομένουν μια ελιά, ένα αμπέλι κι ένα καράβι. Που σημαίνει: με άλλα τόσα τη ξαναφτιάχνεις». Τα χαρακτηριστικά της Ελλάδας που ανέφερε ο Ελύτης αποτελούν τη κύρια

έμπνευση για την επιλογή και τη διαμόρφωση των διαφόρων στοιχείων εξωτερικά του κτιρίου, που με τη γεωμετρία και τις ιδιότητές τους συντάσσουν το δεύτερο στρώμα άμυνας του κτιρίου και συμβάλουν στην αποτροπή τρομοκρατικής επίθεσης. Πιο συγκεκριμένα στον ανατολικό χώρο του οικοπέδου εντός του υδάτινου στοιχείου δεσπόζει ένα έργο τέχνης φτιαγμένο από γυαλί που ενσαρκώνει το ανοιχτό πανί ενός ιστιοφόρου και φαίνεται στο Σχήμα 6-10. Το καράβι αποτελεί πανάρχαιο σύμβολο του θαλασσινού λαού των Ελλήνων, μέσω εξωτερικής πολιτικής, θαλάσσιας ισχύος και εκφράζει την εξωστρέφεια, τη περιπέτεια, την ανησυχία, την εξερεύνηση, το εμπόριο και το πολιτισμό. Στο δυτικό χώρο του οικοπέδου σε τρία επίπεδα ύψους ενός μέτρου το καθένα είναι φυτεμένο το δέντρο της ελιάς που αποτελεί σύμβολο ειρήνης, παραγωγικότητας, καρποφορίας και ευλογίας για το τόπο και παρουσιάζεται στο Σχήμα 6-11. Σε συμβολικό επίπεδο η ελιά συμβολίζει τη σοφία και την ειρήνη, με τη πρώτη να κυριαρχεί στις αποφάσεις των εθνών και τη δεύτερη να συμβιώνει ανάμεσά τους. Το τρίτο στοιχείο που συμπληρώνει το τρίπτυχο του Οδυσσέα Ελύτη είναι το αμπέλι, το οποίο βρίσκεται στη νότια πλευρά του οικοπέδου που είναι το σημείο που έχει προβλεφθεί να διεξάγεται η είσοδος του κοινού στο κτίριο και φαίνεται στο Σχήμα 6-12. Η τοποθέτηση του έξω από την κύρια πρόσοψη του κτιρίου σε σύγκριση με τα άλλα δυο στοιχεία αποσκοπεί στην υπενθύμιση ότι ο οίνος δεν είναι μόνο ένα μέσο απόλαυσης αλλά για τους αρχαίους Έλληνες ήταν φιλοσοφία και τρόπος ζωής, με ένα ποτήρι άκρατου οίνου και ένα συμπόσιο ξεκινούσαν πάντοτε οι μεγαλύτερες περιπέτειες της νόησης και αναπτύσσονταν τα σημαντικότερα ερωτήματα για την ανθρώπινη ύπαρξη και τη πορεία της ψυχής. Μέσω του οίνου ο άνθρωπος προσεγγίζει το συνάδελφο που θέλει να συζητήσει, τον έμπορο που θέλει να συνεργαστεί, το πολιτικό που θέλει να έχει προσφιλή πολιτική. Είναι ένα μέσο κοινωνικοποίησης και δημιουργίας φιλικού κλίματος. Όσον αναφορά το σχεδιασμό των στοιχείων ασφάλειας και του κτιρίου έχει αξιοποιηθεί η γεωμετρία του κέντρου και του κύκλου, της ευθείας γραμμής και του επιπέδου, της ορθής γωνίας και του τρισορθογώνιου συστήματος, των απλών γεωμετρικών σχημάτων και στερεών, της μέτρησης και του ρυθμού. Είναι αυτή που ο άνθρωπος τόσο με το πνεύμα όσο και με το σώμα αναγνωρίζει, κατανοεί και εγγράφει στη χωρική διάσταση της πραγματικότητας του κόσμου, του εαυτού του και των τόπων που κατοικεί, για αυτό το σκοπό έχουν επιλεγεί απλά σχήματα τόσο στη κατασκευή του κτιρίου όσο και των στοιχείων που το περιβάλλουν.

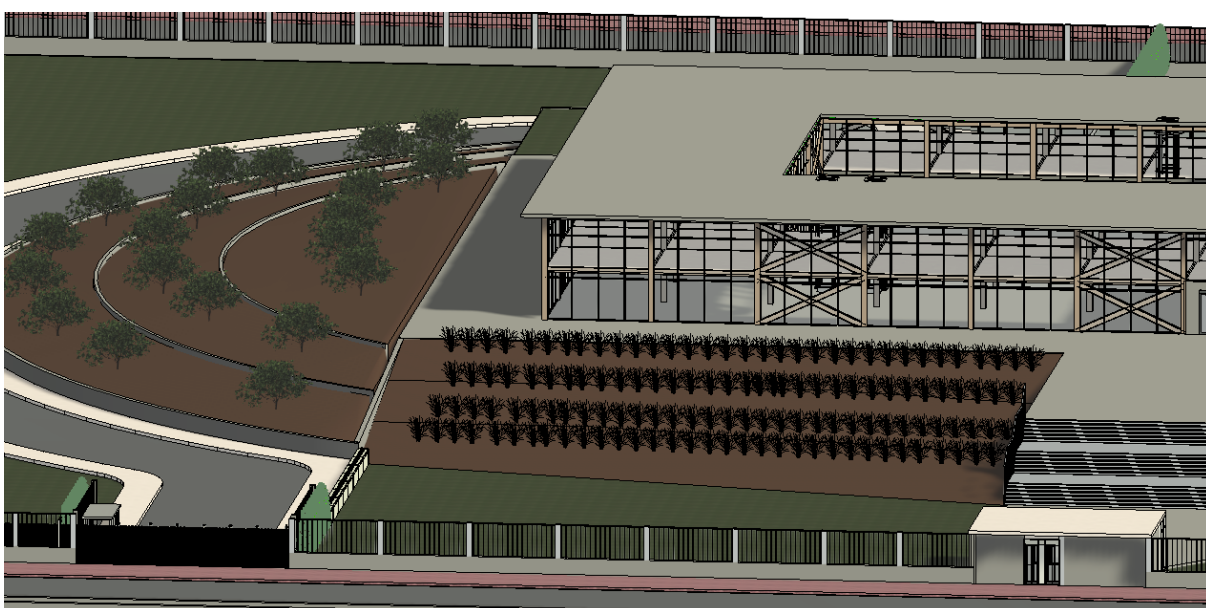


Σχήμα 6-10. 3-D Απεικόνιση του έργου τέχνης.





Σχήμα 6-11. 3-D Απεικόνιση των αναχωμάτων που έχει φυτευτεί με το δέντρο της Ελιάς.



Σχήμα 6-12. 3-D Απεικόνιση του Αμπελώνα.

#### 6.4 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

Για τη σχεδίαση των κτιρίων και του περιβάλλοντα χώρου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Revit (BIM). Το οποίο παρέχει τη δυνατότητα τρισδιάστατης αποτύπωσης κάθε τύπου μελέτης Αρχιτεκτονικής, Στατικής και Μηχανολογικής έργων οποιαδήποτε κλίμακας. Παραμετρικό σχεδιασμό αντικειμένων αλλά και κτιριακών όγκων οποιασδήποτε μορφής. Δεδομένου ότι για το σχεδιασμό ασφαλείας είναι απαραίτητη η συνεργασία πολλών διαφορετικών ειδικοτήτων, το Revit αποτελεί ισχυρό εργαλείο διότι κάθε χρήστης εργάζεται στο ίδιο μοντέλο. Έτσι επιταχύνεται η διαδικασία μελέτης και μειώνονται λάθη που προκύπτουν από αλλαγές ή ενημερώσεις και όλοι οι χρήστες μέσω του Cloud-Based Access έχουν πρόσβαση στο συνολικό μοντέλο.



## 7 ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΚΡΗΞΕΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν φορτίσεις εκρήξεων που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ιδιαίτερες καταστροφικές συνέπειες για το φέροντα οργανισμό του κτιρίου και απειλή για την ανθρώπινη ζωή των ενοίκων. Επίσης παρουσιάζονται μέτρα που έχουν παραληφθεί για την αποτροπή τέτοιων επιθέσεων καθώς και ο τρόπος που μπορούν να περιοριστούν οι συνέπειές τους σε περίπτωση που συμβούν. Ακολουθώντας για κάθε σενάριο κατασκευάζεται ένα διάγραμμα των επιπέδων προστασίας σε σχέση με την απόσταση, τα οποία προκύπτουν από την ανάλυσή ενός στύλου του εξωτερικού κελύφους του κτιρίου από διαφορά σενάρια φόρτισης σε διαφορετικές αποστάσεις.

### 7.1 ΠΡΩΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ- ΜΙΚΡΗ ΜΑΖΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΣΕ ΚΟΝΤΙΝΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ

Το πρώτο σενάριο που εξετάζεται είναι μια έκρηξη σε κοντινή απόσταση από το κτίριο με μια μικρή μάζα εκρηκτικού υλικού. Αυτό το σενάριο αφορά τη κατάσταση στην οποία κάποιος τρομοκράτης έχει μεταφέρει μια μικρή μάζα εκρηκτικών για παράδειγμα με κάποια τσάντα, χαρτοφύλακα ή βαλίτσα και την έχει τοποθετήσει σε κάποιο σημείο εξωτερικά του κτιρίου. Το φορτίο που μελετάτε σε αυτή τη φόρτιση είναι τα 45 kg σε αντιστοιχία TNT.

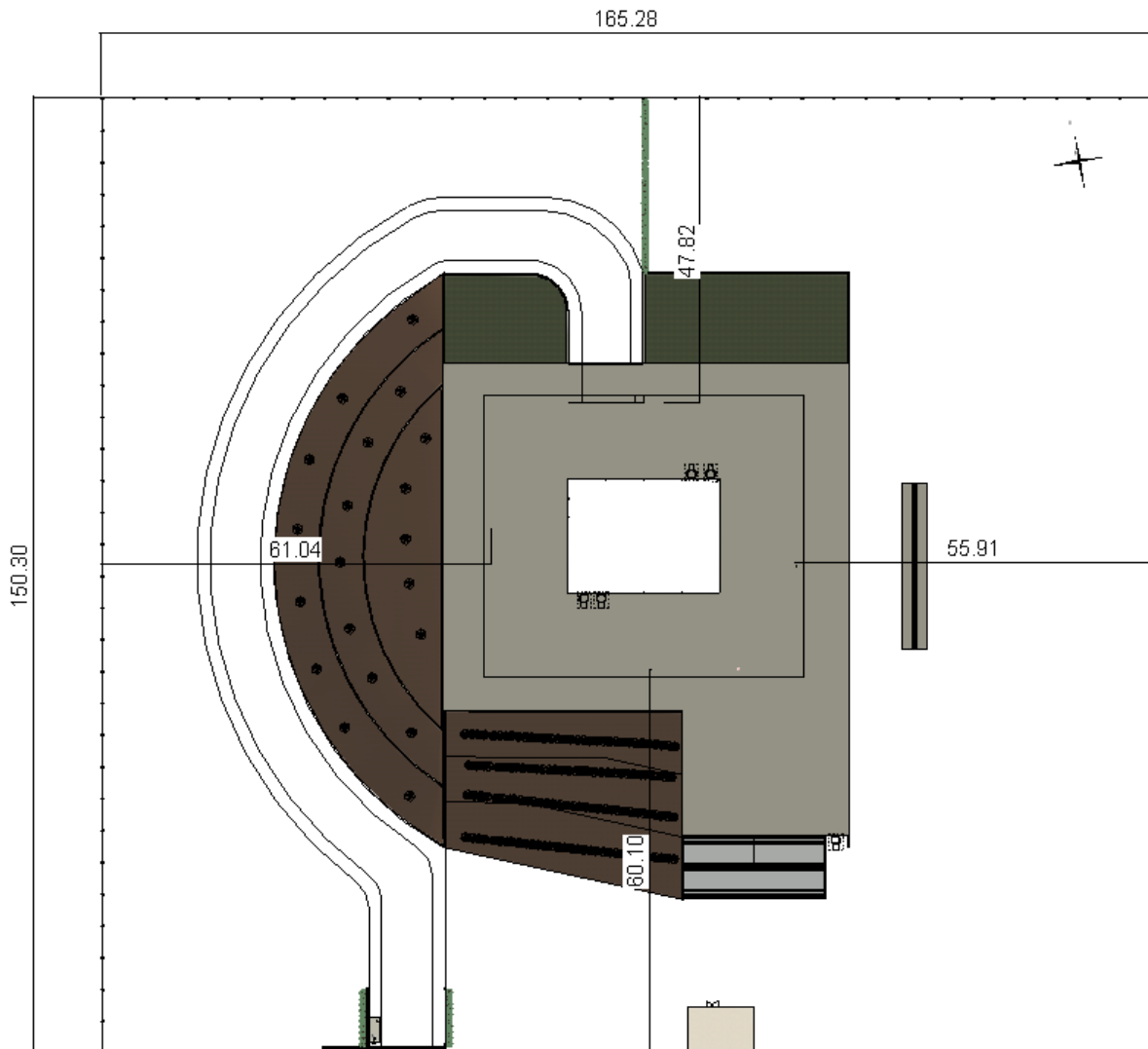
#### 7.1.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΡΟΠΗ ΕΠΙΘΕΣΗΣ (Σενάριο 1)

Η καταστροφικότητα μιας έκρηξης εξαρτάται κυρίως από δυο παραμέτρους, την απόσταση που διατηρείται μεταξύ πιθανών στόχων και πιθανών απειλών και την ποσότητα ενέργειας που απελευθερώνεται από ένα εκρηκτικό μηχανισμό κατά την έκρηξη. Στη περίπτωση του πρώτου σεναρίου έκρηξης η φόρτιση που δέχεται και καλείται να παραλάβει ο φορέας, πυροδοτείτε σε κοντινή απόσταση με μικρή ενέργεια έκρηξης. Τα μέτρα που παρουσιάζονται σκοπεύουν στη μεγιστοποίηση αυτής της απόστασης για ένα φορτίο βάρους 45kg σε αντιστοιχία TNT και βασίζονται στο δόγμα των τριών στρωμάτων άμυνας.

Το πρώτο στρώμα άμυνας αποτελείται πρώτον από τη περίφραξη, η οποία απέχει ελάχιστη απόσταση 47,82m από την βόρεια όψη του κτιρίου και αποτελεί τη πιο ελκυστική πλευρά του οικοπέδου για μια επίθεση, αφού η απόσταση μεταξύ αυτής και του κτιρίου είναι η μικρότερη. Έτσι για έκρηξη εξωτερικά της περίφραξης διατίθενται ικανοποιητικές αποστάσεις ώστε να παρέχεται μέτριο επίπεδο προστασίας με βάση Σχήμα 7-6. Δεύτερον από το περιορισμό της πρόσβασης στο κτίριο για τους ενοίκους και επισκέπτες σε μια και μοναδική είσοδο, όπου διεξάγετε ενδελεχής έλεγχος όπως αναφέρετε στη παραγραφο 3.3.2. Η είσοδος βρίσκεται στη νότια πλευρά του οικοπέδου και γίνεται διακριτή στο

παρακάτω σχήμα. Τρίτον από τη παρακολούθηση του χώρου εξωτερικά της περιφραξης μέσω κλειστού κυκλώματος. Τέλος με την εγκατάσταση φωτισμού ασφαλείας για τη περιφραξη του κτιρίου και το πεζοδρόμιο εξωτερικά αυτής για τις νυχτερινές ώρες. Επιπροσθέτως σε μέρες υψηλού κινδύνου σε συνεννόηση με τη τοπική αστυνομία μπορούν να τοποθετηθούν οχήματα εξωτερικά της περιφραξης ώστε να ενισχυθεί η ασφάλεια του κτιρίου και να αυξηθεί η απόσταση που μπορεί να πλησιάσει το κτίριο πιθανός τρομοκράτης

Εικόνα 4-7.



Σχήμα 7-1. Απόσταση περιφραξης από το κτίριο.

Το δεύτερο στρώμα άμυνας αναφέρεται στο χώρο μεταξύ της περιφραξης και του κτιρίου της πρεσβείας. Στο συγκεκριμένο σενάριο έχει μελετηθεί έτσι ώστε να υπάρχει ανοιχτός χώρος κατά μήκος της περιφραξης ώστε να μην δίνεται η δυνατότητα να αποκρυφθεί κάποιος σε σημείο με πυκνή βλάστηση και να τοποθετήσει κάποιον εκρηκτικό μηχανισμό. Κατά συνέπεια διατίθεται για το προσωπικό ασφαλείας πλήρη οπτική στο χώρο του δευτέρου στρώματος άμυνας με φυσική εποπτεία και με ηλεκτρονικά μέσα, όπως το κλειστό κύκλωμα. Σε αυτό το χώρο του κτιρίου δεν έχουν εγκατασταθεί κάδοι απορριμμάτων με σκοπό να αποτραπεί η χρήση τους για τη συγκάλυψη κάποιου εκρηκτικού μηχανισμού. Περιμετρικά του κτιρίου έχουν κατασκευαστεί εμπόδια που αποτρέπουν τη προσέγγιση του επιτιθέμενου σε πολύ κοντινή απόσταση. Στην ανατολική πλευρά του οικοπέδου έχει κατασκευαστεί δεξαμενή νερού που εκτός από την αισθητική αναβάθμιση του χώρου αυξάνει την απόσταση από το κτίριο που μπορεί να

πυροδοτηθεί μια έκρηξη . Στη δυτική πλευρά έχει αξιοποιηθεί το χώμα της εκσκαφής σε τρία επίπεδα με πεζούλες τα οποία έχουν φυτευτεί με αραιή βλάστηση, συγκεκριμένα με ελιές, προκαλώντας δυσκολία στον άνθρωπο να προσεγγίσει φορτωμένος με εκρηκτικά κοντά στη δυτική όψη του κτιρίου. Η βόρεια όψη προστατεύεται από δυο παρτέρια ύψους τριών μέτρων από το επίπεδο του δρόμου. Τέλος η νότια όψη, όπου στο δεξί κομμάτι έχει τα σκαλιά για τη προσέγγιση της μοναδικής εισόδου που διαθέτει η πρεσβεία, συμπληρώνεται με το κατηφορικό όγκο χώματος όπου έχει «φυτευτεί» με ένα εμπόδιο ασφαλείας που έχει κατασκευαστεί για τη συγκεκριμένη εφαρμογή και αποτελεί ένα μεταλλικό αμπελώνα. Μεταλλικά στοιχεία που δίνουν την όψη ενός κλήματος, είναι θεμελιωμένα στη χωμάτινη επιφάνεια και λόγω της σύνδεσης μεταξύ τους, καθιστούν αδύνατη τη γρήγορη προσπέλασή από κάποιον πεζό.

### **7.1.2 ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΕΠΕΙΩΝ (Σεναρίου 1)**

Σε αυτή τη φόρτιση που αφορά τη προσπέλαση του ελέγχου από πεζό τρομοκράτη, δύναται εφικτό να προκληθεί έκρηξη ακόμα και σε επαφή με το κτίριο. Με αποτέλεσμα η απειλή για την ανθρώπινη ζωή να είναι αυξημένη και οι συνέπειες για το φέροντα οργανισμό καταστροφικές. Τα μέτρα προστασίας για το μετριασμό των συνεπειών μιας έκρηξης που έχει συμβεί, αφορούν περισσότερο το τρίτο στρώμα άμυνας που επικεντρώνεται στη γεωμετρία του κτιρίου, την ενίσχυση του κελύφους και τη διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων, ώστε να παρέχουν αυξημένη ασφάλεια σε χώρους που εργάζεται το προσωπικό και αποθηκεύονται σημαντικά αρχεία, εξοπλισμός και έγγραφα. Το κτίριο έχει σχεδιαστεί να έχει ορθογωνικό σχήμα ώστε να αποφευχθούν οι εσοχές στο εξωτερικό κέλυφος που μπορεί να αναπτυχθούν μεγαλύτερες πιέσεις από την έκρηξη. Έχουν επιλεγεί από το σχεδιασμό ισχυρότερες μεταλλικές διατομές κατηγορίας 1 στα υποστυλώματα και τις δοκούς, από αυτές που απαιτούνται για τα στατικά φορτία. Έτσι αποφεύγονται όσο είναι δυνατόν οι ψαθυρές αστοχίες. Τα υποστυλώματα είναι εξασφαλισμένα από λυγισμό λόγω της σύνδεσης τους με τις πλαγιοκαλύψεις με αντηρίδες. Επίσης για τις πλαγιοκαλύψεις έχουν χρησιμοποιηθεί υαλοπίνακες ασφαλείας όπως ενδεικνύται για κτίρια υψηλής ασφάλειας κυβερνητικών εγκαταστάσεων παρέχοντας έτσι ένα επιπλέον στρώμα προστασίας από τις καταστροφικές δυνάμεις των εκρήξεων, διατηρώντας παράλληλα την ακεραιότητα του κελύφους του κτιρίου. Το κύριο χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει το γυαλί ασφαλείας (laminated glass) από άλλους τύπους γυαλιού είναι ότι όταν υποβάλλεται σε κρούση ή δύναμη, τείνει να παραμένει ανέπαφο, συγκρατούμενο από το ενδιάμεσο στρώμα, αντί να θρυμματίζεται σε αιχμηρά, επικίνδυνα κομμάτια. Με αποτέλεσμα ο κίνδυνος να τραυματιστεί κάποιος ένοικος ή επισκέπτης από θραύσματα γυαλιού κατά την έκρηξη να περιορίζεται. Οι χώροι υποδοχής και αναμονής στο εσωτερικό του κτιρίου περιβάλλονται από τοίχια οπλισμένου σκυροδέματος ώστε να προφυλαχθούν οι γύρω χώροι γραφείων. Οι πόρτες εσωτερικά του κτιρίου δεν εμφανίζουν συμμετρία σε κανένα χώρο. Τέλος η δεξαμενή νερού αποτελεί έναν σημαντικό όγκο νερού που αξιοποιείται στο σχέδιο ασφαλείας της πρεσβείας για πυρασφάλεια. Σε περίπτωση που κάποιος χώρος του κυρίως κτιρίου ή της εισόδου πάρει φωτιά, θα αρδευτεί το νερό της δεξαμενής με αντλίες που είναι εγκατεστημένες στο πρώτο υπόγειο του κτιρίου ώστε να περιορίσουν τη φωτιά.

### **7.1.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ SDOF (Σενάριο 1)**

Η ανάλυση του κάθε στοιχείου ξεχωριστά με τη μέθοδο του μονοβάθμιου ταλαντωτή είναι ικανή να δώσει μια ουσιαστική απάντηση στα ερωτήματα του μελετητή, όπως πόσο κοντά μπορεί να πλησιάσει ο τρομοκράτης; Πόσα κιλά βόμβα μπορεί να κουβαλήσει ως εκεί; Μου αντέχει η κολώνα; Θα μου σπάσουν τα παράθυρα; Τι παραμορφώσεις θα πάρει το στοιχείο λόγω του φορτίου; Αυτά είναι τα ερωτήματα που απασχολούν και θα πρέπει να απασχολούν όλο και περισσότερο το σχεδιαστή, ιδίως εκείνον που ασχολείται με έργα ευρύτερης κοινωνικής και οικονομικής σημασίας. Σε αυτή την ανάλυση θα παρουσιαστεί η επίλυση ενός υποστυλώματος στη πρόσοψη του κτιρίου του οποίου η διατομή για την εφαρμογή προέκυψε από τον έλεγχο κάμψης του υποστυλώματος για τα στατικά φορτία 1,35G +1,50Q.

## Υλικό

Ποιότητα:	S275
DIF:	1,20
SIF:	1,10
Αντοχή Διαρροής:	275MPa
Δυναμική αντοχή διαρροής $f_{y,dyn}$ :	$1,20 \cdot 1,10 \cdot 275 = 363 \text{MPa}$
Μέτρο Ελαστικότητας:	$E = 210 \text{ GPa}$

## Επιτρεπόμενες παραμορφώσεις:

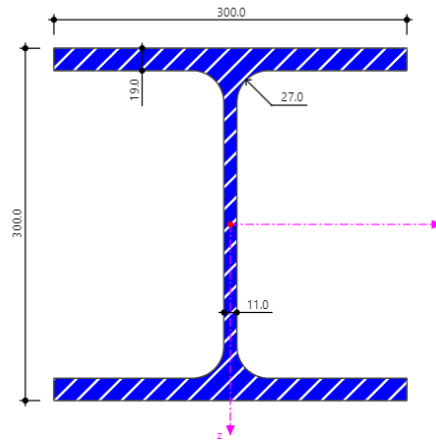
Medium Level of Protection:	$\mu = 1$
Low Level of Protection:	$\mu = 3 \quad \theta = 3^\circ$

## Γεωμετρία

Μήκος υποστυλώματος :	3,00m
Πλάτος επιρροής :	6,00m

## Διατομή

Κατηγορία :	HEB300
Ροπή αδράνειας $I_{yy}$ :	25170,00cm <sup>4</sup>
Ροπή αντίστασης $W_{ply}$ :	1869,00cm <sup>3</sup>
Εμβαδόν A:	149,00 cm <sup>2</sup>
Επιφάνεια διάτμησης $A_v$ :	
Βάρος:	1,17kN/m
Ύψος h:	300mm
Πλάτος b:	300mm
Πάχος κορμού $t_w$ :	11mm
Πάχος πέλματος $t_f$ :	19mm
Ακτίνα r:	27mm



Σχήμα 7-2. Χαλύβδινη διατομή ΗΕΒ300.

### Αντοχή

Υπολογίζεται η πλαστική ροπή αντοχής με συντελεστή 1,00 και η αντοχή σε τένουσα με συντελεστή 0.55 σύμφωνα με όσα ορίζουν τα UFC 3-340-02.

Πλαστική ροπή αντοχής  $M_{pl}$ :  $1,00 \cdot W_{ply} \cdot f_{y,dyn} = 1,00 \cdot 1869 \cdot 10^{-6} \cdot 363 \cdot 10^3 = 675.18 \text{ kNm}$

Κατηγορία διατομής: 1

### Φόρτιση

Απλοποιητικά στην εφαρμογή θεωρείται ότι το υποστυλώμα επηρεάζεται μόνο από την έκρηξη

Ίδιο βάρος  $W$ :

1,17 kN/m (HEA300)

0,75 kN/m<sup>2</sup> (πλαγιοκάλυψη)

$(1,17 \cdot 3 + 0,75 \cdot 6 \cdot 3) / 3 \cdot 6 = 0,945 \text{ kN/m}^2$  (Συνολικό βάρος)

### Συνάρτηση αντίστασης, μάζα και απόσβεση

Η στήριξη του υποστυλώματος στο άνω μέρος θεωρείται πάκτωση, λόγω της συνέχειας του μέσου (το υποστυλώμα συνεχίζει και στον από πάνω όροφο) επιτυγχάνεται δέσμευση της στροφής της κεφαλής του και της μετακίνησής της μέσω της πλάκας που λειτουργεί ως διάφραγμα και μεταφέρει τη φόρτιση στους χιαστί συνδέσμους δυσκαμψίας που ενεργοποιούνται για οριζόντια φόρτιση σε αυτή τη διεύθυνση. Η έδραση του υποστυλώματος είναι αρθρωτή. Γίνεται ανάλυση του υποστυλώματος ως Single degree of freedom (SDOF) ανάλυση. Έτσι, υπολογίζεται η συνάρτηση αντίστασης θεωρώντας ως στήριξη πάκτωση-άρθρωση. Η διατομή του υποστυλώματος είναι ΗΕΒ300 και κατατάσσεται από κορμό και πέλμα στην κατηγορία 1 με αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα πλαστικοποίησης της διατομής και ανάπτυξης πλαστικών στροφών. Επίσης θεωρείται ότι το υποστυλώμα είναι εξασφαλισμένο από φαινόμενα λογισμού.

Μέγιστη αντίσταση διατομής  $R_m$  από [Πίνακας 5-1]:  $\frac{8 \cdot M_{pm}}{L} = \frac{8 \cdot 675.18}{3} = 1800.50 \text{ kN}$

Ισοδύναμη δυσκαμψία ΚΕ από [Πίνακας 5-1]:  $\frac{160 \cdot E \cdot I_{yy}}{L^3} = \frac{160 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 25170 \cdot 10^{-8}}{3^3} = 313226,67 \text{ kN/m}$

Παραμόρφωση διαρροής ΧΕ:  $\frac{R_m}{KE} = \frac{1800,50}{313226,67 \cdot 10^3} = 5,75 \text{ mm}$

Μάζα M:

$$W \cdot A = 0,945 \cdot 100 \cdot 3 \cdot 6 = 1701,00 \text{ kg}$$

Συντελεστής μετασχηματισμού φορτίου – μάζας

KLM από [Πίνακας 5-1]:

$$\frac{0,78+0,66}{2} + 0,66 = 0,69$$

Ιδιοπερίοδος T:

$$2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{KLM \cdot M}{KE}} = 12,16 \text{ ms}$$

Συντελεστής απόσβεσης ζ:

3%

Απόσβεση C:

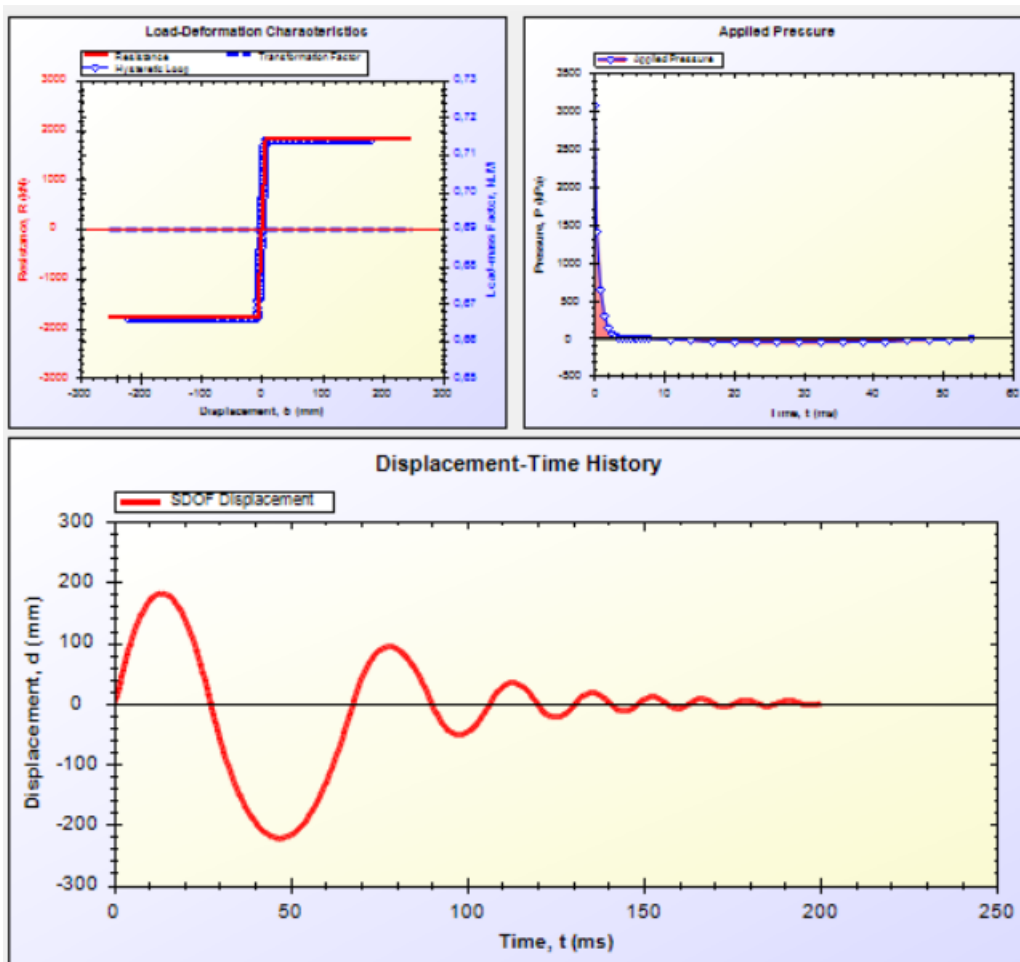
$$2 \cdot \zeta \cdot M \cdot \omega = 2 \cdot 0,03 \cdot 1190,7 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{12,16 \cdot 10^{-3}} = 52735,35 \text{ Ns/m}$$

Αρχική παραμόρφωση:

0mm

### Απόκριση

Τα παρακάτω αποτελέσματα που προέκυψαν από την SDOF ανάλυση δείχνουν ότι για μια έκρηξη στα 5,00m από το κτίριο, με 45kg TNT δεν παρέχεται προστασία.



Σχήμα 7-3 . Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στο λογισμικό RCblast, Σενάριο 1, φόρτιση στα 5m.

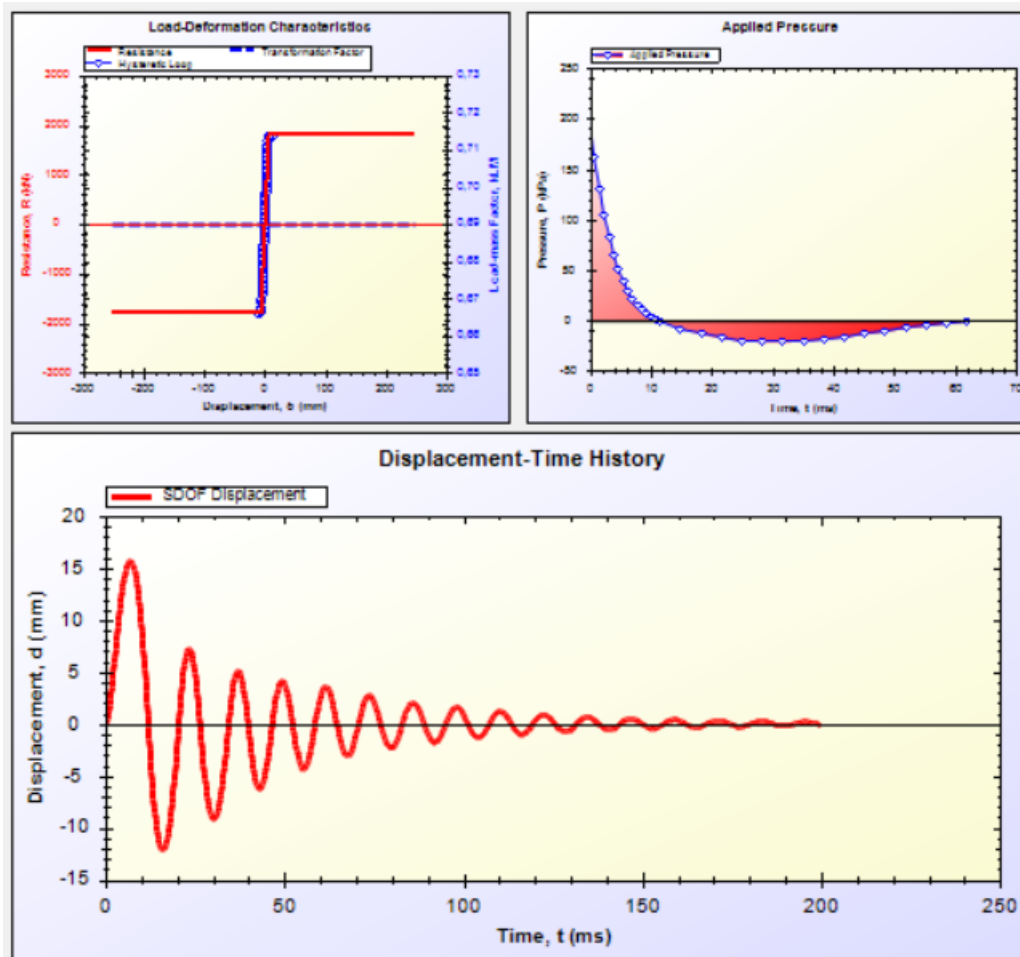


Μέγιστη μετακίνηση:  $\gamma_m=181,20\text{mm}$

$\Theta:$   $\arctan(2 \cdot 181,20 \cdot 10^{-3} / 0,5 \cdot 3) = 13,58^\circ > 3^\circ$

$\mu:$   $\gamma_m / \chi_E = 181,20 / 5,75 = 31,50 > 3$

Για την ίδια έκρηξη στα 13,00m παρέχεται χαμηλό επίπεδο προστασίας:



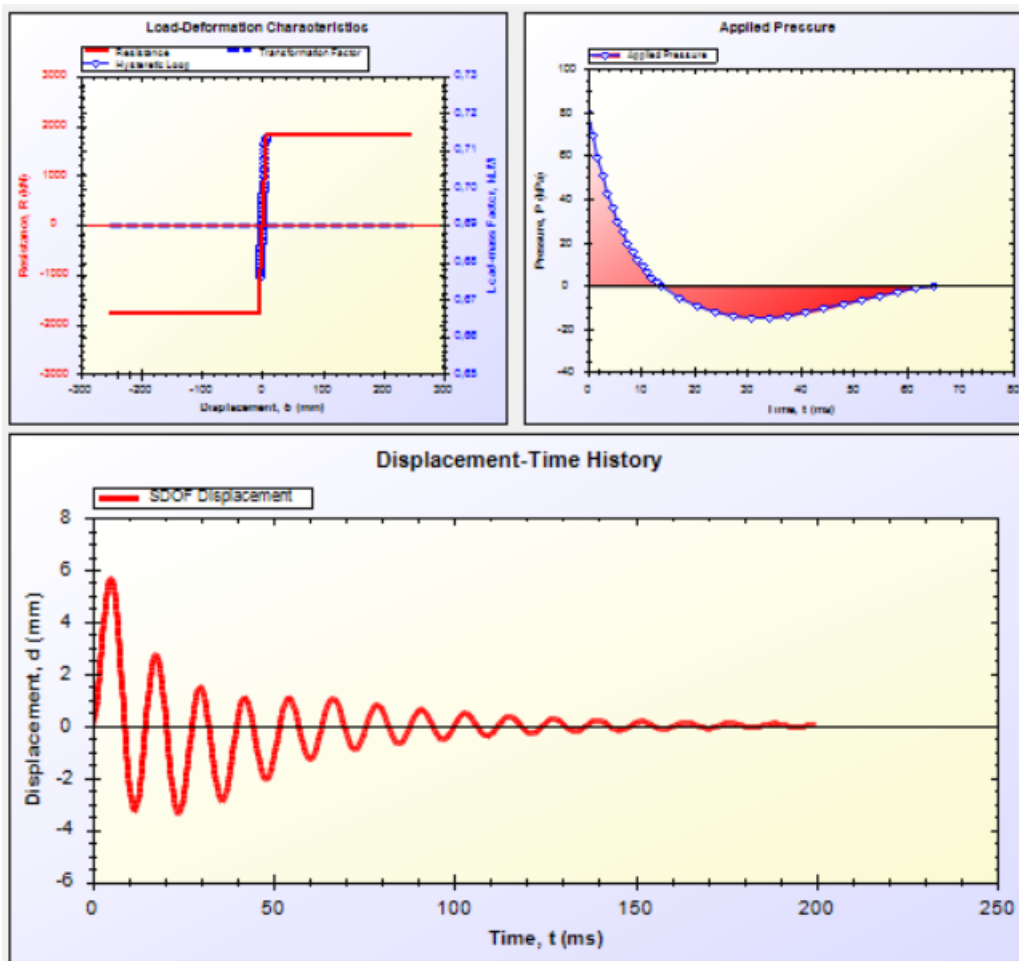
Σχήμα 7-4 . Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στύλου στο λογισμικό RCblast, Σενάριο 1, φόρτιση στα 13m.

Μέγιστη μετακίνηση:  $\gamma_m=15,68\text{mm}$

$\Theta:$   $\arctan(2 \cdot 15,68 \cdot 10^{-3} / 0,5 \cdot 3) = 1,20^\circ < 3^\circ$

$\mu:$   $\gamma_m / \chi_E = 15,68 / 5,75 = 2,73 < 3$

Για την ίδια έκρηξη στα 20,00m παρέχεται μέτριο επίπεδο προστασίας:



Σχήμα 7-5 . Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στύλου στο λογισμικό RCblast, Σενάριο 1, φόρτιση στα 20m.

Μέγιστη μετακίνηση:  $y_m=5,66\text{mm}$

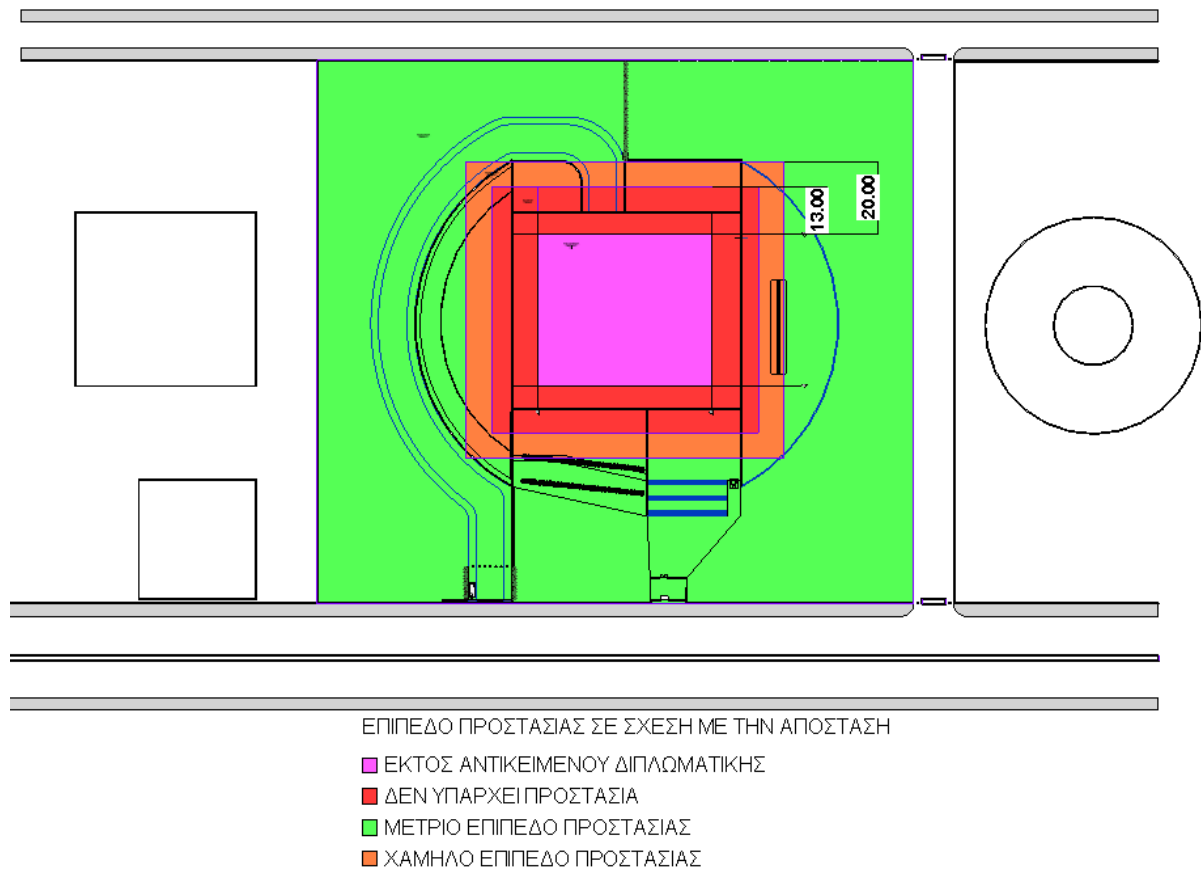
$$\Theta: \arctan(2 \cdot 5,66 \cdot 10^{-3} / 0,5 \cdot 3) = 0,44^\circ$$

$$\mu: \gamma_m / \chi_E = 5,66 / 5,75 = 0,98 < 1$$

#### 7.1.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (Σενάριο 1)

Με τη χρήση του προγράμματος RCBLAST, φορτίζοντας το υποστύλωμα με τις παραπάνω χρονοιστορίες πίεσης για 46 kg εκρηκτικών σε αντιστοιχία TNT σε διάφορες αποστάσεις, ο μελετητής μπορεί να βρει τις ακριβείς αποστάσεις που τα όρια παραμορφώσεων (μετακίνηση κεφαλής υποστυλώματος, στροφή) πληρούνται για το κάθε επίπεδο προστασίας. Αυτά παρουσιάζονται στο Σχήμα 7-6 . Δεδομένου ότι τα εξωτερικά υποστυλώματα του κτιρίου έχουν την ίδια διατομή HEB300, κατηγορίας 1 και είναι εξασφαλισμένα από λυγισμό μπορούν τα παραπάνω αποτελέσματα να γενικευτούν για όλα τα υποστυλώματα στη περίμετρο του κελύφους του κτιρίου. Έκρηξη που διεξάγεται στο εσωτερικό του κτιρίου δεν αποτελεί αντικείμενο αυτής της εργασίας εφόσον το κείμενο πραγματεύεται μόνο εκρήξεις εξωτερικού χώρου. Παρατηρείται ότι σε απόσταση μικρότερη ίση των 13,00 μέτρων το κτίριο δομικά δεν προφυλάσσεται από την έκρηξη. Σε απόσταση 13,00 μέτρων ως και 20,00 μέτρων, το κτίριο βρίσκεται στο χαμηλό επίπεδο προστασίας. Ενώ σε απόσταση μεγαλύτερη από 20,00 μέτρα διατίθεται μέτριο επίπεδο προστασίας. Τα παραπάνω αποτελέσματα αναφέρονται μόνο σε αστοχίες δομικών μελών

και όχι σε ασφάλεια έναντι δευτερογενών θραυσμάτων από την έκρηξη ή προστασία της ανθρώπινης ζωής.



Σχήμα 7-6. Διάγραμμα επιπέδου προστασίας ανάλογα με την απόσταση, Σενάριο 1.

## 7.2 ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ-ΜΕΓΑΛΗ ΜΑΖΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΣΕ ΒΑΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΡΑΞΗΣ

Το δεύτερο σενάριο αναφέρεται σε μια έκρηξη εξωτερικά του πρώτου στρώματος άμυνας του κτιρίου, ειδικότερα σε ένα συμβάν όπου ένα ημιφορτηγό ή βαν έχει φορτωθεί με μια σημαντική ποσότητα εκρηκτικών και πυροδοτείται στη νότια ή βόρεια πλευρά του οικοπέδου, αφού στην ανατολική πλευρά υπάρχει πεζόδρομος που απαγορεύεται η κίνηση οχημάτων και στη δυτική πλευρά συνορεύει με οικοδομή που δεν διαθέτει χώρο στάθμευσης. Το φορτίο που μελετάτε για αυτή τη φόρτιση είναι 1500 kg σε αντιστοιχία TNT εκρηκτικής ύλης.

### 7.2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΡΟΠΗ ΕΠΙΘΕΣΗΣ (Σενάριο 2)

Σε αυτό το σενάριο λειτουργεί ως βασικό μέτρο προστασίας η περίφραξη του οικοπέδου. Στη βόρεια και τη νότια πλευρά, όπου υπάρχει κίνηση οχημάτων δεν επιτρέπεται η στάθμευση σε κανένα σημείο εξωτερικά του κτιρίου, έχουν τοποθετηθεί σήματα που υποδεικνύουν την απαγόρευση της στάθμευσης και δεν έχει δημιουργηθεί κάποια θέση στάθμευσης ή χώρος που επιτρέπει σε κάποιο όχημα κάνει ελιγμούς πάρα μόνο στο σημείο εισόδου, για τα οχήματα, όπου φυλάσσεται από προσωπικό ασφαλείας. Ιδιαίτερη σημασία έχει η αξιοποίηση της προστιθέμενης απόστασης από την εκμετάλλευση του πεζοδρομίου τοποθετώντας κολώνες ασφαλείας για την αποτροπή στάθμευσης οχημάτων πάνω σε αυτά. Η συνεχής παρακολούθηση αυτών των πλευρών του οικοπέδου αποτελεί σημαντικό αμυντικό μηχανισμό για την έγκαιρη αναγνώριση πιθανών στόχων. Ακόμα ημιφορτηγά ή βαν απαγορεύεται να εισέλθουν εντός της εγκατάστασης λόγω του μεγάλου φορτίου εκρηκτικών που μπορούν να μεταφέρουν.

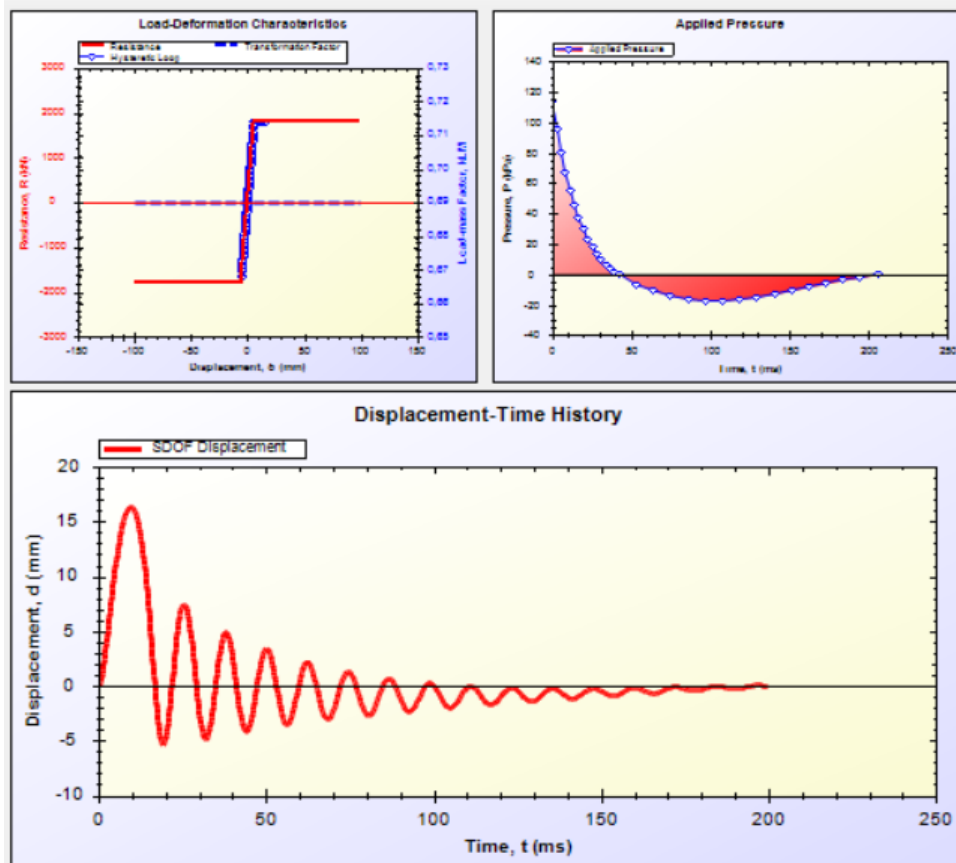
## 7.2.2 ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΕΠΕΙΩΝ (Σενάριο 2)

Τα μέτρα μετριασμού των συνεπειών για τη παραπάνω έκρηξη να επικεντρώνονται στο τρίτο στρώμα άμυνας. Εφόσον η έκρηξη αυτή μπορεί να συμβεί στη νότια ή τη βόρεια όψη του κτιρίου όπου υπάρχει κίνηση οχημάτων, εκεί είναι θεμιτό να ληφθούν περισσότερα μέτρα ασφαλείας. Ωστόσο, οι ελάχιστες αποστάσεις για τη προστασία από τα δευτερεύοντα θραύσματα και τους τραυματισμούς που μπορούν να προκαλέσουν σε αυτό το σενάριο, ξεπερνούν τα 1000 πόδια (305m). Έτσι η τοποθέτηση laminated glass σε όλες τις όψεις του κτιρίου είναι αναγκαία. Επίσης στις δυο όψεις όπου το κύμα της έκρηξης διαδίδεται κάθετα στην επιφάνεια πλαγιοκάλυψης τοποθετούνται εσωτερικά μεταλλικές κουρτίνες για να περιοριστεί η διασπορά γυάλινων θραυσμάτων. Σε αυτό το σενάριο προτείνεται η τοποθέτηση ισχυρότερων διατομών κατηγορίας 1. Επίσης η προεξοχή 1.20 m του δώματος περιμετρικά του κτιρίου είναι σχεδιασμένη για να αντέξει τη φόρτιση που προκαλείται για αυτό το σενάριο έκρηξης και να μην αστοχήσει ψαθυρά.

## 7.2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ SDOF (Σενάριο 2)

Με τη μέθοδο του μονοβάθμιου ταλαντωτή επιλύεται ένα υποστύλωμα HEB300 στη βόρεια όψη του κτιρίου για φόρτιση από τη πυροδότηση έκρηξης από βαν φορτωμένο με εκρηκτικά ειδικότερα, φορτίο 1500 κιλών σε αντιστοιχία TNT.

Για να παρέχετε χαμηλό επίπεδο ασφαλείας η έκρηξη 1500 kg TNT πρέπει να πυροδοτηθεί σε απόσταση μεγαλύτερη ίση των 54 μέτρων από το κτίριο.



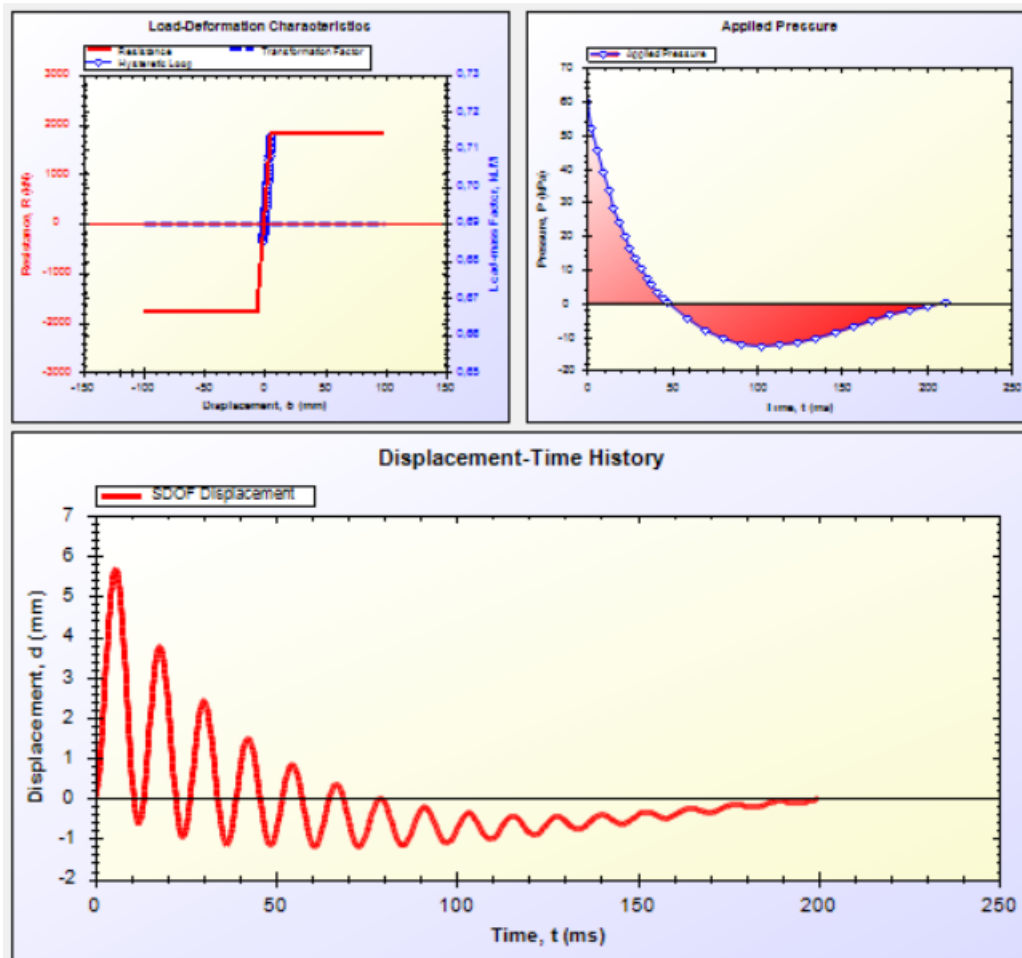
Σχήμα 7-7 . Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στύλου στο λογισμικό RCblast, Σενάριο 2, φόρτιση στα 54m.

Μέγιστη μετακίνηση:  $y_m=16,40\text{mm}$

Θ:  $\arctan(2 \cdot 16,40 \cdot 10^{-3} / 0,5 \cdot 3) = 1,25 < 3$

μ:  $\frac{y_m}{X_E} = \frac{16,40}{5,75} = 2,85 \sim 3$

Για να παρέχετε μέτριο επίπεδο ασφάλειας η ίδια έκρηξη 1500 kg TNT πρέπει να πυροδοτηθεί σε απόσταση μεγαλύτερη ίση των 75 μέτρων από το κτίριο.



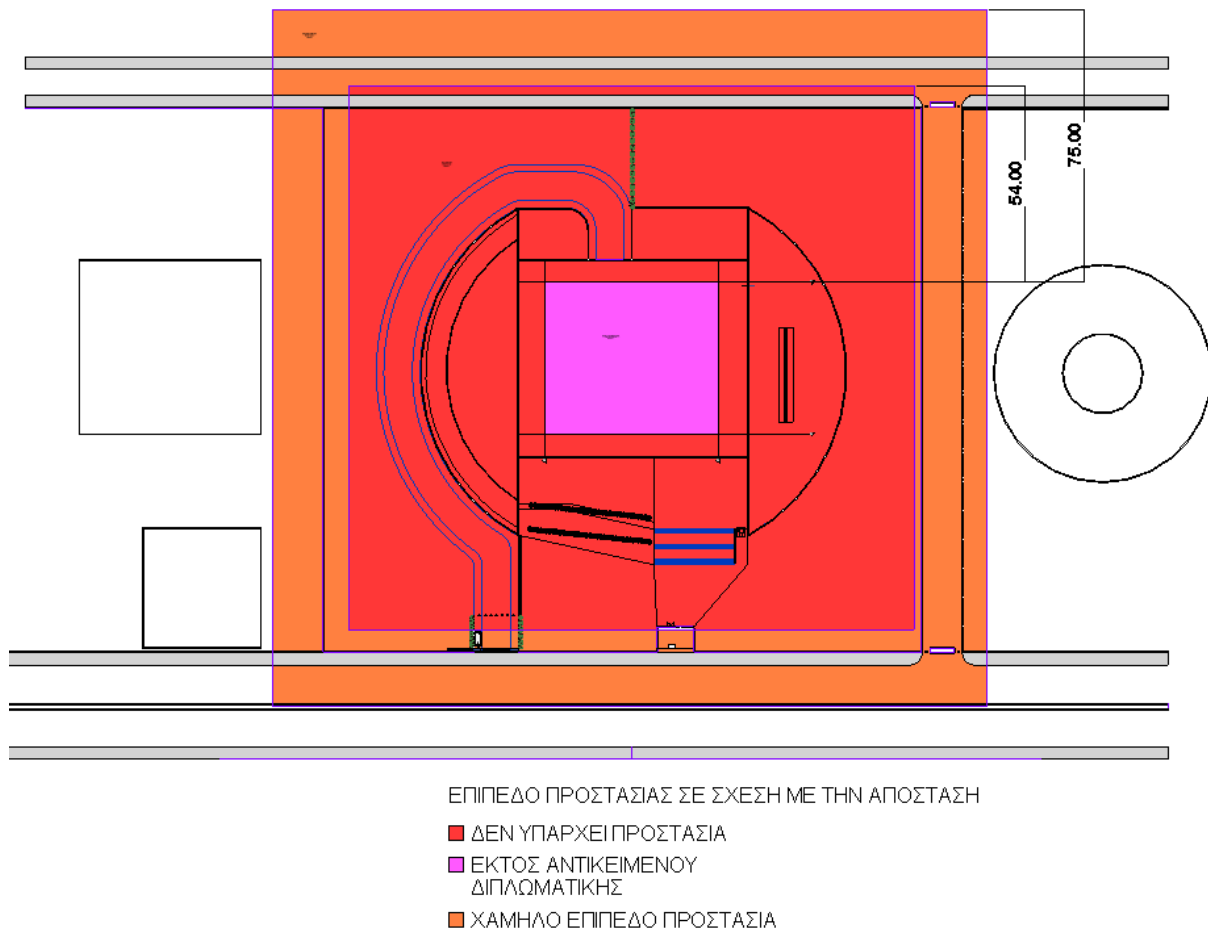
Σχήμα 7-8,. Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στο λογισμικό RC Blast, Σενάριο 2, φόρτιση στα 75m

Μέγιστη μετακίνηση:  $y_m = 5,75 \text{ mm}$

Θ:  $\arctan(2 \cdot 5,75 \cdot 10^{-3} / 0,5 \cdot L) = 0,44^\circ < 3^\circ$

μ:  $\frac{y_m}{X_E} = \frac{5,75}{5,75} = 1$

#### 7.2.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (Σενάριο 2)



Σχήμα 7-9. Διάγραμμα επιπέδου προστασίας ανάλογα με την απόσταση, Σενάριο 2.

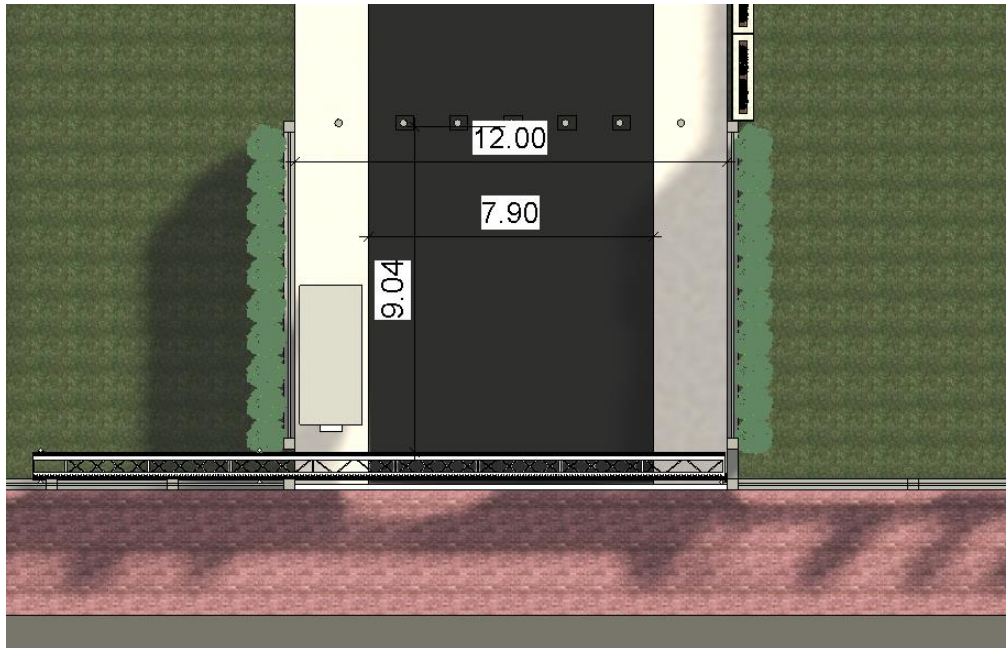
### 7.3 ΤΡΙΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ-ΕΚΡΗΞΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ - ΒΟΜΒΑ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ

Το τρίτο σενάριο εξετάζει την έκρηξη ενός αυτοκινήτου φορτωμένο με εκρηκτικά εντός του οικοπέδου του κτιρίου. Ένα συμβατικό όχημα έχει την ικανότητα να μεταφέρει 200 kg εκρηκτικών σε αντιστοιχία TNT εντός της εγκατάστασης.

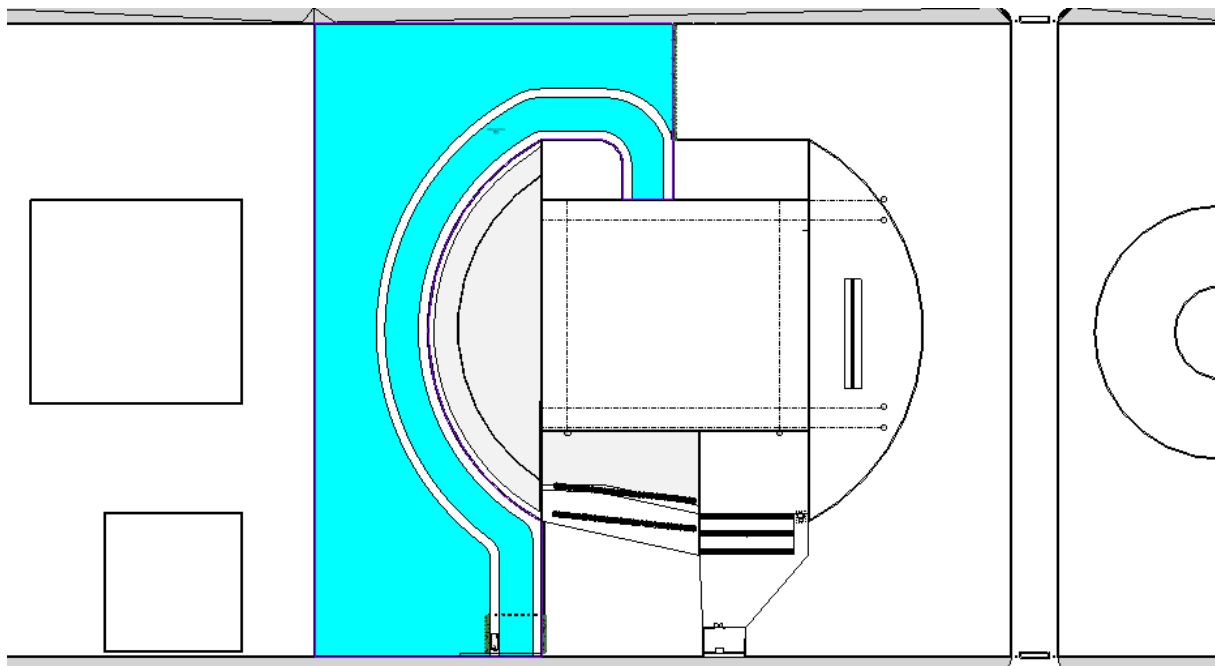
#### 7.3.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΡΟΠΗ ΕΠΙΘΕΣΗΣ (Σενάριο 3)

Στο τρίτο σενάριο φόρτισης που αφορά την είσοδο Οχήματος -Βομβά εντός του οικοπέδου το πρώτο μέτρο αποτελεί ο έλεγχος του οχήματος στην πύλη εισόδου όπου το όχημα είναι περιορισμένο σε ένα συγκεκριμένο χώρο όπου δεσμεύεται η δυνατότητα μετακίνησής του προς στο κτίριο μέσω (bollards) και της διάταξης της εισόδου Σχήμα 7-10. Γενικά η κίνηση του οχήματος στην αρένα του δευτέρου στρώματος άμυνας περιορίζεται στο δυτικό κομμάτι του οικοπέδου μέσω γλαστρών από οπλισμένο σκυρόδεμα στη νότια πλευρά και κωνοφόρων δέντρων στη βόρεια πλευρά Σχήμα 7-11. Έτσι ο χώρος εποπτείας για το προσωπικό ασφαλείας περιορίζεται στο αριστερό μισό του οικοπέδου. Το κτίριο θελημένα από το σχεδιασμό του είναι υπερυψωμένο κατά τρία μέτρα από το επίπεδο του οικοπέδου και προστατεύεται περιμετρικά από τις πεζούλες και τα παρτερια στη βόρεια όψη για να αποτραπεί η απευθείας εμβόλιση του φέροντα οργανισμού του από όχημα. Ολόκληρη η δυτική όψη του κτιρίου προστατεύεται από τις φυτεμένες πεζούλες όπου επιτυγχάνουν να απομακρύνουν το όχημα από το κτίριο κατά περίπου 25 μέτρα καθώς και το παρτέρι στη βόρεια όψη που είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα ποιότητας C50/55 και λειτουργεί ως ανακλαστήρας για τα φωσφικά κύματα της έκρηξης. Η είσοδος και η στάθμευση στο πρώτο υπόγειο της κατασκευής είναι επιτρεπτή μόνο σε

κυβερνητικά οχήματα σε ειδικές περιστάσεις και απαγορεύεται η χρήση της από εργαζομένους της πρεσβείας ή επισκέπτες.



Σχήμα 7-10. Απεικόνιση εισόδου οχημάτων.



Σχήμα 7-11. Περιοχή εντός του οικοπέδου που μπορεί να βρεθεί Όχημα – Βόμβα.

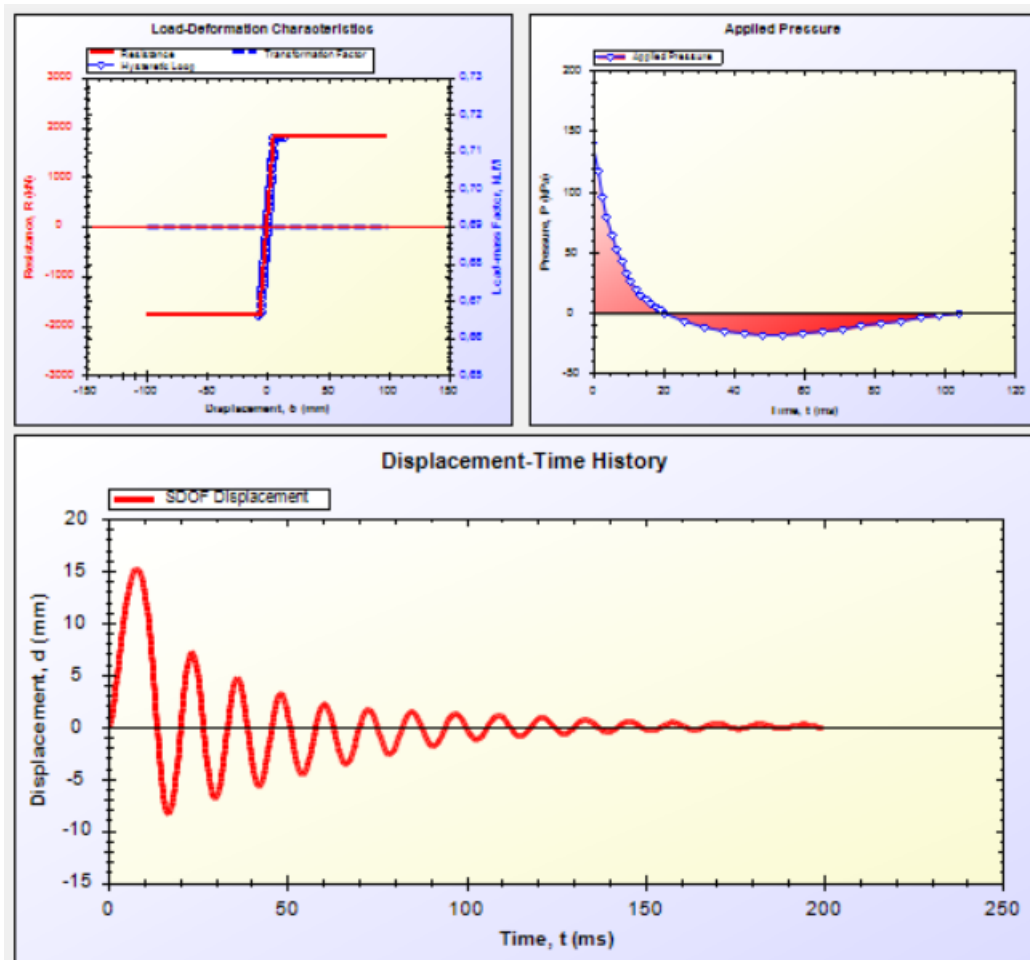
### 7.3.2 ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΕΠΕΙΩΝ (Σενάριο 3)

Για το περιορισμό των συνεπειών από μια έκρηξη οχήματος εντός του οικοπέδου έχει επιλεγεί να τοποθετηθούν πλαγιοκαλύψεις από υαλοπίνακες ασφαλείας ώστε να περιοριστούν οι τραυματισμοί από δευτερεύοντα θραύσματα. Έχουν κατασκευαστεί στα υπόγεια ενισχυμένα υποστυλώματα και πλάκες ώστε να περιοριστεί η έκρηξη στο χώρο του υπογείου όσο είναι εφικτό. Σε περίπτωση πυρκαγιάς από

την έκρηξη υπάρχει αποθηκευμένος ένας σημαντικός όγκος νερού για να διοχετευτεί από την δεξαμενή στο ανατολικό κομμάτι του οικοπέδου.

### 7.3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ SDOF (Σενάριο 3)

Για να παρέχετε χαμηλό επίπεδο ασφάλειας η έκρηξη 200 kg TNT πρέπει να πυροδοτηθεί σε απόσταση μεγαλύτερη ίση των 25 μέτρων από το κτίριο.



Σχήμα 7-12. Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στύλου στο λογισμικό RCblast, Σενάριο 3, φόρτιση στα 25m

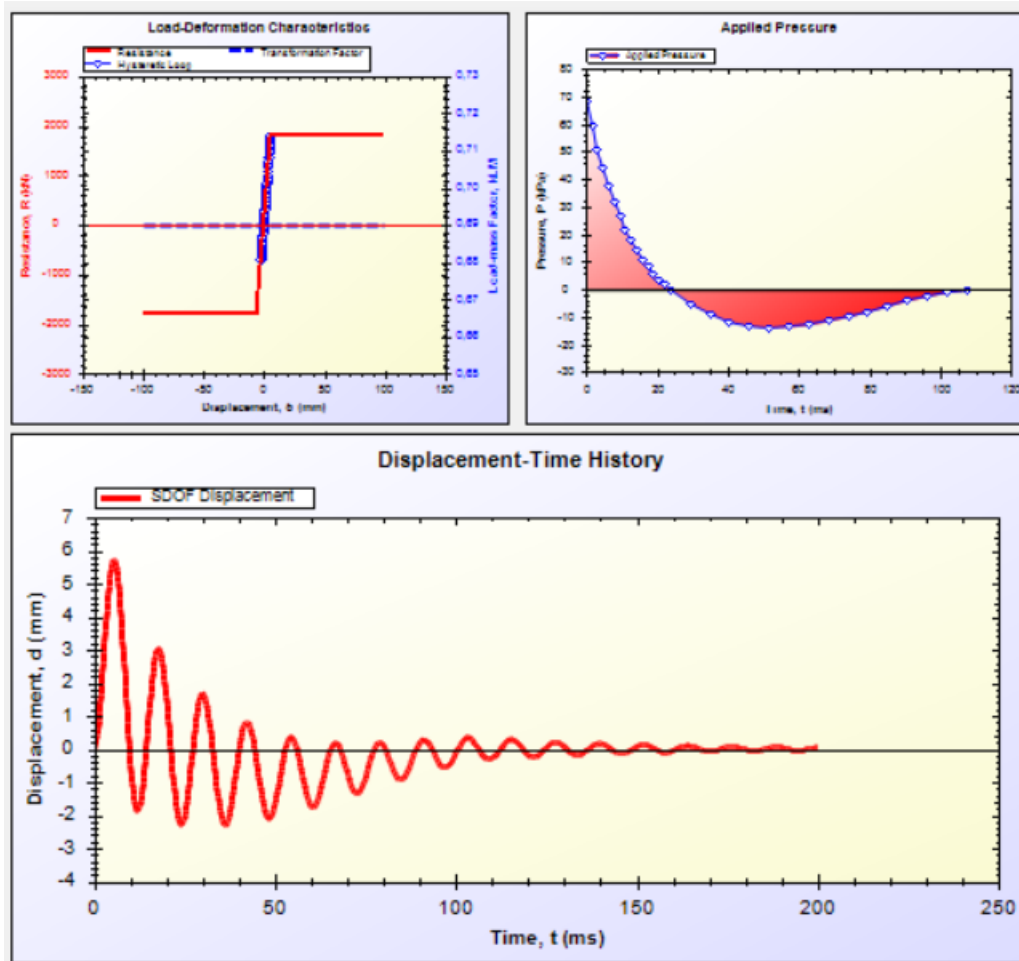
Μέγιστη μετακίνηση:  $y_m = 15,20 \text{ mm}$

$$\theta: \arctan(2 \cdot 15,20 \cdot 10^{-3} / 0,5 \cdot L) = 1,16 < 3$$

$$\mu: \frac{y_m}{X_E} = \frac{15,20}{5,75} = 2,64 < 3$$

Για να παρέχετε μέτριο επίπεδο ασφάλειας η ίδια έκρηξη 200 kg TNT πρέπει να πυροδοτηθεί σε απόσταση μεγαλύτερη ίση των 36 μέτρων από το κτίριο.





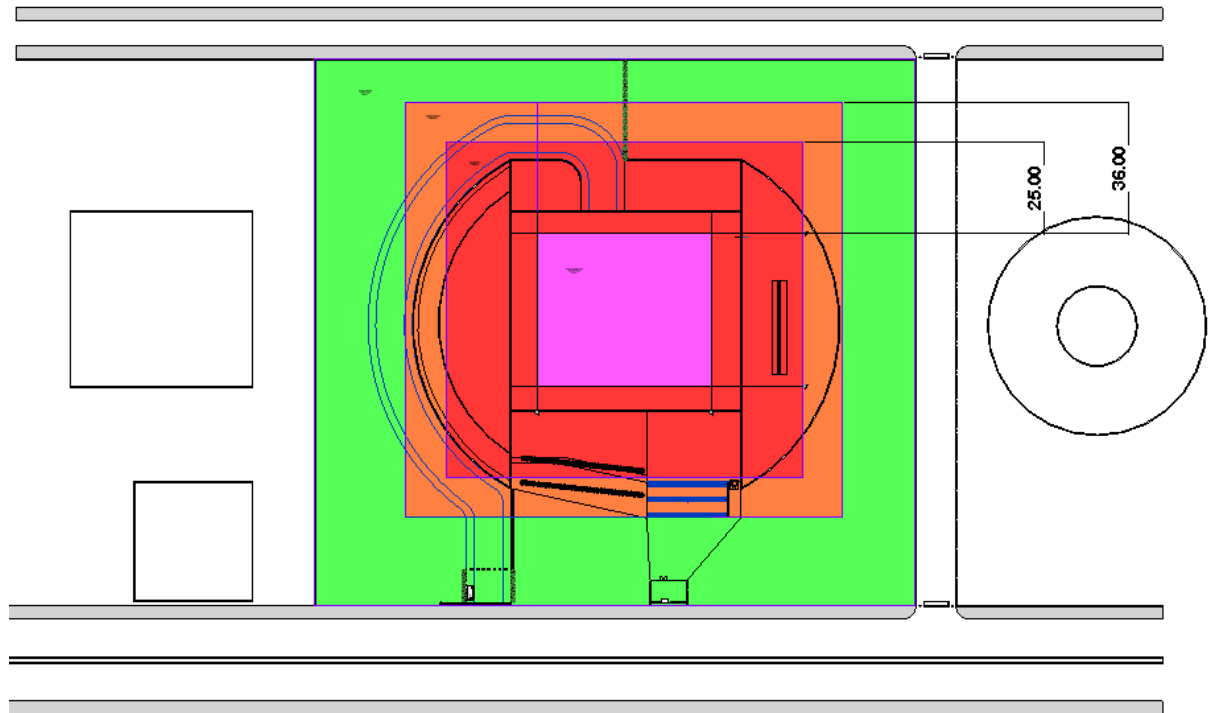
Σχήμα 7-13. Αποτελέσματα απόκρισης μονοβάθμιου ταλαντωτή στύλου στο λογισμικό RCBlasT, Σενάριο 3, φόρτιση στα 36m

Μέγιστη μετακίνηση:  $y_m = 5,70\text{mm}$

$\theta:$   $\arctan(2 \cdot 5,70 \cdot 10^{-3} / 0,5 \cdot L) = 0,44$

$\mu:$   $\frac{y_m}{X_E} = \frac{5,70}{5,75} = 0,99 < 1$

### 7.3.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (Σενάριο 3)



Σχήμα 7-14. Διάγραμμα επιπέδου προστασίας ανάλογα με την απόσταση, Σενάριο 3.

## 7.4 ΤΕΤΑΡΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ-ΕΚΡΗΞΗ UAS ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ

Ένα UAS όπως παρουσιάζεται στην εικόνα (1-5β) μπορεί να μεταφέρει με τη σημερινή τεχνολογία εκρηκτικά έως και 15,5 κιλά σε αντιστοιχία TNT. Μια τέτοια φόρτιση δεδομένης της ικανότητας προσέγγισης του μη επανδρωμένου αεροσκάφους σε ιδιαίτερα κοντινή απόσταση μπορεί να αποβεί εξαιρετικά επικίνδυνη για την ασφάλεια του κτιρίου και να προκαλέσει μεγάλες ζημιές.

### 7.4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΡΟΠΗ ΕΠΙΘΕΣΗΣ (Σενάριο 4)

Η επίθεση με τη χρήση UAS είναι μια μεγάλη πρόκληση για το σχεδιασμό κατασκευών και τη διατήρηση της ασφαλείας αφού το μη επανδρωμένο αεροσκάφος μπορεί να διαπεράσει με επιτυχία τα πρώτα δυο στρώματα άμυνας σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα λόγω της υψηλής ταχύτητας που μπορεί να αναπτύξει και του ύψους πτήσης. Λόγω αυτού είναι πιθανό να πυροδοτηθεί έκρηξη πολύ κοντά στο κτίριο ή και σε επαφή με αυτό χωρίς να γίνει αντιληπτό. Για το σκοπό αυτό έχει εγκατασταθεί στο κτίριο C-UAS system. Τα μέτρα προστασίας σε αυτό το σενάριο επίθεσης εμπεριέχουν δυο στάδια. Το πρώτο στάδιο αφορά τη προσπάθεια αναγνώρισης της προσέγγισης του στο κτίριο, τη συνεχή παρακολούθησή του καθώς διεξάγει την επίθεση και τη ταυτοποίησή του. Ακολούθως στο δεύτερο στάδιο διεξάγονται ενέργειες επέμβασης στη συχνότητα μεταξύ χειριστή και αεροσκάφους καθώς και τη διατήρηση αποδεικτικών στοιχείων για την επίθεση. Επίσης έχει εγκατασταθεί δίκτυο στο δώμα της κατασκευής,

ειδικότερα στο ορθογώνιο που βρίσκεται η εσωτερική αυλή για την αποτροπή της προσγείωσης του UAS εντός αυτού του χώρου.

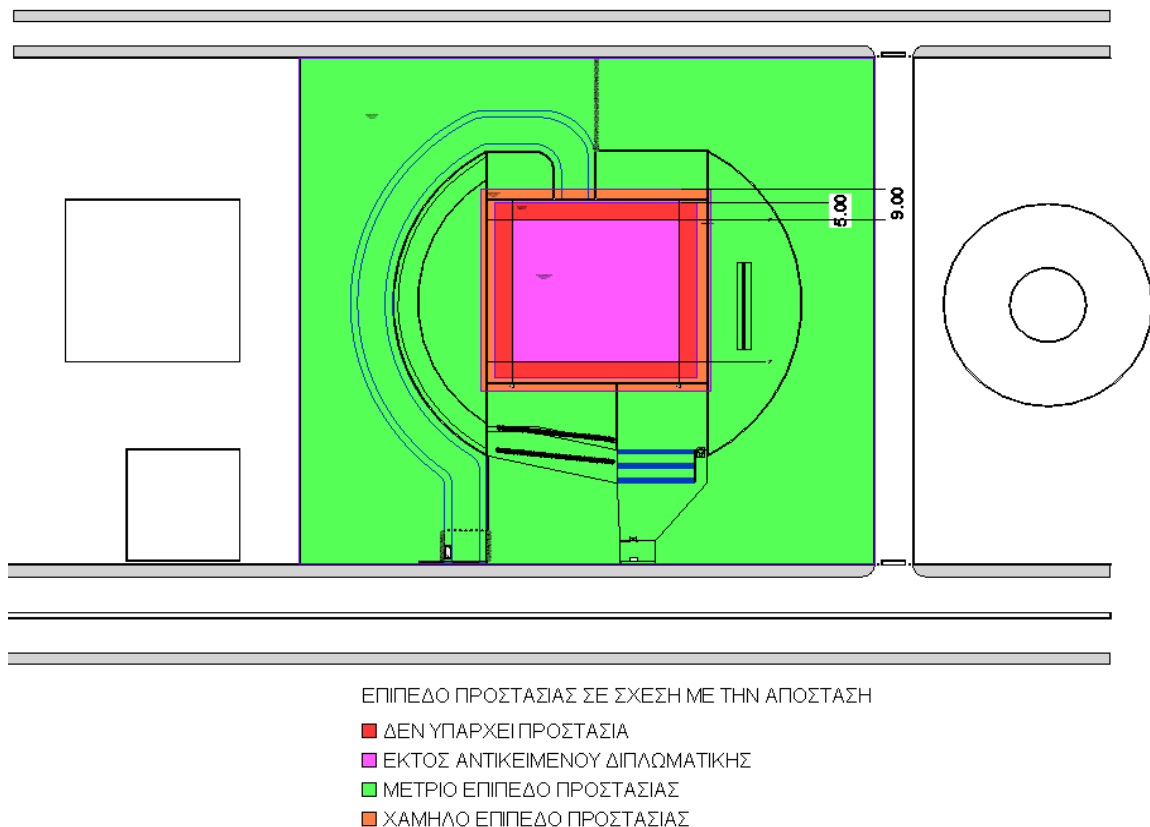
#### 7.4.2 ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΕΠΕΙΩΝ (Σενάριο 4)

Τα μέτρα μετριασμού συνεπειών για έκρηξη που έχει πυροδοτηθεί από UAS αφορούν το τρίτο στρώμα άμυνας. Η εγκατάσταση υαλοπινακων και σε αυτό το σενάριο είναι αναγκαία για τη προστασία των ενοίκων κυρίως από τα δευτερεύοντα θραύσματα μιας έκρηξης. Η επιλογή ισχυρότερων διατομών για το φέροντα οργανισμό και η ενίσχυση των πλακών οπλισμένου σκυροδέματος των ορόφων είναι τα κύρια μέτρα που μπορούν να βελτιώσουν τη συμπεριφορά του κτιρίου σε μια τέτοια φόρτιση. Ωστόσο, για τη πρόσοψη της πρεσβείας έχει επιλεγεί να τοποθετηθεί μεταλλική κουρτίνα στο εσωτερικό της πλαγιοκάλυψης με στόχο το περιορισμό της διάχυσης των γυάλινων θραυσμάτων που μπορεί να προκληθούν από τη θραύση της, σε ένα συμβάν όπου τα κιλά εκρηκτικών και η απόσταση από το κτίριο δεν το καθιστούν ικανό να παραλάβει τη φόρτιση.

#### 7.4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ SDOF

Σε αυτή τη φόρτιση η έκρηξη δεν πυροδοτείται από εκρηκτικό μηχανισμό τοποθετημένο στο έδαφος αλλά μέσω μη επανδρωμένου αεροσκάφους με αποτέλεσμα η έκρηξη να πραγματοποιείται σε κάποιο ύψος. Αυτό έχει ως συνέπεια η διάδοση του κύματος να έχει σφαιρικό σχήμα και όχι ημισφαιρικό όπως στις προηγούμενες αναλύσεις. Το πρόγραμμα RCblast δεν διαθέτει τη λειτουργία επίλυσης για σφαιρική διάδοση, έτσι επιλέγεται η χρήση του εργαλείου BLADE. Από την επίλυση σε αυτό το πρόγραμμα για εκρηκτικό φορτίο βάρους 15 kg σε ισοδυναμία TNT προκύπτει ότι το χαμηλό επίπεδο προστασίας παρέχεται σε απόσταση μεγαλύτερη ίση των 5 μέτρων, ενώ το μέτριο επίπεδο προστασίας σε απόσταση μεγαλύτερη ίση των 9 μέτρων.

#### 7.4.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (Σενάριο 4)



Σχήμα 7-15. Διάγραμμα επιπέδου προστασίας ανάλογα με την απόσταση, Σενάριο 4.



## 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιτυγχάνει το στόχο της που είναι η εμβάθυνση σε μια φιλοσοφία σχεδιασμού του χώρου με σκοπό τη προστασία των κτιρίων από βομβιστικές επιθέσεις καθώς και ο σχεδιασμός των ιδίων των κτιρίων ώστε με τα χαρακτηριστικά ,τη διάταξη, τη γεωμετρία και την αρχιτεκτονική τους να παρέχουν τη μεγαλύτερη εγγενής προστασία ενάντια σε μια πιθανή βομβιστική επίθεση. Η απόσταση μεταξύ κτιρίου και έκρηξης είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες στο καθορισμό της έκτασης της ζημιάς για ένα όπλο δεδομένου μεγέθους. Αυτό συμβαίνει επειδή όπως σημειώθηκε παραπάνω η φόρτιση έκρηξης φθίνει γρήγορα με την απόσταση. Ο βασικότερος άξονας αυτής της προσέγγισης είναι η προσπάθεια εξασφάλισης απόστασης μεταξύ κτιρίου σχεδιασμού και πιθανής έκρηξης. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός είναι θεμιτή:

- Η επιλογή ενός οικοπέδου που πληρεί τις προδιαγραφές ελαχίστων αποστάσεων μεταξύ κτιρίου και κοινωνικού περιγυρου για τις νέες κατασκευές.
- Η οικειοποίηση του μελετητή με το περιβάλλον της κατασκευής (όπως οι χρήσεις των γύρω κτιρίων, η ύπαρξη υπόγειας δραστηριότητας κοντά στο κτίριο π.χ μέσα μαζικής μεταφοράς, η ύπαρξη υπέργειας δραστηριότητας, η εύρεση κοντινών κτιρίων που στεγάζουν επικίνδυνα υλικά, κτλ.).
- Η αναγνώριση των βασικών απειλών.
- Η απόφαση του μελετητή σε συνδυασμό με το φορέα για το τι χρειάζεται προστασία.
- Η δημιουργία σχεδίου απειλής και η ποσοτικοποίηση των φορτίσεων μέσω σεναρίων φόρτισης.
- Η λήψη μέτρων ασφαλείας για την αποτροπή βομβιστικών επιθέσεων.
- Η λήψη μέτρων ασφαλείας για το μετριασμό των συνεπειών βομβιστικών επιθέσεων.

Εφόσον με τα μέτρα ασφαλείας έχει περιοριστεί όσο το δυνατόν η απόσταση που μπορεί να πυροδοτηθεί μια έκρηξη σε σχέση με το κτίριο, τότε επιλύεται ο φορέας για να μπορεί να ανταποκριθεί στα εκρηκτικά φορτία που είναι πιθανό να συμβούν. Διεθνώς, η διαδικασία επίλυσης που τυγχάνει να έχει ευρεία αποδοχή είναι η μέθοδο του μονοβάθμιου ταλαντωτή (SDOF), στην οποία μετατρέπονται τα στοιχεία της κατασκευής ως ισοδύναμοι μονοβάθμιοι ταλαντωτές και επιλύονται είτε απλοποιητικά με διαγράμματα Ώθησης – Πίεσης, είτε διεξάγονται χρονικές αναλύσεις. Τα ακριβή φορτία επίλυσης, οι αποστάσεις που ενδείκνυται να τοποθετηθούν και τα εργαλεία ανάλυσης προφυλάσσονται εσωτερικά από τα κράτη που τα παράγουν, έτσι η διαδικασία επίλυσης ενός κτιρίου για προστασία ενάντια σε εκρήξεις είναι ένα απαιτητικό και δύσκολο εγχείρημα.

Στο πλαίσιο αυτό παρουσιάζεται η επίλυση ενός υποστυλώματος με τη μέθοδο του μονοβάθμιου ταλαντωτή (SDOF), για τέσσερα σενάρια φόρτισης που ποικίλουν σε κιλά εκρηκτικών και αποστάσεις

από το κτίριο. Επειδή ο φορέας είναι σχεδόν συμμετρικός μπορούν να γενικευτούν τα αποτελέσματα για όλα τα υποστυλώματα του κελύφους του κτιρίου και γίνεται εφικτό να χαραχθούν περιοχές που εμφανίζει το κτίριο διαφορετικά επίπεδα προστασίας για τη κάθε φόρτιση. Παρατηρείται ότι η έκρηξη από μη επανδρωμένο αεροσκάφος που έχει και το μικρότερο φορτίο σε κιλά για να προκαλέσει ουσιαστικές συνέπειες πρέπει να προσεγγίσει το κτίριο σε αρκετά μικρή απόσταση, τα 5 μέτρα. Για το σενάριο του πεζού τρομοκράτη ,η προσέγγιση του κτιρίου στα 13 μέτρα με εκρηκτικά δεν είναι ένα πιθανό σενάριο δεδομένου του ελέγχου στην είσοδο και της παρακολούθησης των χώρων, ωστόσο παρατηρείται ότι χρειάζεται 2,5 φορές μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ έκρηξης και κτιρίου για να υπάρχει χαμηλό επίπεδο προστασίας. Το σενάριο φόρτισης που αφορά το βαν είναι το πιο απειλητικό σενάριο για το κτίριο. Από το Σχήμα 7-9 παρατηρείται ότι στη βόρεια πλευρά του κτιρίου μια έκρηξη ενός βαν μπορεί να πλήξει το κτίριο ουσιαστικά χωρίς να χρειαστεί να προσεγγίσει εντός του οικοπέδου. Στο χώρο του πεζοδρομίου απαιτείται να τοποθετηθούν ζαρντινιέρες ή στήλη (bollards) ώστε να αξιοποιηθεί όλη η διαθέσιμη απόσταση μεταξύ κτιρίου και εκρήξεις. Ενώ στο σενάριο με το όχημα εφόσον περάσει τον έλεγχο η θέση που απειλεί τη κατασκευή για δομική κατάρρευση είναι κοντά στην είσοδο του υπογείου. Από αυτή την ανάλυση γίνεται αντιληπτό ότι το πιο επικίνδυνο σενάριο για τη κατασκευή είναι αυτό του βαν, διότι ακόμη και με τη τοποθέτηση φραγμών οχημάτων στο πεζοδρόμιο η απόσταση που διατίθεται είναι οριακή. Έτσι το σενάριο με το βαν μπορεί να χαρακτηριστεί και ως η βασική απειλή για το κτίριο.

Επιπρόσθετα, ένας ακόμη στόχος αυτής της διπλωματικής μέσω της εφαρμογής της Ελληνικής Πρεσβείας είναι να εξασφαλίσει ότι η άνεση του κοινού και η αισθητική του περιβάλλοντα χώρου διατηρούνται σε ισορροπία με τις ανάγκες ασφάλειας, διότι ο σχεδιασμός του χώρου για λόγους ασφάλειας μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία και την άνεση και ο σχεδιασμός περιφραγξης και ελέγχου πρόσβασης μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του δημόσιου χώρου στις γειτονιές και τις κοινότητες που βρίσκονται κοντά.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό από τον αναγνώστη ότι πέρα από κάθε ανάλυση και λήψη μέτρων ασφαλείας σε καμία περίπτωση δεν παρέχεται απόλυτη προστασία. Οι συνέπειες μιας έκρηξης για το κτίριο και το κοινωνικό του περίγυρο θα εξαρτηθούν από την απόσταση που θα πυροδοτηθεί η έκρηξη και τα κιλά των εκρηκτικών που θα χρησιμοποιηθούν για την επίθεση. Όσο η τεχνολογία των όπλων εξελίσσεται, θα υπάρχουν νέες προκλήσεις για το σχεδιασμό ασφαλείας των κτιρίων. Τα μέτρα ασφαλείας στις κατασκευές δεν αναπτύσσονται, ούτε είναι δυνατόν να εφαρμόζονται το ίδιο γρήγορα με την εξέλιξη των μέσων επίθεσης. Οπότε η προστασία των σημαντικών κτιρίων αφορά σε μεγάλο βαθμό τη παρακολούθηση των χώρων από εκπαιδευμένο προσωπικό και τη συνεργασία πολλών διαφορετικών υπηρεσιών όπως τη τοπική αστυνομία ,πυροσβεστική, το φορέα και συμβούλων που ειδικεύονται σε θέματα ασφαλείας.

Με τα παραπάνω ως βάση, η εργασία μπορεί να γίνει το έναυσμα για τη συνέχιση της αναζήτησης νέων καλών πρακτικών για τη προστασία σημαντικών κατασκευών ενάντια σε εκρήξεις και τη περαιτέρω έρευνα σε άλλα ενδιαφέροντα πεδία στο τομέα των εκρήξεων. Κάποια από αυτά μπορεί να αφορούν τη βελτίωση της μορφολογίας των κατασκευών για την αντιμετώπιση εκρήξεων, τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου (SDOF) με άλλες αναλύσεις όπως (MDOF), την εύρεση αποκλίσεων μεταξύ των μεθόδων και τη μελέτη εκρήξεων που πυροδοτούνται σε εσωτερικούς χώρους.



## 9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] "Site and Urban Design for Security," FEMA 430, 2007.
- [2] D.Cormie, G.Mays, P.Smith, Blast effects on buildings, Thomas Telford, 2009.
- [3] "Mitigating UAS (drone) risks," EU Digital Winter School for the protection of public spaces, 2022.
- [4] Ajayi, Chika Yinka-Banjo and Olasupo, UNMANNED AERIAL VEHICLES, IntechOpen, 2019.
- [5] Structures to resist the effects of accidental explosions, UNITED STATES OF AMERICA: Department of Defense, 2008.
- [6] UFC 4-010-01, DoD Minimum Antiterrorism Standards for Buildings, UNITED STATES OF AMERICA: Department of Defense, 2020.
- [7] Structures to resist the effects of accidental explosions, US Army Corps of Engineers, 2014.
- [8] Structures to resist the effects of accidental explosions, US Army Corps of Engineers, 2014.
- [9] Υγιεινή και ασφάλεια εγκαταστάσεων, Φ.Ρήγας, 2013.
- [10] Fundamentals of protective design for conventional weapons, D.Hyde, Structures Laboratory, USACE Waterways Experiment Station, 1992.



[11] Technical note and worked examples to supplement the interim guidance notes for the design and protection of topside structures against explosion and fire – Simplified methods for analysis of response to dynamic loading, Fire and Blast Information Group, Steel Construction Institute, Technical note 7, 2002

[12] Eurocodes 0, 1, 2, 3, 4, European Committee for Standardization

[13] Modern protective structures. T.Krauthammer, CRC Press, 2008.

[14] Technical report ARBRL-TR-02555: Air blast parameters from TNT spherical air burst and hemispherical burst, C.N.Kingery, G.Bulmash, U.S. Army Ballistic Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD, 1984.

[15] Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings, NISTIR7396, B.R.Ellingwood, R.Smilowitz, D.O.Susenberry, D.Duthink, H.S.Lew, N.J.Carino, National Institute of Standards and Technology, United States Department of Commerce, 2006.

[16] Counter – terrorist protective security manual, Cabinet Office Security Policy Division and the Security Service, 2003.

[17] Explosive Shocks in Air, G.F.Kinney, K.J.Graham, Springer, 1985.



