



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

Βελτιστοποίηση συνθηκών εκκένωσης υπογείων χώρων: αξιολόγηση και  
βελτιστοποίηση θέσεων εξόδων διαφυγής

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Αναστάσιος Κ. Καλλιανιώτης**

Διπλωματούχος Μεταλλειολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

**Επιβλέπων:**

Δ. Καλιαμπάκος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2015



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

Βελτιστοποίηση συνθηκών εκκένωσης υπογείων χώρων: αξιολόγηση και  
βελτιστοποίηση θέσεων εξόδων διαφυγής

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Αναστάσιος Κ. Καλλιανιώτης**

Διπλωματούχος Μεταλλειολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

**Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:**

1. Δ. Καλιαμπάκος, Καθ. Ε.Μ.Π. (επιβλέπων)
2. Δ. Δαμίγος, Αν. Καθ. Ε.Μ.Π.
3. Θ. Μιχαλακόπουλος, Επ.Καθ. Ε.Μ.Π.

**Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

1. Δ. Καλιαμπάκος, Καθ. Ε.Μ.Π. (επιβλέπων)
2. Δ. Δαμίγος, Αν. Καθ. Ε.Μ.Π.
3. Θ. Μιχαλακόπουλος, Επ.Καθ. Ε.Μ.Π.
4. Γ. Παναγιώτου, Καθ. Ε.Μ.Π.
5. Α. Μπενάρδος, Επ.Καθ. Ε.Μ.Π.
6. Π. Νομικός, Επ.Καθ. Ε.Μ.Π.
7. Κ. Αδάμ, Επ.Καθ. Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2015



## Πρόλογος

Με την πάροδο των χρόνων η προσοχή των κατασκευαστών στρέφεται όλο και περισσότερο στην ασφάλεια των ενοίκων του έργου και της ίδιας της εγκατάστασης. Η αυξημένη ασφάλεια προσφέρει άνετο εργασιακό χώρο και αυξάνει την παραγωγικότητα των εργαζομένων, καθώς και την προσέλευση των ενοίκων. Επίσης, όσο πιο αποτελεσματικό είναι το σύστημα ασφαλείας και το σχέδιο έκτακτης ανάγκης ενός οργανισμού τόσο μικρότερες θα είναι οι οικονομικές του απώλειες και οι σωματικές βλάβες των ενοίκων, σε περίπτωση εκδήλωσης έκτακτης ανάγκης (π.χ. φωτιάς). Μολονότι η προσοχή επικεντρώνεται στην πρόληψη, οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης δεν μπορεί παρά να συμβαίνουν. Γι' αυτό το λόγο οι εγκαταστάσεις θα πρέπει να είναι ικανές να προσφέρουν ένα αποτελεσματικό σχέδιο αντιμετώπισης για το προσωπικό και τους επισκέπτες.

Η συστηματική και πλήρης διαφυγή όλων των ενοίκων ενός χώρου απαιτεί προσεκτική πρόβλεψη των οδύσεων διαφυγής. Με έναν σωστό και πλήρη σχεδιασμό, που λαμβάνει υπ' όψιν όλους τους παράγοντες, υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες να πραγματοποιηθεί μια γρήγορη και ομαλή εκκένωση με ελάχιστα προβλήματα. Σε περίπτωση κινδύνου ή απειλής, η εκκένωση είναι ζωτικής σημασίας για τη διάσωση ζωών και για την πρόληψη των τραυματισμών. Η έξοδος διαφυγής (πόρτα εξόδου-τελική έξοδος) είναι η κατάληξη μιας όδευσης διαφυγής από ένα χώρο, που οδηγεί σε μια οδό ή σε έναν ανοικτό χώρο, ασφαλή από τον κίνδυνο. Η σωστή τοποθέτηση των εξόδων διαφυγής μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης, γι' αυτό και η προσέγγιση της βέλτιστης θέσης είναι μείζονος σημασίας.

Η διαδικασία εκκένωσης σε υπόγειους χώρους (ειδικά στον Ελλαδικό χώρο) είναι μια μελέτη που ξεκινάει με δυσκολίες, καθώς στην ελληνική νομοθεσία δεν υπάρχει υποχρέωση υποβολής τέτοιων σχεδίων για καμία κατηγορία χώρου. Αυτό υποκαθίσταται από μία μελέτη παθητικής πυροπροστασίας, βάσει του Π.Δ. 71/1988 μαζί με τις τροποποιήσεις του, η οποία υποβάλλεται και ελέγχεται από την πυροσβεστική υπηρεσία και αποτελεί τις υποχρεωτικές προϋποθέσεις για κάθε χώρο που πρέπει να προβλεφθούν για την εξασφάλιση ενός επιπέδου ασφαλείας. Η μόνη αναφορά σε υπόγειους χώρους είναι στα υπόγεια που χρησιμοποιούνται για στάθμευση αυτοκινήτων, που αντιμετωπίζεται και αυτή η περίπτωση ως χώρος με αυξημένες απαιτήσεις και ιδιαίτερη επικινδυνότητα. Εν προκειμένω, πρέπει να γενικευθεί ο χαρακτήρας ενός υπόγειου χώρου, ως ο χώρος σε λειτουργία, σε βάθος μεγαλύτερο των 15 μέτρων. Σε τέτοιες κατασκευές δεν υπάρχουν ανοίγματα για φυσικό φως, ούτε φεγγίτες, ούτε και φωταγωγοί, ο φωτισμός και ο αερισμός είναι τεχνητός και η αίσθηση του προσανατολισμού είναι από μικρή έως ανύπαρκτη. Για τους ανθρώπους, λοιπόν, που επισκέπτονται ένα τέτοιο χώρο ή δουλεύουν εκεί, πρέπει να είναι μελετημένο από πριν ένα συγκεκριμένο σχέδιο για το πώς θα τον εγκαταλείψουν σε περίπτωση ανάγκης (από διάφορες αιτίες).

Μέσω της παρούσας διδακτορικής εργασίας επιδιώκεται η βελτιστοποίηση των συνθηκών εκκένωσης σε υπόγειους χώρους, βασισμένη στους υφιστάμενους κανονισμούς ασφαλείας αλλά και στην προσθήκη νέων, στη βάση της μελέτης των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των υπογείων χώρων. Η εξειδικευμένη μελέτη καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και διαδικασιών εκκένωσης σε υπόγειους χώρους είναι απαραίτητο εργαλείο, ώστε η πραγματική αλλά και η αισθητή ασφάλεια από το κοινό σε τέτοιους χώρους να αντιστοιχεί σε εκείνη των συμβατικών επιφανειακών κτιρίων.

Η παρούσα διατριβή διαρθρώνεται σε 2 μέρη. Το Μέρος Α' αποτελείται από 4 κεφάλαια (Κεφάλαιο 1 έως Κεφάλαιο 4) και έχει εισαγωγικό χαρακτήρα. Το Κεφάλαιο 1 περιλαμβάνει

θέματα που αφορούν την ασφάλεια εγκαταστάσεων, καθώς και τον ορισμό των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, των καταστροφών και την κατάταξή τους. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται μια αναλυτική περιγραφή της μελέτης του σχεδίου εκτάκτου ανάγκης. Στα Κεφάλαια 3 και 4, περιγράφεται ο ρόλος του σχεδίου εκκένωσης ως στρατηγική αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, καθώς επίσης και εκτεταμένη περιγραφή του σχεδιασμού και των διαδικασιών εκκένωσης.

Η επεξεργασία του κυρίου κορμού του θέματος της διδακτορικής εργασίας γίνεται στο Β' Μέρος, το οποίο αποτελείται από 6 Κεφάλαια. Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται το αντικείμενο και ο στόχος της εργασίας, καθώς επίσης αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό και την επίλυση του προβλήματος. Οι προδιαγραφές και οι κανονισμοί εκκένωσης που αναφέρονται σε νομοθεσίες και κανονισμούς παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 6. Στο Κεφάλαιο 7 περιγράφεται η ανάπτυξη αλγορίθμων για τη συνδυασμένη εφαρμογή των κανονισμών εκκένωσης, που είναι η βάση της διδακτορικής εργασίας. Το κύριο μέρος της διδακτορικής εργασίας παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 8, στο οποίο γίνεται αναλυτική περιγραφή της ανάπτυξης και της λειτουργίας της εφαρμογής Exit Locator που αναπτύχθηκε με σκοπό την βελτιστοποίηση των συνθηκών εκκένωσης κτιρίων. Στο Κεφάλαιο 9 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εκπόνησης και ελέγχου σχεδίου εκκένωσης στον υπόγειο χώρο του Τεχνολογικού και Πολιτιστικού Πάρκου του Λαυρίου (Τ.Π.Π.Α.) και η επαλήθευση της εφαρμογής με την ολοκλήρωση του ελέγχου συμμόρφωσης με τους κανονισμούς εκκένωσης, καθώς επίσης και μια πρόταση που θα μπορούσε να βελτιώσει την διαδικασία εκκένωσης του χώρου. Τα κυριότερα συμπεράσματα του συνόλου της εργασίας, τα στοιχεία καινοτομίας και οι προτάσεις συνέχισης (follow up) περιέχονται στο Κεφάλαιο 10. Τέλος, περιλαμβάνεται ένα Παράρτημα, στο οποίο περιέχονται κάποια περιγραφικά στοιχεία δομής και λειτουργίας διαφόρων μοντέλων εκκένωσης.

Η ανάπτυξη του κατασκευαστικού τομέα στον υπόγειο χώρο, με σκοπό την όλο και αυξανόμενη ποικιλία χρήσεων καθώς και η άψογη συνεργασία με το Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας και Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής στο πλαίσιο των προπτυχιακών μου σπουδών και της εκπόνησης της Διπλωματικής μου εργασίας, μου κέντρισε παραπάνω το ενδιαφέρον να συνεχίσω τις σπουδές μου σε επίπεδο διδακτορικού. Το ερευνητικό αντικείμενο της διατριβής μου είναι, σε μεγάλο βαθμό, αποτέλεσμα των πεποιθήσεων μου γενικά για την ασφάλεια στη ζωή σε όλους τους τομείς, αλλά και στο επιστημονικό μου ενδιαφέρον για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής με την αποσυμφόρηση του ελεύθερου υπέργειου χώρου, μέσω της υπόγειας ανάπτυξης. Κρίσιμη παράμετρος για το τελευταίο είναι η κατάρριψη του ψυχολογικού φόβου για τη χρήση των υπογείων χώρων. Η πορεία προς την ολοκλήρωση της διδακτορικής εργασίας πέρασε από πολλές δυσκολίες και εμπόδια. Όμως, το ξεπέρασμα των δυσκολιών, με μεθοδικότητα, επιμονή και στήριξη, αποτελεί για μένα σημαντικό μάθημα ζωής και εφόδια για μεγαλύτερα επιτεύγματα, και εκτός επιστημονικού τομέα.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα με μεγάλη μου χαρά να εκφράσω τις ολόψυχες ευχαριστίες μου προς τους ανθρώπους που συνέβαλαν αποφασιστικά στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Κατ' αρχήν, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα της διατριβής, κ. Δ. Καλιαμπάκο, Καθηγητή ΕΜΠ και καθοδηγητή μου σε όλη τη πανεπιστημιακή μου σταδιοδρομία. Με στήριξε από το ξεκίνημα μέχρι και τα τελευταία στάδια της διδακτορικής εργασίας. Μέσα από δύσκολες στιγμές και καταστάσεις, μου έμαθε ότι "δεν έχει σημασία πόσες φορές πέφτεις, αλλά πόσες σηκώνεσαι". Αφιέρωσε άπλετο χρόνο για να με συμβουλέψει και να με βοηθήσει να αναπτύξω τις ικανότητες μου και να βελτιώσω τις αδυναμίες μου. Με εμπιστεύτηκε και μου

ανέθεσε δραστηριότητες σε ένα ευρύ πεδίο ακαδημαϊκών δραστηριοτήτων. Το σημαντικότερο, όμως, είναι ότι κατανοούσε τις ιδιαιτερότητες των προσωπικών μου ενδιαφερόντων και προσπαθούσε να με στηρίξει ακόμα και σε τομείς εκτός ακαδημαϊκού ενδιαφέροντος, παράλληλα με συμβουλές για τη βέλτιστη κατανομή προτεραιοτήτων.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον κ. Α. Μπενάρδο, Επίκουρο Καθηγητή Ε.Μ.Π. και τον κ. Θ. Μαυρίκο, Διδάκτορα ΕΜΠ, για την συνεχή διαθεσιμότητα των επιστημονικών τους γνώσεων σε όλα τα προβλήματα που εμφανίζονταν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής εργασίας.

Σε όλη την πορεία εκπόνησης της διδακτορικής εργασίας υπήρξε κρίσιμη η βοήθεια και η στήριξη πολλών φίλων. Σημαντική υπήρξε η συμβολή του ξάδερφού μου κ. Σ. Παπάζογλου, στο πλαίσιο της ανάπτυξης της εφαρμογής, με την εκμάθηση γλώσσας προγραμματισμού αλλά και την προσωπική του εργασία. Ακόμη, σημαντικές υπήρξαν και οι επιστημονικές του γνώσεις πάνω σε μαθηματικά μοντέλα και αλγόριθμους για την προσέγγιση λύσεων σχετικών με τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών εκκένωσης. Επίσης, πολύτιμη βοήθεια στην κατανόηση και ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων υπήρξε η συνεργασία με τον κ. Η. Τόλια, Μηχανολόγο ΕΜΠ Μ.Sc. και Μαθηματικό. Ένα μεγάλο ευχαριστώ ανήκει στην κ. Π. Τσαπατσάρη, στο συνάδελφο κ. Β. Μιχόπουλο και στην συνάδελφο Δρ. Μεταλλειολόγο Θ. Καραχάλιου που παρείχαν πολύτιμη βοήθεια στη σύνθεση επιμέρους στοιχείων και διαμόρφωση της διδακτορικής εργασίας.

Ακόμα, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους ανθρώπους από το Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδος που όποτε χρειάστηκε ήτανε διαθέσιμοι να απαντήσουν σε ερωτήσεις και να δώσουν σημαντικές συμβουλές για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, μια ειδική αναφορά οφείλεται στην ομάδα Mott MacDonald και Thunderhead Engineering, για την παροχή εκπαιδευτικής άδειας χρήσης της πλατφόρμας STEPS και Pathfinder αντίστοιχα, καθώς και για την άριστη και άμεση συνεργασία των μελών τους, όποτε αυτό υπήρξε αναγκαίο

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1.	Καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και καταστροφές .....	8
1.1	Εισαγωγή.....	8
1.2	Τύποι καταστάσεων έκτακτης ανάγκης - καταστροφών.....	8
1.3	Φυσικές καταστροφές .....	16
1.4	Μεγάλες χημικές καταστροφές .....	18
1.5	Έκδηλες καταστροφές.....	19
1.6	Μακροπρόθεσμες καταστροφές .....	20
1.7	Καταστροφές "ανάπτυξης" .....	21
1.8	Προειδοποίηση επικείμενης καταστροφής.....	22
Κεφάλαιο 2.	Σχέδια ασφαλείας – έκτακτης ανάγκης.....	23
2.1	Ο ρόλος του σχεδίου έκτακτης ανάγκης .....	23
2.2	Τα βασικά στάδια σχεδιασμού .....	23
2.3	Δημιουργία σχεδίου έκτακτης ανάγκης .....	24
2.3.1	Σκοπός του σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης.....	27
2.3.2	Αξιολόγηση κινδύνου και επικινδυνότητας.....	27
2.3.3	Εντός - τόπου και εκτός - τόπου Διαχείριση .....	33
2.3.4	Εξουσία και ευθύνη .....	35
2.3.5	Επικοινωνίες και διαχείριση πληροφοριών.....	36
2.3.6	Εφόδια και υποστήριξη.....	36
2.3.7	Ιατρική περίθαλψη και παρακολούθηση .....	37
2.3.8	Αποκατάσταση και ανασκόπηση .....	38
2.4	Θέματα μελέτης για το σχέδιο έκτακτης ανάγκης .....	39
2.4.1	Ένοικοι.....	39
2.4.2	Τύπος κτιρίου - χώρου .....	40
2.4.3	Είδος οργανισμού .....	43
2.5	Διαχείριση Πόρων.....	44
Κεφάλαιο 3.	Σχεδιασμός εκκένωσης.....	45
3.1	Εισαγωγή.....	45
3.2	Σχεδιασμός εκκένωσης εγκαταστάσεων .....	46
3.2.1	Βασικές αρχές σχεδιασμού εκκένωσης .....	46
3.2.2	Τύποι εκκένωσης.....	46
3.3	Παράγοντες που επηρεάζουν την εκκένωση .....	47
3.4	Στάδια διαδικασίας εκκένωσης .....	49
3.4.1	Εντολή - Απόφαση έναρξης εκκένωσης.....	49
3.4.2	Προειδοποίηση - ενημέρωση .....	51
3.4.3	Απομάκρυνση των ενοίκων σε ασφαλή τοποθεσία .....	53

3.4.4	Επιλογή τοποθεσίας συγκέντρωσης - αναφοράς .....	55
3.4.5	Επιστροφή στις εγκαταστάσεις .....	56
3.5	Δομικά στοιχεία εκκένωσης .....	57
3.5.1	Οδεύσεις διαφυγής (Means of egress) .....	57
Κεφάλαιο 4.	Διαδικασία εκκένωσης .....	60
4.1	Εισαγωγή .....	60
4.2	Εκτίμηση χρόνων εκκένωσης .....	60
4.2.1	Εκτίμηση διαθέσιμου χρόνου $t_{δ}$ .....	60
4.2.2	Υπολογισμός απαιτούμενου χρόνου εκκένωσης $t_{απ}$ .....	62
4.2.3	Ανάλυση εκτίμησης παραμέτρων χρόνου κίνησης $t_e$ .....	68
4.2.4	Υπολογισμός χρόνων εκκένωσης με προσομοιώματα υπολογιστών .....	75
4.3	Συνωστισμός κατά την εκκένωση .....	76
4.3.1	Η φυσική του συνωστισμού .....	77
Κεφάλαιο 5.	Αντικείμενο και μεθοδολογία της έρευνας .....	79
5.1	Αντικείμενο της έρευνας .....	79
5.2	Μεθοδολογία της έρευνας .....	79
5.2.1	Προσδιορισμός κανονισμών εκκένωσης .....	81
5.2.2	Προτάσεις εισαγωγής νέων μεθοδολογιών και μεταβλητών .....	84
5.2.3	Βελτιστοποίηση αποτελεσμάτων .....	85
5.2.4	Αποτίμηση και επαλήθευση της μεθοδολογίας .....	88
Κεφάλαιο 6.	Κανονισμοί εκκένωσης .....	89
6.1	Ταξινόμηση κανονισμών εκκένωσης .....	89
6.2	Ταξινόμηση κτιρίων .....	89
6.3	Οδεύσεις διαφυγής .....	90
6.4	Απόσταση διαφυγής .....	91
6.5	Διάταξη εξόδων .....	93
6.5.1	Γωνία .....	93
6.5.2	Σχετική απόσταση εξόδων .....	94
6.6	Αδιέξοδα .....	96
6.7	Έξοδοι διαφυγής - πόρτες .....	98
6.8	Εφαρμογή περιορισμών .....	98
6.8.1	Απόσταση .....	98
6.8.2	Γωνία .....	99
6.8.3	Σχετική απόσταση εξόδων .....	104
6.8.4	Αδιέξοδα .....	105
6.9	Θεωρητικός πληθυσμός .....	106
Κεφάλαιο 7.	Ανάπτυξη αλγορίθμων για τη συνδυασμένη εφαρμογή των κανονισμών .....	108
7.1	Εισαγωγή .....	108



7.2	Περιγραφή μεθοδολογίας .....	108
7.3	Υπολογισμός μεταβλητών στο περιβάλλον του Exit Locator .....	112
7.3.1	Υπολογισμός απόστασης από την έξοδο διαφυγής .....	112
7.3.2	Υπολογισμός γωνίας οδεύσεων προς τις εξόδους διαφυγής .....	113
7.3.3	Ορισμός και υπολογισμός αδιεξόδων .....	113
7.4	Έλεγχος μεθοδολογίας - αλγόριθμου .....	117
Κεφάλαιο 8.	Βελτιστοποίηση αποτελεσμάτων .....	122
8.1	Επιλογή βέλτιστων θέσεων εξόδων διαφυγής .....	122
8.2	Αξιολόγηση κανονισμών .....	123
8.2.1	Συνάρτηση απόστασης $g(x_d)$ .....	124
8.2.2	Συνάρτηση γωνίας $h(x_a)$ .....	127
8.2.3	Συνάρτηση αδιεξόδου $j(x_e)$ .....	142
8.3	Διερεύνηση άλλων παραμέτρων .....	144
8.3.1	Στροφές όδευσης διαφυγής .....	144
8.3.2	"Ακρίβεια" θέσης εξόδων .....	145
8.4	Προσδιορισμός βέλτιστων θέσεων στο Exit Locator .....	152
8.4.1	Εφαρμογή περιορισμών στο Exit Locator .....	153
8.4.2	Βαθμολόγηση χώρου (Κελιών) - Συνάρτηση Αξιολόγησης (Function) .....	155
8.4.3	Υπολογισμός σταθερών συντελεστών συνάρτησης .....	157
8.4.4	Υπολογισμός Performance - Ιδιότητα "Hotness" .....	164
8.4.5	Αξιολόγηση συνδυασμών - Μέτρω Παρέτο .....	168
8.4.6	Τελική αξιολόγηση συνδυασμών - Performance & Average Performance ...	175
8.4.7	Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων .....	183
Κεφάλαιο 9.	Επαλήθευση μεθοδολογίας - Σχέδιο εκκένωσης στον υπόγειο χώρο του Τεχνολογικού και Πολιτιστικού Πάρκου Λαυρίου .....	185
9.1	Κατηγοριοποίηση των εγκαταστάσεων .....	185
9.2	Αξιολόγηση κινδύνων για εκκένωση .....	186
9.3	Έλεγχος εγκαταστάσεων για συμμόρφωση με τους κανονισμούς ασφαλείας στις διαδικασίες εκκένωσης .....	192
9.4	Υπολογισμός θεωρητικού και μέγιστου πληθυσμού (ενοίκων) .....	196
9.5	Υπολογισμός χρόνου εκκένωσης .....	200
9.6	Μελέτη υπόγειου χώρου με τη χρήση του Exit Locator .....	201
Κεφάλαιο 10.	Ανακεφαλαίωση και συμπεράσματα .....	206
10.1	Γενικά .....	206
10.2	Αξιολόγηση κανονισμών - παραμέτρων .....	207
10.3	Εισαγωγή νέων μεθοδολογιών και προδιαγραφών .....	207
10.3.1	Υπολογισμός χώρου κάλυψης εξόδων διαφυγής με βάση τον κανονισμό των 45 <sup>ο</sup> στον Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων (Π.Δ. 71/88) .....	207

10.3.2	Αξιολόγηση κανονισμού ελάχιστης γωνίας .....	209
10.3.3	Αποδοτικότητα εξόδου διαφυγής σε σχέση με την απόστασή της από τον πλησιέστερο κάθετο τοίχο .....	209
10.4	Έλεγχος συμμόρφωσης και βελτιστοποίηση θέσεων εξόδων διαφυγής.....	210
10.5	Εφαρμογή και επαλήθευση μεθοδολογίας και Exit Locator στον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Λ. ....	213
10.6	Η συμβολή της διδακτορική εργασίας. Στοιχεία καινοτομίας και πρωτοτυπίας..	213
10.7	Προτάσεις για συνέχιση της έρευνας (Follow up).....	215
Παράρτημα - Μοντέλα Εκκένωσης.....		216
Βιβλιογραφία .....		223

## Κεφάλαιο 1. Καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης και καταστροφές

### 1.1 Εισαγωγή

Η κατάσταση έκτακτης ανάγκης δεν είναι το ίδιο με μια καταστροφή. Αυτοί οι δύο όροι, αν και συχνά χρησιμοποιούνται χωρίς διάκριση, έχουν μια διαφορετική σημασία. Μια κατάσταση εκτάκτου ανάγκης μπορεί να οριστεί ως μια κατάσταση που μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή ενός οργανισμού, την ασφάλεια των εγκαταστάσεων ή του προσωπικού. Αυτός είναι ένας ευρύς ορισμός που περιλαμβάνει πολλές περιπτώσεις (Casavant, 2007).

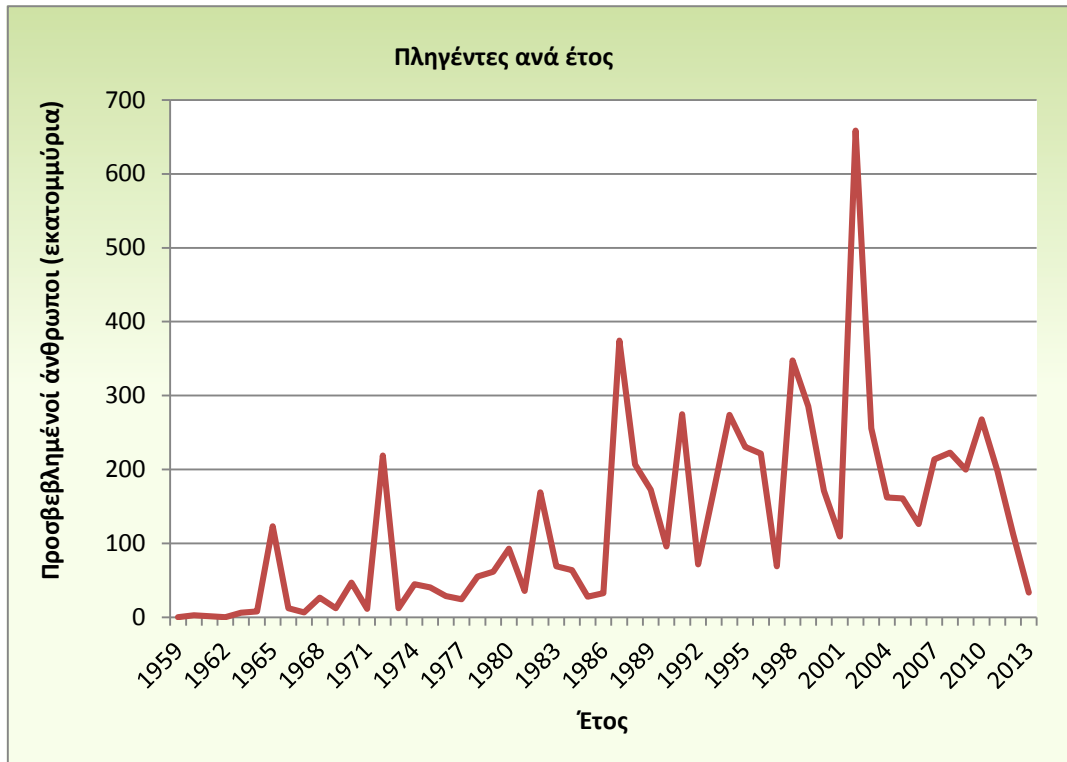
Το σημαντικό είναι να μην χαρακτηρίζεται μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης ως μια καταστροφή. Μια καταστροφή περιγράφεται ως μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης που τελικά έχει ήδη προκαλέσει σημαντικά αρνητικά αποτελέσματα. Μια έκτακτη ανάγκη μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή, δεν είναι η ίδια και εξ αρχής καταστροφή. Είναι γεγονός, επίσης, ότι οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης συμβαίνουν πολύ πιο συχνά από ότι οι καταστροφές. Επομένως, μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης είναι πιο πιθανό να επηρεάσει τους εργαζομένους αλλά και τον ίδιο τον οργανισμό.

Κατά τη δημιουργία σχεδίων για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, θα πρέπει να τεθεί το ερώτημα "Ποιό είναι το χειρότερο που μπορεί να συμβεί;" ("Worst Case Scenario"). Ο σχεδιασμός για τη χειρότερη περίπτωση είναι απαραίτητος, ωστόσο θα πρέπει να αφιερωθεί χρόνος για μια πραγματική ανάλυση του κινδύνου, αξιολογώντας το "Ποιά γεγονότα είναι πιο πιθανό να συμβούν;". Με το σωστό σχεδιασμό μπορεί να μειωθεί σημαντικά ο αντίκτυπος μιας καταστροφής ή μιας κατάστασης εκτάκτου ανάγκης. Σε πολλές περιπτώσεις, με σωστό προγραμματισμό, επίσης, είναι δυνατή ακόμη και η αποφυγή εκδήλωσης κατάστασης έκτακτης ανάγκης εξ αρχής, πράγμα που αποτελεί το ιδανικότερο σενάριο.

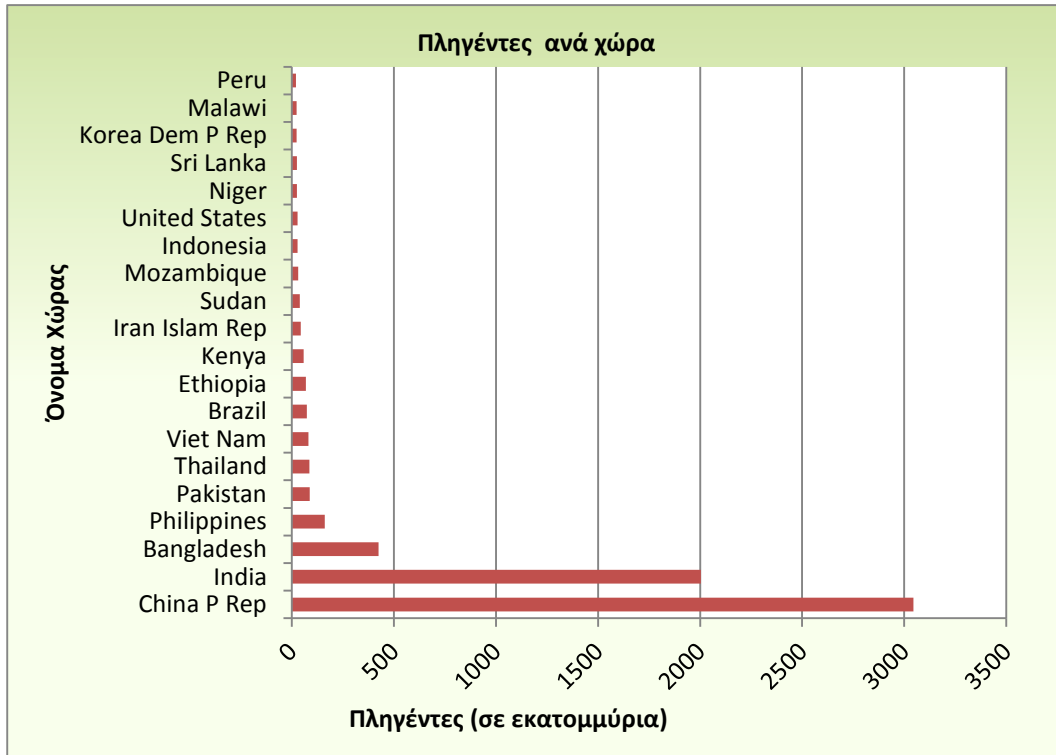
### 1.2 Τύποι καταστάσεων έκτακτης ανάγκης - καταστροφών

Το 1990, η 44η Γενική Συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών ξεκίνησε τη δεκαετία για τη μείωση της συχνότητας και των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών (Lancet 1990). Μια επιτροπή εμπειρογνομόνων ενέκρινε τον ορισμό των καταστροφών ως "τη διαταραχή του ανθρώπινου και φυσικού περιβάλλοντος που υπερβαίνει την ικανότητα της κοινότητας να λειτουργήσει κανονικά".

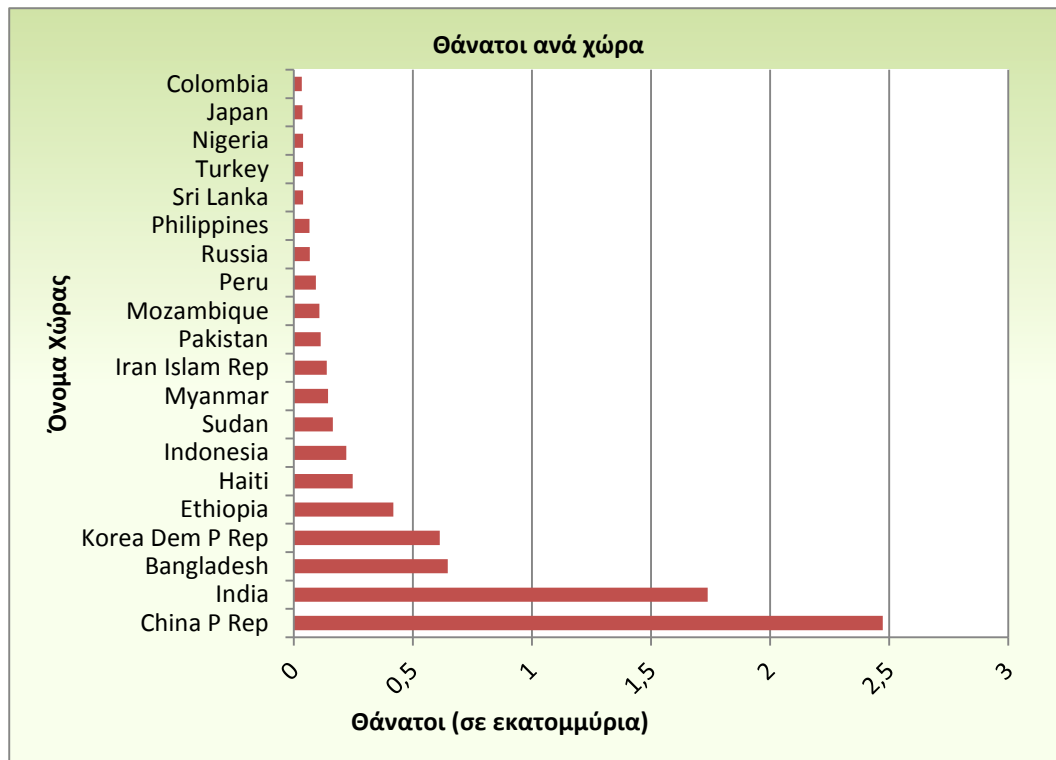
Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, τα στοιχεία των καταστροφών σε παγκόσμιο επίπεδο αποκαλύπτουν δύο κύρια χαρακτηριστικά: μια διαχρονική αύξηση του αριθμού των ανθρώπων που επλήγησαν καθώς και μια γεωγραφική συσχέτιση. Στο **Διάγραμμα 1.1**, στο οποίο παρουσιάζονται οι πληγέντες από καταστροφές ανά έτος παρατηρείται μια σαφής ανοδική τάση παρά τις μεγάλες διακυμάνσεις από έτος σε έτος. Τα διαγράμματα (**Διάγραμμα 1.2** και **Διάγραμμα 1.3**) δείχνουν τις χώρες που πλήττονται περισσότερο από μεγάλες καταστροφές, μέχρι το 2013. Διάφορες καταστροφές επηρεάζουν κάθε χώρα του κόσμου, αλλά οι φτωχότερες χώρες είναι αυτές που πλήττονται περισσότερο, ιδιαίτερα σε ανθρώπινες ζωές. Με βάση τα στοιχεία του International Disaster Database (EM-DAT) η Ελλάδα βρίσκεται στην 104 θέση σε σύνολο πληγέντων και στην 77 σε αριθμό θανάτων από καταστροφές.



**Διάγραμμα 1.1** Αριθμός ανθρώπων που προσβάλλονται παγκοσμίως από καταστροφές ανά έτος (EM-DAT, 2014)



**Διάγραμμα 1.2** Αριθμός ανθρώπων που προσβλήθηκαν από καταστροφές από το 1959 έως το 2013 (20 πρώτες χώρες) (EM-DAT, 2014)



**Διάγραμμα 1.3** Αριθμός ανθρώπων που έχασαν τη ζωή τους από καταστροφές από το 1959 έως το 2013 (20 πρώτες χώρες) (EM-DAT, 2014)

Συνήθως, οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: φυσικά περιστατικά και μη φυσικά περιστατικά. Κατά την εξέταση των ενδεχόμενων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, επιβάλλεται να προσδιοριστούν όλα τα γεγονότα που θα μπορούσαν να συμβούν (Casavant, 2007).

Τύποι πιθανών καταστάσεων έκτακτης ανάγκης:

#### Φυσικά περιστατικά

- Πλημμύρα
- Σεισμός
- Τυφώνας – Ανεμοστρόβιλος
- Χιονοστιβάδα
- Ξηρασία
- Μεγάλης έκτασης χιονόπτωση
- Φωτιά – Εκδήλωση πυρκαγιάς
- Κεραυνός
- Παγετός

#### Μη φυσικά περιστατικά (ανθρώπινο λάθος ή αστοχία υλικών)

- Φωτιά – Εκδήλωση πυρκαγιάς
- Έκρηξη
- Κατάρρευση κτιρίου ή μέρους αυτού
- Ηλεκτρικές βλάβες

- Διαρροή τοξικών χημικών ουσιών (στερεών – υγρών - αερίων)
- Υδραυλική διαρροή
- Διαρροή υγραερίου – φυσικού αερίου
- Διακοπή αερισμού και κλιματισμού
- Διακοπή επικοινωνιών
- Τρομοκρατική επίθεση – έγκλημα εντός των εγκαταστάσεων – εμπρησμός
- Εργατικά ατυχήματα
- Ιατρικό περιστατικό (ανάγκη άμεσης ιατρικής βοήθειας)
- Εγκλωβισμός (ανεξαρτήτου αιτίας)
- Διακοπή λειτουργίας μονάδας
- Βίαιη διατάραξη τάξης
- Βία στο χώρο εργασίας

Εκτός της παραπάνω απλής ταξινόμησης των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης - καταστροφών, έχουν δημιουργηθεί και αξιολογηθεί πολλοί άλλοι και διαφορετικοί ορισμοί και ταξινομήσεις των καταστροφών (Grisham 1986, Lechat 1990, Logue, Melick & Hansen 1981, Weiss & Clarkson 1986). Παρακάτω αναφέρονται οι τρεις ταξινομήσεις που χρησιμοποιούνται πιο συχνά:

- Στο Αμερικανικό Κέντρο Ελέγχου και Πρόληψης Νοσημάτων (CDC 1989) προσδιορίστηκαν τρεις μεγάλες κατηγορίες καταστροφών: γεωγραφικής έκτασης γεγονότα όπως οι σεισμοί και οι ηφαιστειακές εκρήξεις, καιρικές συνθήκες που σχετίζονται με προβλήματα όπως τυφώνες, ανεμοστρόβιλοι, καύσωνες, ψυχρό περιβάλλον, πλημμύρες και, τέλος, τα προβλήματα που δημιουργούνται από την ανθρώπινη παρέμβαση, τα οποία περιλαμβάνουν λοιμούς, ρύπανση του αέρα, βιομηχανικές καταστροφές, πυρκαγιές και ατυχήματα πυρηνικών αντιδραστήρων.
- Μια άλλη ταξινόμηση κατά αιτία (Parrish, Falk και Melius 1987) περιλαμβάνει τα καιρικά και γεωλογικά συμβάντα μεταξύ των φυσικών καταστροφών, ενώ οι ανθρωπογενείς αιτίες ορίζονται ως μη φυσικές, τεχνολογικές ή σκόπιμα γεγονότα που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα (π.χ. προβλήματα μεταφορών - μετακινήσεων, πόλεμος, φωτιά - έκρηξη, απελευθέρωση χημικών ή ραδιενεργών υλικών).
- Μια τρίτη κατάταξη (**Πίνακας 1.1**), δημιουργήθηκε στο Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) στη Louvain στο Βέλγιο, και βασίστηκε στον Οργανισμό Προστασίας από Καταστροφές των Ηνωμένων Εθνών (UN Disaster Relief Organization) το 1991 και δημοσιεύθηκε στο World Disaster Report 1993 (IFRCRC, 1993).

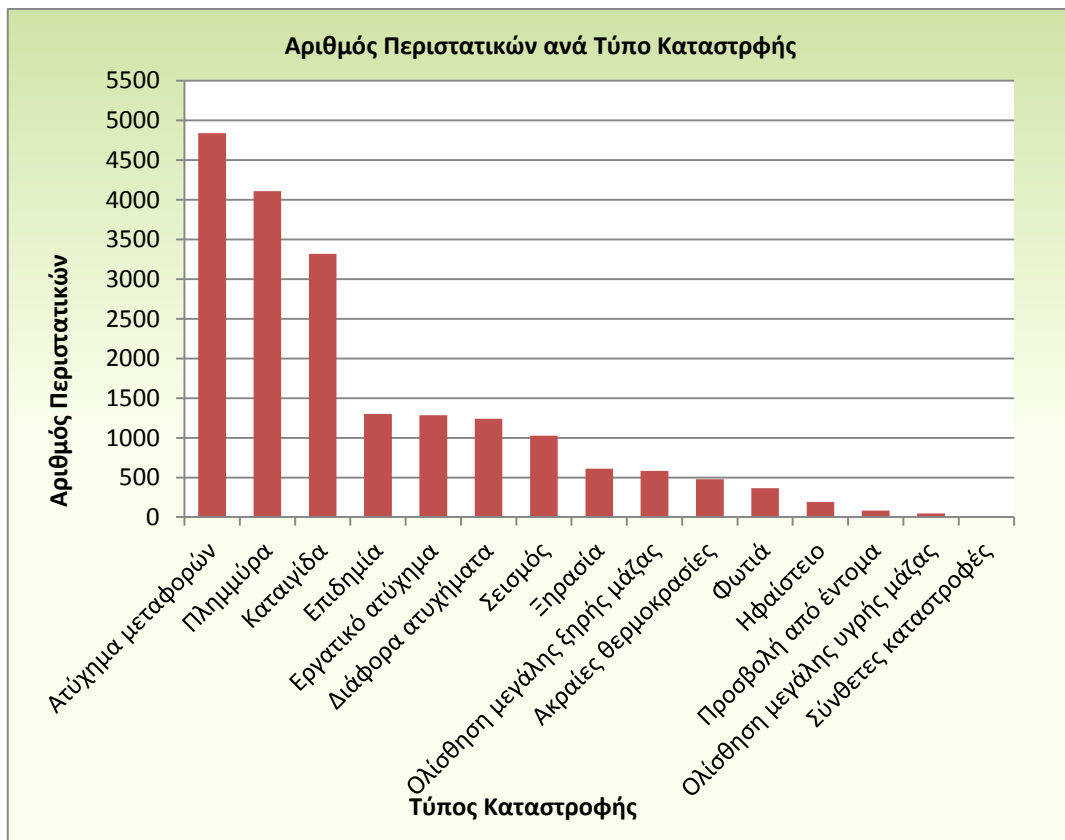
**Πίνακας 1.1** Ορισμοί τύπων καταστροφών (IFRCRC, 1993)

Άμεσες φυσικές καταστροφές	Μακροπρόθεσμες φυσικές καταστροφές	Άμεσες ανθρωπογενείς καταστροφές	Μακροπρόθεσμες ανθρωπογενείς καταστροφές
Χιονοστιβάδα	Επιδημία	Κατάρρευση κατασκευών	Εμφύλιες διαμάχες (πολεμικές, οικονομικές κ.α.)
Παγετός	Ξηρασία	Κατάρρευση κτιρίων	Διεθνείς διαμάχες (πολεμικές, οικονομικές κ.α.)
Σεισμός	Ερημοποίηση	Κατάρρευση ορυχείων	Μετατόπιση μεγάλου όγκου πληθυσμού
Μετασεισμικές δονήσεις	Λοιμός	Εδαφική καταστροφή	Μετατόπιση φυλών - ανθρώπων
Πλημμύρα	Έλλειψη τροφής - μακροχρόνια ασοχία καλλιεργειών	Θαλάσσια καταστροφή	Πρόσφυγες
Ταχεία πλημμύρα (στάθμη ποταμών - λιμνών)		Εναέρια καταστροφή	
Κατάρρευση φράγματος		Βιομηχανικό - τεχνολογικό ατύχημα	
Ηφαιστειακή έκρηξη		Έκρηξη	
Ροή μάγματος		Χημική έκρηξη	
Τυφώνας		Πυρηνική έκρηξη	
Καταιγίδα - θύελλα		Έκρηξη σε μεταλλείο	
Χαλάζι		Μόλυνση - ρύπανση	
Αμμοθύελλα		Όξινη βροχή	
Παλίρροιες		Χημική ρύπανση	
Κεραυνός		Ατμοσφαιρική ρύπανση	
Τροπική καταιγίδα		Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)	
Ανεμοστρόβιλος		Πετρελαϊκή ρύπανση	
Προσβολή σμήνους εντόμων		Φωτιά	
Κατολίσθηση		Δασική πυρκαγιά	

**Πίνακας 1.1** Ορισμοί τύπων καταστροφών (IFRCRC, 1993) (συνέχεια)

Άμεσες φυσικές καταστροφές	Μακροπρόθεσμες φυσικές καταστροφές	Άμεσες ανθρωπογενείς καταστροφές	Μακροπρόθεσμες ανθρωπογενείς καταστροφές
Ροή γεωδών υλικών			
Καταστροφή συστημάτων ηλεκτροδότησης (πχ. κεραυνός, πτώση δέντρων)			
Τσουνάμι			

Παρακάτω, στο **Διάγραμμα 1.4** αναγράφεται ο αριθμός των γεγονότων για κάθε τύπο καταστροφής. Το στοιχείο "Διάφορα ατυχήματα" περιλαμβάνει όλα τα άμεσα ανθρωπογενή ατυχήματα και βρίσκεται στην έκτη θέση της σχετικής κατηγορίας. Τις τρεις πρώτες θέσεις καταλαμβάνουν τα ατυχήματα στις μεταφορές, οι πλημμύρες και οι καταιγίδες.



**Διάγραμμα 1.4** Συνολικός αριθμός γεγονότων ανά κατηγορία έκτακτης ανάγκης - καταστροφής (χρονολογικά στοιχεία 1959-2013) (EM-DAT, 2014)

Παρά το γεγονός ότι οι οργανισμοί αξιολογούν τη σοβαρότητα των καταστροφών από τον αριθμό των θανάτων, γίνεται ολοένα και πιο σημαντικό να συνυπολογίζεται και ο αριθμός



των ανθρώπων που επηρεάζεται συνολικά. Παγκοσμίως, η αναλογία των ανθρώπων που επηρεάζονται από μια καταστροφή προς τους θανάτους είναι χίλια προς ένα και για πολλούς από αυτούς τους ανθρώπους, η επιβίωση μετά την καταστροφή γίνεται όλο και πιο δύσκολη, αφήνοντάς τους πιο ευάλωτους σε μελλοντικές κρίσεις. Αυτή η αναλογία ισχύει τόσο για τις φυσικές καταστροφές (Πίνακας 1.2) όσο και για τις ανθρωπογενείς καταστροφές (Πίνακας 1.3), ιδίως στην περίπτωση των χημικών ή πυρηνικών ατυχημάτων, των οποίων οι επιπτώσεις στα εκτεθειμένα άτομα μπορεί να γίνουν εμφανείς μετά από χρόνια ή ακόμα και δεκαετίες (Bertazzi, 2011).

**Πίνακας 1.2** Αριθμός θυμάτων φυσικών καταστροφών ανά ήπειρο από το 1959 έως το 2013 (EM-DAT, 2014)

Ήπειρος	Θάνατοι	Τραυματίες	Άστεγοι	Σύνολο πληγέντων
Αφρική	878.204	107.289	8.683.340	463.658.619
Αμερική	548.098	2.955.991	11.572.030	259.966706
Ασία	5.638.007	4.261.939	139.996.617	6.113.171.449
Ευρώπη	191.210	104.791	3.164.120	42.128.405
Ωκεανία	7.582	10.062	454.291	21.192.966

**Πίνακας 1.3** Αριθμός θυμάτων μη φυσικών καταστροφών ανά ήπειρο από το 1959 έως το 2013 (EM-DAT, 2014)

Ήπειρος	Θάνατοι	Τραυματίες	Άστεγοι	Σύνολο πληγέντων
Αφρική	66.689	41.948	228.645	5.601.437
Αμερική	41.801	55.561	30.492	3.245.755
Ασία	756.798	230.839	639.145	17.148.814
Ευρώπη	31.991	51.553	202.881	527.972
Ωκεανία	1.859	1.056	672	30.093

Η ξηρασία (λειψυδρία), οι επιδημίες και οι πλημμύρες εξακολουθούν να πλήττουν πολύ περισσότερους ανθρώπους από κάθε άλλο είδος καταστροφής. Επίσης οι σεισμοί, η πιο ξαφνική εμφάνιση ενός καταστροφικού φαινομένου, και οι επιδημίες εξακολουθούν να έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό θανάτων προς ανθρώπους που πλήττουν (Πίνακας 1.4). Τέλος, στα τεχνολογικά ατυχήματα περισσότεροι άνθρωποι πλήττονται από δηλητηρίαση (επαφή, κατάποση, εισπνοή κ.α. επιβλαβών ουσιών) και ραδιενέργεια, με περισσότερους ανθρώπους να χάνουν τη ζωή τους από εκρήξεις Όμως, οι διαρροές αερίων και οι καταρρεύσεις προκαλούν περισσότερα θύματα ανά περιστατικό (Πίνακας 1.5).

**Πίνακας 1.4** Αριθμός θυμάτων φυσικών καταστροφών ανά τύπο καταστροφής από το 1959 έως το 2013 (EM-DAT, 2014) (συνέχεια)

Τύπος καταστροφής	Αριθμός συμβάντων	Θάνατοι	Τραυματίες	Άστεγοι	Σύνολο πληγέντων
Ξηρασία	610	2191271	0	20000	2140433007
Σεισμός	1028	1358783	2358013	22411577	175842888
Επιδημία	1300	229204	484274	0	25089842
Ακραίες θερμοκρασίες	479	168746	1938462	255587	97807223
Πλημμύρα	4111	2310428	1319128	84601435	3510039264

**Πίνακας 1.4** Αριθμός θυμάτων φυσικών καταστροφών ανά τύπο καταστροφής από το 1959 έως το 2013 (EM-DAT, 2014) (συνέχεια)

Τύπος καταστροφής	Αριθμός συμβάντων	Θάνατοι	Τραυματίες	Άστεγοι	Σύνολο πληγέντων
Προσβολή από έντομα	82	0	0	0	502200
Κατολισθήσεις	632	43690	10778	4232237	13718949
Καταιγίδα	3318	929515	1312628	51822338	925495793
Ηφαίστειο	192	29307	11420	361790	5251553
Φωτιά	364	2157	5369	165434	5937426

**Πίνακας 1.5** Αριθμός θυμάτων ανά τύπο τεχνολογικού ατυχήματος από το 1959 έως το 2013 (EM-DAT, 2014)

Τύπος τεχνολογικού ατυχήματος	Αριθμός συμβάντων	Θάνατοι	Τραυματίες	Άστεγοι	Σύνολο πληγέντων
Διαρροή χημικών	104	601	8433	7430	570398
Κατάρρευση	113	4895	735	0	868
Έκρηξη	652	25988	29278	226527	544052
Φωτιά	182	4190	4537	1403	246298
Διαρροή αερίων	48	2765	114593	0	504671
Διαρροή πετρελαίου	6	1	120	0	17120
Άλλα	98	2631	1234	12000	111423
Δηλητηρίαση	72	3089	51398	0	645478
Ραδιενέργεια	8	86	974	320000	663217

Στους πίνακες (**Πίνακας 1.6** και **Πίνακας 1.7**) παρουσιάζεται ο αριθμός κάθε τύπου καταστροφών ανά ήπειρο τη χρονολογική περίοδο 1959-2013. Οι επιδημίες, τα ατυχήματα (κυρίως ατυχήματα μετακινήσεων και μεταφορών) και οι πλημμύρες καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο αριθμό των γεγονότων καταστροφής, με το μεγαλύτερο μέρος αυτών να εκδηλώνεται στην Ασία.

**Πίνακας 1.6** Αριθμός φυσικών καταστροφών ανά ήπειρο και τύπο καταστροφής από το 1959 έως το 2013 (EM-DAT, 2014) (συνέχεια)

Τύπος φυσικής καταστροφής	Αφρική	Αμερική	Ασία	Ευρώπη	Ωκεανία	Σύνολο
Ξηρασία	269	131	147	41	22	610
Σεισμός	61	208	579	132	48	1028
Πλημμύρα	845	951	1683	505	127	4111
Επιδημία	758	150	329	46	17	1300
Κατολισθήσεις	36	161	347	68	20	632
Ηφαίστειο	16	72	78	8	18	192
Καταιγίδα	221	1055	1364	413	265	3318
Φωτιά	28	126	82	97	31	364

**Πίνακας 1.6** Αριθμός φυσικών καταστροφών ανά ήπειρο και τύπο καταστροφής από το 1959 έως το 2013 (EM-DAT, 2014) (συνέχεια)

Τύπος φυσικής καταστροφής	Αφρική	Αμερική	Ασία	Ευρώπη	Ωκεανία	Σύνολο
Προσβολή από έντομα	65	3	11	1	2	82
Ακραίες θερμοκρασίες	11	99	143	220	6	479

**Πίνακας 1.7** Αριθμός τεχνολογικών καταστροφών ανά ήπειρο και τύπος ατυχήματος από το 1959 έως το 2013 (EM-DAT, 2014)

Τύπος τεχνολογικού ατυχήματος	Αφρική	Αμερική	Ασία	Ευρώπη	Ωκεανία	Σύνολο
Εργατικό ατύχημα	118	192	789	177	7	1283
Ατύχημα μεταφορών	1493	792	1989	529	37	4840
Άλλα ατυχήματα	208	208	626	186	12	1240

Οι φυσικές καταστροφές, ανάλογα με την έκταση και το μέρος που πραγματοποιούνται, μπορούν να θεωρηθούν ως μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης για έναν οργανισμό που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα. Για το λόγο αυτό γίνεται μια συνοπτική αναφορά στις πιο συνηθισμένες μορφές φυσικής καταστροφής.

### 1.3 Φυσικές καταστροφές

Υπάρχει η αίσθηση ότι η φύση λειτουργεί ως ένας θετικός παράγοντας της ζωής, προσφέροντας τις βέλτιστες συνθήκες για την επιβίωση όλων των ειδών. Αυτό ισχύει σε έναν μεγάλο βαθμό, αλλά πολλές φορές είτε εξαιτίας ανθρωπογενών παραγόντων (π.χ. κλιματική αλλαγή) είτε φυσικών διεργασιών, προκαλούνται φυσικές καταστροφές. Ο αριθμός των φυσικών καταστροφών έχει αυξηθεί και πολλές φορές έχει δραματικές επιπτώσεις στον άνθρωπο. Παρακάτω παρουσιάζεται μια ταξινόμηση ως προς την επικινδυνότητά τους ξεκινώντας από αυτή με την μικρότερη επικινδυνότητα και καταλήγοντας σε αυτή με την υψηλότερη (Anghelache, 2012).

#### Χαλαζόπτωση

Όταν το χαλάζι αρκετά μεγάλο μέγεθος, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές υλικές ζημιές, ακόμα και σωματικό τραυματισμό που μπορεί να οδηγήσει σε θάνατο.

#### Χιονοστιβάδες

Οι χιονοστιβάδες είναι ένα ακραίο φυσικό φαινόμενο που μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό ή ακόμα και το θάνατο σε σκιέρ ή άλλους χειμερινούς αθλητές και πεζοπόρους. Όμως, μερικές φορές, ανάλογα με την έκταση της χιονοστιβάδας και την εγγύτητα των οικισμών της περιοχής, μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερης έκτασης υλικές ζημιές ακόμα και σωματικές βλάβες πολλών ανθρώπων. Παρόλο που οι επιπτώσεις ενός τέτοιου φαινομένου είναι σχετικά μικρές, όταν η επίδραση αφορά σε μεγάλη συγκέντρωση

πληθυσμού μπορεί να προκαλέσει δραματικές επιπτώσεις, όπως συνέβη στον Α' παγκόσμιο πόλεμο στο Tyrol (Αύστρο-Ιταλικές Άλπεις), όταν 80.000 στρατιώτες χάσανε την ζωή τους μετά από χιονοστιβάδα που προκλήθηκε από ταυτόχρονους πυροβολισμούς.

### **Χιονοθύελλες**

Σε μερικές χώρες οι ακραίες συνθήκες χιονοθύελλας προκαλούν προβλήματα στην αναπνοή και την κίνηση των ζώων και των ανθρώπων, με αποτέλεσμα να γίνονται δυσμενέστερες οι συνθήκες επιβίωσής τους.

### **Καύσωνες**

Οι καύσωνες είναι ένα παράδειγμα φυσικής καταστροφής που γίνεται όλο και πιο συχνό φαινόμενο λόγω της κλιματικής αλλαγής. Οι καύσωνες είναι εξαιρετικά επικίνδυνοι για την ανθρώπινη ζωή, κυρίως επειδή προκαλούν έντονες επιπτώσεις και υπάρχουν ελάχιστα έως καθόλου περιθώρια περιορισμού. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι το ευρωπαϊκό κύμα καύσωνα του 2003 που προκάλεσε το θάνατο 70.000 ανθρώπων.

### **Πυρκαγιές**

Μία από τις πιο ανεξέλεγκτες καταστάσεις της φύσης είναι η εκδήλωση της πυρκαγιάς, που προκαλείται είτε από μεγάλη ξηρασία είτε από κεραυνούς είτε από ανθρώπινη αμέλεια. Μπορεί να καούν ολόκληρα δάση, βοσκοτόπια ακόμα και πόλεις αν η φωτιά δεν καταπολεμηθεί και ελεγχθεί άμεσα. Ο προφανής κίνδυνος είναι η ίδια η φωτιά, αλλά σημαντικά προβλήματα προκαλούνται από τη μεγάλη ποσότητα καπνού που εκλύεται στην ατμόσφαιρα. Το πιο ακραίο παράδειγμα τέτοιας καταστροφής, έλαβε χώρα στην Αυστραλία το 2009, όταν πάνω από 400 πυρκαγιές προκάλεσαν τον μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπινων απωλειών (180 άτομα).

### **Ηφαιστειακές εκρήξεις**

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις είναι από τις πιο έντονες φυσικές καταστροφές που μπορούν να συμβούν στη γη. Πολλοί άνθρωποι που ζουν σε οικισμούς που βρίσκονται κοντά σε ηφαίστεια, παρόλο που έχουν επίγνωση του επικείμενου κινδύνου, δεν έχουν τη γνώση της πραγματικής στιγμής που μπορεί να συμβεί, επειδή τα ηφαίστεια μπορεί να είναι ανενεργά για χιλιάδες χρόνια. Όταν ενεργοποιηθεί το ηφαίστεια, οι μεγάλες εκρήξεις, τα τεράστια σύννεφα αερίων και η λάβα που εκλύεται, είναι μόνο η κορυφή των κινδύνων που ενέχει. Η έκρηξη του ηφαιστείου Κρακατόα το 1883 κατατάσσεται ως ο δυνατότερος ήχος που ακούστηκε στη γη, επίσης, το σύννεφο στάχτης που εξαπλώθηκε σχεδόν σε όλο τον κόσμο, προκάλεσε το θάνατο πάνω από 40.000 ανθρώπων.

### **Επιδημίες**

Κατά καιρούς έχουν συμβεί πολλές καταστροφικές συνέπειες και απώλειες ανθρώπινων ζώων εξαιτίας των επιδημιών. Εκ πρώτης όψευς, η επιδημία δε μπορεί να κατηγοριοποιηθεί μέσα στις φυσικές καταστροφές, όμως η φύση παίζει σημαντικό ρόλο στην ευρεία διάδοση της νόσου. Η χειρότερη εξέλιξη μιας επιδημίας είναι η πανδημία, δηλαδή η επέκταση της σε ολόκληρο το κόσμο. Από την αρχή της η ανθρωπότητα έχει αντιμετωπίσει πολλές επιδημίες όπως ο μαύρος θάνατος ή βουβωνική πανώλη, η ισπανική γρίπη, η ελονοσία, ο ιός Έμπολα, που έχουν στοιχίσει εκατομμύρια ζωές.

### **Τυφώνες - κυκλώνες**

Οι τυφώνες και οι κυκλώνες είναι φυσικές καταστροφές, που έχουν αυξηθεί εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Δημιουργούνται πάνω από τη θάλασσα ή τον ωκεανό, όταν συγκρούονται δύο διαφορετικά μέτωπα καιρικών συνθηκών. Προκαλούν βίαιη αύξηση της ταχύτητας του ανέμου και καταστρέφουν τα πάντα στο πέρασμα τους. Οι αρνητικές

επιπτώσεις αυτού του είδους των φαινομένων είναι πολύ μεγάλη. Πολλές περιοχές του πλανήτη πλήττονται από τέτοιους τυφώνες ή κυκλώνες, αλλά οι πιο βίαιοι συμβαίνουν στις ΗΠΑ, τη Νοτιοανατολική Ασία και την Αυστραλία.

### **Σεισμοί**

Αυτό το είδος της φυσικής καταστροφής είναι ίσως η πιο ευρεία σε όλο τον κόσμο και η πιο έντονη όσον αφορά στις επιπτώσεις της. Όταν δύο λιθοσφαιρικές πλάκες συγκρούονται ή μετατοπίζονται, τότε προκαλούνται σεισμικά κύματα που προσβάλλουν την επιφάνεια της γης. Ο σεισμός από μόνος του δεν είναι θανάσιμος, αλλά τα αποτελέσματά του είναι σε μεγάλο βαθμό. Ανάλογα με το μέγεθός του μπορεί να προκαλέσει καταστροφές όπως η κατάρρευση κτιρίων, κατολισθήσεις, εκρήξεις ηφαιστειών, τσουνάμι, πυρκαγιές και εκρήξεις. Προκαλούνται ανυπολόγιστες ζημιές και ο αριθμός των ζώων που χάνονται είναι υψηλός. Μεγάλοι σε ένταση σεισμοί έχουν κοστίσει τη ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων.

## **1.4 Μεγάλες χημικές καταστροφές**

Τον τελευταίο αιώνα οι χειρότερες μη φυσικές καταστροφές που οδήγησαν σε θανάτους και σοβαρές επιπτώσεις στο ανθρώπινο είδος, έχουν προκληθεί από τους πολέμους, τις μεταφορές - μετακινήσεις και τις βιομηχανικές δραστηριότητες. Αρχικά, οι βιομηχανικές καταστροφές έπληξαν κυρίως άτομα που ασχολούνται με τα συγκεκριμένα επαγγέλματα, αλλά, αργότερα, ιδιαίτερα μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο και την ταχεία ανάπτυξη και επέκταση της χημικής βιομηχανίας, καθώς και τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας, τα γεγονότα αυτά οδήγησαν σε σοβαρό κίνδυνο ακόμα και ανθρώπους που βρίσκονται σε περιοχές μακριά από το χώρο που πραγματοποιούνται αυτές οι δραστηριότητες, και γενικότερα στο περιβάλλον.

Η πρώτη τεκμηριωμένη χημική καταστροφή με βιομηχανική προέλευση εντοπίζεται κοντά στο 1600 και περιγράφηκε από τον Bernardino Ramazzini (Bertazzi 1989). Βέβαια, οι χημικές καταστροφές στις μέρες μας διαφέρουν ως προς τον τρόπο με τον οποίο συμβαίνουν και το είδος των χημικών ουσιών που εμπλέκονται (ILO 1988). Ο δυνητικός κίνδυνος είναι συνάρτηση τόσο της ίδιας της φύσης των χημικών όσο και της ποσότητας που υπάρχει στο χώρο. Η πιο συνηθισμένη εξέλιξη μιας τέτοιας καταστροφής είναι η ανεξέλεγκτη σειρά γεγονότων συμπεριλαμβανομένων των πυρκαγιών, των εκρήξεων και της απελευθέρωσης τοξικών ουσιών που οδηγούν σε θάνατο ή το σοβαρό τραυματισμό μεγάλου αριθμού ανθρώπων μέσα ή έξω από το εργοστάσιο που έγινε το ατύχημα και σε μεγάλη περιουσιακή και περιβαλλοντική ζημία. Ο **Πίνακας 1.8** παρουσιάζει ορισμένα παραδείγματα τυπικών μεγάλων χημικών ατυχημάτων λόγω εκρήξεων.

Ο **Πίνακας 1.9** παραθέτει κάποιες μεγάλες καταστροφές λόγω φωτιάς. Η συχνότητα εκρήξεων που εκδηλώνονται στο βιομηχανικό κλάδο είναι μεγαλύτερη από αυτή των πυρκαγιών και της απελευθέρωσης τοξικών ουσιών. Τέλος, στον **Πίνακα 1.10** παρατίθενται μερικά μεγάλα βιομηχανικά ατυχήματα που περιλαμβάνουν απελευθέρωση διαφόρων τοξικών ουσιών. Το χλώριο και η αμμωνία είναι οι τοξικές χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται πιο συχνά σε επικίνδυνες ποσότητες και παρουσιάζουν ιστορικό μεγάλων ατυχημάτων. Η απελευθέρωση εύφλεκτων ή τοξικών ουσιών στην ατμόσφαιρα μπορεί επίσης να οδηγήσει σε πυρκαγιές (Bertazzi, 2011).

**Πίνακας 1.8** Παραδείγματα βιομηχανικών εκρήξεων (ILO 1988, Mihailidou, Antoniadis, & Assael, 2012, EM-DAT, 2014)

Χημική ουσία	Επιπτώσεις		Τοποθεσία - Χρονολογία
	Θάνατοι	Τραυματίες	
Διμεθυλαιθέρας	245	3800	Ludwigshafen, Federal Republic of Germany, 1948
Προπυλένιο	14	107	Beek, Netherlands, 1975
Πετρέλαιο	145	1000	Caracas, Venezuela, 1982
Υγραέριο	452	4248	San Juanico, Mexico, 1984
Αμμωνία	100	400	Dakar, Senegal, 1992
Βενζίνη	1082	200	Jesse, Nigeria, 1998
Πετρέλαιο	76	116	Nairobi, Kenya, 2011
Νιτρικό αμμώνιο	14	200	Texas, USA, 2013

**Πίνακας 1.9** Παραδείγματα μεγάλων πυρκαγιών (ILO, 1988, EM-DAT, 2014)

Χημική ουσία	Επιπτώσεις		Τοποθεσία - Ημερομηνία
	Θάνατοι	Τραυματίες	
Μεθάνιο	136	77	Cleveland, Ohio, United States, 1944
Υγραέριο	18	90	Ferzyn, France, 1966
Υγραέριο	650	2500	Mexico City, Mexico, 1985
Υγραέριο	52	100	Chittagong, Bangladesh, 2006
Αμμωνία	119	54	Jilin, China, 2013

**Πίνακας 1.10** Παραδείγματα απελευθέρωσης μεγάλης ποσότητας τοξικών ουσιών (ILO, 1988, EM-DAT, 2014)

Χημική ουσία	Επιπτώσεις		Τοποθεσία - Ημερομηνία
	Θάνατοι	Τραυματίες	
Φωσγένιο	10	-	Poza Rica, Mexico, 1950
Διοξίνη/TCDD	-	193	Seveso, Italy, 1976
Ισοκυανικό μεθύλιο	2500	200000	Bhopal, India, 1984
Κυάνιο	4	600	Barskaun, Kyrgyzstan, 1998
Μεταλλικά οξείδια	9	150	Ajka, Hungary, 2010

## 1.5 Έκδηλες καταστροφές

Έκδηλες καταστροφές ορίζονται οι απελευθερώσεις τοξικών στο περιβάλλον, που δεν αφήνουν καμία αμφιβολία σχετικά με την πηγή προέλευσής τους και τις πιθανές βλάβες που μπορούν να προκαλέσουν. Τα πιο γνωστά παραδείγματα είναι του Seveso, του Bhopal και του Chernobyl (Bertazzi, 2011).

Το ατύχημα του Seveso παίζει το ρόλο του προτύπου για τις χημικές βιομηχανικές καταστροφές (Homberger et al. 1979, Rocchiari et al. 1983, 1986). Το ατύχημα έλαβε χώρα στις 10 Ιουλίου 1976 στην περιοχή του Seveso, κοντά στο Μιλάνο της Ιταλίας, σε ένα εργοστάσιο που παρήγαγε τριχλωροφαινόλη, και προκάλεσε τη ρύπανση αρκετών

τετραγωνικών χιλιομέτρων των κατοικημένων περιοχών. Περισσότερα από 700 άτομα απομακρύνθηκαν και διάφοροι περιορισμοί εφαρμόστηκαν σε άλλους 30.000 κατοίκους. Η πιο εμφανής επίδραση στην υγεία των ανθρώπων ήταν η χλωρακμή, αλλά η γενική εικόνα των συνεπειών στην υγεία των ανθρώπων που συνδέονται με το περιστατικό αυτό δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί (Bruzzi 1983, Pesatori 1995).

Το ατύχημα στο Bhopal αντιπροσωπεύει, κατά πάσα πιθανότητα, τη χειρότερη χημική βιομηχανική καταστροφή που έγινε ποτέ (Das 1985α - 1985b, Friedrich Naumann Foundation 1987, Tachakra 1987). Στις 2 Δεκεμβρίου του 1984 μια διαρροή αερίου προκάλεσε την εξάπλωση ενός θανατηφόρου σύννεφου πάνω από την πόλη του Bhopal, στην κεντρική Ινδία, αφήνοντας χιλιάδες νεκρούς και εκατοντάδες χιλιάδες τραυματίες σε διάστημα λίγων ωρών. Το ατύχημα συνέβη εξαιτίας μιας ανεξέλεγκτης αντίδρασης σε μία από τις δεξαμενές αποθήκευσης ισοκυανικού μεθυλίου (MIC). Πέρα από τις προφανείς καταστροφικές συνέπειες του ατυχήματος, εξακολουθούν να υπάρχουν ερωτήματα ως προς τις πιθανές μακροπρόθεσμες συνέπειες για την υγεία των ανθρώπων που εκτέθηκαν σε αυτές τις ουσίες (Andersson et al 1986, Sainani et al 1985).

Το πυρηνικό ατύχημα του Τσερνομπίλ έλαβε χώρα στις 26 Απριλίου του 1986, στον αντιδραστήρα No. 4 του Πυρηνικού Σταθμού Παραγωγής Ενέργειας του Τσερνομπίλ της Σοβιετικής Ένωσης, ο οποίος σήμερα βρίσκεται σε εδάφη της Ουκρανίας. Το ατύχημα ήταν της τάξης του μέγιστου προβλεπόμενου ατυχήματος στην Διεθνή Κλίμακα Πυρηνικών Γεγονότων, διατάραξε σοβαρότατα τις οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες που επικρατούσαν στις γύρω περιοχές και είχε σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία (Bennett, Repacholi, & Carr, 2006). Το ατύχημα στο Τσερνομπίλ προήλθε γενικά από μια σειρά γεγονότων, η οποία περιλάμβανε μεταξύ άλλων μη προβλεπόμενους χειρισμούς και λάθη, τα οποία σε συνδυασμό με τον σχεδιασμό του αντιδραστήρα RBMK-1000, που χρησιμοποιούσε το εργοστάσιο, οδήγησαν στο ατύχημα. Σύμφωνα με την επανεκτίμηση του ατυχήματος από τη Διεθνή Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας που έγινε το 1992, οι ακόλουθοι παράγοντες προκάλεσαν το Πυρηνικό Ατύχημα στο Τσερνομπίλ (International Nuclear Safety Advisory Group, 1992):

- Κάποια βλάβη στην αντλία που πραγματοποιούσε την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου. Στο εργοστάσιο του Τσερνομπίλ το ψυκτικό μέσον ήταν ζέον ύδωρ.
- Ενδεχόμενη διαταραχή λειτουργίας της αντλίας ψύξης ή κένωσή της από ψυκτικό.

Μέσα σε τέσσερις μήνες, από τη ραδιενέργεια και από εγκαύματα λόγω της θερμότητας, πέθαναν 28 πυροσβέστες που έσπευσαν στο χώρο του ατυχήματος και διαπιστώθηκαν 19 επιπλέον θάνατοι ως το 2004. Επιπλέον, υπολογίζεται ότι επηρεάστηκε η υγεία εκατοντάδων χιλιάδων ανθρώπων, εξαιτίας της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος με ραδιενέργεια. Οι ποσοστιαίες αυξήσεις των καρκίνων ήταν άνω του 15% στους πληθυσμούς που εκτέθηκαν, με χιλιάδες θανάτους από καρκίνο και λευχαιμία να συνδέονται με το ατύχημα.

## 1.6 Μακροπρόθεσμες καταστροφές

Οι μακροπρόθεσμες καταστροφές μπορεί να γίνουν αντιληπτές μόνο όταν υπάρχει ανθρώπινος πληθυσμός στην περιοχή της τελικής εκδήλωσής τους, ή όταν γίνονται πιο εμφανείς ορισμένες περιβαλλοντικές ενδείξεις.

Ένα από τα πιο εντυπωσιακά και διδακτικά παραδείγματα του πρώτου τύπου είναι η ασθένεια "Minamata". Το 1953 ασυνήθιστες νευρολογικές διαταραχές άρχισαν να πλήττουν τους ανθρώπους που ζούσαν σε ψαροχώρια κατά μήκος της Minamata Bay στην Ιαπωνία. Η ασθένεια πήρε το όνομά *kibyō*, ("ασθένεια μυστήριο"). Παρόμοια συμπτώματα παρουσίασαν και οι γάτες και άλλα ζώα της περιοχής. Μετά από πολλές έρευνες, ως πιθανή αιτία ανεδείχθησαν τα δηλητηριασμένα ψάρια που αλιεύονταν στον κόλπο, με τα οποία τρέφονταν οι κάτοικοι και οι γάτες τους. Το επόμενο έτος, το πόρισμα που υπεβλήθη για τις επιδράσεις της ασθένειας περιελάμβανε πολυνευρίτιδα, παρεγκεφαλιδική αταξία και φλοιώδη τύφλωση, συμπτώματα παρόμοια με εκείνα που οφείλονται σε δηλητηρίαση αλκαλικού υδραργύρου. Η πηγή του υδραργύρου βρέθηκε τελικά σε ένα εργοστάσιο που απέρριπτε τα λύματά του στη Minamata Bay. Μέχρι τον Ιούλιο του 1961 η νόσος είχε προσβάλλει 88 άτομα, εκ των οποίων 35 (40%) είχαν πεθάνει (Hunter 1978, Bertazzi, 2011).

Ένα παράδειγμα του δεύτερου τύπου μακροπρόθεσμης καταστροφής είναι αυτό στο Love Canal, μια περιοχή κοντά στους καταρράκτες του Νιαγάρα στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η περιοχή είχε χρησιμοποιηθεί για 30 χρόνια, έως το 1953, ως περιοχή διάθεσης χημικών και δημοτικών λυμάτων. Τα σπίτια χτίστηκαν αργότερα δίπλα στο χώρο υγειονομικής ταφής. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, υπήρχαν παράπονα από οσμές χημικών στα υπόγεια των σπιτιών καθώς και αναφορές για διαρροή χημικών στις περιοχές γύρω από το χώρο με αυξανόμενη συχνότητα. Τη δεκαετία του 1970, άρχισαν να εκδηλώνονται φόβοι από τους κατοίκους για την άμεση και μελλοντική επίδραση των φαινομένων στην υγεία τους, αλλά καμία από τις δημοσιευμένες μελέτες δε μπόρεσε να υποστηρίξει με βεβαιότητα την ύπαρξη σύνδεσης μεταξύ της παλαιότερης διάθεσης χημικών ουσιών στο χώρο με δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων. Ωστόσο, δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι υπήρχαν σοβαρές κοινωνικές και ψυχολογικές επιπτώσεις στον πληθυσμό της περιοχής, ιδιαίτερα σε εκείνους που αναγκάστηκαν να μετακινηθούν (Holden 1980, Bertazzi, 2011).

## 1.7 Καταστροφές "ανάπτυξης"

Το αναδυόμενο πρότυπο της εκβιομηχάνισης καθώς και ο εκσυγχρονισμός της γεωργίας στις αναπτυσσόμενες χώρες περιλαμβάνει την εφαρμογή και χρήση εισαγόμενων προϊόντων και τεχνολογιών, σε συνθήκες που μπορεί να είναι εντελώς διαφορετικές από εκείνες για τις οποίες προορίζονταν να χρησιμοποιηθούν. Οι επιχειρήσεις που αντιμετωπίζουν αυστηρούς κανονισμούς στη λειτουργία των βιομηχανιών στις χώρες τους, όχι σπάνια «εξάγουν» τις επικίνδυνες βιομηχανικές δραστηριότητες σε περιοχές του κόσμου με λιγότερο αυστηρά μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας (Krishna Murti 1987). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό του Πακιστάν, όπου το 1976 μεταξύ 7.500 εργαζόμενων σε ένα πρόγραμμα ελέγχου της ελονοσίας, οι 2.800 είχαν βιώσει κάποια μορφή τοξικής προσβολής (Baker et al. 1978). Επίσης, εκτιμάται ότι κάθε χρόνο καταγράφονται περίπου 500.000 οξείες δηλητηριάσεις από φυτοφάρμακα, με αποτέλεσμα περίπου 9.000 θανάτους, εκ των οποίων μόλις το 1% των θανατηφόρων περιπτώσεων συμβαίνουν σε βιομηχανικές χώρες, παρόλο που οι χώρες αυτές καταναλώνουν το 80% περίπου της συνολικής παραγωγής αγροχημικών στον κόσμο (Jeyaratnam 1985, Bertazzi, 2011).

Έχει επίσης υποστηριχθεί ότι οι αναπτυσσόμενες κοινωνίες στην πραγματικότητα μεταφέρουν ένα διπλό βάρος αντί να απαλλάσσονται από αυτό της υπανάπτυξης. Οι συνέπειες, δηλαδή, μιας περιβαλλοντικά επικίνδυνης εκβιομηχάνισης απλά προστίθενται σε εκείνες που οφείλονται στην υπανάπτυξη των περιοχών (Krishna Murti 1987).



## 1.8 Προειδοποίηση επικείμενης καταστροφής

Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός αντιμετώπισης καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης και η έγκυρη και έγκαιρη προειδοποίηση, σε συνδυασμό με την ταχεία ανταπόκριση, έχει αποδειχθεί ότι παίζουν σημαντικό ρόλο στη διάσωση ζωών και στη μείωση των επιπτώσεων. Ειδικότερα, η ταχεία διάδοση των προειδοποιητικών μηνυμάτων ή πληροφοριών γενικότερα είναι απαραίτητη για να σωθούν ζωές. Ακόμη και όταν μια γρήγορη και ακριβής προειδοποίηση έχει ενεργοποιηθεί, τα άτομα που κινδυνεύουν είναι πιθανό να μην μπορούν να λάβουν το μήνυμα, γεγονός που αποκαλύπτει μια κεντρική αδυναμία στο υφιστάμενο σύστημα προειδοποίησης.

Συνοπτικά, είτε γίνεται μελέτη για καταστροφές είτε για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, οι οργανισμοί κάθε είδους πρέπει να είναι προετοιμασμένοι. Αυτοί που είναι απροετοίμαστοι για καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης, θα βιώσουν μια δαπανηρή διακοπή εργασιών και το πιο σημαντικό, θα τεθούν ζωές σε κίνδυνο.

## Κεφάλαιο 2. Σχέδια ασφαλείας – έκτακτης ανάγκης

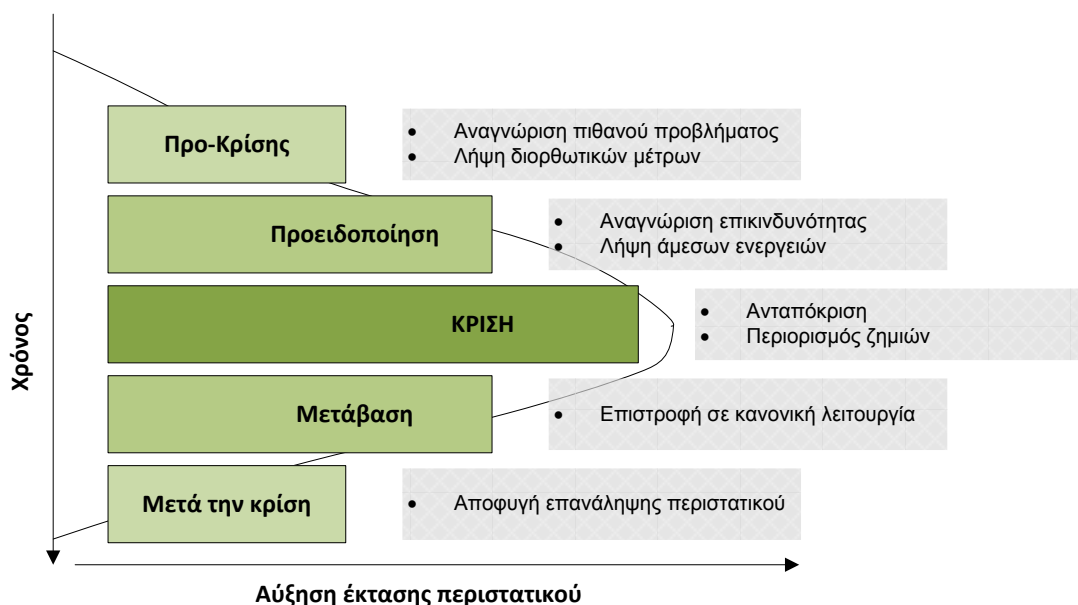
### 2.1 Ο ρόλος του σχεδίου έκτακτης ανάγκης

Το σχέδιο δράσης έκτακτης ανάγκης καταρτίζεται με σκοπό να σωθούν ζωές, να μειωθούν οι τραυματισμοί και να περιοριστούν οι υλικές επιπτώσεις σε περίπτωση εκδήλωσης μιας εν δυνάμει καταστροφής. Παρέχει τα μέσα και τις μεθόδους για να βοηθήσει στην επιβίωση των εργαζομένων και την ανάκτηση των λειτουργιών του οργανισμού σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Επειδή η ανθρώπινη ζωή, η περιουσία και η λειτουργία των οργανισμών τίθενται σε κίνδυνο, το σχέδιο δράσης πρέπει να θεωρείται ως σημαντικό μέρος του επιχειρηματικού σχεδίου κάθε οργανισμού. Για το λόγο αυτό, όλοι οι εργαζόμενοι θα πρέπει να εκπαιδεύονται με γνώμονα, μεταξύ άλλων, το σχέδιο δράσης έκτακτης ανάγκης, το οποίο όμως πρέπει να επανεξετάζεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, να αναθεωρείται με βάση τις νέες συνθήκες και διαδικασίες και να ενημερώνεται όπως απαιτείται.

### 2.2 Τα βασικά στάδια σχεδιασμού

Υπάρχουν πολλοί τύποι σχεδίων έκτακτης ανάγκης που εκδίδονται από διάφορους οργανισμούς, αλλά είναι σαφές ότι δεν υπάρχει μια ενιαία μορφή που μπορεί να είναι επαρκής για την προετοιμασία και την αντιμετώπιση σε όλα τα ενδεχόμενα έκτακτης ανάγκης. Σε αυτό το πλαίσιο, οι νομικώς επιβεβλημένοι τύποι σχεδίων περιλαμβάνουν συνήθως τις ελάχιστες απαιτήσεις, αφήνοντας τις λεπτομέρειες να διευθετούνται από την ομάδα που έχει την κύρια ευθύνη για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν αντικειμενικά κριτήρια για την αξιολόγηση ενός σχεδίου έκτακτης ανάγκης. Βεβαίως, κάθε καλά δομημένο σχέδιο πρέπει να περιλαμβάνει ορισμένες διατάξεις, συμπεριλαμβανομένων στοιχείων ζωτικής σημασίας όπως διαδικασίες εκκένωσης επείγουσας ανάγκης, μέθοδοι για τον υπολογισμό (καταγραφή) των ενοίκων, υπηρεσίες διάσωσης και πρώτων βοηθειών. Ωστόσο, σημαντικό σε κάθε σχέδιο είναι ότι η ιδιαιτερότητα της κάθε περίπτωσης μπορεί να αντιμετωπιστεί επαρκώς μόνο με το προσωπικό που απασχολείται στον συγκεκριμένο οργανισμό.

Ανεξάρτητα από το πολιτικό σύστημα, την παράδοση ή την οικονομική ανάπτυξη, τα έθνη σήμερα είναι εταίροι σε ένα γενικό - παγκόσμιο «έθνος» που υπόκειται όλο και περισσότερο στους κινδύνους των εξελιγμένων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται από εξειδικευμένες βιομηχανίες, οι οποίες συνήθως βρίσκονται μέσα σε μεγάλες μητροπολιτικές περιοχές (Erickson, 2006). Όποια και αν είναι η αιτία μιας συγκεκριμένης έκτακτης ανάγκης, σεισμός, τυφώνας, τρομοκρατική ενέργεια ή απλό ατύχημα, η κρίση είναι πολύ πιθανό να περιλαμβάνει (άμεσα ή έμμεσα) επικίνδυνες χημικές ουσίες ή υλικά, με δυνητικά καταστροφικές συνέπειες για ολόκληρες κοινότητες. Εντούτοις, καμία κατάσταση έκτακτης ανάγκης δεν εμφανίζεται ακαριαία. Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.1**, κάθε πιθανή κατάσταση έκτακτης ανάγκης εξελίσσεται με την πάροδο μεγάλης ή μικρής χρονικής περιόδου, ενώ τις περισσότερες φορές υπάρχουν σημάδια που αν αναγνωριστούν και υποστούν σωστή επεξεργασία, μπορεί να αποκλείσουν την ανάπτυξη μιας πραγματικής κρίσης.



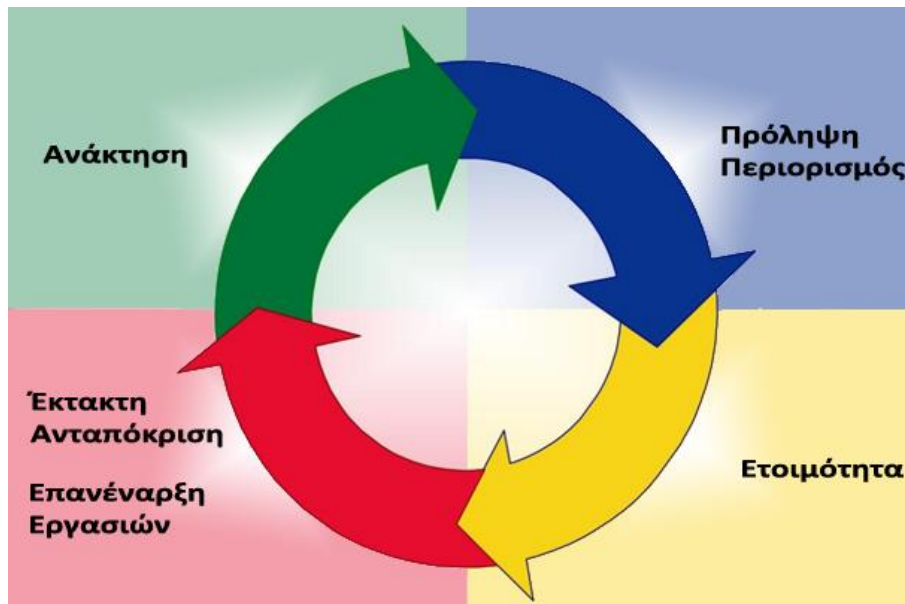
**Σχήμα 2.1** Τυπικά στάδια της εξέλιξης μιας κρίσης (Erickson, 2006)

Οι άνθρωποι που είναι σε καλύτερη θέση να αναγνωρίσουν τα σημάδια και τα πρόδρομα φαινόμενα μιας επικείμενης κρίσης, συνήθως δεν είναι το προσωπικό κάποιας κυβερνητικής υπηρεσίας ή δημόσιας υπηρεσίας αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, αλλά οι εργαζόμενοι και οι διαχειριστές των εγκαταστάσεων όπου η κρίση λαμβάνει χώρα.

Ακόμη και όταν ο οργανισμός αντιλαμβάνεται και αποδέχεται την ευθύνη του για την πρόληψη, την προετοιμασία και την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, υπάρχει πολύ συχνά μια εσφαλμένη αντίληψη του σκοπού ενός πλήρως ανεπτυγμένου, γραπτού σχεδίου αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Ο σκοπός του σχεδίου αυτού δεν είναι απλώς η αναφορά για το τι πρέπει να γίνει, αλλά να κατευθύνει και να εκπαιδεύει το προσωπικό στο πώς να εκτελέσει συγκεκριμένα καθήκοντα σε τέτοιες καταστάσεις. Οι απαιτήσεις για την πρόληψη, την προετοιμασία και την αντίδραση που ορίζονται από το σχέδιο έκτακτης ανάγκης πρέπει να “μεταφράζονται” με την εκπαίδευση εντός του οργανισμού, όπως επιβάλλεται από τις αναθεωρήσεις του σχεδίου. Με βάση όλα αυτά, εν ώρα κρίσης δεν είναι η κατάλληλη στιγμή για να διαβαστεί ένα εγχειρίδιο με το σχέδιο δράσης, καθώς μια κρίση απαιτεί άμεση, προμελετημένη και διαπιστωμένη δράση.

### 2.3 Δημιουργία σχεδίου έκτακτης ανάγκης

Η δημιουργία του σχεδίου δράσης έκτακτης ανάγκης είναι μια πολύπλοκη διαδικασία. Ξεκινάει από την κατανόηση των επιχειρηματικών λειτουργιών και την αξιολόγηση των κινδύνων. Η σημαντικότητα μιας έκτακτης ανάγκης πρέπει να εξετάζεται σε σύγκριση με την πιθανότητα να συμβεί. Ένα σωστά δομημένο και αποτελεσματικό σχέδιο πρέπει να περιλαμβάνει διατάξεις οι οποίες καλύπτουν ένα κύκλο διαδικασιών, που εξετάζει και εν συνόλω αλλά και ξεχωριστά τους πιθανούς κινδύνους που μπορούν να οδηγήσουν σε περιστατικό έκτακτης ανάγκης. Αυτός ο κύκλος διεργασιών περιλαμβάνει διαδικασίες για “Πρόληψη (ή περιορισμό) – Ετοιμότητα (διάγνωση και αποτροπή) – Αντιμετώπιση – Ανάκτηση” (Εικόνα 2.1).



**Εικόνα 2.1** Κύκλος διεργασιών για σωστά δομημένο σχέδιο (Preparedness LLC, 2009)

Επειδή η πρόληψη πρέπει να είναι ο πρώτος στόχος κάθε σχεδίου έκτακτης ανάγκης, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί σε συγκεκριμένες διαχειριστικές μεθόδους και τεχνικές, καθώς και στις διαδικασίες και συσκευές πρόωρης προειδοποίησης που μπορούν να μειώσουν την πιθανότητα εκδήλωσης ή να ελαχιστοποιήσουν τις επιπτώσεις του συμβάντος. Έλεγχοι, τόσο εντός όσο και εκτός του χώρου των εργασιών της εγκατάστασης, μπορεί να είναι ένα αποτελεσματικό μέσο για τον εντοπισμό και τη διόρθωση καταστάσεων που, αν δεν διευθετηθούν, θα ενεργοποιήσουν ή θα επιδεινώσουν μια πραγματική κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στην εφαρμογή των διαφόρων ελέγχων, καθένας από τους οποίους έχει το δικό στόχο, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται οι εξής:

- Η συμμόρφωση με συγκεκριμένους κανονισμούς (π.χ. επικίνδυνα απόβλητα, εργαστηριακά χημικά, άδεια επικίνδυνης εργασίας)
- Είσοδος - έξοδος προς και από την εγκατάσταση
- Λήψη, διαχείριση, αποθήκευση και διάθεση των χημικών ουσιών
- Συντήρηση μονάδων εγκατάστασης
- Διαδικασίες πρόληψης
- Μέτρα ασφάλειας των εγκαταστάσεων
- Επισήμανση των επικίνδυνων περιοχών και υλικών εντός των εγκαταστάσεων
- Συμπεριφορά εργαζομένων στο χώρο εργασίας

Οι έλεγχοι πρέπει να διενεργούνται από άτομα που έχουν την πλήρη εξουσιοδότηση να εφαρμόζουν αμέσως κατάλληλες διορθώσεις. Τα αποτελέσματα όλων των ελέγχων, συμπεριλαμβανομένων των πορισμάτων και των διορθώσεων, θα πρέπει να είναι πλήρως τεκμηριωμένα και να χρησιμοποιούνται για την αναθεώρηση και την τροποποίηση της πολιτικής του οργανισμού (εφόσον είναι αναγκαίο), των πρωτοκόλλων και των διαδικασιών που ακολουθούνται, καθώς και για τις περιγραφές των θέσεων εργασίας των εργαζομένων και την εφαρμογή των ενεργειών του προσωπικού. Όλες οι γενικές διαδικασίες εγκατάστασης (π.χ. ιεραρχία, ενημέρωση των εργαζομένων, πρόγραμμα κατάρτισης, αγορά και έλεγχος της προμηθειών, αντίδραση σε συναγερμούς) θα πρέπει να επανεξετάζονται σε

τακτική βάση και, κατά περίπτωση, να αναθεωρούνται για να διασφαλιστεί η συνοχή τους με τους στόχους και τα σχέδια αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.

Τα σχέδια επέμβασης και διαχείρισης έκτακτης ανάγκης απαιτούν το συντονισμό ενός μεγάλου φάσματος πληροφοριών, υπηρεσιών και υλικών. Είναι σαφές ότι πολλές από τις πληροφορίες, τις υπηρεσίες και τα υλικά που απαιτούνται, κατά τη φάση της “αντίδρασης” σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, εξαρτώνται άμεσα από τον τόπο και τις συνθήκες που επικρατούν. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες πτυχές του σχεδιασμού και της διαχείρισης της δράσης έκτακτης ανάγκης που είναι αντικειμενικά απαραίτητες σε όλες τις προσπάθειες για αντιμετώπιση τέτοιου είδους καταστάσεων (Erickson, 2006):

- Πεδίο εφαρμογής - Σκοπός του Σχεδιασμού Έκτακτης Ανάγκης: Είναι σημαντικό ο σχεδιασμός να περιλαμβάνει τέσσερα βασικά στάδια, (α) την πρόληψη της έκτακτης ανάγκης, (β) την προετοιμασία για την εμφάνιση μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης, (γ) την αντίδραση και την αντιμετώπιση της κατάστασης έκτακτης ανάγκης και (δ) την ανάκτηση και την επαναλειτουργία του οργανισμού.
- Αξιολόγηση Κινδύνου: Εκτίμηση κινδύνου ονομάζεται η συστηματική διαδικασία προσδιορισμού των φορέων επικινδυνότητας και της πιθανότητας πρόκλησης ζημιάς.
- Επί Τόπου και Εκτός Τόπου Διαχείριση: Ως τόπος μιας έκτακτης ανάγκης, θεωρείται η θέση της πραγματικής προσπάθειας αντίδρασης, αλλά οι προσπάθειες αυτές ενεργοποιούν πολλές δραστηριότητες που επηρεάζουν άλλες τοποθεσίες (εκτός τόπου). Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι εκτός τόπου επιπλοκές μιας απομακρυσμένης έκτακτης ανάγκης, μπορεί να είναι πιο καταστροφικές από τις επί τόπου συνέπειες.
- Εξουσία και Ευθύνη: Είτε πρόκειται για την πρόληψη, την προετοιμασία ή την αντιμετώπιση, ο σχεδιασμός δράσης έκτακτης ανάγκης πρέπει να βασίζεται σε απολύτως σαφείς κατευθυντήριες γραμμές εξουσίας και ευθύνης. Κατά τη φάση της αντιμετώπισης, συνήθως αναφέρεται ως “Εντολή Περιστατικού”.
- Επικοινωνίες και Μεταχείριση Πληροφοριών: Οι επικοινωνίες και η μεταχείριση των πληροφοριών αποτελούν βασικές δραστηριότητες σε όλες τις φάσεις της πρόληψης, της προετοιμασίας και της αντιμετώπισης στη διαχείριση σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης.
- Εφόδια και Υποστήριξη: Εφόδια είναι ο εξοπλισμός, οι προμήθειες και τα υλικά που είναι άμεσα διαθέσιμα για την πρόληψη ή τον έλεγχο μιας έκτακτης ανάγκης. Υποστήριξη από εξωτερικές πηγές, συμπεριλαμβανομένων κυβερνητικών υπηρεσιών και ιδιωτών, πρέπει επίσης να προβλέπεται σε κάθε ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαχείρισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.
- Ιατρική Περίθαλψη και Επιτήρηση: Η ιατρική περίθαλψη συμπεριλαμβάνεται σε όλων των ειδών τις πρώτες βοήθειες καθώς επίσης και η μακροπρόθεσμη διενέργεια ειδικών εξετάσεων για την παρακολούθηση της πιθανής εμφάνισης χρόνιων επιπτώσεων στην υγεία.
- Αποκατάσταση και Ανασκόπηση: Τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά από ένα περιστατικό έκτακτης ανάγκης, πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα διορθωτικά μέτρα για την προστασία από περαιτέρω βλάβες ή ζημιά, που οφείλονται σε δευτερογενείς επιδράσεις της έκτακτης ανάγκης (π.χ. δομική βλάβη, απορροή επικίνδυνων υλικών, επικίνδυνα υπολείμματα). Επίσης, οι διορθωτικές δράσεις (δράσεις αποκατάστασης), περιλαμβάνουν και τις διαδικασίες που χρειάζονται για την αντικατάσταση προμηθειών και υλικών που εξαντλήθηκαν στις αρχικές προσπάθειες αντίδρασης. Πρώτη προτεραιότητα στις προσπάθειες αποκατάστασης θα πρέπει να δοθεί στη συνολική εξέταση και αξιολόγηση του περιστατικού έκτακτης ανάγκης.

Κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία απαιτεί διεξοδική εξέταση των διαφόρων τύπων πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών και των δεδομένων που σχετίζονται με τις διαδικασίες, τις λειτουργίες, τον εξοπλισμό και τα υλικά.

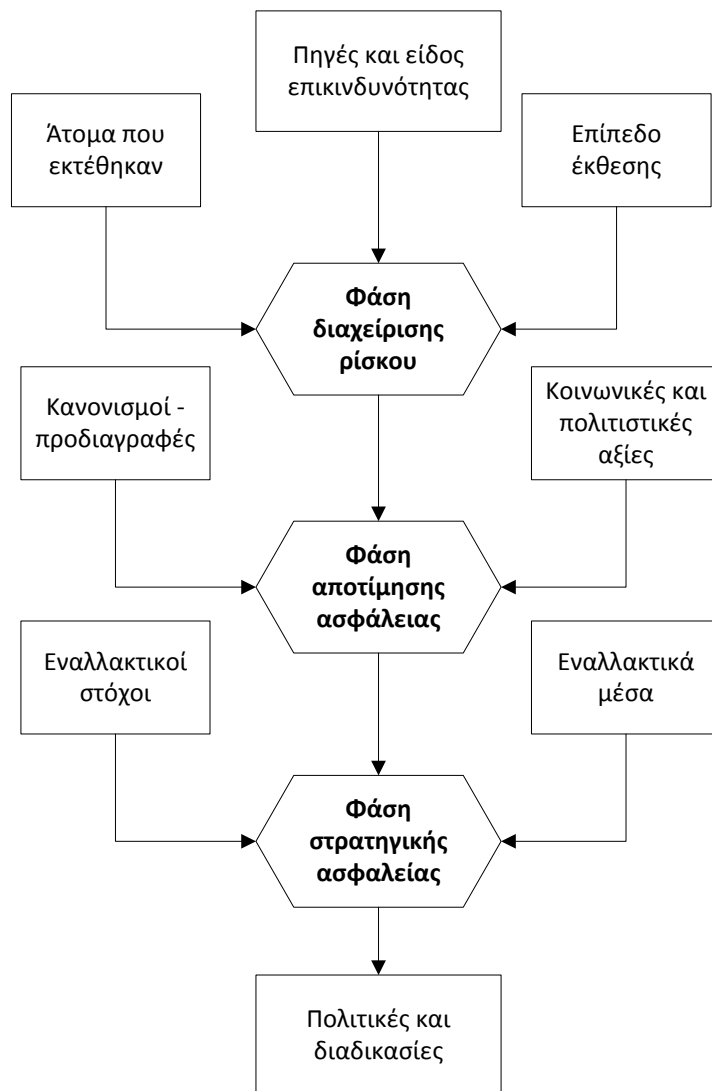
### **2.3.1 Σκοπός του σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης**

Κάθε έρευνα ή εργασία για να έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα, θα πρέπει κατά την έναρξη της να είναι γνωστός ο στόχος και η κατάληξή της. Το ίδιο ισχύει και κατά τη δημιουργία ενός σχεδίου έκτακτης ανάγκης. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να μελετηθούν μερικοί απλοί αλλά βασικοί παράγοντες:

- Ρόλος του σχεδίου
- Χρησιμότητα του σχεδίου
- Διαχείριση σχεδίου
- Φάσεις σχεδιασμού και γεγονότα που παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα προβλήματα διαχείρισης

### **2.3.2 Αξιολόγηση κινδύνου και επικινδυνότητας**

Με τον όρο επικινδυνότητα ορίζεται γενικά η δυνατότητα ή αλλιώς το δυναμικό πρόκλησης βλάβης, δηλαδή μια κατάσταση που δύναται να προκαλέσει βλάβη. Ως ρίσκο ή κίνδυνος ορίζεται το γινόμενο της πιθανότητας ή της συχνότητας εμφάνισης βλάβης επί το μέγεθος των συνεπειών αυτής της εμφάνισης (Royal Society, 1992). Σύμφωνα με το National Academy of Science των ΗΠΑ (1983) εκτίμηση κινδύνου ορίζεται ως η χρήση αντικειμενικών δεδομένων για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων για την ανθρώπινη υγεία από την έκθεση σε επικίνδυνες συνθήκες. Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.2**, η εκτίμηση της επικινδυνότητας, της έκθεσης και του ρίσκου, μπορεί να θεωρηθεί ως η πρώτη από τις τρεις φάσεις της διαδικασίας λήψης αποφάσεων που απαιτούνται για τη δημιουργία αποτελεσματικών διαδικασιών αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, που αποτελούν τη βάση του σχεδιασμού δράσης έκτακτης ανάγκης.



**Σχήμα 2.2** Φάσεις των αποφάσεων στο σχεδιασμό αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης (Πηγή: Erickson, 2006)

Μετά τον καθορισμό της πιθανότητας εκδήλωσης ενός συμβάντος, θα πρέπει επίσης να προσδιοριστεί η βαρύτητά του και το κόστος. Ένα υψηλής πιθανότητας αλλά χαμηλής βαρύτητας γεγονός, όπως η προσωρινή απώλεια μιας ηλεκτρικής βοηθητικής μονάδας ενδέχεται να μην απαιτεί μεγάλη προσοχή. Ωστόσο, ένα χαμηλής πιθανότητας και υψηλής βαρύτητας γεγονός, όπως η εκτεταμένη απώλεια μιας σημαντικής μονάδας, πρέπει να εξετάζεται αναλυτικά. Μια τρίτη συνιστώσα που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το κόστος. Πρέπει να εξεταστεί αν αξίζει το κόστος της, η εξάλειψη ή η μείωση των συνεπειών ενός γεγονότος έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένα εντελώς ανθεκτικό σε καιρικά φαινόμενα, πυρίμαχο και ασφαλές κτίριο, αλλά το κόστος θα ήταν υψηλό. Πρέπει να εξεταστεί η σχέση του κόστους κατασκευής του με την βαρύτητα και την πιθανότητα να συμβούν τα γεγονότα έκτακτης ανάγκης. Αυτοί είναι οι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εκτέλεση μιας ανάλυσης κινδύνου. Επιπλέον, η συχνότητα και η διάρκεια καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης, διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό.

Η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Καταστάσεων Έκτακτης Ανάγκης (FEMA - Federal Emergency Management Agency) έχει δημιουργήσει ένα σύστημα για την εκτέλεση μιας ανάλυσης κινδύνου (Πίνακας 2.1). Το σύστημα αυτό επιτρέπει στους μηχανικούς ασφαλείας να ορίσουν ένα συντελεστή για την πιθανότητα εκδήλωσης του κινδύνου, τις ανθρώπινες, κτιριακές και επιχειρησιακές επιπτώσεις, καθώς και τη βαρύτητα των εσωτερικών ή εξωτερικών παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν την εκδήλωση του γεγονότος. Κάθε ένας από αυτούς τους παράγοντες βαθμολογείται με μία κλίμακα από 1 έως 5. Μετά την κατάταξη κάθε συμβάντος έκτακτης ανάγκης, πρέπει απλά να προστεθεί κάθε αριθμός από αριστερά προς τα δεξιά, και τέλος στη δεξιά στήλη αναγράφεται ο συνολικός αριθμός. Όσο υψηλότερος ο αριθμός αυτός τόσο μεγαλύτερη είναι η ανησυχία. Είναι πάντα πιο δαπανηρή η αντιμετώπιση των συνεπειών της κατάστασης έκτακτης ανάγκης, παρά η a priori κατασκευή ενός σχεδίου αντιμετώπισης και ανάκτησης.

**Πίνακας 2.1** Πίνακας συστήματος FEMA ανάλυσης κινδύνου (Πηγή: National Fire Protection Association, Life Safety Code, 2009)

Τύπος Περιστατικού	Πιθανότητα	Ανθρώπινη επίπτωση	Περιουσιακή επίπτωση	Επιχειρησιακή επίπτωση	Εσωτερικοί πόροι	Εξωτερικοί πόροι	Σύνολο
	Hi-Lo (5-1)	Hi-Lo (5-1)	Hi-Lo (5-1)	Hi-Lo (5-1)	Ασθενές - 1	Ισχυρό - 5	
Φωτιές							
Ακραία καιρικά φαινόμενα							
Διαρροή επικίνδυνων ουσιών							
Ατυχήματα μεταφορών-μετακινήσεων							
Σεισμοί							
Τρομοκρατικές ενέργειες							
Διακοπή μονάδας							

Η ιστορία έχει δείξει ότι οι οργανώσεις που δεν έχουν ένα σχέδιο δράσης έκτακτης ανάγκης έχουν μια πιο δύσκολη και δαπανηρή περίοδο αποκατάστασης μετά από ένα συμβάν. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι τα συχνότερα γεγονότα μπορούν να προκαλέσουν περισσότερη ζημιά σε έναν οργανισμό σε σχέση με τα πιο “μεγάλα” αλλά σπανιότερα (Casavant, 2007). Τέλος, σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι όπως δεν πρέπει να παραβλέπονται ή να υποτιμώνται οι κίνδυνοι, έτσι δεν πρέπει να υπερτιμώνται και να προκαλούν άμεσο πανικό. Δηλαδή μια μικρή διακοπή ρεύματος ή μια διακοπή μιας λειτουργίας δεν συνεπάγεται εκκένωση του κτιρίου.

### Εκτίμηση κινδύνου

Διάφορες τεχνικές ανάλυσης έχουν δημιουργηθεί και παρέχουν διάφορα μέσα για τον εντοπισμό πιθανών πηγών κινδύνου στο χώρο εργασίας, καθώς και των ατόμων που είναι δυνατόν να εκτεθούν σε κίνδυνο. Στις συνήθεις τεχνικές περιλαμβάνονται:



- Η **προκαταρκτική ανάλυση κινδύνου**, η οποία επικεντρώνεται στα επικίνδυνα υλικά και στις περιοχές υψηλής δραστηριότητας, προκειμένου να εντοπίσει τους κινδύνους και πιθανές καταστάσεις ατυχημάτων. Απαιτεί την εξέταση του εξοπλισμού εγκαταστάσεων, την αλληλεπίδραση μεταξύ των εξαρτημάτων της εγκατάστασης, το επιχειρησιακό περιβάλλον, τις ειδικές εργασίες της εγκατάστασης και τη δομική διάταξη της μονάδας. Ο στόχος αυτής της τεχνικής είναι να βαθμολογηθεί κάθε επικίνδυνη κατάσταση που μπορεί να πραγματοποιηθεί, ως προς τη σοβαρότητα. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον προσδιορισμό αλυσιδωτών καταστάσεων έκτακτης ανάγκης που μπορεί στη συνέχεια να υποβληθούν σε λεπτομερή ανάλυση. Τέλος προσδιορίζει όλους τους απαιτούμενους ελέγχους κινδύνων και τις ενέργειες που πρέπει να ακολουθήσουν (Rausand, 2004).
- Η **ανάλυση "τι θα συμβεί αν" (what if)**, αξιολογεί τους πιθανούς κινδύνους που έχουν εντοπισθεί κατά την προκαταρκτική ανάλυση κινδύνου. Τυπικές ερωτήσεις μπορεί να είναι του τύπου, «τι θα συμβεί αν απενεργοποιηθεί η Α αντλία;» και «τι θα συμβεί αν ο διαχειριστής ξεχάσει να αδειάσει τη δεξαμενή υπερχειλίσας στο τέλος της εβδομάδας»; Η αξία της ανάλυσης αυτής έγκειται στο ότι μπορεί να καθορίσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις αλυσιδωτές αιτίες που μπορεί να οδηγήσουν σε περιστατικό έκτακτης ανάγκης.
- Η **ανάλυση κινδύνου και λειτουργικότητας** εξαρτάται από λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το σχεδιασμό και τη λειτουργία της εγκατάστασης. Κατά τη χρήση αυτής της τεχνικής, η ομάδα αξιολόγησης χρησιμοποιεί ένα τυποποιημένο σύνολο λέξεων, που όταν συνδυάζεται με συγκεκριμένες παραμέτρους της διαδικασίας, οδηγεί στη δημιουργία αποκλίσεων που μπορεί να οδηγήσουν σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, η λέξη "λιγότερο" θα μπορούσε να συνδυαστεί με την παράμετρο "πίεση" για την παραγωγή της προκύπτουσας απόκλισης "χαμηλή πίεση". Η ομάδα αξιολόγησης μπορεί τότε να επικεντρωθεί στα πιθανά αίτια δημιουργίας χαμηλής πίεσης (για παράδειγμα, σε έναν αντιδραστήρα) και την πιθανή συνέπεια της εν λόγω χαμηλής πίεσης (π.χ. μεταβολή της ταχύτητας της χημικής αντίδρασης στον αντιδραστήρα).
- Η **ανάλυση αστοχίας και αποτελέσματος** είναι στενά συνδεδεμένη με την what-if ανάλυση. Αυτή η τεχνική επικεντρώνεται στους διαφόρους τρόπους αστοχίας συγκεκριμένου εξοπλισμού και τις επιπτώσεις αυτών στη λειτουργία των εγκαταστάσεων και την ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια. Ενδεικτικά, οι ερωτήσεις που αφορούν αυτό το είδος ανάλυσης όταν εφαρμόζεται, για παράδειγμα, σε μια βαλβίδα ελέγχου σε ένα δοχείο του αντιδραστήρα, θα μπορούσαν να είναι: Ποιες είναι οι πιθανές συνέπειες της αστοχίας της βαλβίδας ελέγχου σε ανοικτή θέση; Σε κλειστή θέση; Ποιες είναι οι πιθανές συνέπειες διαρροής της βαλβίδας ελέγχου, ενώ βρίσκεται σε ανοικτή ή κλειστή θέση;
- Οι **αναλύσεις δέντρων σφαλμάτων και δέντρων συμβάντων ( fault-tree και event-tree)** περιλαμβάνουν γραφικά μοντελοποιημένα ατυχήματα και αστοχίες σε εξοπλισμό και προσωπικό. Στην ανάλυση δέντρου σφαλμάτων, ορίζεται ένα συγκεκριμένο ατύχημα ή μια βλάβη μιας μονάδας (π.χ. απελευθέρωση τοξικών αερίων) και όλα τα σχεδιαστικά, διαδικαστικά και ανθρώπινα λάθη που μπορούν να οδηγήσουν σε αυτό το γεγονός (που ονομάζεται κορυφαίο γεγονός – top event). Ολόκληρη η προαναφερθείσα ανάλυση απεικονίζεται γραφικά σε ένα δέντρο σφαλμάτων. Το δέντρο σφαλμάτων επιτρέπει τον προσδιορισμό όλων των πιθανών σεναρίων που μπορεί να οδηγήσουν σε ατύχημα. Κάθε σενάριο, που ονομάζεται και minimal cut set, είναι ο ελάχιστος απαιτούμενος

συνδυασμός εξωτερικών παραγόντων, αστοχιών του εξοπλισμού και ανθρώπινων λαθών. Κάθε minimal cut set είναι ένα σενάριο με τον ελάχιστο συνδυασμό γεγονότων που οδηγεί σε ατύχημα. Ενώ το δέντρο σφαλμάτων εξετάζει τις πιθανές αστοχίες (π.χ. αστοχίες εξοπλισμού, λάθη του προσωπικού κλπ) που μπορεί να οδηγήσουν στο κορυφαίο γεγονός, η ανάλυση δέντρου συμβάντων, αντίστροφα, διερευνά πώς η πραγματοποίηση ή μη διαδοχικών τυχαίων γεγονότων (με χρονολογική συνήθως σειρά) μπορεί να οδηγήσει σε ατύχημα. Αυτού του είδους η ανάλυση συνήθως χρησιμοποιείται για να αναλύσει πολύ περίπλοκες διεργασίες που ενσωματώνουν διάφορα επίπεδα των συστημάτων ασφάλειας ή των διαδικασιών έκτακτης ανάγκης.

- Η **ανάλυση αξιοπιστίας ανθρώπινου παράγοντα**, γενικά, διεξάγεται παράλληλα με άλλες τεχνικές που είναι προσανατολισμένες στη λειτουργία του εξοπλισμού. Αυτό το είδος της αξιολόγησης εστιάζει σε παράγοντες που επηρεάζουν την πραγματική απόδοση του προσωπικού. Σε μια τέτοια αξιολόγηση, οι λεπτομερείς περιγραφές των απαιτήσεων της εργασίας, των δεξιοτήτων, της γνώσης και των ικανοτήτων που χρειάζονται για την ικανοποίηση κάθε απαίτησης καθώς και η τάση για λάθη, που μπορούν να αναπτυχθούν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης εργασιών, συνδυάζονται για να απομονώσουν συγκεκριμένους παράγοντες που, αν αγνοηθούν, μπορούν να οδηγήσουν σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Είναι σημαντικό να εξεταστούν παράγοντες οι οποίοι δεν περιορίζονται σε αυτούς που συνδέονται άμεσα με τις εργασιακές συνθήκες (π.χ., επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος, το οποίο ενδέχεται να επηρεάσει τη συγκέντρωσή του εργαζομένου και να οδηγήσει σε έλλειψη προσοχής λόγω κόπωσης), αλλά να συμπεριληφθούν όλοι οι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τις επιδόσεις στο χώρο εργασίας (π.χ., προσωπικές οικονομικές δυσκολίες, οικογενειακά προβλήματα, κατάχρηση ουσιών).

Ανεξάρτητα από την επιμέρους τεχνική που θα εφαρμοστεί (ή συνδυασμό αυτών), η διαδικασία αξιολόγησης των κινδύνων πρέπει να εξετάσει τις πιθανές πηγές κινδύνου που προέρχονται από άλλες αιτίες, εκτός λειτουργίας των εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανομένων των φυσικών φαινομένων (καταιγίδες, πλημμύρες), πυρκαγιές, απελευθέρωση χημικών ουσιών και τρομοκρατικές ενέργειες.

### **Εκτίμηση ασφάλειας**

Έχοντας εντοπίσει τις πιθανές πηγές των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, καθώς και τους παράγοντες και τον πληθυσμό κινδύνου, ο σχεδιασμός δράσης έκτακτης ανάγκης πρέπει να θεσπίζει κριτήρια όσον αφορά τα κατάλληλα επίπεδα προστασίας για κάθε πληθυσμό σε κίνδυνο. Αυτό είναι μια δύσκολη εργασία, διότι απαιτεί αποφάσεις και ενέργειες που επηρεάζουν άμεσα την ασφάλεια των ανθρώπων. Γεγονός είναι ότι δεν υπάρχει “κάτι” το οποίο να δίνει 100% εγγυημένη προστασία για όλους. Ένα απλό γεγονός, όπως η εκκένωση μιας ομάδας ανθρώπων από ένα χώρο, θέτει ορισμένα από αυτά τα άτομα σε πραγματικό κίνδυνο, όπως να υποστεί κάποιος έναν τραυματισμό από πτώση. Ο πανικός μπορεί να σκοτώσει όσο και μία πυρκαγιά. Στις ΗΠΑ, οι οργανισμοί θέσπισης προτύπων και οδηγιών (OSHA<sup>1</sup> και EPA<sup>2</sup>) όσον αφορά το επίπεδο προστασίας για το προσωπικό που έχει ειδική

---

<sup>1</sup> Occupational Safety and Health Administration

<sup>2</sup> Environmental Protection Agency

ευθύνη σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης που αφορά επικίνδυνα χημικά προϊόντα, βασίζονται στην ακόλουθη τυπολογία της βοήθειας έκτακτης ανάγκης, η οποία περιλαμβάνει μέλη των λεγόμενων ομάδων HAZMAT (από το HAZardous MATerials “επικίνδυνα υλικά”). Η ονομασία HAZMAT πάντα υποδηλώνει προσωπικό που αναμένεται να εκτελέσει εργασίες πολύ κοντά σε επικίνδυνες ουσίες, ενώ παράλληλα ελέγχει πιθανές διαρροές και δεν πρέπει να συγχέεται με άλλο προσωπικό έκτακτης ανάγκης, όπως τα μέλη της πυροσβεστικής.

- Επίπεδο 1: Ομάδα επέμβασης που δεν είναι πιθανό να δει ή να ανακαλύψει μια εκπομπή επικίνδυνης ουσίας ή να ξεκινήσει τη διαδικασία αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, με την ενημέρωση των αρμόδιων αρχών
- Επίπεδο 2: Περιλαμβάνει αστυνομία, πυροσβέστες και το προσωπικό διάσωσης, που είναι μέρος της αρχικής αντιμετώπισης σε μια πραγματική ή ενδεχόμενη απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών
- Επίπεδο 3: HAZMAT τεχνικοί, οι οποίοι είναι το πρώτο επίπεδο ευθύνης με σκοπό να περιορίσουν και να συγκρατήσουν την απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών
- Επίπεδο 4: HAZMAT ειδικοί, οι οποίοι συνεργάζονται και παρέχουν υποστήριξη στους HAZMAT τεχνικούς και έχουν ειδική γνώση των επικίνδυνων ουσιών
- Επίπεδο 5: Πραγματογνώμονες συμβάντος, οι οποίοι αναλαμβάνουν τον έλεγχο της αντιμετώπισης του περιστατικού έκτακτης ανάγκης και τον συντονισμό όλων των δραστηριοτήτων και των επικοινωνιών

#### **Επίτευξη ασφαλών συνθηκών**

Σε αυτή τη φάση, ο στόχος είναι να αξιολογηθούν και να επιλεγθούν από τα διάφορα εναλλακτικά μέσα, αυτά τα οποία θα βοηθήσουν στην επίτευξη των προτύπων και των στόχων και τέλος, να αναπτυχθούν συγκεκριμένες πολιτικές και διαδικασίες που διέπουν όλες τις πτυχές της δράσης έκτακτης ανάγκης. Οι πολιτικές και οι διαδικασίες θα πρέπει να δημιουργηθούν με γνώμονα τρεις βασικούς τύπους δραστηριοτήτων αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης:

- δραστηριότητες προετοιμασίας - πρόληψης, οι οποίες περιλαμβάνουν την άμεση αναγνώριση μιας πιθανής ή πραγματικής έκτακτης ανάγκης πριν από την έναρξη οποιασδήποτε αντίδρασης
- δραστηριότητες αντιμετώπισης, η οποία περιλαμβάνει όλες τις προσπάθειες για τον έλεγχο της κατάστασης έκτακτης ανάγκης και την παροχή βοήθειας στο προσωπικό
- μετέπειτα δραστηριότητες, που επικεντρώνονται στις ενέργειες μετά το πέρας του γεγονότος, ώστε να φέρει την εγκατάσταση πίσω σε κατάσταση ετοιμότητας έκτακτης ανάγκης, συμπεριλαμβανομένων των αναθεωρήσεων των σχεδίων δράσης έκτακτης ανάγκης, που επιβάλλεται με την εμπειρία του περασμένου περιστατικού

Πρέπει να τονιστεί εδώ ότι υπάρχει η τάση στους οργανισμούς, το σχέδιο ασφαλείας να επικεντρώνεται στην αντίδραση σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης, εις βάρος της προσοχής τόσο στις ενέργειες προετοιμασίας όσο και στις μετέπειτα δραστηριότητες, γεγονός που αποτελεί μια άκρως επικίνδυνη προσέγγιση του σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης. Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός δράσης έκτακτης ανάγκης απαιτεί, πάντα, εξίσου σοβαρή προσοχή και στους τρεις τύπους δράσεων. Ο περιορισμός της έκτακτης ανάγκης αποτελεί ένα βασικό περιοριστικό μέτρο που ενδέχεται να εμποδίσει μια μικρή διαρροή (π.χ. ενός εύφλεκτου υλικού) από το να γίνει ένα σοβαρό περιστατικό (π.χ. πυρκαγιά στην εγκατάσταση). Επίσης, τέτοιες διαδικασίες μπορεί να είναι αναγκαίες κατά τη διάρκεια αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, όπως σε περίπτωση πυρόσβεσης, όταν μολυσμένο νερό ενδεχομένως αναμιχθεί με καθαρά νερά εντός ή εκτός των εγκαταστάσεων (επιφανειακών και υπόγειων υδάτινων πόρων), γεγονός που οδηγεί σε δευτερογενή

ρύπανση. Όλο το προσωπικό θα πρέπει να είναι εκπαιδευμένο για την ορθή χρήση του εξοπλισμού και των υλικών περιορισμού. Οι ομάδες αντιμετώπισης, θα πρέπει να έχουν την κατάλληλη εκπαίδευση και να είναι εφοδιασμένες με προστατευτικά ρούχα και εξοπλισμό για την εφαρμογή των μέτρων περιορισμού, έτσι ώστε να προστατεύονται από πιθανούς κινδύνους που ακολουθούν.

### 2.3.3 Εντός - τόπου και εκτός - τόπου Διαχείριση

Οι προληπτικές και διορθωτικές ενέργειες αντιμετώπισης της έκτακτης ανάγκης είναι σημαντικές διαδικασίες στη διαχείριση του κινδύνου. Οι βασικές αρχές της διαχείρισης του κινδύνου, που παρουσιάζονται και στο **Σχήμα 2.3**, είναι οι εξής:

- Προσδιορισμός της έκθεσης σε κινδύνους
- Αξιολόγηση της πιθανότητας κινδύνου
- Κατάταξη και ιεράρχηση των κινδύνων
- Καθορισμός και υλοποίηση των ενεργειών ελέγχου
- Αξιολόγηση και αναθεώρηση των δράσεων και των τεχνικών

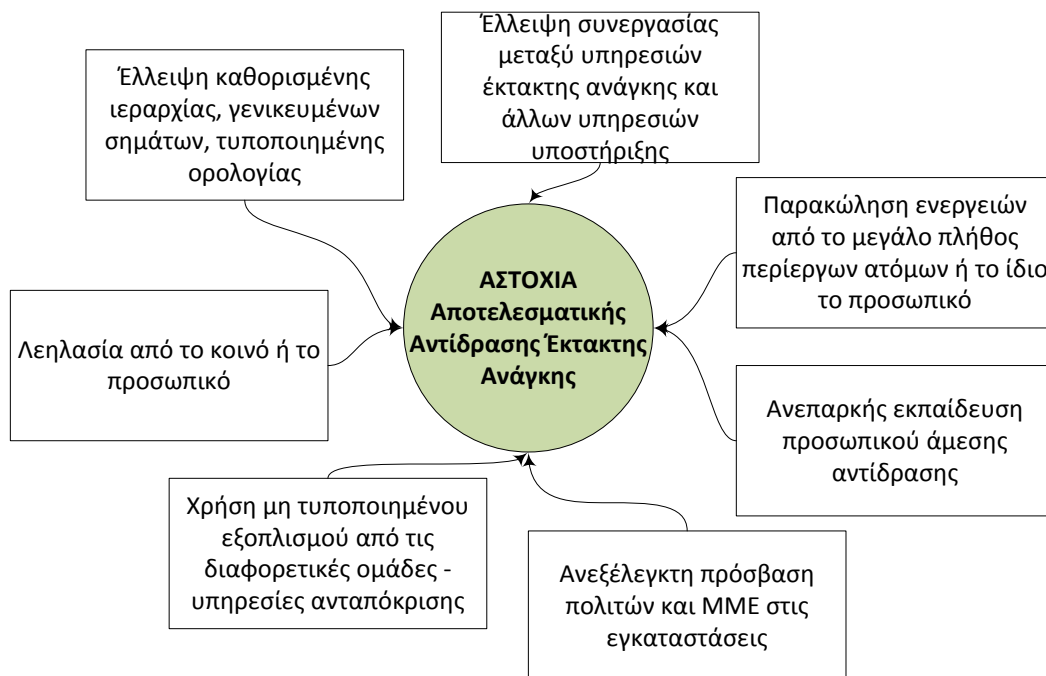


**Σχήμα 2.3** Τα 5 βασικά στάδια στην ανάπτυξη προγράμματος διαχείρισης κινδύνου (Erickson, 2006)

Κάθε μια από αυτές τις αρχές είναι εξίσου εφαρμόσιμη στο συγκεκριμένο τόπο της έκτακτης ανάγκης και σε οποιοσδήποτε ζώνες εκτός του χώρου που μπορεί να επηρεάζονται (άμεσα ή έμμεσα) από το αρχικό γεγονός.

Όπως ακριβώς μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στη διαχείριση κινδύνου απαιτεί να ληφθούν υπόψη τόσο οι εντός όσο και οι εκτός του χώρου πηγές των κινδύνων για την κοινότητα και το περιβάλλον, έτσι απαιτείται και η εξέταση των πιθανών επιπτώσεων ενός συγκεκριμένου περιστατικού σε απομακρυσμένες κοινότητες. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα σημαντική κυρίως σε περιπτώσεις τρομοκρατικής ενέργειας, όπου ένα ή περισσότερα περιστατικά μπορούν να προγραμματίζονται αρχικά ώστε να μεταφερθεί η προσοχή μακριά από τον κύριο στόχο, ή για να προσελκύσει ένα στόχο (π.χ. πυροσβέστες, αστυνομία) στη θέση της επίθεσης. Ωστόσο, ακόμη και σε περίπτωση μη τρομοκρατικής ενέργειας, κάθε περιστατικό σε μία περιοχή μπορεί να αυξήσει τους κινδύνους σε άλλες τοποθεσίες, όπως για παράδειγμα όταν μια μεγάλη πυρκαγιά σε ένα μέρος μιας κοινότητας αφήνει την υπόλοιπη κοινότητα με μειωμένη ανταπόκριση των ομάδων σε περίπτωση φωτιάς.

Παρ' όλο που ο όρος έλεγχος επιτόπου αναφέρεται κατά κανόνα σε δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή (ή στις πολύ κοντινές και άμεσα επηρεαζόμενες περιοχές) ενός συγκεκριμένου γεγονότος, οι εκτός του χώρου αυτού προσπάθειες πρέπει να γίνονται ταυτόχρονα και άμεσα, όχι μόνο για να διασφαλιστεί η ορθότητα μιας συνεχούς προσπάθειας για αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, αλλά και για τη διαχείριση των πρόσθετων πιθανών κινδύνων για την υπόλοιπη κοινότητα. Από τις επτά πιο κοινές πηγές αποτυχίας αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, που φαίνονται στο **Σχήμα 2.4**, οι περισσότερες εμφανίζονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή σε μια συγκεκριμένη αντιμετώπιση.



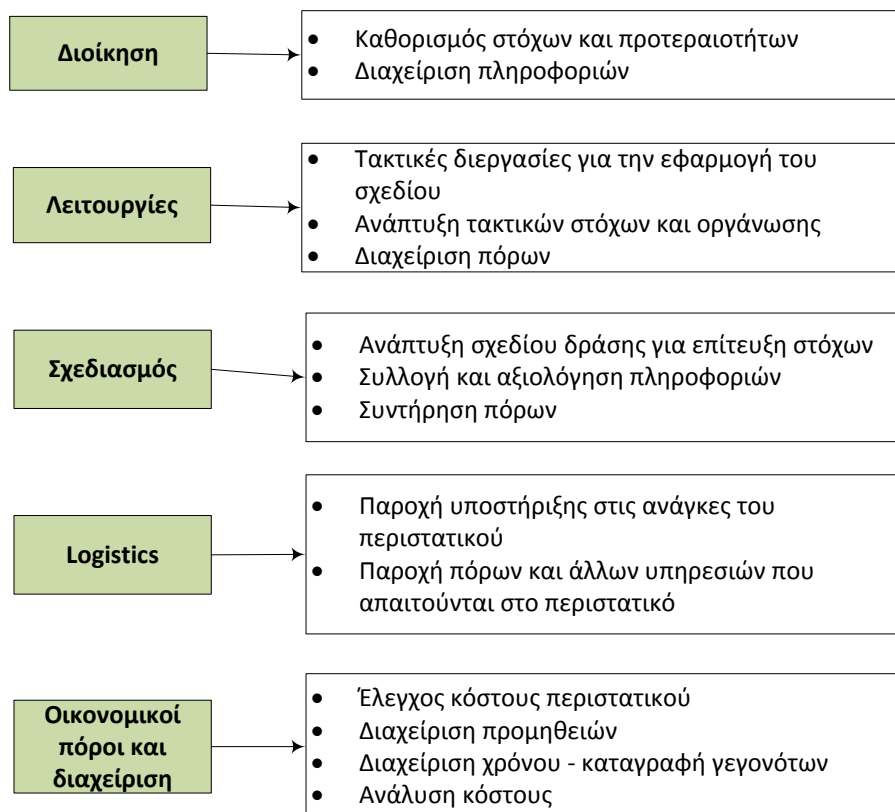
**Σχήμα 2.4** Συνήθεις αιτίες αστοχίας διαδικασιών αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης (Πηγή: Erickson, 2006)

### 2.3.4 Εξουσία και ευθύνη

Σε κάθε οργανωτική δομή είτε δηλώνεται ρητά είτε συχνότερα προκύπτει από την πράξη, υπάρχει η διάκριση μεταξύ της εξουσίας και της ευθύνης. Με τον όρο εξουσία εννοείται ο "εξαναγκασμός" της υπακοής των άλλων, ενώ ευθύνη είναι το καθήκον ή η υποχρέωση που πρέπει να εκπληρωθεί μέσω της άσκησης της εξουσίας. Το ένα προϋποθέτει το άλλο και κατά συνέπεια, οι έννοιες της εξουσίας και της ευθύνης γίνονται στενά συνδεδεμένες τόσο στις προσδοκίες της καθημερινής ζωής όσο και στις πιο επίσημες αρχές και στα δόγματα που καθοδηγούν τη θεσμική συμπεριφορά (Σχήμα 2.5).

Ένας πρακτικός τρόπος να εξασφαλιστεί ότι η εξουσία ανώτερων υπαλλήλων ασφάλειας είναι στην πραγματικότητα ίση με την ευθύνη τους, είναι να επεκταθεί η εξουσία σε οποιαδήποτε έκταση απαιτείται για τον αποτελεσματικό έλεγχο των πηγών των κινδύνων, συμπεριλαμβανομένου και του προγραμματισμού έκτακτης ανάγκης και αντίδρασης, οι οποίοι μπορούν να συμβάλουν ή να επηρεαστούν από την πιθανή ανθρώπινη έκθεση σε εκείνους τους κινδύνους. Οι οργανισμοί σήμερα καταλαβαίνουν ότι αυτή η προσέγγιση απαιτεί η ευθύνη για τον προγραμματισμό έκτακτης ανάγκης και ανταπόκρισης να είναι σε αντιστοιχία με μια υψηλού επιπέδου εκτελεστική αρχή.

Οποιαδήποτε επαρκής ανταπόκριση στην κατάσταση έκτακτης ανάγκης πρέπει να ρυθμιστεί με τον σωστό προγραμματισμό, να γίνονται βελτιώσεις μέσα από τα λάθη και στο στάδιο της εκμάθησης να γίνεται και η προετοιμασία για το επόμενο περιστατικό.



**Σχήμα 2.5** Καθήκοντα και ευθύνες των πέντε κυριότερων λειτουργικών συνιστωσών του συστήματος διαχείρισης περιστατικού (National Interagency Fire Center, 1994)

### 2.3.5 Επικοινωνίες και διαχείριση πληροφοριών

Και στις δύο φάσεις, σχεδιασμού και αντίδρασης, υπάρχει εξάρτηση από την ανθρώπινη κρίση. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η αρτιότητα της ανθρώπινης απόφασης - κρίσης μπορεί να αξιολογηθεί με διάφορα κριτήρια που συνήθως αφορούν το συγκεκριμένο πρόσωπο που παίρνει τις αποφάσεις (π.χ. πρακτική εμπειρία, θεωρητικές γνώσεις, ευελιξία αποφάσεων σε διαφορετικές συνθήκες), η ουσία της σωστής απόφασης θα καταστεί πιο συχνά εμφανής στον τρόπο με τον οποίο οι πληροφορίες οργανώνονται αποτελεσματικά προς την επίτευξη των στόχων. Υπό την έννοια αυτή, δεν μπορεί να υπάρξει αποτελεσματικός σχεδιασμός έκτακτης ανάγκης και αντίδρασης, χωρίς σχολαστική προσοχή στις επικοινωνίες και στην επεξεργασία των πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων των μηχανικών και ηλεκτρονικών μέσων, καθώς και των στοιχείων που σχετίζονται με το περιεχόμενο και την ταξινόμηση, το λογισμικό και τις ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων.

Παραδείγματα βασικών αναγκών επικοινωνίας και πληροφορίας για προγραμματισμό και αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης περιλαμβάνουν:

- Συστήματα και συσκευές συναγερμού και προειδοποίησης, (π.χ. συναγερμοί εκκένωσης εγκατάστασης, συναγερμοί ελέγχου διαδικασίας, αυτόματη ειδοποίηση άλλων υπηρεσιών, συστήματα εσωτερικής παρακολούθησης)
- Τηλεφωνικές γραμμές, ραδιόφωνο, συσκευές και διαδικασίες προφορικής επικοινωνίας (π.χ. μεταξύ ομάδων, διαχείριση κοινού και μέσων μαζικής ενημέρωσης, αξιοπιστία και ασφάλεια της επικοινωνίας)
- Βάσεις δεδομένων χημικών ουσιών (π.χ. αποθέματα χημικών ουσιών εντός τόπου, ιδιότητες των χημικών ουσιών, απαιτούμενος ατομικός προστατευτικός εξοπλισμός -ΜΑΠ, ενδεδειγμένες τεχνικές εξουδετέρωσης)
- Έντυπα αρχεία πληροφοριών (π.χ. αρχεία δεδομένων ασφαλείας υλικού, κατάλογος ονομάτων προσωπικού και ομάδων επέμβασης-αντιμετώπισης, καταγραφή προσώπων και υλικών σε κίνδυνο στην ευρύτερη περιοχή, οδοί πρόσβασης και εισόδου στην τοποθεσία, θέση των ευαίσθητων περιβαλλοντικών πόρων, δομικά στοιχεία και τα χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων, θέση των κινδύνων μέσα στην εγκατάσταση).

Σε κάθε συγκεκριμένο περιστατικό, υπάρχει ένα μεγάλο μέρος των πληροφοριών που απαιτούνται για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της έκτακτης ανάγκης, αλλά έχει συνήθως τοποθετηθεί ή μορφοποιηθεί με τέτοιο τρόπο που εμποδίζεται η έγκαιρη χρήση του. Για παράδειγμα, μια έγγραφη απογραφή χημικών που περιέχουν πληροφορίες για τα αποθέματα των χημικών προϊόντων μιας εταιρείας, όπως απαιτείται βάσει των προτύπων του OSHA (29 CFR 1910.1200 και 29 CFR 1910.1450), δεν θα ήταν χρήσιμη εν μέσω μιας πραγματικής έκτακτης ανάγκης. Ωστόσο, οι πληροφορίες αυτές είναι πιο συχνά ψηφιοποιημένες και επομένως η βάση δεδομένων θα μπορούσε εύκολα να υποστεί επεξεργασία από τους υπεύθυνους, έτσι ώστε να παραχθεί, για παράδειγμα, ένας τυπωμένος κατάλογος όλων των εύφλεκτων και διαβρωτικών υγρών ή μια λίστα που θα μπορούσε να είναι άμεσα χρήσιμη σε ομάδες αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Η παραγωγή και η διαθεσιμότητα των εν λόγω έντυπων καταλόγων εξαρτάται από τη σωστή συνεργασία μεταξύ υπαλλήλων και εξωτερικών ομάδων έκτακτης ανάγκης πριν από την εκδήλωση του περιστατικού εντός των εγκαταστάσεων.

### 2.3.6 Εφόδια και υποστήριξη

Στη συντριπτική πλειονότητα των περιστατικών έκτακτης ανάγκης είναι εξαιρετικά απίθανο η επαρκής προμήθεια των υλικών πόρων (εφοδίων) ή του κατάλληλου προσωπικού

(υποστήριξη) να είναι άμεσα διαθέσιμη για να καλύψει τις ανάγκες που προκύπτουν για την αντιμετώπιση του περιστατικού έκτακτης ανάγκης, ειδικά όταν η αντιμετώπιση αυτή απαιτεί υψηλή εξειδίκευση, εξοπλισμό ή όταν το περιστατικό συνεπάγεται πιθανό κίνδυνο σε μεγάλο αριθμό ατόμων ή εκτείνεται σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή. Επιπλέον, επειδή ακόμη και ένα φαινομενικά μικρό και εύκολο να περιοριστεί περιστατικό, μπορεί ξαφνικά να κλιμακωθεί σε μια σοβαρή κατάσταση ή να εμφανιστεί με έναν απρόβλεπτο τρόπο, είναι απαραίτητο ο σχεδιασμός έκτακτης ανάγκης να περιλαμβάνει λεπτομερή σχέδια και διαδικασίες για την απόκτηση, ανάλογα με τις ανάγκες, εφοδίων και υποστήριξης πέρα από τα άμεσα διαθέσιμα και υπό τον άμεσο έλεγχο του διαχειριστή έκτακτης ανάγκης. Με αυτό τον τρόπο σκέψης, ο σχεδιασμός (και η εκπαίδευση) αντίδρασης έκτακτης ανάγκης πρέπει να διαμορφώνεται με την παραδοχή ότι θα συμβεί το χειρότερο πιθανό σενάριο για το συμβάν (*worst case scenario*).

Σε τοπικό επίπεδο, ένα σημαντικό κομμάτι των πολύτιμων πληροφοριών και πόρων είναι διαθέσιμο για τους σκοπούς του σχεδιασμού αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης μέσω μεμονωμένων σχεδίων που έχουν ήδη αναπτυχθεί για την επίτευξη συγκεκριμένων ρυθμιστικών απαιτήσεων (π.χ. σχέδιο ασφαλούς και υγιεινής χρήσης χημικών, σχέδιο γνωστοποίησης κινδύνων). Σε ορισμένες χώρες, ορισμένα από αυτά τα μεμονωμένα σχέδια απαιτείται να κατατεθούν στις αρμόδιες αρχές. Η κοινοποίηση των πληροφοριών αυτών και των σχετικών υλικών πόρων πέρα από τις απαιτήσεις των νόμων και των κανονισμών, είναι ίσως η πιο εφικτή συνεργασία παροχής υπηρεσιών μεταξύ των οργανισμών και των τοπικών αρχών.

### 2.3.7 Ιατρική περίθαλψη και παρακολούθηση

Σε κάθε περιστατικό, υπάρχουν πολλές διαφορετικές ομάδες δυνητικών θυμάτων που πρέπει να εξεταστούν για τυχόν ιατρική περίθαλψη και επιτήρηση:

- Επιτόπου (άμεσα) θύματα, δηλαδή τα άτομα εκείνα που είναι παρόντα κατά τη στιγμή του περιστατικού και διατρέχουν άμεσο κίνδυνο
- Επιτόπου (άμεσο) προσωπικό αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης (π.χ. αρχικές ή μεταγενέστερες ομάδες, οι οποίες αν και έτοιμες να ανταποκριθούν στην επείγουσα κατάσταση, διατρέχουν κίνδυνο). Σε αυτή την ομάδα περιλαμβάνονται πυροσβέστες, ομάδες HazMat και άλλες εξειδικευμένες ομάδες
- Εκτός-τόπου προσωπικό άμεσης επέμβασης, το οποίο μπορεί να είναι σε κίνδυνο λόγω χημικής ή βιολογικής μόλυνσης των θυμάτων (π.χ. το προσωπικό του νοσοκομείου, το προσωπικό ασθενοφόρου)
- Εκτός-τόπου ευρύ κοινό, που περιλαμβάνει κάθε άλλο πρόσωπο εκτός του χώρου, που ενδέχεται να βρίσκεται σε κίνδυνο λόγω της μόλυνσης στον αέρα ή στο νερό είτε μέσω της επαφής με μολυσμένα άτομα είτε μέσω της επαφής με τις εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται ως προσωρινά καταφύγια για μολυσμένα θύματα

Ιστορικά, τα σχέδια άμεσης επέμβασης συνήθως επικεντρώνονται στην παροχή κατάλληλης ιατρικής θεραπείας και επιτήρησης στα επιτόπου θύματα για σωματικές βλάβες και ψυχολογικά τραύματα. Ωστόσο, γίνεται ολοένα και πιο φανερό (ιδίως όσον αφορά τις τρομοκρατικές ενέργειες), ότι η θεραπεία και η παρακολούθηση που σχετίζεται με χημική και βιολογική μόλυνση και στα εκτός τόπου θύματα, είναι ζωτικής σημασίας και απαιτεί ίση αντιμετώπιση (Erickson, 2006).



### 2.3.8 Αποκατάσταση και ανασκόπηση

Η αποκατάσταση περιλαμβάνει όλες τις ενέργειες που έχουν πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια αλλά και μετά την αντίδραση αντιμετώπισης για την ελαχιστοποίηση των βλαβών και τη ζημιών λόγω των δευτερογενών επιπτώσεων της κατάστασης έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, ένα συμβάν μπορεί να οριστεί ως "φωτιά σε υλικά της εγκατάστασης", ωστόσο, τα απόβλητα που προκύπτουν με την απορροή των υδάτων κατά την καταπολέμηση της πυρκαγιάς μπορεί να περιέχουν τοξικές χημικές ουσίες και πρέπει να ληφθούν διορθωτικά μέτρα για τον περιορισμό και την ορθή διάθεση των εν λόγω μολυσμένων υδάτων. Επίσης, οι εναπομείνουσες εγκαταστάσεις, ενδέχεται να έχουν καταστεί ακατάλληλες για χρήση και να είναι απαραίτητο να αντικατασταθούν.

Παρομοίως με τη διαχείριση κινδύνου, τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά το περιστατικό, ο σχεδιασμός αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης πρέπει να περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα πρόσθετων ζητημάτων όπως:

- Διαχείριση εκτός-τόπου πληθυσμού, που μπορεί να μην έχει άμεση σχέση με τη συγκεκριμένη προσπάθεια αντιμετώπισης, αλλά με άλλους δημόσιους και προσωπικούς κινδύνους
- Εφαρμογή εκκένωσης της τοπικής εγκατάστασης αλλά και του ευρύτερου κοινού
- Αξιολόγηση των τραυματισμών και κατανομή των θυμάτων για την παροχή πρώτων βοηθειών και περαιτέρω ιατρικής περίθαλψης
- Απολύμανση προσωπικού, εξοπλισμού, υλικών, καθώς και των εγκαταστάσεων, που μπορεί να έχουν μολυνθεί κατά τη διάρκεια των διαδικασιών αντιμετώπισης
- Διατήρηση του τόπου εκδήλωσης (να μην μολυνθεί από εξωτερικούς παράγοντες) του περιστατικού για περαιτέρω έρευνα
- Αναπλήρωση ή αντικατάσταση εξοπλισμού, υλικών αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και άλλων προμηθειών που έχουν εξαντληθεί, καταστραφεί ή αποδείχθηκαν ανεπαρκή
- Καταγραφή όλων των προσπαθειών αντίδρασης καθώς και εκθέσεων του προσωπικού αντίδρασης
- Επανεκπαίδευση του προσωπικού, υπό το πρίσμα των πραγματικών επιδόσεων αντίδρασης
- Επανεξέταση και αναθεώρηση των υφιστάμενων σχεδίων αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και των διαδικασιών αντίδρασης, υπό το πρίσμα του περιστατικού που πέρασε

Όλες οι διατάξεις και διαδικασίες που περιλαμβάνονται στο σχέδιο αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, απαιτούν ειδική και πλήρη εκπαίδευση του προσωπικού. Δεν μπορεί μια απλή παρουσίαση των προγραμμάτων κατάρτισης και των πληροφοριών στους εργαζομένους να θεωρηθεί επαρκής. Η κατάρτιση του προσωπικού σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης έρχεται μόνο με πρακτική εξάσκηση. Επίσης, με τον ίδιο ζήλο που πρέπει να ακολουθούνται οι διαδικασίες για τη σωστή λειτουργία του σχεδίου αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, με την ίδια συνέπεια πρέπει να τηρούνται και ο τρόπος, το είδος και η συχνότητα της εκπαίδευσης και της πρακτικής εξάσκησης του προσωπικού, όπως έχουν οριστεί μέσα στο σχέδιο ασφαλείας. Άλλωστε, η καλή λειτουργία του σχεδίου αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, εξαρτάται άμεσα από τη σωστή εκπαίδευση και την ετοιμότητα αυτών που θα το πραγματοποιήσουν όταν χρειαστεί.

## 2.4 Θέματα μελέτης για το σχέδιο έκτακτης ανάγκης

Οι αρχές δημιουργίας του σχεδίου έκτακτης ανάγκης πρέπει να εφαρμόζονται σε όλες τις περιπτώσεις. Όμως, υπάρχουν τρία σημαντικά ζητήματα που επηρεάζουν τη μελέτη του σχεδίου και πρέπει να εξεταστούν για την ανάπτυξη ενός προγράμματος έκτακτης ανάγκης και αποκατάστασης. Αυτά κατά Wahle & Beatty, 1993 είναι:

- Ένοικοι
- Τύπος χώρου-κτιρίου
- Είδος οργανισμού

### 2.4.1 Ένοικοι

Η έννοια “ένοικοι” περιλαμβάνει όλα τα άτομα που βρίσκονται μέσα σε μια εγκατάσταση. Κάθε ένοικος θα πρέπει να ομαδοποιείται ανάλογα με την κατάταξή του ως:

- Τακτικός ένοικος: είναι αυτός που υποχρεούνται να παρευρίσκεται στην εγκατάσταση σε τακτική βάση.
- Παροδικός ή προσωρινός ένοικος: η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει διάφορες ομάδες ανθρώπων και άτομα των οποίων η παρουσία στην εγκατάσταση δεν είναι τακτική. Στους προσωρινούς ένοικους περιλαμβάνονται οι εργολάβοι, υπεργολάβοι, προμηθευτές, πελάτες και ανάλογα με τη φύση των εγκαταστάσεων, το ευρύ κοινό.

Κάθε κατηγορία μπορεί να περιλαμβάνει και άτομα που χρειάζονται κάποια ειδική μεταχείριση. Για παράδειγμα, δεν πρέπει να παραβλεφθεί η πρόβλεψη για παροχή υπηρεσιών σε άτομα με ειδικές ανάγκες.

- Άτομα με ειδικές ανάγκες: Στην Αμερική, οι ένοικοι - επισκέπτες με ειδικές ανάγκες προστατεύονται σύμφωνα με τις διατάξεις του νόμου για *Αμερικανούς με Αναπηρία* (ADA – Americans with Disabilities Act). Η ADA (1990) ορίζει ένα άτομο με αναπηρία ως ένα άτομο που πληροί μια ή περισσότερες από τις προϋποθέσεις που αναφέρονται κατωτέρω:
  - Παρουσιάζει σωματική ή πνευματική μειονεξία, η οποία περιορίζει σημαντικά μία ή περισσότερες σημαντικές δραστηριότητες της ζωής. Σύμφωνα με την Επιτροπή Ίσων Ευκαιριών για την Απασχόληση (Equal Employment Opportunity Commission), σημαντικές δραστηριότητες της ζωής περιλαμβάνουν το περπάτημα, την ακοή, τη δυνατότητα εργασίας, την ομιλία, την δυνατότητα να κάθονται, το διάβασμα, την αναπνοή, την όραση, την ικανότητα να πιάνουν, και την ικανότητα της προσωπικής φροντίδας.
  - Έχει καταγεγραμμένο στοιχείο της εν λόγω βλάβης
  - Είναι αναγνωρισμένο ότι παρουσιάζει μια τέτοια βλάβη
  - Συνδέεται άμεσα με ένα άτομο που έχει κάποια αναπηρία
- Άλλα προβλήματα ενοίκων: Υπάρχει μια σειρά άλλων ζητημάτων, στα θέματα ενοίκων, που πρέπει να αντιμετωπιστούν στο σχέδιο έκτακτης ανάγκης και αποκατάστασης. Αυτά τα ζητήματα σχετίζονται άμεσα με τη φύση του οργανισμού ή της υπηρεσίας που παρέχεται. Τα νοσοκομεία, τα κέντρα περίθαλψης έκτακτης

ανάγκης, οι οίκοι ευγηρίας και άλλες εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης, παρέχουν υπηρεσίες τόσο σε ασθενείς που έχουν ικανότητα μετακίνησης όσο και σε ασθενείς που παρουσιάζουν αδυναμία μετακίνησης, πολλοί από τους οποίους χρειάζονται βοήθεια. Ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας και της φροντίδας που προσφέρεται σε τακτικούς ή/και προσωρινούς ασθενείς (ένοικοι), ο σχεδιασμός θα πρέπει να προνοεί και για τη δική τους ασφάλεια.

Ανάλογα με τη φύση και το εύρος των υπηρεσιών που παρέχονται είτε από την εγκατάσταση είτε από υπηρεσίες που προσφέρονται από οργανισμούς που στεγάζονται στην εγκατάσταση, οι ανάγκες των ενοίκων πρέπει να προσδιορίζονται. Για παράδειγμα, πολλοί οργανισμοί προσφέρουν εγκαταστάσεις φροντίδας παιδιών για ευκολία των εργαζομένων τους. Ομοίως, υπάρχουν εγκαταστάσεις που παρέχουν φροντίδα ηλικιωμένων. Ο προσδιορισμός των ειδικών απαιτήσεων των παιδιών που βρίσκονται στο χώρο ημερήσιας φροντίδας και των ενήλικων που είναι εγγεγραμμένοι σε προγράμματα φροντίδας ηλικιωμένων, είναι ουσιαστικής σημασίας ζητήματα που πρέπει να εξετασθούν κατά τη δημιουργία του σχεδίου δράσης έκτακτης ανάγκης. Είτε η εγκατάσταση εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο πληθυσμό, όπως στην περίπτωση ενός σχολείου, κολεγίου, σωφρονιστικού κέντρου, κλπ. είτε ο μηχανισμός εξυπηρετεί έναν ευρύτερο πληθυσμό, οι ειδικές ανάγκες των τακτικών και παροδικών ενοίκων πρέπει να εντοπιστούν.

#### **2.4.2 Τύπος κτιρίου - χώρου**

Διάφοροι παράγοντες όπως η γεωγραφική θέση, το γειτονικό περιβάλλον, η λειτουργία (μοναδική ή πολλαπλών χρήσεων), η αρχιτεκτονική και η στατική μελέτη καθώς και η διαμόρφωση του χώρου, έχουν όλα σχέση και επηρεάζουν τη δημιουργία σχεδίου έκτακτης ανάγκης.

Τα κτιριακά θέματα είναι καθοριστικής σημασίας στην ετοιμότητα αντιμετώπισης καταστροφών και καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Η αξιολόγηση της ικανότητας του χώρου να αντέχει στις διάφορες πιθανές καταστροφές είναι καθοριστικής σημασίας. Για παράδειγμα, πρέπει να προσδιοριστεί η στατικότητα στις πυρκαγιές, πλημμύρες, ισχυρούς ανέμους, ανεμοστρόβιλους, τυφώνες κλπ. Επιπλέον, σε γεωγραφικές περιοχές που υπάρχει έντονη σεισμική δραστηριότητα, η αντισεισμική συμπεριφορά είναι ύψιστης σημασίας.

- Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά: Οι χώροι ποικίλλουν σε αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Ο σχεδιασμός τους αντανάκλα την εποχή στην οποία είχαν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί. Παρόλο που κάθε χώρος έχει τα δικά του μοναδικά χαρακτηριστικά, τα οποία το διαχωρίζουν από άλλες εγκαταστάσεις, όλα μοιράζονται κάποια κοινά χαρακτηριστικά, όπως:
  - Διάδρομοι και προθάλαμοι
  - Σκάλες, πόρτες και έξοδοι
  - Ανελκυστήρες
  - Τηλεφωνικά κέντρα και κέντρα επικοινωνιών
  - Κέντρα ηλεκτρικής τροφοδοσίας
  - Κέντρο θέρμανσης και λεβητοστάσιο
  - Αποθηκευτικοί χώροι
  - Στέγες

- Κοινά κτιριακά συστήματα: Πέρα από τα κοινά αυτά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως, όλα τα κτίρια έχουν και κάποια κοινά δομικά συστήματα. Ορισμένα από αυτά τα κοινά συστήματα είναι:
  - Εσωτερικά και εξωτερικά συστήματα φωτισμού
  - Συστήματα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού
  - Συστήματα ανίχνευσης φωτιάς, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων καταιονισμού (sprinkler) και διαφόρων συστημάτων συναγερμού και ειδοποίησης
  - Συστήματα βοηθητικών ηλεκτρικών γεννητριών σε περίπτωση ανάγκης
  - Συστήματα ασφαλείας, συμπεριλαμβανομένης της επιτήρησης μέσω βίντεο, συστήματα κλειδώματος, συναγερμοί και άλλα συστήματα ελέγχου πρόσβασης.

Κάθε ένα από τα συστήματα αυτά πρέπει να αξιολογείται ως προς τη διαθεσιμότητα, την προσβασιμότητα, την αξιοπιστία του πριν από την εκδήλωση της έκτακτης ανάγκης.

### **Χρήση των Εγκαταστάσεων**

Βασικό στοιχείο για τη δημιουργία ενός αποτελεσματικού σχεδίου έκτακτης ανάγκης είναι να δημιουργηθεί με γνώμονα το είδος του χώρου και των εργασιών που εκτελούνται εκεί. Υπάρχουν διάφορα είδη χώρων, αλλά παρακάτω θα αναφερθούν τα τέσσερα πλέον συνήθη - βιομηχανικά, εμπορικά, εκπαιδευτικά και εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης (Gustin, 2007).

Βιομηχανικές μονάδες: Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις έχουν την τάση να χρησιμοποιούν εξοπλισμό και χημικές ουσίες που μπορούν να παράγουν κινδύνους αν δεν χρησιμοποιηθούν κατάλληλα. Οι χημικές διαρροές και οι πυρκαγιές δεν είναι σπάνιες σε τέτοιους χώρους, ως εκ τούτου, πρέπει να αντιμετωπιστούν και να συμπεριληφθούν στο σχέδιο έκτακτης ανάγκης. Βασικά θέματα που πρέπει να μελετηθούν για τη δημιουργία σχεδίου ασφαλείας σε τέτοιου είδους κτίρια είναι:

- Η ανάγκη ή όχι μιας εσωτερικής πυροσβεστικής μονάδας
- Η αντιμετώπιση μίας ενδεχόμενης διαρροής χημικών
- Η αποτελεσματικότητα του συναγερμού ως προς την έντασή του ώστε να καλύπτει τον βιομηχανικό θόρυβο από τις μηχανές
- Η εκπαίδευση όλων των εργαζομένων στις διαδικασίες έκτακτης ανάγκης
- Η εκπαίδευση όλων των εργαζομένων στις διαδικασίες διακοπής των λειτουργιών σε περίπτωση εκκένωσης του κτιρίου
- Η ασφαλής αποθήκευση εύφλεκτων και τοξικών χημικών ουσιών

Εμπορικά κέντρα: Οι εμπορικοί χώροι παρουσιάζουν έναν αριθμό προβλημάτων κατά τη δημιουργία σχεδίου έκτακτης ανάγκης. Πολύ συχνά οι ενοικιαστές θεωρούν τη διαδικασία δημιουργίας σχεδίου έκτακτης ανάγκης και των ασκήσεων εκκένωσης ως κάτι περιττό. Ο αρμόδιος για τη δημιουργία σχεδίου έκτακτης ανάγκης θα πρέπει να γνωρίζει αυτές τις συμπεριφορές και να εργαστεί με σκοπό την αλλαγή αυτών των αντιλήψεων. Βασικά θέματα που πρέπει να μελετηθούν για τη δημιουργία σχεδίου ασφαλείας σε τέτοιου είδους χώρους είναι:

- Η ενημέρωση των ενοίκων
- Καθορισμός ιεραρχίας και η αλυσίδα αποφάσεων

- Ενημέρωση και εκπαίδευση μισθωτών του κέντρου σε διαδικασίες εκκένωσης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης
- Καταγραφή εύφλεκτων ή τοξικών χημικών που αποθηκεύονται στο χώρο από τους ενοικιαστές
- Απαραίτητα έγγραφα των χημικών προϊόντων για ασφαλή χρήση και αποθήκευση (MSDS – Material Safety Data Sheet)
- Έγγραφο συμφωνία ευθυνών δημιουργίας σχεδίου ασφαλείας και εκπαίδευσης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης
- Ορισμός διαδικασιών για τον έλεγχο των συναγεμμένων, των πυροσβεστήρων και του υπολοίπου εξοπλισμού
- Άμεση ενημέρωση του σχεδίου εκκένωσης σε περίπτωση που πραγματοποιήθηκαν αλλαγές στη δομή του χώρου

Εκπαιδευτικές εγκαταστάσεις: Οι εκπαιδευτικές εγκαταστάσεις παρουσιάζουν μια σειρά από δύσκολα προβλήματα, κάθε ένα από τα οποία θα πρέπει να αντιμετωπιστεί στο σχέδιο έκτακτης ανάγκης. Οι προσχολικές εγκαταστάσεις (παιδικοί σταθμοί – νήπια) και τα δημοτικά σχολεία δεν είναι πιθανό να έχουν πολλούς από τους κινδύνους που θα μπορούσαν να έχουν οι ανώτερου βαθμού εκπαιδευτικές εγκαταστάσεις, αλλά το χαμηλότερο επίπεδο αντίληψης και κατανόησης των μαθητών θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη δημιουργία σχεδίου ασφαλείας. Τα σχολεία δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, οι τεχνικές σχολές και τα κολέγια έχουν συχνά εργαστήρια που χρησιμοποιούν χημικά προϊόντα και μηχανήματα, μια δυσλειτουργία των οποίων θα μπορούσε να δημιουργήσει ένα γεγονός έκτακτης ανάγκης. Βασικά θέματα που πρέπει να μελετηθούν για τη δημιουργία σχεδίου ασφαλείας σε τέτοιου είδους κτίρια είναι:

- Περιοχές συγκέντρωσης για κάθε τάξη
- Διαχείριση πιθανών βομβιστικών απειλών
- Διαχείριση ψευδών συναγεμμένων
- Επικοινωνία με τους γονείς
- Καταμέτρηση μαθητών που φεύγουν από το χώρο
- Χρήση μεταφορικού μέσου για τη μεταφορά των μαθητών σε μια ασφαλή τοποθεσία
- Χειρισμός κρουσμάτων βίας
- Έλεγχος κοντινής περιοχής για πιθανούς κινδύνους, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν εκκένωση του σχολικού κτιρίου

Εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης: Παρόλο που οι ιατρικές μονάδες μπορεί να εκθέσουν τους εργαζομένους σε ορισμένους από τους πιο σοβαρούς κινδύνους, γενικώς υπάρχει συστηματική αντιμετώπιση και ρύθμιση μέσω ειδικών κανονισμών. Οργανισμοί όπως Occupational Safety & Health Administration (OSHA) και η Κοινή Επιτροπή διαπίστευσης Οργανισμών Υγείας (JCAHO - Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organizations), αναφέρουν άμεσα τους ιδιαίτερους κινδύνους που υπάρχουν σε περιβάλλοντα υγειονομικής περίθαλψης. Βασικά θέματα που πρέπει να μελετηθούν για τη δημιουργία σχεδίου ασφαλείας σε τέτοιου είδους κτίρια είναι:

- Διαχείριση χημικής ή βιολογικής έκθεσης
- Απαραίτητες προδιαγραφές και διαδικασίες για την αποφυγή μετάδοσης παθογόνων οργανισμών
- Γενική διαχείριση εκκένωσης

- Διαχείριση πρακτικής άσκησης εκκένωσης χωρίς επιπτώσεις στους ασθενείς
- Δημιουργία ασφαλών περιοχών στις οποίες οι ασθενείς μπορούν να μετακινηθούν

### **Γεωγραφική Θέση**

Η γεωγραφική θέση του χώρου είναι σημαντική και πρέπει να εξετασθεί ενδελεχώς. Για παράδειγμα, εγκαταστάσεις κοντά σε παράλια, θα πρέπει να εξετάσουν την πιθανότητα ενός τυφώνα ή μιας βίαιης καταιγίδας. Επίσης, πρέπει να εξεταστεί ο κίνδυνος ηφαιστειών, εφόσον βρίσκονται μέσα σε ηφαιστειακή ζώνη. Είναι προφανές ότι κάθε περιοχή κάθε χώρας, είναι ευπαθής σε δικά της γεγονότα έκτακτης ανάγκης. Η κατανόηση των συγκεκριμένων κινδύνων είναι απαραίτητη για την κατάλληλη αντιμετώπισή τους.

Κατά την εκτέλεση μιας ανάλυσης κινδύνου για ένα χώρο με βάση τη γεωγραφική του θέση, η προσοχή συνήθως επικεντρώνεται σε γεγονότα που σχετίζονται με φυσικά φαινόμενα. Δεν πρέπει, όμως, να αμεληθεί η ανάλυση σε όλα τα έκτακτα γεγονότα που θα μπορούσαν να συμβούν από άλλες αιτίες. Για παράδειγμα, αν το κτίριο βρίσκεται κοντά σε ένα πυρηνικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής, διυλιστηρίων, ή ένα εργοστάσιο παραγωγής χημικών, θα πρέπει να δημιουργηθεί συγκεκριμένο σχέδιο για την αντιμετώπιση των πιθανών κινδύνων από αυτές τις δραστηριότητες. Αυτό το παράδειγμα δείχνει τη σημασία της πραγματικής ανάλυσης κινδύνου και τη διερεύνηση των μη-προφανών κινδύνων που υπάρχουν.

Ακόμα και ένας μικρός οργανισμός, ο οποίος δεν παράγει επικίνδυνα χημικά ή προϊόντα, παρέχει έναν ασφαλή χώρο εργασίας και ιστορικά η πόλη στην οποία βρίσκονται οι εγκαταστάσεις δεν έχει βιώσει καταστροφικά φυσικά γεγονότα έκτακτης θα πρέπει να είναι προετοιμασμένος διότι η πιθανή εγγύτητά του με άλλες δραστηριότητες, μπορεί να προκαλέσει επικίνδυνες καταστάσεις. Οι παράγοντες κινδύνου που υπάρχουν έξω από τον άμεσο έλεγχο του οργανισμού μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Αθλητικές εκδηλώσεις
- Πολιτικές συγκεντρώσεις
- Περιοχές με έντονη τάση για πλημμύρα
- Φράγματα (υδάτινα)
- Αεροδρόμια

### **2.4.3 Είδος οργανισμού**

Πολλοί οργανισμοί που ασχολούνται με κανονισμούς ασφάλειας και υγιεινής παγκοσμίως όπως ο OSHA, απαιτούν από τους εργοδότες να αξιολογούν τους κινδύνους που υπάρχουν στο χώρο εργασίας και να δημιουργήσουν ένα εξειδικευμένο σχέδιο έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, ένας εργαζόμενος σε εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης μπορεί να εκτεθεί σε κινδύνους που οι υπάλληλοι γραφείου δεν έχουν πιθανότητα να αντιμετωπίσουν. Η έκθεση σε παθογόνους παράγοντες που μεταδίδονται δια του αίματος, είναι μια πραγματική ανησυχία του νοσηλευτικού προσωπικού και πρέπει να αντιμετωπιστεί στο σχέδιο ασφάλειας. Επίσης, απαιτούν να αξιολογείται ο κάθε οργανισμός ξεχωριστά.

Σε πολλές περιπτώσεις, οι καταστροφικές επιπτώσεις μιας έκτακτης ανάγκης μπορούν να ματαιώσουν το σκοπό για τον οποίον υπάρχει ένας οργανισμός. Από την άποψη αυτή, τα θέματα του οργανισμού πρέπει να αντιμετωπιστούν με σκοπό την κατά το δυνατόν άμεση συνέχιση της λειτουργίας του. Πιο συγκεκριμένα, οι πιθανές επιπτώσεις μιας καταστροφής

στη λειτουργία ενός οργανισμού πρέπει να εκτιμώνται ως προς τους παράγοντες που φαίνονται παρακάτω (Gustin, 2007):

- Σχεδιασμό αντιμετώπισης εκτάκτων καταστάσεων που περιλαμβάνει διαδικασίες ενημέρωσης και μετεγκατάστασης
- Ανάκτηση και αποκατάσταση πόρων και προϊόντων
- Τηλεπικοινωνίες
- Ανάκτηση σημαντικών αρχείων
- Άμεση πρόσβαση
- Ασφάλεια
- Απώλεια αρχείων
- Διαδικασίες ελέγχου ζημιών

#### **Προσδιορισμός των βασικών δραστηριοτήτων**

Σε κάθε οργανισμό υπάρχουν βασικές λειτουργίες που καθορίζουν την οργάνωση. Για παράδειγμα, μια εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας κοινής ωφελείας (π.χ. ΔΕΗ), έχει ως βασική λειτουργία την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε πελάτες. Μπορεί να διαχωριστούν οι πελάτες σε άξονες προτεραιότητας. Η εταιρεία κοινής ωφελείας μπορεί, για παράδειγμα, να αποφασίσει, πρώτον, να αποκαταστήσει την ισχύ σε νοσοκομεία και κέντρα υγείας γενικότερα και στη συνέχεια σε άλλους καταναλωτές. Κάθε οργάνωση καλείται να προσδιορίσει τις βασικές επιχειρηματικές δραστηριότητές της και στη συνέχεια να εξετάσει τρόπους για την προστασία των βασικών αυτών δραστηριοτήτων σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Σε περίπτωση που διακοπεί η λειτουργία σε έναν οργανισμό, πρέπει να υπάρχει εκ των προτέρων η σειρά προτεραιότητας αποκατάστασης των μονάδων. Εάν αυτό το σημαντικό βήμα δεν έχει ολοκληρωθεί, υπάρχει κίνδυνος να δαπανηθεί πολύτιμος χρόνος στην αποκατάσταση μη βασικών λειτουργιών (Casavant, 2007).

#### **Κόστος διακοπής της δραστηριότητας του οργανισμού**

Μετά από καταστάσεις έκτακτης ανάγκης πολλές οργανώσεις έχουν μια δύσκολη ανάκτηση λειτουργιών. Η καθυστέρηση στην παραγωγή προϊόντων ή στην παροχή υπηρεσιών, έχει αρνητικές επιπτώσεις στα οικονομικά του οργανισμού. Ορισμένοι οργανισμοί έχουν αποθέματα ή μπορούν να συνεχίσουν την δραστηριότητα τους σε μια άλλη περιοχή που δεν επηρεάζεται από την κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Ωστόσο, πολλοί οργανισμοί δεν κατάφεραν ποτέ να ανακάμψουν και να συνεχίσουν την λειτουργία τους και αναγκάστηκαν να κλείσουν. Μετά από την βομβιστική επίθεση στο World Trade Center το 1993, σχεδόν οι μισές επιχειρήσεις που ήταν εγκατεστημένες στους πύργους τέθηκαν εκτός λειτουργίας. Αποδείχθηκε ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό των εν λόγω επιχειρήσεων είχε ένα σχέδιο ανάκτησης και λειτουργικής συνέχειας.

## **2.5 Διαχείριση Πόρων**

Ανεξάρτητα από τον τίτλο και τη θέση, ένας άνθρωπος δεν μπορεί να γνωρίζει ενδεχομένως όλες τις πτυχές του οργανισμού με τόσες λεπτομέρειες που απαιτούνται για ένα λειτουργικό πρόγραμμα. Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει μια πολύπλευρη προσέγγιση για το σχέδιο έκτακτης ανάγκης με τη δημιουργία μίας καλά συντονισμένης ομάδας ανθρώπων.

## Κεφάλαιο 3. Σχεδιασμός εκκένωσης

### 3.1 Εισαγωγή

Δεδομένου του γεγονότος ότι όλο και περισσότεροι άνθρωποι γίνονται θύματα των επιπτώσεων από καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και καταστροφές σε ολόκληρο τον κόσμο, γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική η ανάγκη για τους φορείς, τις οργανώσεις και τις ομάδες αντιμετώπισης και αποκατάστασης να εστιάζουν πάνω στην ετοιμότητα για ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων. Η εκκένωση είναι ένα σημαντικό στοιχείο αυτής της εστίασης (Australia Emergency Management, 2005).

Όταν λάβει χώρα μια φυσική καταστροφή, ξεσπάσει μια πυρκαγιά ή γίνει κλήση για απειλή βόμβας, ενδέχεται να χρειαστεί εκκένωση του κτιρίου ή των εγκαταστάσεων. Η συστηματική και πλήρης διαφυγή όλων των ενοίκων απαιτεί προσεκτική πρόβλεψη των διαδρομών εξόδου και καταμέτρηση όλων των ατόμων μετά την εκκένωση. Ένας σωστός και πλήρης σχεδιασμός, που λαμβάνει υπόψη όλους τους παράγοντες, μπορεί να οδηγήσει σε μια γρήγορη και ομαλή εκκένωση με ελάχιστα προβλήματα (Gustin, 2007). Σε περίπτωση κινδύνου ή απειλής, η εκκένωση είναι ζωτικής σημασίας για τη διάσωση ζωών και για την πρόληψη τραυματισμών. Ως μέρος της στρατηγικής διαχείρισης κινδύνου, ο σχεδιασμός εκκένωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άμβλυση των συνεπειών μιας έκτακτης ανάγκης ή καταστροφής.

Παρά το γεγονός ότι πολλοί άνθρωποι τείνουν να βλέπουν την εκκένωση ως μια απλή και στοιχειώδη διαδικασία, αν δεν έχει προγραμματιστεί και ολοκληρωθεί σωστά μπορεί να οδηγήσει σε ακόμη περισσότερους θανάτους και υλικές ζημιές από αυτές που προκύπτουν από την αρχική πηγή της εκδήλωσης της έκτακτης ανάγκης. Αυτό συμβαίνει διότι, κατά τη διάρκεια μιας εκκένωσης, το υπεύθυνο προσωπικό για τη σωστή διεξαγωγή της, υπόκειται όχι μόνο σε κίνδυνο λόγω της ίδιας της κατάστασης έκτακτης ανάγκης (π.χ. φωτιά, καπνό), αλλά και σε κινδύνους λόγω πανικού και υστερίας (π.χ. περίπτωση ποδοπατήματος), καθώς και σε προσωπικούς κινδύνους στρες (π.χ. καρδιακή προσβολή), όπως επίσης και σε κινδύνους που προκύπτουν από τα φυσικά χαρακτηριστικά και τον εξοπλισμό των εγκαταστάσεων και των κοινών εργασιών (π.χ. στενά περάσματα, απότομες σκάλες, μπλοκαρισμένα περάσματα εξόδου, συμπεριλαμβανομένων και των προσπαθειών των ομάδων βοήθειας έκτακτης ανάγκης που βρίσκεται σε εξέλιξη).

Είναι αναμφίβολα σωστό το σχέδιο ασφαλείας να μη βασίζεται μόνο σε ένα μέσο ενημέρωσης και έναρξης της εκκένωσης (π.χ. ηχητικό, οπτικό). Για παράδειγμα, ένα ηχητικό προειδοποιητικό σήμα δεν μπορεί να ακουστεί σε απομονωμένες περιοχές της εγκατάστασης (π.χ. τουαλέτες, αποθηκευτικούς χώρους), καθώς επίσης κανένα ηχητικό προειδοποιητικό σήμα, ανεξαρτήτως θέσης ή έντασης, δε μπορεί να δώσει πληροφορία σε ανθρώπους με μειωμένη (ή ανύπαρκτη) ακουστική ικανότητα.

Οι πρωτεύουσες και οι δευτερεύουσες οδοί εκκένωσης, που πρέπει απαραίτητως να είναι ευδιάκριτες και αναγνωρίσιμες ανά πάσα στιγμή και σε όλες τις πιθανές περιπτώσεις (π.χ., πυκνός καπνός), ανάλογα με τη διάταξη των εγκαταστάσεων, καθώς και με συγκεκριμένες ειδικές ανάγκες του προσωπικού, θα πρέπει να ενισχυθούν με επιπλέον διαδρομές (π.χ. ράμπες, κιγκλιδώματα-οδηγούς).



Πρέπει να δημιουργηθούν εναλλακτικά σημεία συγκέντρωσης από ειδικά εκπαιδευμένο προσωπικό ώστε να εξασφαλίζεται (α) η συνεχής επικοινωνία (π.χ. όσον αφορά την κυκλοφορία του προσωπικού για την αποφυγή παρεμβολών με οχήματα έκτακτης ανάγκης), (β) η σωστή καταμέτρηση του προσωπικού στα σημεία συγκέντρωσης, (γ) ο εντοπισμός και η αναγνώριση προσωπικού που έχει εκκενώσει την εγκατάσταση για απολύμανση, πρώτες βοήθειες και άλλου είδους ιατρική περίθαλψη και (δ) η μετακίνηση των ατόμων σε άλλους εντός ή εκτός των εγκαταστάσεων προσωρινούς χώρους στέγασης και παροχής, τροφής, νερού και υγιεινής.

### **3.2 Σχεδιασμός εκκένωσης εγκαταστάσεων**

Η εκκένωση αφορά τη μετακίνηση των ενοίκων σε μια ασφαλέστερη τοποθεσία. Ωστόσο, για να είναι αποτελεσματική, πρέπει να σχεδιαστεί και να εκτελεστεί σωστά. Η όλη διαδικασία της εκκένωσης συνήθως περιλαμβάνει και την επιστροφή του οργανισμού στις δραστηριότητες του. Η φύση μιας συγκεκριμένης καταστροφής καθώς και ενός επικείμενου κινδύνου για την ασφάλεια των ενοίκων ενός οργανισμού, είναι βασικό μέλημα που καθορίζει την έναρξη της εκκένωσης.

Η εκτυπωμένη έκδοση ενός σχεδίου εκκένωσης είναι σημαντική για δύο λόγους. Αρχικά, ένα γραπτό σχέδιο παρέχει σε όλους τους ενοίκους του οργανισμού συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με τις διαδικασίες για την ομαλή διεξαγωγή της εκκένωσης, σε περίπτωση καταστροφής ή έκτακτης ανάγκης. Επιπλέον, ένα γραπτό σχέδιο εκκένωσης πληροί τις προϋποθέσεις διαφόρων κανονισμών για την εξασφάλιση ασφαλούς και υγιεινού περιβάλλοντος εργασίας για όλους τους ενοίκους.

#### **3.2.1 Βασικές αρχές σχεδιασμού εκκένωσης**

Οι βασικές αρχές σχεδιασμού εκκένωσης ταυτίζονται με αυτές του γενικού σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης και περιλαμβάνουν:

- Καθορισμό ατόμων με εξουσία ώστε να μπορούν να δώσουν εντολή για εκκένωση
- Σαφή προσδιορισμό των ρόλων και των ευθυνών
- Ανάπτυξη κατάλληλων και ευέλικτων σχεδίων
- Αποτελεσματικό σύστημα προειδοποίησης και ενημέρωσης
- Εξασφάλιση δυνατότητας μετακίνησης (οδεύσεις διαφυγής)
- Δημιουργία και διατήρηση της εμπιστοσύνης και της συνεργασίας όλων των επηρεαζόμενων φορέων
- Κατάλληλη εκπαίδευση και συντονισμός ασκήσεων, πάνω στα ανεπτυγμένα σχέδια εκκένωσης.

#### **3.2.2 Τύποι εκκένωσης**

Οι τύποι της εκκένωσης καθορίζονται από δύο παράγοντες: Το χρόνο εκκένωσης και τον τρόπο διεξαγωγής τους.

Οι “χρονικοί” τύποι εκκένωσης αποτελούνται από δύο κατηγορίες:

### Άμεση εκκένωση

Μια εκκένωση που προκύπτει λόγω ατυχήματος, απαιτεί άμεση αντίδραση και ως εκ τούτου επιτρέπει μικρή ή καθόλου προειδοποίηση, καθώς και περιορισμένο χρόνο προετοιμασίας. Καταστάσεις που απαιτούν τέτοιου είδους άμεση αντίδραση για εκκένωση είναι η διαρροή επικίνδυνων υλικών, εκδήλωση ανεξέλεγκτης φωτιάς, σεισμός κ.ά.

### Προειδοποιημένη Εκκένωση

Τέτοιου τύπου εκκένωση προκύπτει από ένα γεγονός στο οποίο έχει προηγηθεί κάποια προειδοποίηση και δεν περιορίζει το χρόνο προετοιμασίας. Παραδείγματα αυτού του τύπου γεγονότων είναι κυρίως ακραία καιρικά φαινόμενα όπως πλημμύρες, κυκλώνες και άλλα.

Υπάρχουν δύο τρόποι εκκένωσης: η μερική εκκένωση και η ολική ή πλήρης εκκένωση. Αν και η φύση μιας συγκεκριμένης καταστροφής καθώς και ενός επικείμενου κινδύνου για την ασφάλεια των ενοίκων ενός οργανισμού καθορίζει τον τύπο της εκκένωσης, η αμεσότητα της απειλής πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη (Gustin, 2007).

### Μερική Εκκένωση

Σε μια μερική εκκένωση, οι ένοικοι οι οποίοι επηρεάζονται άμεσα, ή των οποίων η ασφάλεια μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο από την κατάσταση έκτακτης ανάγκης, πρέπει να μεταφερθούν από την απειλούμενη περιοχή σε ασφαλή χώρο. Αυτός ο ασφαλής χώρος μπορεί να βρίσκεται είτε εντός της εγκατάστασης είτε μακριά από αυτή. Για παράδειγμα, όταν ανιχνεύεται μια πυρκαγιά σε ένα πολυώροφο κτίριο, οι ένοικοι στα κοντινά πατώματα πάνω και κάτω από την προέλευση της φωτιάς, πρέπει να εκκενώσουν το χώρο άμεσα.

### Πλήρης Εκκένωση

Σε μια πλήρη εκκένωση, όλοι οι ένοικοι πρέπει να εκκενώσουν τις εγκαταστάσεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις, και πάλι ανάλογα με τη φύση και την αμεσότητα της έκτακτης ανάγκης, μέλη της ομάδας επέμβασης μπορεί να παραμείνουν πίσω για να εξασφαλιστεί ότι όλοι οι άλλοι ένοικοι έχουν εκκενώσει το χώρο και να εξετασθεί η κατάσταση του.

## **3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την εκκένωση**

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον καθορισμό του τύπου εκκένωσης που πρέπει να διεξαχθεί. Κάποιοι από τους παράγοντες αυτούς είναι:

- Η φύση του περιστατικού έκτακτης ανάγκης
- Η δυνητική απειλή για την ασφάλεια των ενοίκων, η οποία καθορίζεται από τη σοβαρότητα του περιστατικού

Καθένας από αυτούς τους παράγοντες, με τη σειρά του, προσδιορίζει την αμεσότητα της εκκένωσης. Επίσης, υπάρχουν αρκετοί ακόμα παράγοντες που σχετίζονται με την εκτέλεση της εκκένωσης και πρέπει να μελετώνται κατά τη δημιουργία του σχεδίου εκκένωσης, όπως:

- Οι ευθύνες εντός των εγκαταστάσεων, που σχετίζονται με την εντολή έναρξης και την εποπτεία της εκκένωσης. Ανάλογα με τη φύση και τη σοβαρότητα της κατάστασης, η εντολή εκκένωσης μπορεί να γίνει είτε από το εξουσιοδοτημένο προσωπικό εντός των εγκαταστάσεων είτε από την τοπική πυροσβεστική υπηρεσία ή από άλλη αρχή που έχει τέτοιου είδους δικαιοδοσία.

- Η *λήψη της απόφασης* ως προς το αν πρέπει να δοθεί εντολή εκκένωσης ή όχι, η οποία εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα των έγκαιρων και συναφών πληροφοριών. Εάν η απόφαση ληφθεί πολύ νωρίς ενώ ο κίνδυνος έχει αρχίσει να υποχωρεί, οι ένοικοι αλλά και ο οργανισμός, μπορεί να έχουν εκτεθεί σε αδικαιολόγητο κίνδυνο, ταλαιπωρία και κόστος. Εάν η απόφαση ληφθεί πολύ αργά, ο οργανισμός μπορεί να υποχρεωθεί είτε να εκκενώσει υπό συνθήκες υψηλού κινδύνου είτε να βρει καταφύγιο εντός των εγκαταστάσεων και να υποστεί όλα τα αποτελέσματα των επιπτώσεων του κινδύνου.
- Η *ετοιμότητα και η εκπαίδευση* του οργανισμού ή της κοινότητας, είναι κρίσιμης σημασίας για την επιτυχή εφαρμογή ενός σχεδίου εκκένωσης. Ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα για την εκπαίδευση και ετοιμότητα θα πρέπει να περιλαμβάνει:
  - Τον προσδιορισμό των κινδύνων που μπορεί να οδηγήσουν στην ανάγκη για εκκένωση
  - Την ατομική ενημέρωση, τόσο πριν όσο και κατά την εκδήλωση του κινδύνου, που σχετίζονται με την απόφαση της εκκένωσης εκτός των εγκαταστάσεων ή την προσφυγή σε καταφύγιο εντός αυτών
  - Τη μέγιστη δυνατή ετοιμότητα των ενοίκων, με σκοπό να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη τα προειδοποιητικά μηνύματα

Επίσης, η αποτελεσματική ενημέρωση του κοινού θα πρέπει:

- Να χρησιμοποιεί μια ποικιλία μέσων μαζικής ενημέρωσης (έντυπη, ηλεκτρονική κ.α.) για τη διάδοση των πληροφοριών
- Να μεταφέρει έγκυρη, αξιόπιστη, απλή, άμεση και σαφή πληροφόρηση και καθοδήγηση
- Να παρέχει έγκαιρη και διαρκή ενημέρωση (στο ίδιο το πρόγραμμα ετοιμότητας και ενημέρωσης)
- *Ειδική βοήθεια* για τα άτομα με ειδικές ανάγκες. Η βοήθεια αυτή μπορεί να παρέχεται είτε με τη μορφή του εκπαιδευμένου προσωπικού εντός των εγκαταστάσεων είτε από προσωπικό πυροσβεστικής ή άλλης υπηρεσίας έκτακτης ανάγκης
- *Εκκένωση και ομάδες ελέγχου*. Κατά την ανάπτυξη στρατηγικών εκκένωσης, πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο σχηματισμού εσωτερικών μονάδων-ομάδων εκκένωσης και αναζήτησης. Οι εσωτερικές αυτές ομάδες, που πρέπει να αποτελούνται από επίλεκτο διοικητικό και εποπτικό προσωπικό, θα μπορούν άμεσα να εκτελούν και να ελέγχουν μια εκκένωση.
- *Εκπαίδευση ομάδων ελέγχου*. Υπάρχουν συγκεκριμένες τεχνικές αναζήτησης στο χώρο, που περιλαμβάνουν επίσης αναζήτηση εκρηκτικών μηχανισμών. Αυτό το είδος της εκπαίδευσης, η οποία παρέχεται στα μέλη της ερευνητικής ομάδας, περιλαμβάνει μεθόδους και διαδικασίες εντοπισμού και εξακρίβωσης θέσης. Επίσης, πρόσθετη εκπαίδευση που παρέχεται στα μέλη των ομάδων αναζήτησης, περιλαμβάνει τις κατάλληλες διαδικασίες για τη σήμανση και το “κλείσιμο” δωματίων ή χώρων, εφόσον έχουν εξερευνηθεί και έχει διαπιστωθεί ότι περιλαμβάνουν ύποπτο υλικό, καθώς και τις κατάλληλες διαδικασίες υποβολής εκθέσεων. Μία πτυχή της εκπαίδευσης που αξίζει προσοχής έχει να κάνει με τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εξουδετέρωση, την αφαίρεση ή την απευθείας επαφή με τον εκρηκτικό μηχανισμό. Μόνο εξουσιοδοτημένο προσωπικό με εξειδικευμένες γνώσεις πάνω στα εκρηκτικά θα πρέπει να επιχειρήσει να μετακινήσει, να εξουδετερώσει ή να αποσυνδέσει μια βόμβα.

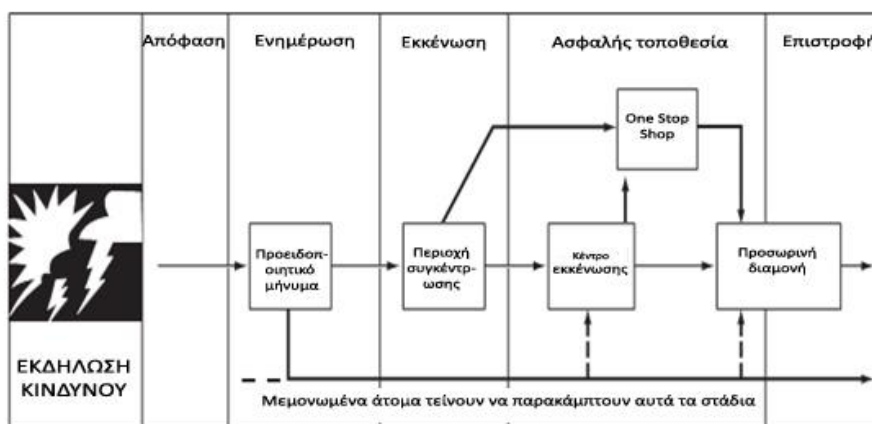
Για προφανείς λόγους, μόνο τα άτομα που είναι πλήρως εξοικειωμένα με όλες τις πτυχές των σχεδίων των εγκαταστάσεων θα πρέπει να συμμετέχουν ως υπεύθυνοι για την εκκένωση και ως μέλη της ομάδας αναζήτησης. Για να είναι μια έρευνα αποτελεσματική, τα

μέλη της μονάδας αναζήτησης πρέπει να έχουν πλήρη γνώση για τους διαδρόμους, τις τουαλέτες, τις ψευδοροφές κ.α., καθώς και οποιαδήποτε άλλη θέση εντός των εγκαταστάσεων όπου θα μπορούσε να τοποθετηθεί ή να κρυφτεί κάποιος εκρηκτικός μηχανισμός. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η τοπική αστυνομία και οι πυροσβέστες δεν θα είναι εξοικειωμένοι με την διάταξη των εγκαταστάσεων και θα χρειαστεί να στηριχθούν και να συνεργαστούν με τις εσωτερικές ομάδες αναζήτησης.

### 3.4 Στάδια διαδικασίας εκκένωσης

Η διαδικασία εκκένωσης περιλαμβάνει πέντε στάδια (Εικόνα 3.1):

- Εντολή - Απόφαση έναρξης εκκένωσης
- Προειδοποίηση – Ενημέρωση
- Απομάκρυνση των ενοίκων σε ασφαλή τοποθεσία
- Επιλογή τοποθεσίας αναφοράς
- Επιστροφή στις εγκαταστάσεις



Εικόνα 3.1 Στάδια διαδικασίας εκκένωσης (Πηγή: Australia Emergency Management, 2005)

#### 3.4.1 Εντολή - Απόφαση έναρξης εκκένωσης

Η απόφαση για την έναρξη της εκκένωσης είναι το πρώτο από τα πέντε στάδια της διαδικασίας εκκένωσης. Συχνά υπάρχουν πολλά σύνθετα ζητήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη λήψη αυτής της απόφασης και ίσως πρέπει να γίνουν σε περίπτωση απουσίας απαραίτητων πληροφοριών για το είδος ή την έκταση του περιστατικού.

Επειδή η έγκυρη και έγκαιρη απόφαση για εκκένωση είναι καθοριστική για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων του κινδύνου που την απαιτεί και κατ' επέκταση της ασφάλειας των ενοίκων, η λήψη της απόφασης πρέπει να λαμβάνεται με βάση τα παρακάτω (Australia Emergency Management, 2005):

- Η καλύτερη απόφαση λαμβάνεται μετά από σωστή αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων πληροφοριών. Πρέπει όμως να γίνει κατανοητό ότι η "πολυτέλεια" της αξιολόγησης όλων των δυνατών εκτιμήσεων, δεν είναι διαθέσιμη

- Η απόφαση για εκκένωση πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις ειδικές νομοθεσίες και κανονισμούς
- Η ύπαρξη ενός, καλά δομημένου, αξιόπιστου και επιβεβαιωμένου σχεδίου εκκένωσης δίνει στον υπεύθυνο (που θα δώσει εντολή για έναρξη της εκκένωσης) μεγαλύτερη εμπιστοσύνη
- Οι καλές αποφάσεις λαμβάνονται με σωστή και έγκαιρη πληροφόρηση. Οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων πρέπει να αναζητούν και να αξιολογούν τις συμβουλές των εμπειρογνομόνων

Η πιο σοβαρή και δύσκολη από όλες τις αποφάσεις, είναι το αν και το πότε θα δοθεί εντολή έναρξης εκκένωσης σε περίπτωση απειλής βομβιστικής ενέργειας. Σύμφωνα με το ATF<sup>3</sup>, υπάρχουν τρεις διαθέσιμες επιλογές για την ομάδα της διαχείρισης ασφαλείας ενός οργανισμού όταν ληφθεί μια απειλή για βόμβα:

#### Επιλογή 1: Αγνόηση απειλής για βόμβα

Η επιλογή να αγνοηθεί εντελώς μια απειλή βόμβας μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα. Παρά το γεγονός ότι οι στατιστικές δείχνουν ότι ελάχιστες βομβιστικές απειλές είναι πραγματικές, το γεγονός ότι μερικές βόμβες έχουν εντοπιστεί από τέτοιου είδους απειλές, δε μπορεί να αγνοηθεί. Επίσης, σε περίπτωση που οι ένοικοι ενός οργανισμού αντιληφθούν ότι έχουν ληφθεί βομβιστικές απειλές που αγνοήθηκαν, θα προκληθούν προβλήματα εμπιστοσύνης των εργαζομένων προς τον οργανισμό, γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στην λειτουργία του οργανισμού. Επιπλέον, στη χειρότερη περίπτωση, υπάρχει πάντα η πιθανότητα, οι βομβιστές να πυροδοτήσουν μια πραγματική βόμβα στις εγκαταστάσεις.

#### Επιλογή 2: Άμεση και ολική εκκένωση

Η εκτέλεση άμεσης και ολικής εκκένωσης του κτιρίου σε κάθε απειλή για βόμβα, είναι στην πραγματικότητα η πιο ασφαλής αντίδραση. Εντούτοις, υπάρχουν αρνητικοί παράγοντες που σχετίζονται με την επιλογή αυτή, οι οποίοι πρέπει επίσης να εξετάζονται. Για παράδειγμα, η άμεση και ολική εκκένωση διακόπτει τις δραστηριότητες του οργανισμού. Εάν οι υποτιθέμενοι βομβιστές γνωρίζουν ότι η πολιτική ενός οργανισμού είναι να εκκενώνει τις εγκαταστάσεις της κάθε φορά που λαμβάνει μια απειλή βόμβας, είναι πιθανό να κάνουν χρήση αυτής της πολιτικής, με πρόθεση να “παγώσουν” σχεδόν πλήρως τις δραστηριότητες της. Επιπλέον, κακόπιστοι εργαζόμενοι ή άλλοι, οι οποίοι γνωρίζουν ότι η πολιτική του οργανισμού είναι να διατάξει άμεση και ολική εκκένωση, μπορεί να δημιουργούν τέτοιες απειλές, προκειμένου να κλείσει ο οργανισμός. Τέλος, υπάρχει η πιθανότητα να τοποθετηθούν από τους βομβιστές εκρηκτικοί μηχανισμοί κοντά σε εξόδους που χρησιμοποιούνται για την εκκένωση.

#### Επιλογή 3: Αναζήτηση απειλητικού αντικειμένου και εκκένωση αν χρειαστεί

Η επιλογή εκτέλεσης αναζήτησης μετά από απειλή για βόμβα και στη συνέχεια διεξαγωγή εκκένωσης, εφόσον βρεθεί κάποιο ύποπτο αντικείμενο, είναι ίσως η προτιμότερη όλων των επιλογών, γιατί δεν προκαλεί τόση αναστάτωση όσο μια άμεση και ολική εκκένωση. Επίσης, πληροί την απαίτηση να εκτελεστεί κάποια ενέργεια (και όχι απλά αγνόηση), σε κάποια απειλή. Επιπλέον, εάν ανακαλυφθεί μια εκρηκτική συσκευή, η εκκένωση μπορεί να διεξαχθεί αμέσως, αποφεύγοντας παράλληλα τις επικίνδυνες ζώνες της βόμβας.

---

<sup>3</sup> Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives, *At The Frontline against violent crime*

### 3.4.2 Προειδοποίηση - ενημέρωση

Η προειδοποίηση είναι το δεύτερο από τα πέντε στάδια της διαδικασίας εκκένωσης και περιλαμβάνει τη διάδοση των πληροφοριών στους ενοίκους, με τη μορφή συμβουλών και οδηγιών κατεύθυνσης. Μια προειδοποίηση εκκένωσης πρέπει να είναι δομημένη έτσι ώστε να παρέχει έγκαιρη και αποτελεσματική πληροφόρηση. Η αποτελεσματικότητα της ενημέρωσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα της διαδικασίας προειδοποίησης. Στους παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα της προειδοποίησης περιλαμβάνονται ο χρόνος, η απόσταση, η οπτική επαφή με το σήμα της προειδοποίησης, τα χαρακτηριστικά της κατάστασης έκτακτης ανάγκης, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο θα μεταδοθεί η ενημέρωση από το εξειδικευμένο προσωπικό. Για παράδειγμα, όσο πιο άμεση είναι η απειλή τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι η προθυμία των ενοίκων να αποδεχθούν και να αντιδράσουν κατάλληλα στην προειδοποίηση.

#### **Ρόλοι και αρμοδιότητες**

Είναι σημαντικό όλες οι ομάδες που συμμετέχουν στο στάδιο της προειδοποίησης να έχουν σαφή αντίληψη του ρόλου και των ευθυνών τους. Σε ορισμένα μάλιστα κράτη αυτές οι ευθύνες έχουν ενσωματωθεί στη νομοθεσία. Μια διατύπωση προειδοποίησης μπορεί να περιλαμβάνει τη συμμετοχή ορισμένων ή όλων των παρακάτω ομάδων:

- Τους ενοίκους του χώρου όπου εξελίσσεται η έκτακτη ανάγκη (συμπεριλαμβανομένων των ομάδων με ειδικές ανάγκες)
- Τα μέσα μαζικής ενημέρωσης
- Τις ομάδες και τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης
- Τις δημόσιες υπηρεσίες

#### **Διαδικασία προειδοποίησης**

Οι προειδοποιήσεις θα πρέπει να είναι σαφείς και να μη δημιουργούν αμφιβολίες, να εκδίδονται από μια γνωστή και αξιόπιστη πηγή, να περιλαμβάνουν έναν τρόπο (σημείο ελέγχου) για επιβεβαίωση και έναν μηχανισμό αναπαραγωγής. Τέλος, το ειδοποιητικό μήνυμα πρέπει να δημιουργείται από το υπεύθυνο προσωπικό, σε συνδυασμό με τις διάφορες ομάδες επέμβασης, όπως αστυνομία, πυροσβεστική κ.α. Μια προειδοποίηση για να είναι αποτελεσματική, πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- *Εξουσία-Αρχή:* Οι προειδοποιήσεις είναι πιο αξιόπιστες και έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να ληφθούν υπόψη από τους ένοικους, εάν έχουν εκδοθεί από μια αναγνωρισμένη αρχή. Για αυτό το λόγο πρέπει όλοι οι ένοικοι να αναγνωρίζουν την αξιόπιστη αυτή πηγή
- *Συνέπεια:* Για να αποφευχθεί κάθε σύγχυση και αβεβαιότητα, είναι σημαντικό να διατηρείται η συνέπεια της προειδοποίησης, κυρίως όταν εκδίδονται πολλαπλές προειδοποιήσεις στο κοινό
- *Ακρίβεια:* Η ακρίβεια και το περιεχόμενο των πληροφοριών που περιέχονται στην προειδοποίηση, επηρεάζουν την κατανόηση και την πειστικότητα της προειδοποίησης. Λάθη είναι πιθανό να κάνουν τους ανθρώπους να αμφιβάλουν για τις επακόλουθες προειδοποιήσεις
- *Ηρεμία:* Ένα προειδοποιητικό μήνυμα δεν πρέπει να πανικοβάλλει το κοινό, αλλά πρέπει να προσφέρει εμπιστοσύνη στους ένοικους να ακολουθήσουν τις οδηγίες που παρέχει

- *Σαφήνεια*: Μια ασαφής προειδοποίηση μπορεί να οδηγήσει τους ένοικους σε παρερμηνεία ή αδιαφορία. Οι προειδοποιήσεις θα πρέπει να είναι σε απλή γλώσσα, χωρίς τη χρήση ορολογίας
- *Βασιμότητα*: Η βασιμότητα καθορίζει το επίπεδο της πειστικότητας μιας προειδοποίησης και επηρεάζει τη λήψη των αποφάσεων και της αντίδρασης εκείνων που τη λαμβάνουν
- *Επίπεδο λεπτομέρειας*: Η ελλιπής πληροφόρηση δημιουργεί σύγχυση, αβεβαιότητα και άγχος, και η “φαντασία” των ενδιαφερόμενων θα προσπαθήσει να καλύψει το κενό στις πληροφορίες. Αυτό μπορεί να ευνοήσει τη διάδοση φημών και την παραπληροφόρηση καθώς και την δημιουργία υπερβολικών φόβων
- *Σαφείς οδηγίες*: Τα μηνύματα που περιέχουν σαφείς οδηγίες σχετικά με τις προστατευτικές δράσεις των ενοίκων, καθώς και ο διαθέσιμος χρόνος για να προβούν σε αυτές, είναι πιο αποτελεσματικά από εκείνα που δεν παρέχουν συγκεκριμένες τέτοιες οδηγίες
- *Αναπαραγωγή-Επανάληψη προειδοποίησης*: Σε περίπτωση που ο χρόνος το επιτρέπει, οι προειδοποιήσεις πρέπει να επαναλαμβάνονται, κατά προτίμηση χρησιμοποιώντας διαφόρους τρόπους διάδοσης. Αυτό παρέχει την επιβεβαίωση του προειδοποιητικού μηνύματος, βοηθά στην αύξηση της πειστικότητας και εξαλείφει το πρόβλημα αγνόησης της προειδοποίησης που μεταδόθηκε μόνο μία φορά
- *Εμπλεκόμενες περιοχές*: Μια προειδοποίηση που στοχεύει και αναφέρεται στους τομείς των εγκαταστάσεων που έχει εξελιχθεί το γεγονός έκτακτης ανάγκης, είναι πιο αποτελεσματική
- *Μέθοδοι διάδοσης προειδοποίησης*: Είναι πιο αποτελεσματικό να χρησιμοποιείται ένα μεγάλο φάσμα μεθόδων ή τρόπων μετάδοσης της πληροφορίας, αντί για μια μόνο μέθοδο, φθάνοντας έτσι σε όσο το δυνατόν περισσότερους ανθρώπους (ένοικους), στο συντομότερο χρονικό διάστημα. Ανάλογα με τον τύπο των εγκαταστάσεων και των ενοίκων, πρέπει να επιλεγούν εκείνες οι μέθοδοι, οι οποίες θα πληρούν την προϋπόθεση ότι η ενημέρωση θα φτάσει σε όλους τους ένοικους (κυρίως στους άμεσα επηρεαζόμενους από την κατάσταση έκτακτης ανάγκης), πετυχημένα και στον απαιτούμενο χρόνο. Η χρήση ενός πρότυπου σήματος έκτακτης ανάγκης, ενισχύει την αποτελεσματικότητα των ηλεκτρονικών μέσων ενημέρωσης (Emergency Management Queensland & Disaster Management Act, 2012)
- *Διάδοση προειδοποίησης για ομάδες ατόμων με ειδικές ανάγκες*: Πρέπει να εξετασθούν τα προβλήματα που παρουσιάζουν οι ομάδες ατόμων με ειδικές ανάγκες στην αντίληψη των σημάτων προειδοποίησης, καθώς και στη λήψη πληροφοριών και αναγκών από τα άτομα αυτά. Υπάρχουν άτομα λοιπόν που χρησιμοποιούν διαφορετική γλώσσα ομιλίας και άτομα που χρειάζονται περισσότερο χρόνο προειδοποίησης ή περισσότερο χρόνο για να μετακινηθούν. Επίσης, ορισμένα άτομα ίσως να μην είναι σε θέση να ακούσουν την προειδοποίηση, κάποια άλλα ίσως να έχουν πρόβλημα μεταφοράς στις περιοχές αναφοράς και τέλος κάποια μπορεί να χρειάζονται ιατρική φροντίδα κατά τη διάρκεια της εκκένωσης και μετά από αυτήν. Στην επίλυση αυτών των προβλημάτων μπορεί να βοηθήσουν και οι ένοικοι που βρίσκονται κοντά σε αυτά τα άτομα (ή οι οδηγοί τους) είτε παρέχοντας τους τη βοήθεια που χρειάζονται είτε ενημερώνοντας το υπεύθυνο προσωπικό των εγκαταστάσεων (Gustin, 2007, Australia Emergency Management, 2005)

### **Επιπλέον παράγοντες**

Πολλές φορές, κυρίως σε μεγάλης έκτασης οργανισμούς ή σε εγκαταστάσεις που αποτελούνται από πολλούς τομείς, το προειδοποιητικό σήμα κινδύνου πρέπει να περιλαμβάνει και τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Την εκδίδουσα αρχή
- Την ημερομηνία και την ώρα έκδοσης
- Την ακριβή περιγραφή του κινδύνου (αυτό που έχει συμβεί ή είναι πιθανόν να συμβεί στο άμεσο μέλλον)
- Την περιοχή που είναι πιθανόν να επηρεαστεί άμεσα από τον κίνδυνο, καθώς και τους τομείς οι οποίοι ενδεχομένως να επηρεαστούν σε πιο μακροπρόθεσμη βάση, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση σεισμού, ή περιοχές οι οποίες θα είναι στατικά ακατάλληλες για χρήση
- Συμβουλές σε εκείνους που λαμβάνουν την προειδοποίηση, που αφορούν μεταξύ άλλων:
  - Το είδος της εκκένωσης (συμπεριλαμβανομένης και της προβλεπόμενης διάρκειας απουσίας από το χώρο εφόσον είναι δυνατόν να προσδιοριστεί)
  - Μέτρα ελαχιστοποίησης του κινδύνου (αν είναι δυνατόν)
  - Τα μέσα ατομικής προστασίας (ΜΑΠ) που πρέπει να πάρουν μαζί τους οι ένοικοι, καθώς και η αναφορά σε αυτά που πρέπει να αφήσουν πίσω, π.χ. προσωπικά είδη
  - Αναφορά στο προσωπικό από το οποίο πρέπει να παίρνουν οδηγίες, πληροφορίες και περαιτέρω συμβουλές
  - Την ασφάλιση των χώρων των εγκαταστάσεων και των προσωπικών ειδών
  - Τις διαδρομές εκκένωσης που πρέπει να ακολουθηθούν
  - Τοποθεσίες αναφοράς – συγκέντρωσης
  - Τη διαθέσιμη βοήθεια (μεταφορά, ιατρικά μέσα ή προσωπικό, κέντρα αρωγής, παροχή συμβουλών)
  - Αναφορά στον οδηγό “τι πρέπει να κάνουμε σε μια έκτακτη ανάγκη”
  - Αναφορά στην άσκοπη χρήση κινητών τηλεφώνων
  - Διαθέσιμες μεταφραστικές υπηρεσίες
- Οι ενέργειες που γίνονται για την αντιμετώπιση του κινδύνου
- Η χρονική περίοδος της επόμενης προειδοποίησης ή αναφορά της απουσίας της

### **3.4.3 Απομάκρυνση των ενοίκων σε ασφαλή τοποθεσία**

Η απομάκρυνση των ενοίκων σε ασφαλή τοποθεσία είναι το τρίτο στάδιο της διαδικασίας εκκένωσης. Ορισμένα από τα βασικά ζητήματα κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού απομάκρυνσης ενοίκων είναι τα εξής:

- *Έλεγχος/Συντονισμός:* Ο οργανισμός που έχει την εξουσία να διατάξει την εκκένωση των εγκαταστάσεων μπορεί να μην είναι ο ίδιος που διενεργεί τη διαδικασία της εκκένωσης
- *Προτεραιότητες εκκένωσης:* Ο διαθέσιμος χρόνος εκκένωσης επηρεάζει την προτεραιότητα που θα ακολουθηθεί καθώς και την κατανομή των πόρων.



- *Πόροι*: ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει η μεταφορά των ενοίκων και κυρίως εκείνων με ειδικές ανάγκες, μπορεί να επηρεάσει την εξέλιξη της εκκένωσης, οπότε πρέπει να μελετάται στο σχεδιασμό της εκκένωσης
- *Οδεύσεις διαφυγής*: Οι διαδρομές που θα ακολουθηθούν κατά την εκκένωση (οδεύσεις διαφυγής) πρέπει να εντοπιστούν, να επισημαίνονται σαφώς και να ελέγχονται, για τη διευκόλυνση της ομαλής εκκένωσης και να παρέχουν πρόσβαση στις εισερχόμενες ομάδες βοήθειας και τους πόρους
- *Σταδιακή εκκένωση*: Μερικές φορές η εκκένωση θα πρέπει να γίνεται σταδιακά, ώστε να αποφευχθεί η συμφόρηση στις οδεύσεις διαφυγής και να διασφαλιστεί ότι οι ομάδες με ειδικές ανάγκες μπορούν να εκκενώσουν το χώρο εγκαίρως. Η σταδιακή εκκένωση μπορεί να αναφέρεται είτε ανά περιοχή, όπου το σχέδιο προσδιορίζει τη σειρά με την οποία πρέπει να εκκενωθεί κάθε περιοχή στον ανάλογο κίνδυνο είτε ανά ομάδα, όπου το σχέδιο προσδιορίζει τη σειρά των ομάδων ατόμων που θα εκκενώσουν το χώρο
- *Τοποθεσίες αναφοράς*: Παρόλο που οι τοποθεσίες αναφοράς είναι συνήθως μόνο ένα προσωρινό σημείο συγκέντρωσης, είναι αναγκαία η παροχή βασικών αναγκών πρόνοιας, ενώ προσέρχονται οι ένοικοι (για παράδειγμα, καταχώρηση και χορήγηση πρώτων βοηθειών). Οι τοποθεσίες συγκέντρωσης θα πρέπει να βρίσκονται όσο πιο κοντά γίνεται στις εγκαταστάσεις, παρέχοντας όμως πλήρη ασφάλεια. Τέλος, θα πρέπει να υπάρχουν εναλλακτικές τοποθεσίες
- *Ειδικές παροχές σε ομάδες με ειδικές ανάγκες*: Οι κατηγορίες των ομάδων αυτών ποικίλλουν με βάση την έκταση που πρέπει να εκκενωθεί και μπορεί να απαιτεί ειδικές ρυθμίσεις. Οι εγκαταστάσεις που έχουν ως κύριους ένοικους τέτοιες ομάδες, όπως για παράδειγμα νοσοκομεία, έχουν υποχρέωση να έχουν προετοιμάσει το δικό τους σχέδιο εκκένωσης προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις των ατόμων αυτών
- *Καταχώρηση ονομάτων ενοίκων*: Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη προϋπόθεση για οποιαδήποτε εκκένωση και πρέπει να περιλαμβάνει, όσο είναι δυνατόν, και τους ένοικους εκείνους που εκκένωσαν το χώρο με δική τους πρωτοβουλία και δεν ακολούθησαν τις οδηγίες και τις συμβουλές του προσωπικού για να βρεθούν στις περιοχές συγκέντρωσης. Η διαδικασία αυτή συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στην ταχύτερη και αποτελεσματικότερη απόφαση ότι οι εγκαταστάσεις έχουν εκκενωθεί. Μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια της εκκένωσης σε μια περιοχή συγκέντρωσης, αλλά για να είναι αξιόπιστη, η καταχώρηση ονομάτων πρέπει να έχει πραγματοποιηθεί και κατά την είσοδο τους στις εγκαταστάσεις
- *Ασφάλιση της εκκενωμένης περιοχής*: Αυτό το σημείο είναι πολύ σημαντικό ώστε να διατηρηθεί η εμπιστοσύνη στους ενοίκους και να αποφευχθούν π.χ. λεηλασίες
- *Δημιουργία σημείου ελέγχου της εκκένωσης*: Στο σχέδιο εκκένωσης θα πρέπει να περιλαμβάνεται και η ανάγκη δημιουργίας ενός κέντρου ελέγχου σε μια ασφαλή περιοχή. Η επιλογή του σημείου ελέγχου δεν είναι εύκολη υπόθεση και πρέπει να γίνει με βάση τους παρακάτω παράγοντες:
  - Φύση - είδος του κινδύνου
  - Απόσταση από την περιοχή εξέλιξης του περιστατικού
  - Δυνατότητα πρόσβασης
  - Καιρικές συνθήκες
  - Κατανομή πληθυσμού στην περιοχή
  - Δυνατότητα επικοινωνίας
  - Παροχή και πρόσβαση υπηρεσιών
- *Ενημέρωση των διοικητών από κάθε εμπλεκόμενο οργανισμό ή ομάδα*: Το σχέδιο εκκένωσης πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα ενημέρωσης από τον κάθε υπεύθυνο

για την διαδικασία της εκκένωσης στον αντίστοιχο διοικητή της υπηρεσίας που εμπλέκεται. Η ενημέρωση πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Λεπτομέρειες για την απόφαση και τους λόγους της εκκένωσης, όπως: το είδος του κινδύνου, τον αντίκτυπο και τις επιπτώσεις του, τις περιοχές που πρόκειται να εκκενωθούν, και τέλος τη κατανομή των καθηκόντων και των προτεραιοτήτων
- Τις ρυθμίσεις για τις ειδικές ομάδες που πρέπει να εκκενωθούν
- Την πρόσβαση και τις σημάσεις των οδεύσεων διαφυγής
- Τη θέση των τοποθεσιών συγκέντρωσης
- Τους υπεύθυνους για την εκκένωση και τυχόν περιορισμούς, συμπεριλαμβανομένης της σκοπιμότητας εσκεμμένης απομάκρυνσης
- Ειδικές οδηγίες προς τους ένοικους που αφορούν:
  - το λόγο της εκκένωσης
  - την προβλεπόμενη διάρκεια
  - τη μέθοδο της εκκένωσης
  - τοποθεσίες αναφοράς και οδεύσεις διαφυγής
  - οδηγίες για ασφάλιση των χώρων (απενεργοποίηση ρεύματος, παροχής νερού, ή απενεργοποίηση άλλων μονάδων)
  - οδηγίες για τις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν για εκείνους που αρνούνται να εκκενώσουν το χώρο.
- Ποιες κινήσεις θα γίνουν για να ασφαλιστεί η περιοχή μετά την ολοκλήρωση της εκκένωσης.

#### **3.4.4 Επιλογή τοποθεσίας συγκέντρωσης - αναφοράς**

Η επιλογή τοποθεσίας συγκέντρωσης είναι το τέταρτο στάδιο της διαδικασίας εκκένωσης και περιλαμβάνει την παροχή ασφάλειας των ενοίκων και την ικανοποίηση βασικών αναγκών των πληγέντων από τις άμεσες ή δυνητικές επιπτώσεις του κινδύνου.

##### **Παράγοντες**

Η επιλογή της τοποθεσίας ή των περιοχών συγκέντρωσης και αναφοράς, πρέπει να γίνεται με γνώμονα τα παρακάτω:

- *Προσδιορισμός της κατάλληλης περιοχής συγκέντρωσης:* πρέπει να βασίζεται στην ασφάλεια, τη διαθεσιμότητα και τη χωρητικότητα
- *Άδεια χρήσης εγκαταστάσεων για τοποθεσίες αναφοράς:* σε περίπτωση χρήσης δημόσιων ή ιδιωτικών χώρων, όπως σχολεία ή άλλες εγκαταστάσεις πλησίον της προς εκκένωση περιοχής, πρέπει να εξασφαλιστεί η άδεια για την άμεση χρήση τους
- *Προσβασιμότητα περιοχής:* η επιλεγμένη τοποθεσία πρέπει να είναι εύκολη στην πρόσβαση και να έχει σημειωθεί κατάλληλα για την εύκολη αναγνώριση της.
- *Ιατρική βοήθεια:* εδώ περιλαμβάνονται οι πρώτες βοήθειες, άμεσες ανάγκες, καθώς και ιατρικές και άλλες συμβουλές
- *Καταχώρηση ονομάτων ενοίκων και επιβεβαίωση εκκένωσης:* Με τον όρο “επιβεβαίωση εκκένωσης” ορίζεται η κατάσταση κατά την οποία επιβεβαιώνεται ότι όλοι οι ένοικοι μιας εγκατάστασης έχουν εκκενώσει την περιοχή όπου έχει εκδηλωθεί η κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Ουσιαστικά, υπάρχουν δύο μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να επιβεβαιωθεί μια εκκένωση, η ονομαστική μέθοδος – (The Roll-Call Method), και η μέθοδος αναζήτησης. Η κάθε μία έχει δικά της πλεονεκτήματα ανάλογα με τον τύπο των ενοίκων και το μέγεθος των εγκαταστάσεων:

- *Ονομαστική μέθοδος*: Για τις εγκαταστάσεις που στεγάζουν σχετικά μικρό αριθμό τακτικών ενοίκων, η μέθοδος αυτή είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την εξακρίβωση της εκκένωσης. Ο επιβλέπων της εκκένωσης, μπορεί να προβεί είτε σε καταμέτρηση ενοίκων είτε σε φωνητική καταμέτρηση με βάση τη λίστα των ενοίκων που πρέπει να έχει στα χέρια του, ώστε να διασφαλιστεί ότι όλοι οι ένοικοι εκκένωσαν το χώρο με επιτυχία
- *Μέθοδος Αναζήτησης*: Σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις που στεγάζουν ένα σχετικά μεγάλο αριθμό ενοίκων, η ονομαστική μέθοδος δεν είναι πρακτική. Σε μια πλήρη εκκένωση των εγκαταστάσεων αυτών όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός ενοίκων (μεταφορείς, πελάτες, επισκέπτες κ.α.), είναι σχεδόν αδύνατο να γίνει επιβεβαίωση για κάθε άτομο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η μέθοδος αναζήτησης είναι πιο αποτελεσματική (Gustin, 2007)

### 3.4.5 Επιστροφή στις εγκαταστάσεις

Η επιστροφή στις εγκαταστάσεις είναι το πέμπτο και τελευταίο στάδιο της διαδικασίας εκκένωσης. Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να εκτιμηθούν οι συνθήκες που επικρατούν στην πληγείσα περιοχή για να καθοριστεί αν η επιστροφή σε αυτές είναι ασφαλής και να επισημανθούν τυχόν ειδικές τροποποιήσεις που ενδεχομένως χρειαστεί να επιβληθούν.

#### Παράγοντες

Η εντολή – απόφαση για επιστροφή στις εγκαταστάσεις πρέπει να γίνει με βάση τους παρακάτω παράγοντες και σκέψεις (Gustin, 2007):

- *Αξιολόγηση της πληγείσας περιοχής*: Μια λεπτομερής αξιολόγηση της πληγείσας περιοχής πρέπει να έχει ολοκληρωθεί πριν από τη λήψη της απόφασης για επιστροφή των ενοίκων. Η αξιολόγηση θα πρέπει να περιλαμβάνει:
  - Την παρούσα κατάσταση του κινδύνου
  - Την πιθανότητα μελλοντικής “ενεργοποίησης” της κατάστασης έκτακτης ανάγκης
  - Την ασφάλεια των εγκαταστάσεων (στατικά, λειτουργικές μονάδες, συστήματα ασφαλείας)
  - Τη διαθεσιμότητα των πόρων των εγκαταστάσεων
- *Κριτήρια επιστροφής ενοίκων*: Πριν την επιστροφή επιβάλλεται η αξιολόγηση της σωματικής και ψυχολογικής κατάστασης των ενοίκων
- *Οικονομικά κριτήρια*: Πρέπει να γίνει μια μελέτη των οικονομικών παραγόντων των επιπτώσεων του κινδύνου, καθώς και της διαδικασίας επιστροφής σε έναν χώρο που έχει περάσει από κατάσταση έκτακτης ανάγκης σε μικρό χρονικό διάστημα
- *Επιπλέον παράγοντες*: Προτού οι ένοικοι μπορέσουν να επιστρέψουν στο χώρο τους, πρέπει να προσφερθεί μια σειρά υπηρεσιών υποστήριξης όπως:
  - Διαχείριση και ασφάλιση των επικίνδυνων κατασκευών
  - Ενεργοποίηση των κανονικών υπηρεσιών (ηλεκτρικό ρεύμα, νερό, αποχέτευση, επικοινωνίες κ.α.)
  - Εγκατάσταση ενός μηχανισμού συνεχούς επικοινωνίας για την ενημέρωση των ενοίκων με τις οδηγίες παραμονής τους στο χώρο και τις ενέργειες που γίνονται για αποκατάσταση των εγκαταστάσεων κλπ.

### 3.5 Δομικά στοιχεία εκκένωσης

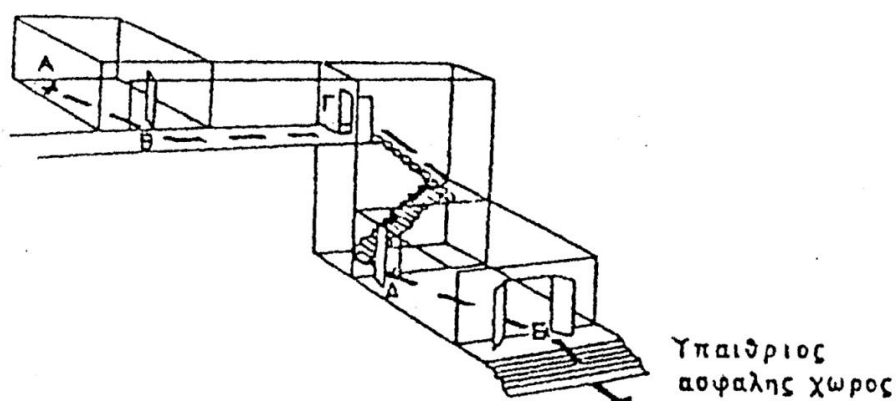
Η διαδρομή που ακολουθείται και οδηγεί στην τοποθεσία που έχει επιλεγεί μέσα από τη μελέτη σχεδίου εκκένωσης (εξωτερικός χώρος, προστατευμένος χώρος κ.α.), ονομάζεται όδευσης διαφυγής.

#### 3.5.1 Οδεύσεις διαφυγής (Means of egress)

Όδευση διαφυγής λέγεται μία συνεχής και χωρίς εμπόδια πορεία για τη διαφυγή από οποιοδήποτε σημείο ενός κτιρίου προς έναν ασφαλή, υπαίθριο συνήθως χώρο, που αποτελείται από τρία ξεχωριστά και διαφορετικά “στοιχεία” (Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999):

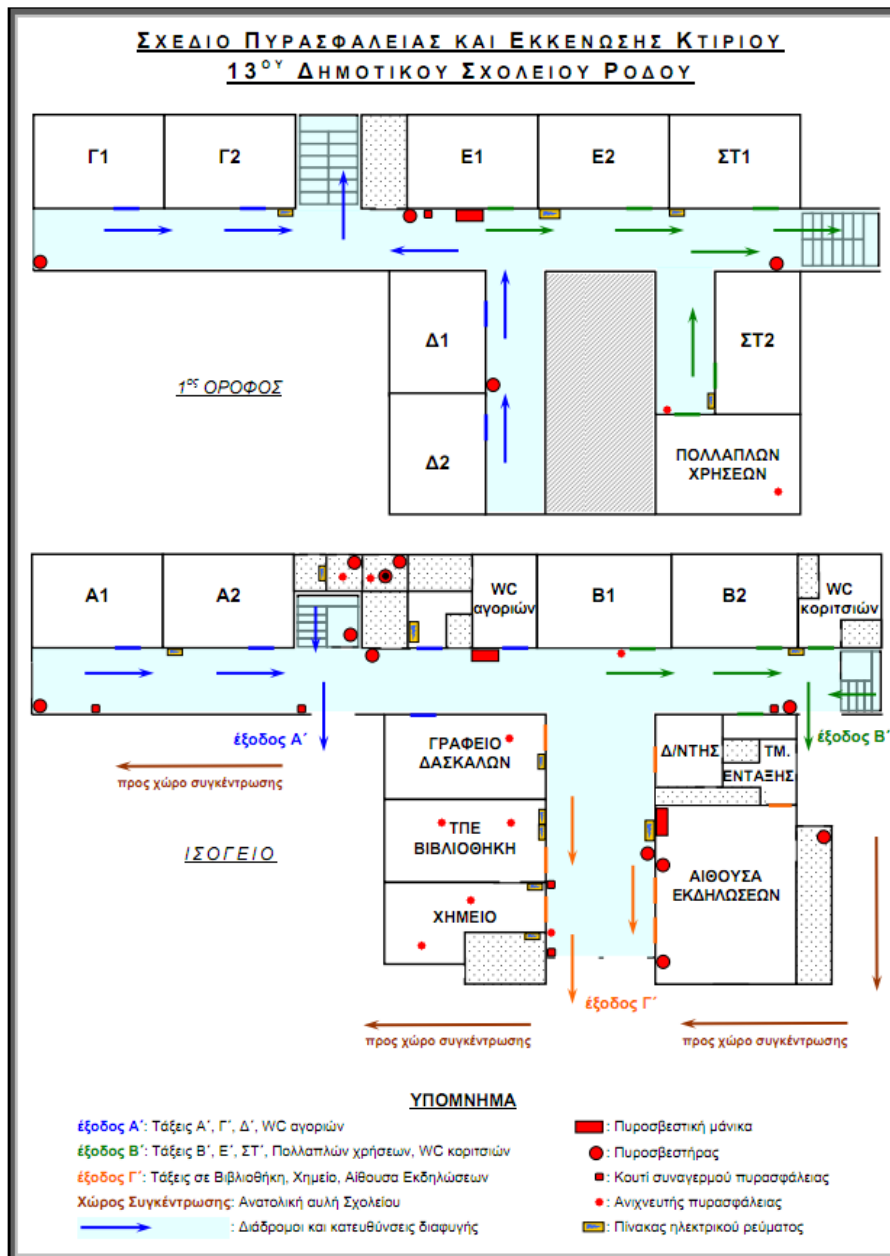
- Όδευση Διαφυγής (Exit Access), λέγεται το πρώτο τμήμα μιας όδευσης διαφυγής, που περιβάλλεται από δομικά στοιχεία χωρίς ειδικές απαιτήσεις πυραντίστασης και καταλήγει σε ένα χώρο σχετικά ή απόλυτα ασφαλή. Για παράδειγμα, μια όδευση διαφυγής περιλαμβάνει δωμάτια και άλλους χώρους των εγκαταστάσεων που βρίσκονται άνθρωποι, καθώς και πόρτες, διαδρόμους, εσωτερικές σκάλες και ράμπες που πρέπει να διανυθούν και να οδηγήσουν στην έξοδο κινδύνου.
- Έξοδος Κινδύνου (Exit), είναι το άνοιγμα εισόδου σε πυροπροστατευμένη όδευση διαφυγής ή κατευθείαν σε ασφαλή υπαίθριο χώρο.
- Τελική Έξοδος (Exit Discharge), είναι η κατάληξη μιας όδευσης διαφυγής από έναν χώρο, που οδηγεί σε μια οδό ή σε έναν ανοικτό χώρο ασφαλή από τον κίνδυνο της φωτιάς ή και του καπνού

Όλα αυτά τα στοιχεία αποτελούν τα μέσα για την έξοδο που πρέπει να παρέχονται από κάθε τοποθεσία εντός της εγκατάστασης. Κατά συνέπεια, όλες οι οδεύσεις διαφυγής των εγκαταστάσεων πρέπει να επιθεωρούνται και να συντηρούνται τακτικά για να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή λειτουργικότητα και χρησιμότητα από τους ένοικους που αναζητούν ασφάλεια. Στην **Εικόνα 3.2** παρουσιάζεται μια τυπική διαδρομή όδευσης διαφυγής (Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999).



**Εικόνα 3.2** Στάδια οδεύσεων διαφυγής (Πηγή: Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999)

- Το πρώτο στάδιο της όδευσης διαφυγής (ΑΒΓ) ονομάζεται όδευση διαφυγής και αφορά στην πορεία από ένα τυχαίο σημείο του κτιρίου μέχρι ένα χώρο ασφαλή ή σχετικά ασφαλή, που μπορεί να είναι:
  - μια τελική έξοδος προς υπαίθριο χώρο
  - μια έξοδος κινδύνου ορόφου προς μία πυροπροστατευμένη όδευση διαφυγής.
  - μία οριζόντια έξοδος
- Το δεύτερο στάδιο (ΓΔ) αφορά στην πορεία από μια έξοδο κινδύνου (τέλος του πρώτου σταδίου), μέχρι την έξοδο στο επίπεδο του ορόφου εκκένωσης. Όλη αυτή η πορεία είναι πυροπροστατευμένη, περιβάλλεται δηλαδή από δομικά στοιχεία με προκαθορισμένο δείκτη πυραντίστασης. Το δεύτερο στάδιο της όδευσης διαφυγής αποτελείται, συνήθως, από πυροπροστατευμένα κλιμακοστάσια (τμήμα ΓΔ, **Εικόνα 3.2**), αλλά μερικές φορές μπορεί να συμπεριλαμβάνει και πυροπροστατευμένους οριζόντιους διαδρόμους (τμήμα ΒΓ) ή πυροπροστατευμένο προθάλαμο
- Το τρίτο στάδιο (ΔΕ) αποτελεί την οριζόντια όδευση προς την τελική έξοδο και την εκκένωση των ενοίκων σε χώρο απόλυτα ασφαλή, κοινόχρηστο δρόμο ή υπαίθρο (**Εικόνα 3.2**). Είναι η συνέχεια των προστατευμένων οδεύσεων διαφυγής από τους υπέργειους (ή υπόγειους) ορόφους προς το εξωτερικό του κτιρίου και από εκεί, αν απαιτείται, σε περιοχή ελεύθερη και ασφαλή



**Εικόνα 3.3** Παράδειγμα Σχεδίου Εκκένωσης (Πηγή: Υπουργείο Παιδείας Δια Βίου Μάθησης & Θρησκευμάτων Περιφερειακή Δ/νση Α/Θμιας & Β/Θμιας Εκπ/σης Νότιου Αιγαίου Δ/νση Πρωτοβάθμιας Εκπ/σης Δωδεκανήσου 13<sup>ο</sup> 12/Θ Δημοτικό Σχολείο Ρόδου)

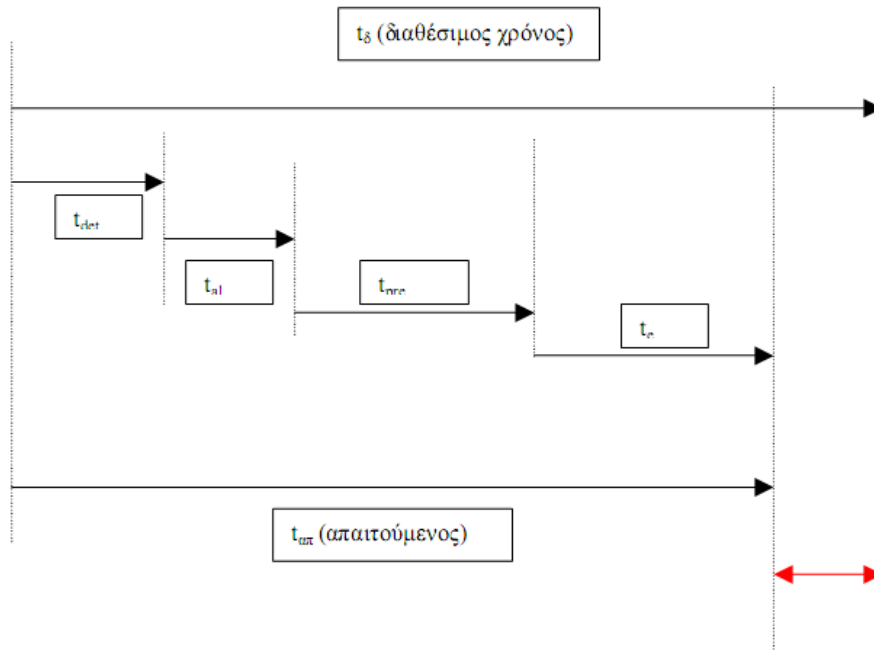
## Κεφάλαιο 4. Διαδικασία εκκένωσης

### 4.1 Εισαγωγή

Οι δύο παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιτυχία μιας εκκένωσης είναι, πρώτον, ο χρόνος που χρειάζεται για την εκκένωση του χώρου και, δεύτερον, τα προβλήματα συνωστισμού που μπορούν να δημιουργηθούν.

### 4.2 Εκτίμηση χρόνων εκκένωσης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το πιο σημαντικό στάδιο για την ολοκλήρωση του σχεδίου εκκένωσης είναι ο προσδιορισμός του διαθέσιμου χρόνου εκκένωσης και του απαιτούμενου χρόνου εκκένωσης.



Σχήμα 4.1 Συνιστώσες χρόνων εκκένωσης (Πηγή: Zuccaro, 2009)

Στο Σχήμα 4.1 με κόκκινο χρώμα συμβολίζεται το περιθώριο ασφαλείας  $t_{safety}$ , δηλαδή ο χρόνος που απομένει από την ολοκλήρωση της εκκένωσης μέχρι οι συνθήκες στις εγκαταστάσεις να είναι ανυπόφορες.

#### 4.2.1 Εκτίμηση διαθέσιμου χρόνου $t_{\delta}$

Ο διαθέσιμος χρόνος υπολογίζεται από τη στιγμή έναρξης του συμβάντος έκτακτης ανάγκης μέχρι τη στιγμή που οι συνθήκες στο χώρο θα είναι ανυπόφορες για τους ένοικους (Nelson & Mowrer, Emergency Movement, 2002). Ανάλογα με την αιτία εκκένωσης μπορεί να ληφθεί διαφορετικός χρόνος. Για τον υπολογισμό του χρόνου αυτού πρέπει να μελετηθούν οι ιδιαίτερες συνθήκες του εκάστοτε χώρου και να αξιολογηθούν σε συνάρτηση με την

υπάρχουσα εμπειρία και τους κανονισμούς. Στον **Πίνακα 4.1** παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά εκκένωσης των υπόγειων χώρων και των λοιπών εγκαταστάσεων.

**Πίνακας 4.1** Σύγκριση υπόγειων χώρων και λοιπών εγκαταστάσεων ως προς τα χαρακτηριστικά εκκένωσης (Πηγή: Κυρίτσης, 2010)

Χαρακτηριστικά υπογείων έργων	Χαρακτηριστικά σε λοιπές εγκαταστάσεις
Ανοδική πορεία στα κλιμακοστάσια	Καθοδική πορεία σε κλιμακοστάσια
Ο καπνός κινείται προς τις εξόδους διαφυγής	Ο καπνός κινείται στο πλησιέστερο άνοιγμα, παράθυρο κτλ.
Ταχύτερη αύξηση θερμοκρασίας για την ίδια καύσιμη ύλη	Μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας
Οι ένοικοι έχουν μικρή αίσθηση προσανατολισμού	Υπάρχει ευκολότερος προσανατολισμός και πιθανόν φυσικός φωτισμός
Οι ένοικοι έχουν την τάση να βγουν από την είσοδο - έξοδο που μπήκαν	Οι ένοικοι τείνουν να ακολουθούν τις πινακίδες και τη σήμανση
Αργεί να ξεκινήσει η εκκένωση	Η εκκένωση έχει μικρότερη καθυστέρηση έναρξης
Μεγαλύτερη κόπωση των ενοίκων λόγω ανόδου σε ράμπες και σκάλες	Λιγότερη κόπωση των ενοίκων

Για ένα υπόγειο έργο, οι διαθέσιμοι χρόνοι εκκένωσης παρατίθενται στον παρακάτω **Πίνακα 4.2**.

**Πίνακας 4.2** Διαθέσιμος χρόνος ανά περίπτωση ατυχήματος (Πηγή: Κυρίτσης, 2010)

Είδος ατυχήματος	Διαθέσιμος χρόνος σε λεπτά (t <sub>δ</sub> )	
Φωτιά	Χωρίς ιδιαίτερη πρόληψη	15
	Με επιπλέον σύστημα αερισμού ανάγκης	30
	Με εσωτερικούς διαχωρισμούς	45
Διαρροή τοξικών ουσιών	Ύπαρξη μόνο ανιχνευτών	15
	Επιπλέον, με σύστημα αερισμού ανάγκης	30
Πλημμύρα - εισροή υδάτων	45	
Γενική απειλή (π.χ. βόμβα)	15 - 30	
Σεισμός	30	
Βλάβη συστήματος αερισμού	Εξαρτάται	



Όσον αφορά τον  $t_8$  που αναφέρεται σε περίπτωση φωτιάς και στη διαρροή τοξικών ουσιών, για ακριβέστερο προσδιορισμό απαιτείται υπολογισμός καμπυλών χρόνων συγκέντρωσης για βασικά τοξικά προϊόντα, καπνό και θερμότητα σαν παράγωγα από τη φωτιά. Για τη χάραξη αυτών των καμπυλών, συνυπολογίζεται η συγκέντρωση, η θέση και η φύση των προς καύση υλικών που βρίσκονται στο χώρο. Ένας τρόπος για την ακριβή χάραξη αυτών των καμπυλών είναι η θεώρηση υποθετικών σεναρίων εκδήλωσης φωτιάς, λαμβάνοντας υπ' όψιν τη γεωμετρία του χώρου (όγκος, ύψος οροφής κ.α.) ή τη θεώρηση μιας φωτιάς σχεδιασμού. Όλοι οι υπολογισμοί των σεναρίων και της φωτιάς σχεδιασμού, έχουν σκοπό τον προσδιορισμό της κίνησης της φωτιάς, των συγκεντρώσεων των τοξικών παραγόντων, του καπνού και της θερμότητας. Αυτές οι παράμετροι συγκρίνονται με τα κριτήρια διαβίωσης μέσα στο χώρο που έχουν τεθεί αρχικά και προκύπτει ο διαθέσιμος χρόνος. Για τους σκοπούς αυτούς υπάρχουν λογισμικά προσομοίωσης που προβλέπουν τα αποτελέσματα εξάπλωσης φωτιάς σε συγκεκριμένο όγκο, ανάλογα με τα υλικά που βρίσκονται μέσα σε αυτά και ανάλογα με τα συστήματα πυρόσβεσης (sprinklers), αν υπάρχουν.

#### 4.2.2 Υπολογισμός απαιτούμενου χρόνου εκκένωσης $t_{\text{απ}}$

Ο απαιτούμενος χρόνος αναφέρεται στο χρόνο από τη στιγμή του ατυχήματος, μέχρι τη στιγμή που και ο τελευταίος ένοικος των εγκαταστάσεων φτάσει σε ασφαλές μέρος (τοποθεσίας αναφοράς) (Candy & Chow, 2006).

Ο χρόνος  $t_{\text{απ}}$  διακρίνεται σε τέσσερις ξεχωριστούς χρόνους, οι οποίοι με τη σειρά τους εξαρτώνται από τα φυσικά χαρακτηριστικά των ενοίκων και τη συμπεριφορά τους, σε συνάρτηση με τις διαθέσιμες διατάξεις ασφαλείας.

Ονομαστικά οι χρόνοι που αποτελούν αθροιστικά τον απαιτούμενο χρόνο εκκένωσης είναι, πρώτον, ο χρόνος εντοπισμού  $t_{\text{det}}$ , που είναι ο χρόνος από τη στιγμή εκδήλωσης του συμβάντος μέχρι τη στιγμή που γίνεται αντιληπτό από τους εργαζομένους ή κάποιον αισθητήρα. Δεύτερον, ο χρόνος συναγερμού  $t_{\text{ai}}$ , που είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από τον εντοπισμό μέχρι τη σήμανση του συναγερμού για εκκένωση. Πολλοί ερευνητές και εμπειρικά μοντέλα ενσωματώνουν το χρόνο συναγερμού στο χρόνο εντοπισμού, όμως στην περίπτωση υπογείου χώρου ο χρόνος αυτός είναι διαφορετικός, διότι εμπλέκεται και το στάδιο της απόφασης για εκκένωση μέχρι την ενεργοποίηση του συναγερμού και την ειδοποίηση του πληθυσμού. Τρίτον, είναι ο χρόνος πριν την μετακίνηση των ενοίκων (pre-movement time)  $t_{\text{pre}}$ , ο οποίος αποτελείται από δύο συνιστώσες, το χρόνο αναγνώρισης του σήματος της εκκένωσης και το χρόνο ανταπόκρισης. Ο χρόνος  $t_{\text{pre}}$ , αναφέρεται μέχρι τη στιγμή που ξεκινάει ο πρώτος άνθρωπος να κινείται προς κάποια έξοδο κινδύνου. Τέλος, υπάρχει και ο χρόνος κίνησης των ενοίκων προς την τελική έξοδο και την επίτευξη της εκκένωσης  $t_e$ , ο οποίος είναι ο χρόνος που χρειάζεται μέχρι και ο τελευταίος ένοικος να εξέλθει από την τελική έξοδο προς ασφαλές μέρος.

Κάθε χρόνος επηρεάζεται από συγκεκριμένες παραμέτρους οι οποίες παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.3**.

**Πίνακας 4.3** Παράγοντες που επηρεάζουν τους συντελεστές του απαιτούμενου χρόνου εκκένωσης (Πηγή: Proulx G. , Movement of People: The Evacuation Timing, 2002, Zuccaro, 2009)

Κατηγορία Χρόνου	Παράγοντας Επιρροής
$t_{det} + t_a$	Ανιχνευτές, αισθητήρες, πυκνότητα ενοίκων, θερμοκρασία ενεργοποίησης, χώρος επιρροής αισθητήρων - κάλυψη, είδος δραστηριότητας ενοίκων, χαρακτηριστικά φωτιάς
$t_{pre}$	Εκπαίδευση ενοίκων, σύστημα συναγερμού, βαθμός εξοικείωσης
$t_e$	Θέση φωτιάς, αριθμός εξόδων, μήκη διαδρόμων, πληθυσμός, πλάτη εξόδων, συμπεριφορά ενοίκων, ταχύτητα ενοίκων, διατάξεις διάσωσης, βάθος υπερκειμένου υπογείου χώρου

Στην περίπτωση της φωτιάς, η στιγμή της "ανάφλεξης" είναι η στιγμή που λαμβάνει χώρα το περιστατικό της πυρκαγιάς. Από αυτή τη στιγμή υπολογίζεται ο χρόνος μέχρι τον εντοπισμό της φωτιάς. Ο χρόνος εντοπισμού μπορεί να διαρκέσει από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι έως μερικές ώρες, ανάλογα με τον τύπο της φωτιάς και τις συσκευές εντοπισμού που υπάρχουν στις εγκαταστάσεις. Ακόμα, πρέπει να υπολογίζεται και ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ εντοπισμού και ενεργοποίησης του συναγερμού. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα δύο αυτά γεγονότα (εντοπισμός και συναγερμός) γίνονται ταυτόχρονα, αλλά συνήθως υπάρχει κάποια καθυστέρηση, όπως για παράδειγμα αν οι εργαζόμενοι πρέπει να ενεργοποιήσουν χειροκίνητα το σήμα συναγερμού (Proulx G., 1995).

#### **Χρόνος Εντοπισμού $t_{det}$**

Σε ένα αυτόματο σύστημα ο χρόνος εντοπισμού μιας φωτιάς ή μιας διαρροής εξαρτάται από την ευαισθησία του συστήματος, οπότε αυτός ο χρόνος μπορεί να προκύψει από τις προδιαγραφές του συστήματος χωρίς περαιτέρω μελέτη. Αν δεν υπάρχει τέτοιο σύστημα στο χώρο, ο χρόνος εντοπισμού μπορεί να εξαχθεί από το σχεδιασμό των σεναρίων πυρκαγιάς. Κάποια χαρακτηριστικά που μπορεί να επηρεάσουν το χρόνο εντοπισμού είναι τα παρακάτω (Zuccaro, 2009):

- Χαρακτηριστικά ενοίκων: ικανότητα αντίληψης και δραστηριότητες που μπορεί να τις επηρεάσουν
- Χαρακτηριστικά εγκατάστασης
- Χαρακτηριστικά φωτιάς: ταχύτητα εξάπλωσης, καπνός κ.α.

Για υπόγειους χώρους που έχουν κατασκευαστεί με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων, υπάρχουν περιοχές μειωμένης αντίληψης και ο χρόνος εντοπισμού κάποιας βλάβης ή συμβάντος από τον άνθρωπο αυξάνεται. Γενικά ο χρόνος εντοπισμού παρουσιάζεται στον **Πίνακα 4.4**.

**Πίνακας 4.4** Χρόνοι  $t_{det}$  ανά κατηγορία συστήματος ανίχνευσης (Κυρίτσης, 2010)

Κατηγορία συστήματος	Χρόνος εντοπισμού (min)
Αυτόματο σύστημα ανίχνευσης	1
Απουσία αυτόματου συστήματος ανίχνευσης	2

**Χρόνος Συναγερμού  $t_{a1}$** 

Ο χρόνος συναγερμού εξαρτάται αφενός από το σχεδιασμό του σχεδίου εκκένωσης, δηλαδή την απόφαση για εκκένωση του χώρου και τον τρόπο που προβλέπει την εκπομπή του σήματος εκκένωσης και αφετέρου από το σχεδιασμό αντίδρασης του συστήματος ανίχνευσης. Εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν σύστημα που οι αισθητήρες είναι ρυθμισμένοι να εντοπίζουν θερμότητα, τοξικές ουσίες, καπνό και μεταφέρουν τα δεδομένα σε κεντρικό υπολογιστή, όπου λαμβάνεται η απόφαση εκκένωσης βάση λογισμικού ανήκουν στην Κατηγορία 1. Επίσης, ο χρόνος που μεσολαβεί από τον εντοπισμό μέχρι το συναγερμό είναι μηδενικός. Στους χώρους Κατηγορίας 2 υπάρχει σύστημα ανίχνευσης, αλλά ο γενικός συναγερμός και η ειδοποίηση για εκκένωση δεν ακολουθεί άμεσα, καθώς μια ειδοποίηση κατευθύνεται πρώτα στο κέντρο ελέγχου και ανάλογα με τη στρατηγική του σχεδίου εκκένωσης για κάθε περίπτωση γίνεται αξιολόγηση και δίνεται ή όχι το σήμα γενικού συναγερμού εκκένωσης. Τέλος, στην Κατηγορία 3, το σύστημα συναγερμού δίνεται χειροκίνητα από τοπικό χειριστήριο κοντά στο συμβάν, από κάποιο άνθρωπο στο χώρο που το αντιλαμβάνεται, με αποτέλεσμα το εύρος του χρόνου που απαιτείται να ποικίλει ως προς το είδος των εργαζομένων και των ενοίκων γενικότερα (ηλικία, εκπαίδευση, μόνιμος ή επισκέπτης του χώρου) (Πίνακας 4.5).

**Πίνακας 4.5** Χρόνοι  $t_{a1}$  ανά κατηγορία συστήματος συναγερμού (Πηγή: Zuccaro, 2009, Κυρίτσης, 2010)

Κατηγορία συστήματος συναγερμού	Χρόνος συναγερμού (min)
Κατηγορία 1	1
Κατηγορία 2	2-5
Κατηγορία 3	Πλειοψηφία μόνιμων ενοίκων: min 5
	Πλειοψηφία επισκεπτών: min 6

Έχει αναφερθεί ότι υπάρχουν οι συνιστώσες αναγνώρισης και ανταπόκρισης. Κατά τη διάρκεια αναγνώρισης του συναγερμού οι ένοικοι συνεχίζουν τις δραστηριότητές τους με τις οποίες απασχολούνταν πριν τη σήμανση συναγερμού. Υπάρχουν συγκεκριμένες δράσεις που μειώνουν τον χρόνο αναγνώρισης μέχρι ελαχιστοποίησης και είναι:

- το εγκατεστημένο σύστημα πρέπει να προσφέρει συγκεκριμένες οδηγίες ανάλογα με τον τύπο συναγερμού
- η σήμανση του συναγερμού πρέπει να ακολουθείται με φωνητικές οδηγίες για να αποσπάσουν την προσοχή των ενοίκων

- μαγνητοφωνημένα μηνύματα χρησιμοποιούνται ανάλογα με τον τύπο του συναγερμού
- η ειδοποίηση εκείνων των ενοίκων-εργαζομένων που είναι επιφορτισμένοι με την εκκένωση, ώστε αυτοί να αναλάβουν δράση σε ειδικούς χώρους, όπως είναι οι υπόγειοι.

Κατά τη διάρκεια του χρόνου ανταπόκρισης οι ένοικοι αντιδρούν, αλλά δεν έχουν ξεκινήσει για την εκκένωση. Υπάρχουν παραδείγματα συμπεριφορών των ενοίκων που κάνουν συγκεκριμένες πράξεις κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης φάσης και είναι :

- διερεύνηση συμπεριφοράς, συμπεριλαμβάνοντας προσδιορισμό προέλευσης συναγερμού, αξιοπιστία και επίπεδο σημαντικότητας
- σταμάτημα μηχανημάτων / οχημάτων φόρτωσης
- συγκέντρωση σε ομάδες
- αντίδραση και καταπολέμηση φωτιάς (κάποιοι από τους ενοίκους)
- προσπάθεια να προσδιοριστεί ο κατάλληλος δρόμος διαφυγής
- ενημέρωση και ειδοποίηση άλλων

#### **Χρόνος πριν τη μετακίνηση $t_{pre}$**

Ο χρόνος πριν την μετακίνηση  $t_{pre}$  είναι αυτός που τυγχάνει σημαντικής διαφοροποίησης ανάλογα με τη σύνθεση του πληθυσμού, ειδικά σε ένα υπόγειο έργο. Έτσι, εκτός από τον αριθμό των ανθρώπων, που παίζει ρόλο όσον αφορά την αντίδρασή τους, σημαντικό είναι ακόμα το φύλο και η ηλικία. Από έρευνες που έχουν γίνει καταδεικνύεται ότι οι γυναίκες λαμβάνουν προστατευτικά μέτρα, ξεκινώντας παράλληλα γρηγορότερα την εκκένωση, ενώ οι άντρες τείνουν να καθυστερούν προσπαθώντας να αντιμετωπίσουν τον κίνδυνο φωτιάς. Η ηλικία είναι ένας άλλος παράγοντας, καθώς το προχωρημένο της ηλικίας δυσκολεύει την αναγνώριση του συναγερμού, ενώ αντίθετα οι νεότεροι, όταν αποφασίσουν να μετακινηθούν, το κάνουν γρηγορότερα και εντονότερα.

Οι παράγοντες αυτοί έχουν διερευνηθεί και έχει ανοίξει ένα πεδίο συγγραφής πολλών εργασιών. Συνοπτικά, στην παρούσα διδακτορική εργασία ακολουθήθηκαν οι εξής παραδοχές για την ανάλυση:

- Πριν την εκκένωση πρέπει να σταματήσουν δραστηριότητες αποθήκευσης ή μετακίνησης οχήματος
- Μικρή πιθανότητα ύπαρξης ανθρώπων με κινητικά ή πνευματικά προβλήματα
- Όλοι θα βρίσκονται σε εγρήγορση, καθώς είναι χώρος εργασίας (δεν θα κοιμούνται)
- Θα υπάρχουν συγκεκριμένοι ρόλοι και αρμοδιότητες, κάτι που βοηθάει στην καλή ανταπόκριση σε συναγερμούς
- Μικρή συχνότητα λανθασμένων συναγερμών
- Εξοικείωση – εκπαίδευση

Συγκεντρώνοντας στοιχεία βιβλιογραφίας, δημιουργούνται τρεις κατηγορίες ανάλογα με το σύστημα συναγερμού, οι οποίες θα ονομαστούν A1, A2 και A3, για να μην γίνει σύγχυση με τον χρόνο  $t_{a1}$  όπου η κατηγοριοποίηση αφορούσε τη λήψη απόφασης για εκκένωση. Αναλυτικά είναι οι εξής:

- Κατηγορία A1: παρέχονται σε πραγματικό χρόνο οδηγίες χρησιμοποιώντας φωνητικά μηνύματα από το κέντρο ελέγχου ή οδηγίες μαγνητοφωνημένες σε συνδυασμό με μέλη προσωπικού με διακριτικά, που κατευθύνουν τον κόσμο.
- Κατηγορία A2: μόνο μαγνητοφωνημένα μηνύματα
- Κατηγορία A3: σύστημα συναγερμού και σειρήνες με προσωπικό χωρίς σχετική εκπαίδευση.

Οι αντίστοιχοι χρόνοι δίνονται στον **Πίνακα 4.6**:

**Πίνακας 4.6** Χρόνοι  $t_{pre}$  ανά κατηγορία συστήματος συναγερμού (Πηγή: Proulx G. , Movement of People: The Evacuation Timing, 2002, British Standard Institutue, 1991)

Τύπος Χρήσης Χώρου	Κατηγορία A1 (min)	Κατηγορία A2 (min)	Κατηγορία A3 (min)
Γραφεία σε Υπόγειο	1	3	4-5
Χώρος Αποθήκευσης σε Υπόγειο	2	3	5-6
Χώρος Επισκεπτών (αραιή συνάθροιση)	1	3	5
Χώρος Επισκεπτών (πυκνή συνάθροιση)	1	3	4-5

#### Χρόνος κίνησης για εκκένωση $t_e$

Ουσιαστικά είναι ο πραγματικός χρόνος κίνησης των ενοίκων για εκκένωση προς μια ασφαλή τοποθεσία. Ο χρόνος αυτός επηρεάζεται αφενός από τον τύπο και την ποσότητα του πληθυσμού (των ενοίκων) που βρίσκονται στο χώρο και αφετέρου από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του χώρου (πλάτος οδούσεων διαφυγής, μήκος διαδρομής, πλάτος εξόδων, είδος σκάλας, ραμπών κ.α.).

Επίσης, προκύπτει ότι ο χρόνος  $t_e$  εξαρτάται από τρεις παράγοντες (Nelson & Mowrer, Emergency Movement, 2002):

- Χρόνο κίνησης, δηλαδή τον μέσο χρόνο διάνυσης της όδευσης διαφυγής
- Χρόνο δαπανούμενο σε ουρά
- Χρόνο για κίνηση της ροής διαμέσου εξόδων

Για να προσδιοριστούν οι τρεις αυτοί παράγοντες, λαμβάνονται υπόψη τρία στοιχεία τα οποία είναι: η ταχύτητα βαδίσματος, η ειδική ροή ανθρώπων και η παροχή ανθρώπων κατά τη διέλευση από την έξοδο κινδύνου.

Για να ολοκληρωθεί μια ανάλυση προσδιορισμού χρόνου εκκένωσης, χρειάζεται να γίνει μια παράθεση σημαντικών στοιχείων που έχουν εντοπιστεί σε πολλαπλές έρευνες, επικεντρώνοντας σε κινήσεις ανθρώπων σε καταστάσεις εκκένωσης. Οι παρατηρήσεις ισχύουν και σε υπόγειους χώρους (Κυρίτης, 2010):

- Ο πανικός είναι (όσο και αν έχει δαιμονοποιηθεί) ένα σχετικά σπάνιο γεγονός σε φωτιές. Σε έκτακτες καταστάσεις τείνουν να επικρατούν κανονικές συμπεριφορές και σωστές επιλογές οδών διαφυγής .
- Η συμπεριφορά των ανθρώπων τείνει να γίνει αλτρουιστική και λογική.
- Μετά τη σήμανση συναγερμού ή την εμφάνιση καπνού, οσμών κ.α., οι άνθρωποι συχνά αγνοούν αυτά τα σημάδια και ερευνούν την αιτία, σπαταλώντας χρόνο, για να εκτιμήσουν τη σοβαρότητα της κατάστασης. Σε ένα υπόγειο χώρο θα σπαταλήσουν λιγότερο χρόνο για κάτι τέτοιο λόγω μεγαλύτερης ανασφάλειας που εμπνέει το περιβάλλον.
- Όταν αντιμετωπίζουν έντονες καταστάσεις όπου ο χρόνος λήψης αποφάσεων είναι μικρός, οι άνθρωποι πιθανότερα θα κινηθούν επιλέγοντας την πιο οικεία διαδρομή για έξοδο.
- Η εκκένωση και γενικότερα η ανταπόκριση σε φωτιά (ή άλλο ατύχημα), είναι συχνά και κοινωνική αντίδραση. Οι άνθρωποι τείνουν να δρουν ως ομάδα και να επιχειρούν να φύγουν με άλλους που σχετίζονται ή γνωρίζουν.
- Προβλήματα που συναντώνται σε κανονική κατάσταση λειτουργίας του χώρου, θα μεγιστοποιούνται και θα προκαλούν έντονες καταστάσεις σε φάση εκκένωσης (χαλασμένες επικοινωνίες, προβλήματα κυκλοφορίας, μπλοκαρισμένες έξοδοι κ.α.).

Με τα παραπάνω στοιχεία και παραδοχές, καθώς και με τη χρήση εμπειρικών και μαθηματικών μοντέλων, είναι δυνατός ο υπολογισμός του χρόνου κίνησης υπολογίζοντας, όπως προαναφέρθηκε, την ταχύτητα βαδίσματος, την ειδική ροή, το χρόνο διέλευσης και τέλος (σε περίπτωση φωτιάς) την επιρροή του καπνού στην κίνηση.

#### **Χρόνος Ασφαλείας $t_{safety}$**

Ο χρόνος ασφαλείας δίνει το περιθώριο ασφαλείας που υπάρχει μεταξύ διαθέσιμου και απαιτούμενου χρόνου εκκένωσης. Αφού υπολογιστεί ο  $t_{opt}$  σαν άθροισμα των επί μέρους χρόνων, βάση υπάρχουσας γεωμετρίας, διατάξεων και πληθυσμών και εντοπιστεί από σχετικό πίνακα ο διαθέσιμος χρόνος  $t_\delta$  (**Πίνακας 4.2**) ή προκύψουν από προσομοίωση, τότε η διαφορά  $t_\delta - t_{opt} > 0$ , δίνει τον χρόνο ασφαλείας.

Αν έχουν ληφθεί υπ' όψη και οι δυσμενέστερες συνθήκες (μπλοκάρισμα εξόδων, μέγιστοι πληθυσμοί, καπνός) τότε ο χρόνος  $t_{safety} > 0$  θα δίνει με πραγματική προσέγγιση το περιθώριο ασφαλείας για όλο το έργο σε περίπτωση ανάγκης εκκένωσης μετά από κάποιο έκτακτο συμβάν.

Όμως, τα τελευταία χρόνια όλοι αυτοί οι παράγοντες έχουν ενσωματωθεί μέσα σε ηλεκτρονικά υπολογιστικά προγράμματα, τα οποία προσομοιώνουν τις ειδικές συνθήκες στο χώρο και παραθέτουν τα τελικά αποτελέσματα σε μορφή αρχείου αλλά και σε τρισδιάστατη εικόνα. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι τα:

- EXODUS
- STEPS
- PathFinder
- Legion
- EXITT

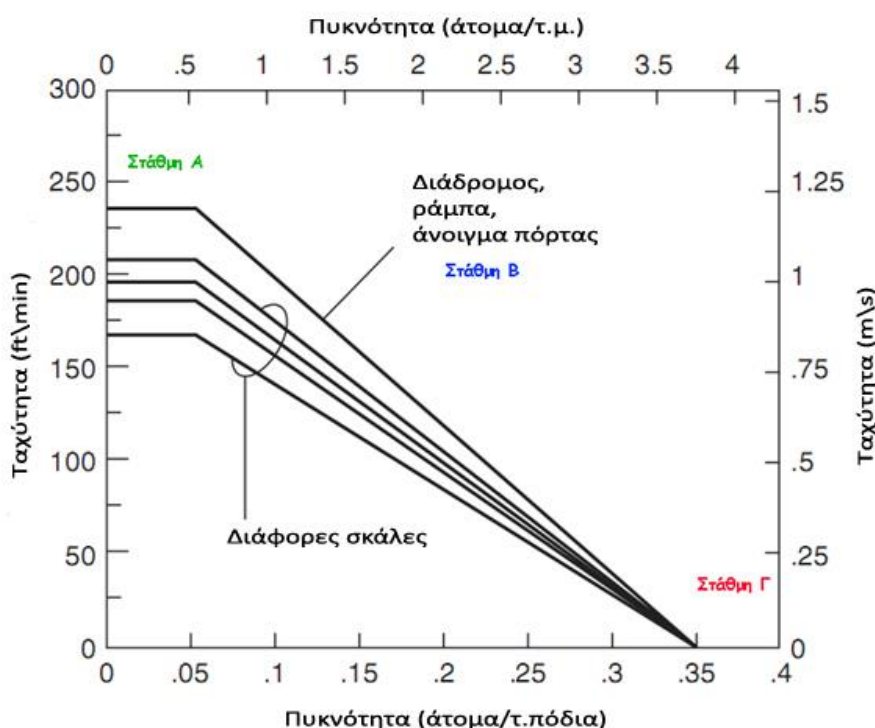
Καθένα από τα λογισμικά αυτά έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του, καθώς και τη δυνατότητα συνεργασίας ή όχι με αντίστοιχες εφαρμογές προσομοίωσης συγκέντρωσης και κίνησης φωτιάς, καπνού ή άλλων αερίων.

Παρόλα αυτά, θα γίνει μια συνοπτική αναφορά στον υπολογισμό του χρόνου κίνησης με βάση την αναλυτική μέθοδο και τα μαθηματικά μοντέλα.

#### 4.2.3 Ανάλυση εκτίμησης παραμέτρων χρόνου κίνησης $t_e$

##### Υπολογισμός ταχύτητας βαδίσματος κατά την εκκένωση

Η ταχύτητα βαδίσματος θεωρείται μέση, αναφέρεται σε όλη την ομάδα εκκένωσης μέσω μιας δεδομένης όδευσης διαφυγής, αναφέρεται σε οριζόντιο ή σχεδόν οριζόντιο δάπεδο και σε σκάλες, στις οποίες λόγω της φύσης του έργου έχουμε μόνο άνοδο. Το **Διάγραμμα 4.1**, παρουσιάζει την ταχύτητα βαδίσματος συναρτήσει της πυκνότητας των ενοίκων.



**Διάγραμμα 4.1** Ταχύτητες βαδίσματος κατά τη διαδικασία εκκένωσης συναρτήσει της πυκνότητας (Πηγή: Nelson & Mowrer, Emergency Movement, 2002)

Με βάση το **Διάγραμμα 4.1** δημιουργούνται τρεις στάθμες εξυπηρέτησης ως εξής:

A: Κίνηση πεζών χωρίς καμία επιρροή μεταξύ τους και καμία αλληλεπίδραση μεταξύ του προσωπικού χώρου του κάθε πεζού.

B: Κίνηση πεζών μέχρι το όριο όπου υπάρχει ανεκτικότητα μεταξύ τους και τα όρια των προσωπικών τους χώρων είναι ελάχιστα

Γ: Υπάρχει έντονος συνωστισμός, ενδεχομένως να γίνεται κάποια κίνηση, αλλά θεωρείται μηδενική.

Συνεπώς, αν η πυκνότητα του πληθυσμού είναι μικρότερη από 0,54 άτομα/ $m^2$ , τότε οι ένοικοι θα κινούνται με τη δική τους ταχύτητα (**Πίνακας 4.7**), ανεξαρτήτως της κίνησης των γειτονικών ατόμων. Αν η πυκνότητα ξεπερνά τα 3,8 άτομα/ $m^2$ , τότε δεν παρατηρείται καμία κίνηση μέχρι τη στιγμή που ικανός αριθμός ατόμων θα φύγει από την πυκνή περιοχή και θα

μειωθεί η τοπική πυκνότητα. Τέλος, μεταξύ των πυκνοτήτων 0,54 και 3,8 άτομα/m<sup>2</sup>, η σχέση μεταξύ ταχύτητας και πυκνότητας είναι μια γραμμική εξίσωση

$$S = k - akD \quad (\text{Εξίσωση 4.1})$$

όπου:

- S = ταχύτητα
- D = πυκνότητα των ατόμων ανά μονάδα επιφάνειας
- K= σταθερά, στους πίνακες θα δίνεται k<sub>1</sub> για ταχύτητα σε ft/m και k<sub>2</sub> για ταχύτητα σε m/s για να αποφευχθεί η σύγχυση, αλλά και τα δύο αναφέρονται στο k της εξίσωσης (**Πίνακας 4.8**)
- a = 2,86 για ταχύτητα σε πόδια/λεπτό και 0,266 για ταχύτητα σε μέτρα/δευτερόλεπτο (**Nelson & Mowrer, Emergency Movement, 2002; Proulx G. , Movement of People: The Evacuation Timing, 2002**).

**Πίνακας 4.7** Μέγιστες ταχύτητες διαφυγής (ανεμπόδιστες) (Πηγή: Nelson & Mowrer, Emergency Movement, 2002)

Στοιχείο Διαδρομής Εξόδου		ft/m	m/s
Διάδρομος, ράμπα, άνοιγμα πόρτας		235	1.19
Σκάλες			
ύψος σκαλοπατιού (in)	πλάτος σκαλοπατιού (in)		
7.5	10	167	0.85
7.0	11	187	0.95
6.5	12	196	1.00
6.5	13	207	1.05

**Πίνακας 4.8** Σταθερά k (Πηγή: Nelson & Mowrer, Emergency Movement, 2002)

Στοιχείο Διαδρομής Εξόδου		k1	k2
Διάδρομος, ράμπα, άνοιγμα πόρτας		275	1.4
Σκάλες			
ύψος σκαλοπατιού (in)	πλάτος σκαλοπατιού (in)		
7.5	10	196	1.00
7.0	11	212	1.08
6.5	12	229	1.16
6.5	13	242	1.23

Όλοι οι παραπάνω χρόνοι και υπολογισμοί αναφέρονται σε ενήλικες χωρίς αναπηρία. Για να θεωρηθεί μια μελέτη ρεαλιστική πρέπει να υπολογίσει και αυτούς τους παράγοντες. Για παράδειγμα, έχει υπολογιστεί ότι η ταχύτητα βαδίσματος ηλικιωμένων και παιδιών μέχρι 6 ετών είναι περίπου 0,45m/s (Proulx G. , Evacuation time and movement in apartment buildings, 1995). Ο **Πίνακας 4.9** δίνει τις αναμενόμενες ταχύτητες για διαφόρους τύπους ανθρώπων σε επίπεδη επιφάνεια και ο **Πίνακας 4.10** σε κεκλιμένη επιφάνεια (σκάλες).



Πρέπει να σημειωθεί ότι ο **Πίνακας 4.9** παρουσιάζει αποτελέσματα μελέτης που έγινε σε 155 άτομα με αναπηρία (ΑμεΑ), εκ των οποίων οι 121 μπορούσαν να κινούνται χωρίς βοήθεια ενώ οι υπόλοιποι 34 χρειάστηκαν βοήθεια για τη μετακίνηση τους κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Επιπροσθέτως, ο **Πίνακας 4.10** παρουσιάζει στοιχεία από 30 άτομα (διαλογή μέσω δοκιμασίας) με αναπηρία και 8 άτομα που δεν συμπεριλαμβάνονται στα ΑμεΑ.

**Πίνακας 4.9** Ταχύτητα σε οριζόντια επιφάνεια (Πηγή: Proulx G. , Movement of People: The Evacuation Timing, 2002)

Ομάδα ατόμων (αριθμός)	Μέση ταχύτητα (m/s)	Τυπική απόκλιση (m/s)	Εύρος (m/s)	Ενδοτεταρτομοριακό εύρος (m/s)
Όλες οι αναπηρίες (107)	1.00	0.42	0.10–1.77	0.71–1.28
Με κινητικό πρόβλημα (101)	0.80	0.37	0.10–1.68	0.57–1.02
Χωρίς βοήθεια (52)	0.95	0.32	0.24–1.68	0.70–1.02
Με πατερίτσα (6)	0.94	0.3	0.63–1.35	0.67–1.24
Με μπαστούνι (33)	0.81	0.38	0.26–1.60	0.49–1.08
Με χρήση Π (10)	0.57	0.29	0.10–1.02	0.34–0.83
Χωρίς κινητική ανεπάρκεια (6)	1.25	0.32	0.82–1.77	1.05–1.34
Ηλεκτρικό καρεκλάκι (2)	0.89	—	0.85–0.93	—
Χειροκίνητο καρεκλάκι με βοήθεια (12)	0.69	0.35	0.13–1.35	0.38–0.94
Χειροκίνητο καρεκλάκι με βοήθεια (16)	1.30	0.34	0.84–1.98	1.02–1.59
Με ιατρική βοήθεια (18)	0.78	0.34	0.21–1.40	0.58–0.92

**Πίνακας 4.10** Ταχύτητα σε σκάλες (Πηγή: Proulx G. , Movement of People: The Evacuation Timing, 2002)

Ομάδα ατόμων (αριθμός)	Μέση ταχύτητα (m/s)	Τυπική απόκλιση (m/s)	Εύρος (m/s)	Ενδοτεταρτομοριακό εύρος (m/s)
<b>Άνοδος</b>				
Με κινητικό πρόβλημα (30)	0.38	0.14	0.13–0.62	0.26–0.52
Χωρίς βοήθεια (19)	0.43	0.13	0.14–0.62	0.35–0.55
Με πατερίτσα (1)	0.22	—	0.13–0.31	0.26–0.45
Με μαστούνι (9)	0.35	0.11	0.18–0.49	—
Με χρήση Π (1)	0.14	—	—	—
Χωρίς αναπηρία (8)	0.70	0.24	0.55–0.82	0.55–0.78
<b>Κάθοδος</b>				
Με κινητικό πρόβλημα (30)	0.33	0.16	0.11–0.70	0.22–0.45
Χωρίς βοήθεια (19)	0.36	0.14	0.13–0.70	0.20–0.47
Με πατερίτσα (1)	0.22	—	—	—
Με μαστούνι (9)	0.32	0.12	0.11–0.49	0.24–0.46
Με χρήση Π (1)	0.16	—	—	—
Χωρίς αναπηρία (8)	0.70	0.26	0.45–1.10	0.53–0.90

#### Υπολογισμός ειδικής ροής $F_s$

Ειδική ροή  $F_s$ , είναι η ροή των ενοίκων που εκκενώνουν το χώρο χρησιμοποιώντας μια όδευση διαφυγής, ανά μονάδα ενεργού πλάτους, ανά μονάδα χρόνου (άτομα/s/m) (Nelson & Mowrer, Emergency Movement, 2002). Υπολογίζεται ως το γινόμενο της ταχύτητας επί την πυκνότητα:

$$F_s = SD \quad (\text{Εξίσωση 4.2})$$

όπου:

- $F_s$  = ειδική ροή
- $D$  = πυκνότητα των ατόμων ανά μονάδα επιφάνειας
- $S$  = ταχύτητα

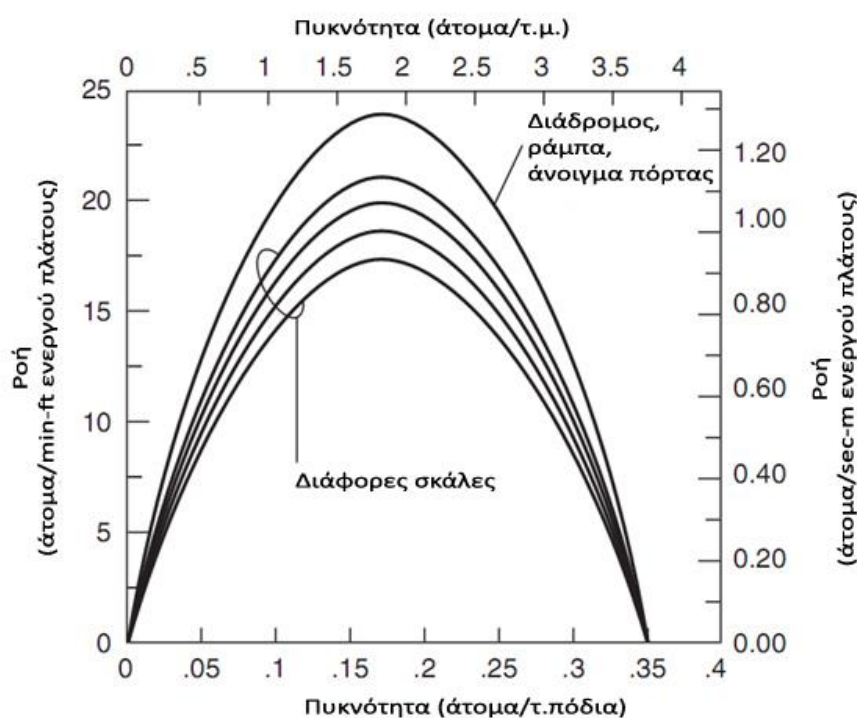
Συνδυάζοντας την Εξίσωση 4.1 με την Εξίσωση 4.2 προκύπτει:

$$F_s = (1 - aD)kD \quad (\text{Εξίσωση 4.3})$$

Η μέγιστη ειδική ροή (που εμφανίζεται όταν  $D = 1,9$  άτομα/μ<sup>2</sup>) σε μια οδό διαφυγής παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.11 και η σχέση της με την πυκνότητα φαίνεται στο Διάγραμμα 4.2.

Πίνακας 4.11 Μέγιστη ειδική ροή  $F_s$  (Πηγή: Nelson & Mowrer, Emergency Movement, 2002)

Στοιχείο Διαδρομής Εξόδου		Άτομα/m/ft ενεργού πλάτους	Άτομα/s/m ενεργού πλάτους
Διάδρομος, ράμπα, άνοιγμα πόρτας		24.0	1.3
Σκάλες			
ύψος σκαλοπατιού (in)	πλάτος σκαλοπατιού (in)		
7.5	10	17.1	0.94
7.0	11	18.5	1.01
6.5	12	20.0	1.09
6.5	13	21.2	1.16



Διάγραμμα 4.2 Ειδική ροή συναρτήσει της πυκνότητας (Πηγή: Nelson & Mowrer, Emergency Movement, 2002)

## Υπολογισμός ικανότητας ροής – Παροχή Q

Ορίζεται ως ο αριθμός των ανθρώπων που διέρχονται μέσα από μία διατομή όδευσης διαφυγής ανά δευτερόλεπτο. Προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την ειδική ροή  $F_s$  με το ενεργό πλάτος  $W_e$  δηλαδή:

$$Q = F_s W_e \quad (\text{Εξίσωση 4.4})$$

όπου:

- $Q$  = παροχή
- $F_s$  = ειδική ροή
- $W_e$  = ενεργό πλάτος

Εδώ πρέπει να γίνει μία σημείωση για την έννοια του ενεργού πλάτους. Από πειραματικές μετρήσεις έχει βρεθεί ότι οι πεζοί τείνουν να μην φτάνουν ακριβώς σε επαφή με τα τοιχώματα ή άλλα εμπόδια κατά μήκος μιας όδευσης διαφυγής κατά την κίνησή τους. Το πλάτος μείωσης από κάθε πλευρά εξαρτάται από τον τύπο του εμποδίου κατά μήκος της όδευσης. Εδώ θα χρησιμοποιείται η μέγιστη παρατηρούμενη τιμή 20 εκ. για κάθε πλευρά καθώς συνήθως οι τοίχοι των διαδρόμων διαθέτουν μεγάλη τραχύτητα (εκτοξευμένο σκυρόδεμα) σε περίπτωση που η όδευση καταλαμβάνει όλο το πλάτος διαδρόμου. Αλλά ακόμη και σε διάδρομο όδευσης διαφυγής νοητό μέσα σε διάδρομο υπογείου χώρου, υπάρχει περίπτωση να υπάρχουν σταθμευμένα μηχανήματα ή οχήματα μεταφοράς φορτίων (κακή πρόληψη και συντήρηση οδεύσεων διαφυγής). Έτσι το ενεργό πλάτος  $W_e$  θα είναι το πλάτος της όδευσης διαφυγής σχεδιασμού μείον το διπλάσιο του πλάτους μείωσης.

Συνδυάζοντας την **Εξίσωση 4.2** με την **Εξίσωση 4.3** προκύπτει:

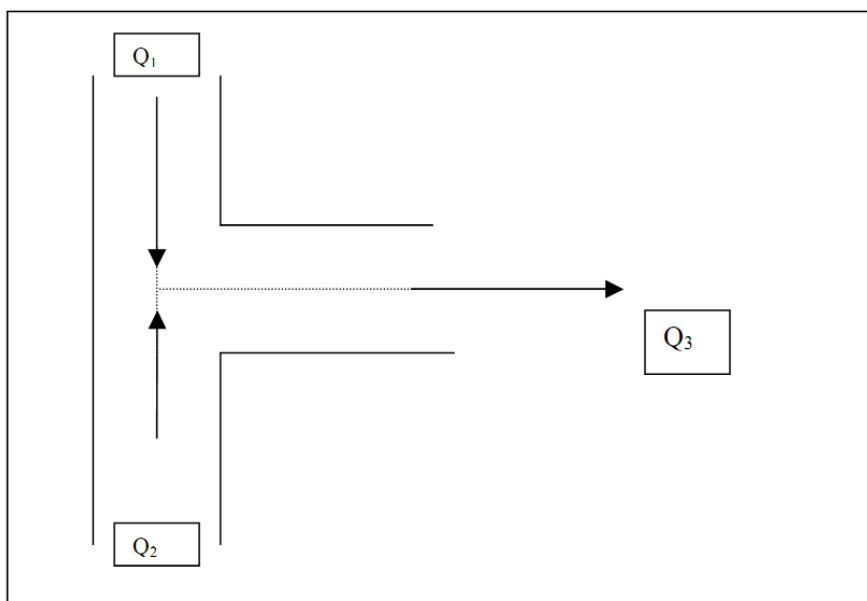
$$Q = (1 - aD)kDW_e \quad (\text{Εξίσωση 4.5})$$

Για την παροχή ανάλογα με το σχεδιασμό των οδεύσεων διαφυγής είναι δυνατόν να προκύψουν δύο ειδικές περιπτώσεις, των οποίων η αντιμετώπιση παρουσιάζεται παρακάτω.

### A) Συμβολή παροχών εκκένωσης

Σύμφωνα με το **Σχήμα 4.2** η συνδυασμένη παροχή ανθρώπων  $Q_1$  και  $Q_2$  που εισρέει σε διασταύρωση ρευμάτων (κόμβος), είναι ίση με την παροχή ανθρώπων που εξέρχεται  $Q_3$ , δηλαδή :  $Q_1 + Q_2 = Q_3 \Rightarrow F_{s1} W_{e1} + F_{s2} W_{e2} = F_{s3} W_{e3}$  δηλαδή:

$$F_{s3} = \frac{F_{s1}W_{e1} + F_{s2}W_{e2}}{W_{e3}} \quad (\text{Εξίσωση 4.6})$$

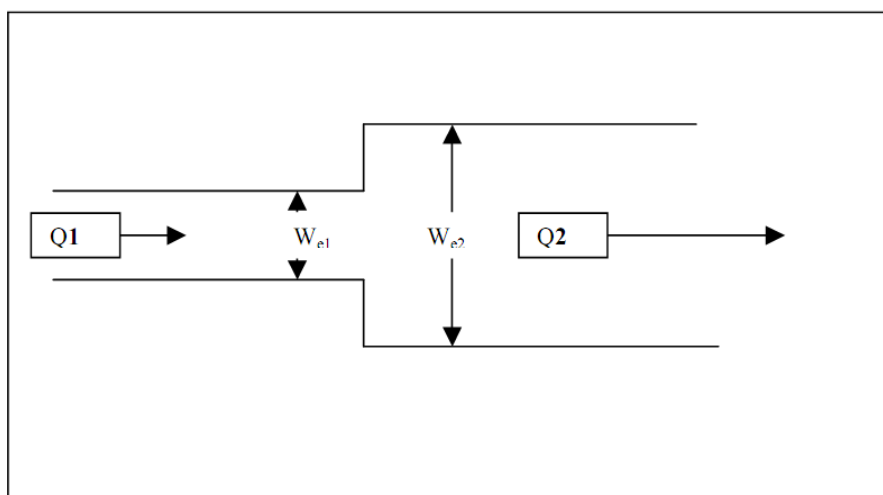


**Σχήμα 4.2** Συμβολή παροχών σε κόμβο (Πηγή: Zuccaro, 2009)

Η **Εξίσωση 4.6** ισχύει για διαδρόμους, ενώ μπορεί στη φάση ελέγχου της σχεδίασης των οδών διαφυγής να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί η παροχή της κύριας οδού διαφυγής ως το άθροισμα των τοπικών διαδρόμων που συγκλίνουν σε αυτήν (όπως γίνεται και στον ηλεκτρισμό με τους κανόνες του Kirchhoff). Ακόμη, για έλεγχο του χρόνου εκκένωσης σε περίπτωση ύπαρξης εμποδίου ή "απενεργοποίησης" μίας εξόδου, η συνολική παροχή θα προκύψει ως σύνολο διαφορετικών κλάδων οδεύσεων διαφυγής.

#### Β) Μεταβολή πλάτους οδεύσης διαφυγής

Όταν το πλάτος σε τμήμα οδεύσης αλλάζει, αναμένεται να αλλάζει και η ειδική ροή όπως στο **Σχήμα 4.3**.



**Σχήμα 4.3** Μεταβολή πλάτους σε οδεύση διαφυγής (Πηγή: Zuccaro, 2009)

Ισχύει  $Q_1 = Q_2 \Rightarrow F_{s1} W_{e1} = F_{s2} W_{e2}$ , δηλαδή

$$F_{s2} = F_{s1} \frac{W_{e1}}{W_{e2}}$$

(Εξίσωση 4.7)

### Επιρροή καπνού στην κίνηση

Όλη η προηγούμενη ανάλυση για τον υπολογισμό του χρόνου μετακίνησης  $t_e$  βασίστηκε σε κινήσεις πεζών σε καθαρό περιβάλλον χωρίς καπνό. Έχει γίνει η παραδοχή ότι θα λειτουργήσει, μετά τη λήψη ειδοποίησης από τους αισθητήρες, το αυτόματο σύστημα εξαερισμού έκτακτης ανάγκης και με αυτό τον τρόπο θα επαληθευθεί η παραδοχή καθαρού περιβάλλοντος για χρόνους που προβλέπονται στον **Πίνακα 4.6**. Σε περίπτωση που υπάρχει καπνός υπάρχει ψυχολογική και σωματική επιβάρυνση στα άτομα που εκκενώνουν. Σε ένα διάδρομο γεμάτο με καπνό που εξαπλώνεται, οι άνθρωποι τείνουν να γυρνάνε πίσω παρά να μπουν μέσα στον καπνό. Αυτό θα το κάνουν μόνο αν πίσω τους βλέπουν φλόγες φωτιάς. Άλλη συνέπεια σε περίπτωση αραιού καπνού και κίνησης μέσα σε αυτόν, είναι η μείωση ταχύτητας. Από μελέτες και σχετικές έρευνες μπορεί να γίνει χρήση των τιμών ταχυτήτων από τον **Πίνακα 4.12**.

**Πίνακας 4.12** Επιρροή καπνού στην ορατότητα και την ταχύτητα (Πηγή: Zuccaro, 2009)

Πυκνότητα Καπνού	Μείωση Ορατότητας	Επίδραση
Καμία	Καμία	Μέση ταχύτητα 1.2 m/s
Λίγος χωρίς ενόχληση	2 μέτρα	Μέση ταχύτητα 0.3 m/s
Ενοχλητική	Μειωμένη	Μέση ταχύτητα 0.3 m/s
Πυκνός	<3 μέτρα	30% των ανθρώπων γυρνάνε πίσω

#### 4.2.4 Υπολογισμός χρόνων εκκένωσης με προσομοιώματα υπολογιστών

Τα τελευταία 30 χρόνια έχουν γίνει πολλές έρευνες και έχουν γραφτεί εργασίες που αφορούν την εκκένωση χώρων (Κυρίτσης, 2010). Οι περιγραφές που έχουν γίνει αφορούν:

- Κίνηση ανθρώπων ως κινήσεις πεζών και πολλές φορές συμπεριλαμβάνουν άτομα με κινητικά προβλήματα
- Προσομοίωση εκκένωσης από ανθρώπους
- Προσομοίωση εξάπλωσης πυρκαγιών ανάλογα με το υλικό καύσης, και τη γεωμετρία του χώρου.

Κάνοντας μια ανασκόπηση των εργασιών για ανάπτυξη προσομοιώσεων, οι οποίες καταλήγουν σε πληθώρα λογισμικών που είναι σήμερα σε χρήση, ομαδοποιούνται ως εξής, εξελικτικά:

- Αρχική εμφάνιση προσομοιωμάτων με απλούς υπολογισμούς εφαρμόζοντας παραδοχές και περιγραφικό τρόπο
- Λογισμικά βασισμένα σε υδραυλικά μοντέλα με χρήση Η/Υ
- Εξελιγμένες εξισώσεις με χρήση Η/Υ που εφαρμόζονται σε άτομα για πραγματικό χρόνο
- Τελευταίας τεχνολογίας μοντέλα με Η/Υ που λαμβάνουν υπόψη τους περισσότερους δυνατούς παράγοντες.

Οι δυνατοί παράγοντες που υπεισέρχονται σε ένα μοντέλο εκκένωσης είναι:

- Γεωμετρία κτιρίου και κατόψεις δηλαδή πλάτος, αριθμός εξόδων, οδεύσεις διαφυγής, μήκη κ.α.
- Διαδικασίες που συνοδεύουν την εκκένωση (τρόπος συναγερμού, επίπεδο εκπαίδευσης, ρυθμίσεις αισθητήρων κ.α.)
- Συνθήκες περιβάλλοντος (καθαρό, ύπαρξη καπνού, τοξικά αέρια, σκοτάδι κ.α.)
- Στοιχεία συμπεριφοράς ατόμων (ανταπόκριση ταχύτητας, επιλογή διαδρομής, αναγνώριση κινδύνου)

Για να πραγματοποιηθεί μια μελέτη χωρίς να χρησιμοποιηθούν απλοποιημένες παραδοχές, πρέπει να γίνει χρήση προσομοίωση με υπολογιστή, ώστε να γίνει ρεαλιστική η διαδικασία εκκένωσης. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα μοντέλων τα οποία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε σχέση με τις δυνατότητες που προσφέρουν και έχουν την ανάλογη λογική λειτουργίας.

#### **Επιλογή κατάλληλου λογισμικού**

Τα μοντέλα - λογισμικά προσομοίωσης που κυκλοφορούν στην αγορά είναι πολλά και η επιλογή του καταλληλότερου είναι πολύπλοκη υπόθεση, καθώς από ότι φαίνεται δεν υπάρχει λογισμικό που είναι το βέλτιστο σε κάθε κατάσταση. Γενικά, λεπτομερέστερα και πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα ανταποκρίνονται σε πιο πολύπλοκα σύνολα στοιχείων εισόδου και μεγαλύτερο χρόνο υπολογισμών από υπολογιστή. Τα λογισμικά έχουν πολλές προκαθορισμένες εσωτερικές παραμέτρους. Σε κάθε περίπτωση πριν επιλεγεί ένα λογισμικό πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

- πληροφορίες και οδηγίες που το συνοδεύουν
- εφαρμογή σε ποικιλία χώρων
- μέθοδος προσομοίωσης: χωρίς συμπεριφορά, συμπεριφορά με συνθήκες, αναλογικά με εξισώσεις, τεχνητή νοημοσύνη
- στοιχεία προσομοίωσης φωτιάς
- οπτικοποίηση αποτελεσμάτων 2D – 3D
- επικύρωση, έλεγχος από άλλους και από άλλες εφαρμογές

Τέλος, πρέπει ο χρήστης να είναι εξοικειωμένος με την εσωτερική λειτουργία του λογισμικού που θα χρησιμοποιήσει. Πάντως, ο χρόνος που υπολογίζεται με την προσομοίωση είναι ο χρόνος μετακίνησης  $t_e$  και είναι ένα τμήμα του χρόνου εκκένωσης. Στην ανάλυση θα πρέπει να συνυπολογίζονται οι πιθανές αποκλίσεις και οι υπόλοιπες συνιστώσες του συνολικού χρόνου εκκένωσης.

#### **4.3 Συνωστισμός κατά την εκκένωση**

Όταν μεγάλος αριθμός ανθρώπων συγκεντρώνεται σε δημόσιους χώρους, όπως σε στάδια, σιδηροδρομικούς σταθμούς, εμπορικά κέντρα, αίθουσες συναυλιών και κινηματογράφους, η αντίδρασή τους σε πιθανές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης είναι πάντα ανησυχητική. Η αύξηση του συνωστισμού σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να προκαλέσει στους ανθρώπους την εκδήλωση συναισθημάτων όπως κλειστοφοβία, αίσθηση ασφυξίας κ.α. Η ταυτόχρονη ανησυχία για την επικείμενη κατάσταση έκτακτης ανάγκης, μπορεί να οδηγήσει σε πανικό.

Ο συλλογικός πανικός που προκαλείται σε οδεύσεις διαφυγής και στο μπλοκάρισμα των εξόδων διαφυγής, καθώς οι άνθρωποι ανταγωνίζονται για να ξεφύγουν, είναι αιτία τραυματισμών και θανάτων σε πολλές περιπτώσεις. Το παραπάνω πρόβλημα αυξάνεται σε περιπτώσεις αντιμετώπισης άμεσου κινδύνου (π.χ. φωτιά σε ορατό σημείο) και περιορισμό ή μικρή δυναμικότητα των εξόδων διαφυγής (Schofield, Drury, & Reicher, 2004).

#### 4.3.1 Η φυσική του συνωστισμού

Η φυσική των μεγάλων πληθυσμών είναι μια ενεργή περιοχή έρευνας σε πολλά πεδία, από τη δημόσια ασφάλεια μέχρι τις αλληλεπιδράσεις των πρωτεϊνών. Τα πλήθη συναντώνται σε πολλά μέρη: άνθρωποι που μπαίνουν σε στάδια, μπουτιλιάρια, μεταναστεύσεις των ζώων, και συνωστισμός μορίων μέσα σε κύτταρα.

Οι λόγοι για το συνωστισμό είναι τόσο πολλοί όσο και τα συμβάντα του, και περιλαμβάνουν την πυκνότητα των ανθρώπων, των ζώων ή των μορίων, τις στενές οδούς, τα έργα στους δρόμους, τα ατυχήματα, την έλλειψη ορατότητας, την κοινωνική πίεση (όταν οι άνθρωποι αμφιταλαντεύονται τείνουν να ακολουθούν άλλους), την αποφυγή κινδύνων (κοπάδια ζώων που αποφεύγουν τους κυνηγούς τους), περιορισμένα σημεία εξόδου (γκνου που διασχίζουν ποτάμια σε αβαθή κατά την μετανάστευση), πανικός (δραπετεύοντας από μια φωτιά), και ξαφνικές αλλαγές ταχύτητας (δημιουργία μπουτιλιάριατος) (Saunders, 2013).

Τα πλήθη είναι δυναμικές οντότητες. Πάνω από μια κρίσιμη τιμή πυκνότητας, ένα πλήθος κινείται ως ένα ρευστό αντί ως ένα άθροισμα ατόμων. Σε πυκνότητες περίπου 7 ανθρώπων ανά τετραγωνικό μέτρο, το πλήθος γίνεται σχεδόν μια ρευστή μάζα. Κρουστικά κύματα περνάνε μέσα από τα πλήθη και προκαλούν τη μετακίνηση ανθρώπων παρά τη θέλησή τους σε μεγάλες αποστάσεις, και κάποιοι μπορεί πραγματικά να μην πατάνε στο έδαφος.

Επιπλέον, ο άνθρωπος σε τέτοιες συνθήκες εκδηλώνει περίεργες συμπεριφορές, τις οποίες δεν έχει συνηθίσει λειτουργώντας υπό κανονικές συνθήκες. Τα άτομα μέσα στα πλήθη αλληλεπιδρούν με τους γείτονές τους. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις μπορούν να πάρουν έναν αριθμό μορφών. Κάποια άτομα σπρώχνουν ή τραβούν τους γείτονές τους για να μετακινηθούν μέσα στο πλήθος. Πολλοί σταματούν να δρουν ανεξάρτητα (αυτό είναι επίσης γνωστό ως η επίδραση της αγέλης). Άλλοι ενστικτωδώς αποφεύγουν την επαφή με άλλους ανθρώπους, το οποίο με όρους φυσικής μπορεί να αναλυθεί παρόμοια με την άπωση ομοειδών φορτίων. Οι συνοριακές συνθήκες είναι σημαντικές. Οι χωρικοί περιορισμοί μπορεί να αλλάξουν τη συμπεριφορά, σχηματίζοντας ή εμποδίζοντας τα πλήθη. Κατά τη διάρκεια των εκκενώσεων σε περίπτωση φωτιάς για παράδειγμα, ακόμη και σε ένα γεμάτο διάδρομο, οι άνθρωποι μπορεί να κινηθούν γρήγορα καθώς κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση. Ωστόσο, σταματήματα μπορεί να συμβούν στα σημεία εξόδου (όπου το πλήθος περιορίζεται από την πόρτα) και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές συνέπειες (Drury et.al., 2013, Saunders, 2013).

Ακόμα και σε μία φαινομενικά τακτική εκκένωση, χωρίς να υπάρχει άμεση επαφή με τον κίνδυνο, μπορεί να δημιουργηθεί συνωστισμός με τις διακυμάνσεις στην κίνηση και την ταχύτητα μερικών μόνο ενοίκων. Επομένως, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι διακυμάνσεις, γιατί χωρίς αυτές, τα μοντέλα αποτυγχάνουν να προβλέψουν τέτοια συμπεριφορά. Τα πλήθη μπορούν επίσης να μεταπέσουν από την ελεύθερη ροή σε σταμάτημα, πολύ γρήγορα. Η πρόβλεψη και ο χειρισμός του αυθόρμητου σχηματισμού συνωστισμού είναι ένα σοβαρό θέμα για τους πολεοδόμους, αλλά και για μηχανικούς ασφαλείας (Saunders, 2013).



Έχει γίνει πλέον ξεκάθαρο ότι η αποφυγή του συνωστισμού και κατά συνέπεια του πανικού, είναι βασικός στόχος όταν καταστρώνεται ένα σχέδιο εκκένωσης. Τέλος, επειδή τα προβλήματα στα οποία οδηγεί ο συνωστισμός εξαρτώνται άμεσα από τη συμπεριφορά που θα ακολουθήσει το πλήθος, καθιστά απρόβλεπτες τις συνθήκες που θα ακολουθήσουν, γι' αυτό και δεν μπορεί από μόνη της μια εφαρμογή προσομοίωσης τέτοιων συνθηκών να δώσει οριστικές απαντήσεις και 100% ρεαλιστικά αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό, η εμπειρία του μηχανικού και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων είναι μείζονος σημασίας.

## Κεφάλαιο 5. Αντικείμενο και μεθοδολογία της έρευνας

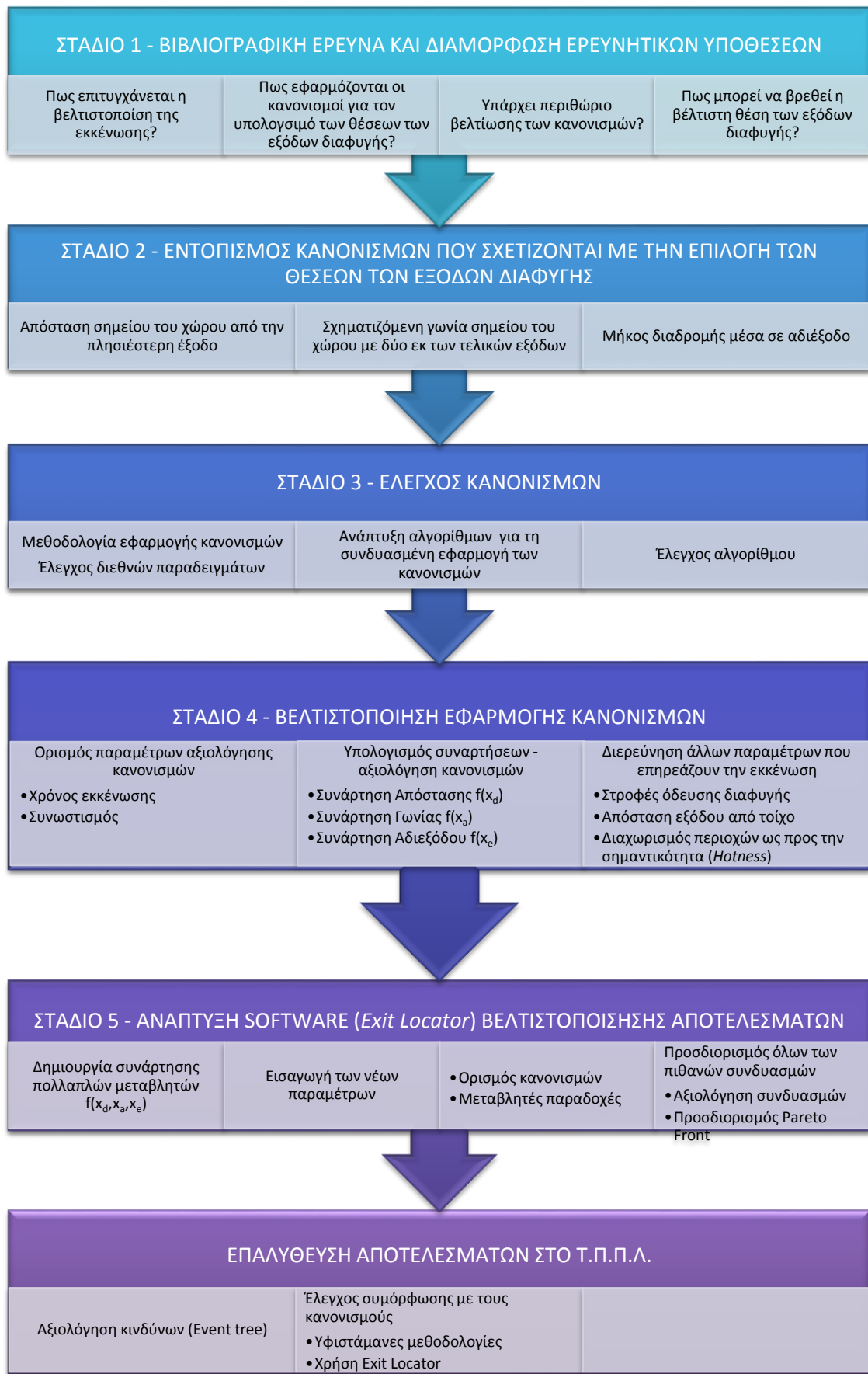
### 5.1 Αντικείμενο της έρευνας

Αντικείμενο της διδακτορικής εργασίας αποτελεί η βελτιστοποίηση των συνθηκών εκκένωσης σε υπόγειους χώρους. Βελτιστοποίηση, βασισμένη στους υφιστάμενους κανονισμούς ασφαλείας και στην προσθήκη νέων στη βάση της μελέτης των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των υπογείων χώρων. Η εξειδικευμένη μελέτη καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και διαδικασιών εκκένωσης σε υπόγειους χώρους είναι απαραίτητο εργαλείο, ώστε η πραγματική αλλά και η αισθητή ασφάλεια από το κοινό σε τέτοιους χώρους να ισοσταθμιστεί με εκείνη των συμβατικών επιφανειακών κτιρίων.

Στόχος της διδακτορικής εργασίας είναι η δημιουργία μιας πλατφόρμας - εφαρμογής, μέσα από την οποία είναι δυνατή η εύρεση των βέλτιστων θέσεων των εξόδων διαφυγής για οποιονδήποτε χώρο. Παράλληλα, η εργασία επιδιώκει να προχωρήσει την υφιστάμενη γνώση για τις συνθήκες και το σχεδιασμό εκκένωσης, να προτείνει νέες μεταβλητές που δεν περιλαμβάνονται σε υφιστάμενους κανονισμούς και να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών εκκένωσης σε υπόγειους χώρους, και κατ' επέκταση σε οποιοδήποτε άλλο χώρο.

### 5.2 Μεθοδολογία της έρευνας

Η διάρθρωση της μεθοδολογικής προσέγγισης που ακολουθήθηκε στην παρούσα έρευνα αποτυπώνεται συνοπτικά στο **Διάγραμμα 5.1**.



**Διάγραμμα 5.1** Μεθοδολογία της έρευνας

### 5.2.1 Προσδιορισμός κανονισμών εκκένωσης

Οι κανονισμοί εκκένωσης έχουν ως στόχο να βελτιστοποιηθούν τρεις βασικές παράμετροι που αφορούν στην ασφαλή εκκένωση του χώρου, ταυτόχρονα με την ελαχιστοποίηση των υλικών ζημιών:

- Αναγνώριση κινδύνου και αμεσότητα απόφασης εκκένωσης
- Ταχύτητα εκκένωσης του χώρου
- Ελαχιστοποίηση των κινδύνων που ενέχει η διαδικασία της εκκένωσης όπως αποπροσανατολισμός, συνωστισμός και πανικός

Στα Κεφάλαια 2 και 3, έχουν αναλυθεί η χρησιμότητα του σχεδίου ασφαλείας, ο ρόλος και ο τρόπος δημιουργίας του καθώς και η θέση του σχεδίου εκκένωσης ως στρατηγική αντιμετώπισης καταστάσεων εκτάκτου ανάγκης. Επίσης, στο Κεφάλαιο 4 έχει αναλυθεί ο τρόπος εκπόνησης των σχεδίων εκκένωσης.

Μετά από συστηματική βιβλιογραφική μελέτη (Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999, National Fire Protection Association-Life Safety Code, 2009), παρατηρήθηκε ότι οι κανονισμοί όλων των οργανισμών (κυβερνητικών και μη) που ασχολούνται με τα σχετικά θέματα όπως OSHA, Emergency Management Australia (EMA), SFPE, Confederation of Fire Protection Association Europe (CFPA-Europe), έχουν άμεση σχέση με τις εξόδους διαφυγής. Αυτό περιλαμβάνει τον αριθμό των εξόδων, τη διαστασιολόγηση των εξόδων, το είδος των εξόδων και κυρίως τη θέση των εξόδων στο χώρο. Οι τρεις πρώτες παράμετροι εξαρτώνται από τον αριθμό και το είδος των ενοίκων που βρίσκονται στο χώρο, ενώ η τέταρτη (η θέση των εξόδων στο χώρο) παρουσιάζει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα διότι επηρεάζεται και από την αρχιτεκτονική του χώρου. Για τον υπολογισμό των θέσεων των εξόδων διαφυγής, υπάρχουν ουσιαστικά τρεις μεταβλητές που συνδέονται με τη σχετική θέση των εξόδων μεταξύ τους και με τη θέση των εξόδων ως προς τα υπόλοιπα σημεία του χώρου. Πιο συγκεκριμένα:

- Κάθε σημείο του χώρου δεν πρέπει να έχει απόσταση μεγαλύτερη από μια οριζόμενη απόσταση από την κοντινότερη έξοδο διαφυγής
- Η διαδρομή μέσα σε αδιεξόδους έχει μια μέγιστη τιμή
- Η σχετική θέση των αδιεξόδων μεταξύ τους εξαρτάται από την απόσταση αλλά και από τη γωνία που σχηματίζει κάθε σημείο του χώρου με δύο από αυτές, πρέπει δε να έχει μια ελάχιστη τιμή και στις δύο περιπτώσεις

Οι υφιστάμενες μεθοδολογίες επιτρέπουν στους μηχανικούς ασφαλείας και στους ελεγκτικούς μηχανισμούς να ελέγχουν τη συμμόρφωση των κτιρίων με τους παραπάνω κανονισμούς, χωρίς όμως να μπορούν να προσφέρουν άμεσα μια λύση, η οποία να ικανοποιεί όλες της συνθήκες ασφαλείας που εμπίπτουν στο σχέδιο εκκένωσης. Ο παραπάνω προσδιορισμός είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, η οποία απαιτεί χρόνο και πολλούς υπολογισμούς.

Επιπλέον, μέσα από τη βιβλιογραφική μελέτη παρατηρήθηκε ότι δεν υπάρχουν ειδικοί κανονισμοί και προδιαγραφές στα σχέδια εκκένωσης για τους υπόγειους χώρους. Ειδικά στην ελληνική νομοθεσία δεν υπάρχει καμία υποχρέωση υποβολής σχεδίων εκκένωσης για καμία κατηγορία χώρου. Αυτό αντικαθίσταται από μια μελέτη παθητικής πυροπροστασίας βάση του Π.Δ. 71/88 μαζί με τις τροποποιήσεις του, η οποία υποβάλλεται και ελέγχεται από την πυροσβεστική υπηρεσία και τις υποχρεωτικές προϋποθέσεις για κάθε κτίριο που πρέπει να προβλεφθούν για την εξασφάλιση ενός επιπέδου ασφαλείας (Κυρίτσης, 2010). Συνεπώς, απαιτείται μια νέα μεθοδολογία η οποία θα προσφέρει άμεσο έλεγχο της συμμόρφωσης με

όλους τους κανονισμούς, καθώς και τον υπολογισμό της βέλτιστης θέσης των εξόδων διαφυγής.

Ακόμη, μελετήθηκαν οι επιπτώσεις μη συμμόρφωσης του κανονισμού των 45°, που είναι και ο πιο πολύπλοκος στην κατανόησή του. Το πρώτο σκέλος αυτής της προσπάθειας ήταν να βρεθεί το κατάλληλο λογισμικό, το οποίο να μπορεί να αποδώσει με πιστότητα τη συμπεριφορά των ατόμων κατά τη διαδικασία εκκένωσης καθώς και να προσφέρει σημαντικές πληροφορίες που αντιπροσωπεύουν την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης, όπως του χρόνου εκκένωσης, προβλημάτων συνωστισμού κ.α. Με την πάροδο του χρόνου αναπτύσσονται και κυκλοφορούν νέα λογισμικά που έχουν ως κύριο αντικείμενο τους την προσομοίωση εκκένωσης κτιρίων. Με τη βοήθεια βιβλιογραφικών μελετών που παρουσίαζαν τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών των προγραμμάτων, έγινε μια πρώτη εκτίμηση για εκείνα που μπορούν να φανούν χρήσιμα στη συγκεκριμένη έρευνα. Στον **Πίνακα 5.1** παρουσιάζεται μια πληθώρα τέτοιων μοντέλων καθώς και κάποια βασικά τους χαρακτηριστικά (η επεξήγηση των συμβόλων αναγράφεται στο Παράρτημα στο τέλος της εργασίας).

**Πίνακας 5.1** Γενικά χαρακτηριστικά μοντέλων εκκένωσης (Πηγή: Kuligowski, Peacock, & Hoskins, 2010) (συνέχεια)

Μοντέλο	Διαθέσιμο στο κοινό	Μέθοδος	Σκοπός	Πλέγμα/Δομή	Σχέση μοντέλου με ανθρώπους	Συμπεριφορά	Κίνηση	Δεδομένα πυρκαγιάς	Εισαγωγή σχεδίων	Οπτικοποίηση	Επικύρωση
EVACNET4	Y	M-O	1	C	G	N	UC	N	N	N	FD
WAYOUT	Y	M-O	5	C	G	N	D	N	N	2D	FD
STEPS	Y	B	1	F	I	C, P	P, E	Y1,2	Y	2,3D	C, FD, PE
PEDROUTE	Y	PB	3	C	G	I	D	N	Y	2,3D	N
Simulex	Y	PB	1	Co.	I	I	ID	N	Y	2D	FD, PE, 3P
GridFlow	Y	PB	1	Co.	I	I	D	N	Y	2,3D	FD, PE
FDS+Evac	Y	PB	1	Co.	I	I, C, P	ID	Y3	N/Y	2,3D	FD, PE, OM
Pathfinder 2009	Y	PB	1	Co.	I/G	I	D, ID	N	Y	2,3D	C, FD, PE, OM
SimWalk	Y	PB	1,3	Co.	I	C, P	P	N	Y	2,3D	FD, PE, 3P
PEDFLOW	Y	B	1	Co.	I	C, P	ID	Y2	Y	2,3D	PE

**Πίνακας 5.1** Γενικά χαρακτηριστικά μοντέλων εκκένωσης (Πηγή: Kuligowski, Peacock, & Hoskins, 2010) (συνέχεια)

Μοντέλο	Διαθέσιμο στο κοινό	Μέθοδος	Σκοπός	Πλέγμα/Δομή	Σχέση μοντέλου με ανθρώπους	Συμπεριφορά	Κίνηση	Δεδομένα πυρκαγιάς	Εισαγωγή σχεδίων	Οπτικοποίηση	Επικύρωση
PedGo	Y,N1	PB/B	1	F	I/I,G	I/C, P	P, E(CA), C	Y2	Y	2,3D	FD, PE, OM, 3P
ASERI	Y	B-RA	1	Co.	I	C, P	ID	Y1,2	Y	2,3D	FD, PE
BldEXO	Y	B	1	F	I	C, P	P, E	Y1,2	Y	2,3D	FD, PE, OM, 3P
Legion	Y,N1	B	1	Co.	I	AI, P	ID, C	Y1	Y	2,3D	C, FD, PE, 3P
SpaceSensor	Y	B	3	Co.	I	C, P	C, Ac_K	N	Y	2,3D	FD, OM
EPT	Y,N1	B	1	F	I	AI	UC, C	Y2	Y	2,3D	FD
Myriad II	Y,N1	B	1	C, F, Co.	I	AI	D, UC, IP, Ac_K	Y1	Y	2,3D	PE, 3P
MassMotion	Y,N1	B	1	Co.	I/I,G	AI, P	C, Ac_K	N	Y	2,3D	C, FD, PE, OM
PathFinder	N1	M-O	1	F	I/G	N	D	N	Y	2D	N
ALLSAFE	N1	PB	5	C	G	I	Un_F	Y1,2	N	2D	OM
CRISP	N1	MB- RA	1	F	I	C, P	E, D	Y3	Y	2,3D	FD
EGRESS 2002	N1	B	1	F	I	C, P	P, D (CA)	Y2	N	2D	FD
SGEM	N1	PB	1	Co.	I	I	D	N	Y	2D	FD, OM
EXIT89	N2	PB	1	C	I	I/C, P	D	Y1	N	N	FD, 3P
MASSEgress	N2	B	1	Co.	I	C, AI	C	N	Y	2,3D	PE, OM
EvacuationNZ	N2	B	1	C	I/I,G	I, C, P	D, UC	Y2	Y	2D	FD, PE, OM

Στο παράρτημα αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά των μοντέλων εκκένωσης. Στον **Πίνακα 5.1** με πορτοκαλί χρώμα φαίνονται τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της διδακτορικής εργασίας.

Το "Pathfinder" είναι ένα εύχρηστο λογισμικό, το οποίο αφενός προσφέρει αρκετές λειτουργίες ώστε να είναι δυνατή η χάραξη του προς μελέτη χώρου και η ενσωμάτωση των ενοίκων και αφετέρου είναι δυνατή η πρόσβαση σε αυτό διότι η εταιρία που το ανέπτυξε το παρέχει δωρεάν για εύλογο χρονικό διάστημα σε εκπαιδευτικά ιδρύματα. Επιπλέον, μέσα στις λειτουργίες του είναι και η πραγματοποίηση τρισδιάστατων απεικονίσεων της διαδικασίας εκκένωσης και η εξαγωγή της σε οπτικό υλικό (video).

Το BuildingExodus (BlDEXO), είναι ένα πιο δύσκολο πρόγραμμα με αρκετές λειτουργίες και δυνατότητες συνεργασίας με άλλα λογισμικά (σχεδιαστικά, FDS κ.α.), αλλά με περιορισμένες δυνατότητες στη συμπεριφορά των ανθρώπων.

Τέλος, ως το πιο αποτελεσματικό και εύχρηστο αποδείχθηκε το STEPS, το οποίο περιλαμβάνει πολλές λειτουργίες στο σχεδιαστικό κομμάτι του κτιρίου, όπως και στη δημιουργία σεναρίων εκκένωσης (περιλαμβάνει μετατροπή από κανονική λειτουργία του χώρου σε λειτουργία εκκένωσης), καθώς και πολλές επιλογές στη συμπεριφορά των ανθρώπων και στην εξαγωγή πληροφοριών σε σχέση με την ταχύτητα, την πυκνότητα τη χρήση των δωματίων και των εξόδων, κ.α..

Το STEPS είναι το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων για τη μελέτη των επιπτώσεων μη συμμόρφωσης του κανονισμού των 45°.

## **5.2.2 Προτάσεις εισαγωγής νέων μεθοδολογιών και μεταβλητών**

Μελετώντας τη βιβλιογραφία (Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999, National Fire Protection Association-Life Safety Code, 2009, CFPA-Europe 2011), και τους κανονισμούς εκκένωσης κτιρίων, παρατηρήθηκαν κάποιες δυνατότητες βελτίωσης των διαδικασιών ελέγχου, καθώς και προοπτικές βελτίωσης των υφιστάμενων προδιαγραφών που σχετίζονται με τις θέσεις των εξόδων διαφυγής. Στο πλαίσιο της διδακτορικής εργασίας, δημιουργήθηκαν και αναλύθηκαν νέες μεθοδολογίες με σκοπό τη βελτίωση των κανονισμών ελέγχου και των προδιαγραφών.

### **1. Υπολογισμός χώρου κάλυψης εξόδων διαφυγής με βάση τον κανονισμό των 45° στον Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων (Π.Δ. 71/88)**

Μελετώντας τις διαδικασίες ελέγχου συμμόρφωσης των κανονισμών, εντοπίστηκε μια έλλειψη στον άμεσο έλεγχο του κανονισμού των 45° που περιλαμβάνει ο Κανονισμός Πυροπροστασίας Κτιρίων (Π.Δ. 71/88). Ο περιορισμός αυτός εντάχθηκε στον Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων με σκοπό την αποφυγή του συνωστισμού κατά τη διαδικασία εκκένωσης του χώρου, που έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση της εκκένωσης καθώς και την εκδήλωση πανικού. Στόχος είναι μια νέα μεθοδολογία ώστε αυτός ο έλεγχος να γίνεται άμεσα και με καλύτερη προσέγγιση. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός γεωμετρικού τύπου ο οποίος σκιαγραφεί τα σημεία τα οποία είναι εντός του κανονισμού. Ο κανονισμός των 45°, είναι ο πλέον πολύπλοκος κατά την κατασκευή, όπως και για τον έλεγχό του σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις οι οποίες αλλάζουν χρήση ή μεταβάλουν τη δομή τους (π.χ. προσθήκη νέου χώρου ή επέκταση ενός υφιστάμενου).

## Έλεγχος βέλτιστης γωνίας για των κανονισμό των 45°

Στο πλαίσιο της διδακτορικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν έρευνες με σκοπό να βρεθεί ο λόγος που επιλέχθηκε η γωνία των 45° ως το όριο αποδοχής ή απόρριψης των θέσεων των εξόδων διαφυγής ή να γίνει πρόταση για άλλη τιμή της γωνίας.

### 2. Έλεγχος της αποδοτικότητας της εξόδου ως προς την σχετική θέση της με τον κάθετο τοίχο

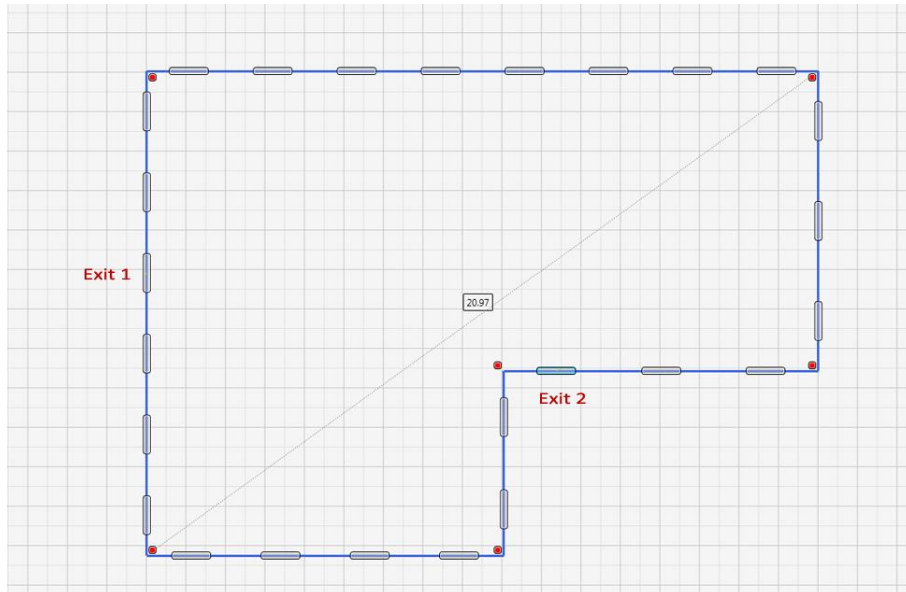
Εκτός των κανονισμών και των παραμέτρων που έχουν αναπτυχθεί ώστε να πραγματοποιείται μια ασφαλής και γρήγορη εκκένωση, πρέπει να εξετάζονται και άλλοι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τη ροή των ανθρώπων κατά την έξοδο, όπως για παράδειγμα το πείραμα που διερευνά πως η περιορισμένη πρόσβαση μπορεί να προκαλέσει το συνωστισμό και δείχνει ότι ο συνωστισμός μπορεί να εκτονωθεί υποχρεώνοντας τα πλήθη να κινηθούν σε ρεύματα (Saunders, 2013).

Στο πλαίσιο της διδακτορικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε έρευνα της επιρροής της θέσης της εξόδου σε σχέση με τη γωνία προσέγγισης των ενοίκων. Για ένα συγκεκριμένο χώρο η γωνία αυτή αλλάζει όσο απομακρύνεται η έξοδος από έναν σταθερό τοίχο, δηλαδή μεταβολή του χώρου εξυπηρέτησης από τη μία πλευρά.

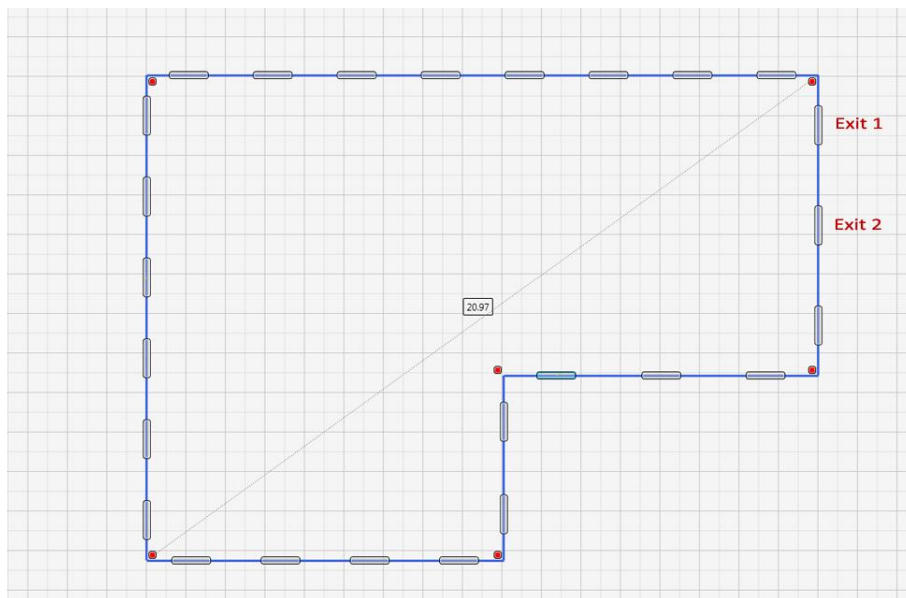
#### 5.2.3 Βελτιστοποίηση αποτελεσμάτων

Για την κάθε παράμετρο των κανονισμών, γίνεται και ένας "χειροκίνητος" έλεγχος για τη συμμόρφωση του χώρου με αυτούς. Με τη βοήθεια γεωμετρικών σχημάτων και σχεδιαστικών προγραμμάτων όπως το AutoCAD, είναι δυνατός ο γρήγορος και αποτελεσματικός έλεγχος των παραμέτρων, όπως αναφέρθηκε για τον κανονισμό των 45°. Επίσης, για κάθε ξεχωριστή παράμετρο υπάρχει και μια βέλτιστη λύση, όπως για παράδειγμα να τοποθετηθούν οι εξοδοί με τέτοιο τρόπο ώστε η αθροιστική απόσταση των σημείων από την κοντινότερη έξοδο να είναι η μικρότερη δυνατή. Στο **Σχήμα 5.1** απεικονίζεται ένας συνδυασμός εξόδων έτσι ώστε ο χώρος να συμμορφώνεται με τον κανονισμό που επιβάλλει μέγιστη απόσταση από την κοντινότερη έξοδο διαφυγής τα 30 μέτρα και η μέση απόσταση των σημείων του χώρου από αυτή (για κάθε σημείο είναι διαφορετική ανάλογα με τη θέση του) είναι 5 μέτρα, ενώ στο **Σχήμα 5.2** απεικονίζεται ένας συνδυασμός εξόδων με μέση απόσταση των σημείων του χώρου από την κοντινότερη έξοδο να είναι 10 μέτρα.





**Σχήμα 5.1** Θέσεις εξόδων ώστε η μέση απόσταση των σημείων από την κοντινότερη έξοδο να είναι 5 μέτρα



**Σχήμα 5.2** Θέσεις εξόδων ώστε η μέση απόσταση των σημείων από την κοντινότερη έξοδο να είναι 10 μέτρα

Με παρόμοιο τρόπο μπορούν να βρεθούν καλύτερες και χειρότερες λύσεις για κάθε παράμετρο των κανονισμών. Όμως, το ιδανικό είναι να βρεθεί μια βέλτιστη λύση για το σύνολο των παραμέτρων των κανονισμών που διέπουν τις διαδικασίες εκκένωσης και όχι για κάθε παράμετρο ξεχωριστά. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όπου υπάρχουν πολλαπλοί στόχοι βελτιστοποίησης, που μπορεί να είναι αντικρουόμενοι μεταξύ τους αλλά έχουν τον ίδιο στόχο (βελτιστοποίηση των διαδικασιών εκκένωσης), είναι απαραίτητη μια εξισορρόπηση για να εξασφαλιστεί ο βέλτιστος σχεδιασμός.

Στους αλγόριθμους βελτιστοποίησης πολλαπλών παραμέτρων, κάθε παράμετρος μπορεί να μεγιστοποιεί ή να ελαχιστοποιεί το αποτέλεσμα. Τα λογισμικά που πραγματοποιούν την παραπάνω διαδικασία ουσιαστικά δημιουργούν ένα μέτωπο Παρέτο (Pareto front) (Noesis Solutions).

### **Ανάπτυξη λογισμικού: Exit Locator**

Στην περίπτωση του ελέγχου των παραμέτρων των κανονισμών εκκένωσης των χώρων, πρέπει να βρεθεί η λύση ή οι λύσεις που βελτιστοποιούν τις συνθήκες εκκένωσης. Πιο συγκεκριμένα:

- Ελάχιστη απόσταση από τις εξόδους διαφυγής
- Μέγιστη σχηματιζόμενη γωνία
- Ελάχιστη διαδρομή σε αδιέξοδα

Για να μπορέσουν να βρεθούν οι βέλτιστες λύσεις για κάθε χώρο δημιουργήθηκε ένα λογισμικό με το οποίο ελέγχεται αρχικά η συμμόρφωση του χώρου (σε σχέση πάντα με τις θέσεις των εξόδων διαφυγής) με τους κανονισμούς εκκένωσης. Στη συνέχεια προσδιορίζεται η βέλτιστη λύση (συνδυασμός θέσεων εξόδων) του εκάστοτε χώρου, με τη χρήση μιας συνάρτησης αξιολόγησης και ακολουθεί ο υπολογισμός όλων των πιθανών λύσεων και η ταξινόμηση των αποτελεσμάτων.

### **Συνάρτηση Αξιολόγησης - Συνάρτηση πολλαπλών μεταβλητών**

Η συνάρτηση αξιολόγησης περιλαμβάνει τις βασικές παραμέτρους που μελετώνται καθώς και τους συντελεστές βαρύτητας της καθεμιάς. Ως συντελεστής βαρύτητας ορίστηκε ο ρυθμός μεταβολής της αποτελεσματικότητας της εκκένωσης (χρόνος εξόδου και χρόνος συνωστισμού) ως προς τη μεταβολή της τιμής της μεταβλητής. Έτσι, για κάθε μεταβλητή  $x$  ορίζεται αρχικά η συνάρτηση  $f(x)$  η οποία δηλώνει τη σχέση της με την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης. Αυτή η συνάρτηση μπορεί να είναι γραμμική, εκθετική, κ.α. Για τον ορισμό των συναρτήσεων μελετήθηκαν η σχέση κάθε παραμέτρου με την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης, καθώς και η σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Τα αποτελέσματα αναλύονται στο Κεφάλαιο 8.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το λογισμικό δημιουργήθηκε έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να εισάγει όποιον τύπο συνάρτησης αξιολόγησης επιθυμεί ώστε να δίνει βαρύτητα σε όποια παράμετρο θέλει, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου, τον τύπο των ενοίκων και το είδος μελέτης που θα πραγματοποιηθεί. Όμως, στο πλαίσιο της διδακτορικής εργασίας δημιουργήθηκε ένας τεκμηριωμένος και γενικευμένος τύπος συνάρτησης, που ικανοποιεί πληθώρα περιπτώσεων.

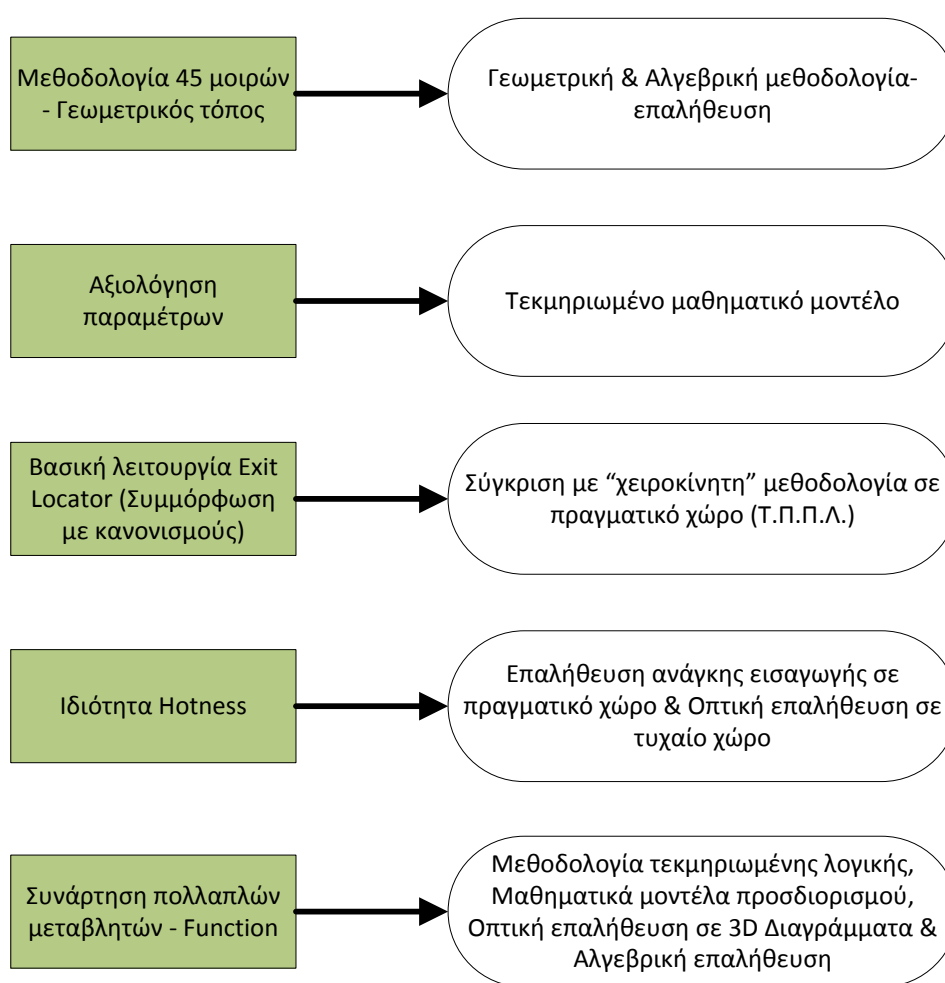
### **Δημιουργία ιδιότητας Hotness**

Από μελέτη που πραγματοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας αλλά και της εμπειρίας στους υπόγειους χώρους, προέκυψε το συμπέρασμα ότι υπάρχουν περιοχές του χώρου που δεν είναι σημαντικές διότι αποτελούν μέρος π.χ. της αποθηκευτικής ζώνης του χώρου, με αποτέλεσμα να είναι απίθανο να "φιλοξενούν" ενοίκους. Επομένως, η ποιότητα των οδεύσεων διαφυγής από αυτές είναι λιγότερο σημαντική. Συνεπώς, απαιτείται μια κατηγοριοποίηση των περιοχών του χώρου που μελετάται, ως προς την χρήση του ή την πιθανότητα να "φιλοξενεί" ενοίκους. Αυτός ο διαχωρισμός

πραγματοποιείται με την προσθήκη της ιδιότητας Hotness στο λογισμικό. Με τον διαχωρισμό αυτό, αφενός μπορούν να προσδιορισθούν και να απομονωθούν περιοχές χαμηλής ή και μηδενικής επισκεψιμότητας και αφετέρου να προσανατολίζεται η βαρύτητα των αποτελεσμάτων στις πιο σημαντικές περιοχές, δηλαδή σε αυτές που χρησιμοποιούνται περισσότερο από το πλήθος.

#### 5.2.4 Αποτίμηση και επαλήθευση της μεθοδολογίας

Μετά την ολοκλήρωση του λογισμικού, κρίθηκε απαραίτητο να πραγματοποιηθεί μια μελέτη σχεδίου εκκένωσης του υπόγειου χώρου του Τ.Π.Π.Λ. με παράλληλη επαλήθευση του λογισμικού που αναπτύχθηκε. Βέβαια, η επαλήθευση της μεθοδολογίας και των νέων στοιχείων πραγματοποιείται σε όλη τη διάρκεια και τα στάδια ανάπτυξής της, με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και λογικών αλγορίθμων. Πιο συγκεκριμένα, η επαλήθευση των κεντρικών σημείων της μεθοδολογίας παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 5.2**.



**Διάγραμμα 5.2** Μοντέλα επαλήθευσης μεθοδολογίας

## Κεφάλαιο 6. Κανονισμοί εκκένωσης

Από φωτιές και εκρήξεις χάνουν ετησίως τη ζωή τους στην Ευρωπαϊκή Ένωση περισσότεροι από 200 εργαζόμενοι, ενώ 5.000 τραυματίζονται (OSHA). Τα περισσότερα προβλήματα που καταγράφονται εστιάζονται στις προβληματικές εξόδους κινδύνου και στα συστήματα πυρόσβεσης. Για το λόγο αυτό, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια και Υγεία στη Εργασία (OSHA) συνιστά για την πρόληψη των πυρκαγιών και άλλων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης:

- ικανοποιητικές εξόδους διαφυγής,
- εξοπλισμό πυροπροστασίας, και
- εκπαίδευση των εργαζομένων

### 6.1 Ταξινόμηση κανονισμών εκκένωσης

Για να μπορέσει να ελεγχθεί ότι ένας χώρος είναι ασφαλής σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης, έχουν δημιουργηθεί από πολλούς οργανισμούς κανονισμοί οι οποίοι προέρχονται από έρευνες ή από εμπειρικούς κανόνες και αφορούν στην αρχιτεκτονική του χώρου.

Στο Κεφάλαιο 2 αναφέρθηκαν και αναλύθηκαν οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την ολοκλήρωση ενός σχεδίου ασφαλείας, μέσα στο οποίο εμπίπτει η διαδικασία εκκένωσης ως μέτρο αντιμετώπισης μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η δημιουργία του σχεδίου ασφαλείας και του τρόπου ελέγχου και λειτουργίας όλων των μονάδων μιας εγκατάστασης ή κτιρίου, έχουν ως στόχο πρώτα από όλα στην ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εκδήλωσης κατάστασης έκτακτης ανάγκης και μετά στην αντιμετώπισή της. Οι κανονισμοί που αφορούν και επηρεάζουν τις συνθήκες εκκένωσης προσανατολίζονται στην αποτελεσματικότητα της εκκένωσης του χώρου και όχι στον τρόπο αποφυγής εκδήλωσης κατάστασης έκτακτης ανάγκης.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κανονισμοί που πρέπει να ακολουθούνται ώστε να δημιουργηθεί ένας χώρος ο οποίος θα μπορεί να προσφέρει ασφαλείς συνθήκες σε πιθανή περίπτωση άμεσης εκκένωσής του. Συγκεκριμένα, αναφέρονται οι κανονισμοί και προδιαγραφές που έχουν άμεση σχέση με την τοποθέτηση των εξόδων διαφυγής στο χώρο. Οι πληροφορίες αντλήθηκαν τόσο από τον Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων (Π.Δ. 71/88) του Πυροσβεστικού Σώματος Ελλάδος, που είναι η μοναδική πηγή πληροφοριών και υποχρεώσεων στον Ελλαδικό χώρο για την δημιουργία οποιουδήποτε είδους και χρήσης κτιρίου, όσο και από διεθνείς κανονισμούς όπως ο Life Safety Code Handbook και ο Confederation of Fire Protection Association Europe (CFPA-Europe).

### 6.2 Ταξινόμηση κτιρίων

Για τους σκοπούς του κανονισμού, σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων, οι χώροι ταξινομούνται ανάλογα με τη χρήση τους σε εννιά κατηγορίες που παρουσιάζονται στον **Πίνακα 6.1**. Όλες οι παράμετροι και προδιαγραφές ισχύουν για όλες τις κατηγορίες κτιρίων ή εγκαταστάσεων, αλλά αλλάζουν οι τιμές που παίρνουν, όπως για παράδειγμα, η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση από την πλησιέστερη έξοδο διαφυγής.

Λεπτομερέστερος προσδιορισμός των κτιρίων που ανήκουν σε κάθε κατηγορία δίνεται στις Ειδικές Διατάξεις του Κανονισμού. Ο χαρακτηρισμός της κατηγορίας αναφέρεται σε ολόκληρο το χώρο ή σε ένα τμήμα του ή σε ένα πυροδιαμέρισμα και αφορά στην κύρια χρήση του κτιρίου. Τυχόν δευτερεύουσα άλλη χρήση που συνυπάρχει στο χώρο εξετάζεται χωριστά, αν πρόκειται για κατοικία ή αν καταλαμβάνει επιφάνεια μεγαλύτερη του 1/4 της συνολικής επιφάνειας του κτιρίου.

**Πίνακας 6.1** Ταξινόμηση κτιρίων (Πηγή: Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999)

	<b>Κατηγορία</b>	<b>Είδη χώρων</b>
A.	Κατοικίες	Χώροι διαμερισμάτων, ξεχωριστές κατοικίες, οικότροφεία
B.	Ξενοδοχεία	Ξενοδοχεία, ξενώνες
Γ.	Γραφεία	Χώροι με δημόσια ή και ιδιωτικά γραφεία
Δ.	Εκπαιδευτήρια	Σχολικά κτίρια όλων των κατηγοριών και βαθμίδων εκπαίδευσης
E.	Καταστήματα	Χώροι για αποθήκευση, έκθεση και πώληση εμπορευμάτων
ΣΤ.	Χώροι συνάθροισης κοινού	Χώροι που χρησιμοποιούνται για τη συνάθροιση ατόμων, για κοινωνικές, οικονομικές, πνευματικές, ψυχαγωγικές ή αθλητικές δραστηριότητες
Z.	Βιομηχανίες - Αποθήκες	Χώροι που στεγάζουν βιομηχανικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες ή και χρησιμοποιούνται για αποθήκευση πρώτων υλών & βιομηχανικών προϊόντων
H.	Νοσηλευτικές εγκαταστάσεις - φυλακές	Νοσοκομειακά κτίρια, γηροκομεία, παιδοβρεφονηπιακοί σταθμοί (με ύπνο). Κτίρια σωφρονισμού (φυλακές - αναμορφωτήρια)
Θ.	Χώροι στάθμευσης οχημάτων & πρατήρια υγρών καυσίμων	Υπαίθριοι, υπόγειοι και υπέργειοι χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων και πρατήρια υγρών καυσίμων

Ανεξάρτητα από τη χρήση του, ένας χώρος ή τμήμα του μπορεί να χαρακτηριστεί υψηλού βαθμού κινδύνου από τη φύση των περιεχομένων του. Συγκεκριμένα, αυτό συμβαίνει όταν τα περιεχόμενα παρουσιάζουν μεγάλη αναφλεξιμότητα, ταχύτητα επιφανειακής εξάπλωσης της φλόγας και έκλυση θερμότητας ή παράγουν πολλά τοξικά καυσαέρια ή έχουν κίνδυνο έκρηξης. Ο χαρακτηρισμός "υψηλού βαθμού κινδύνου" ισχύει και για την περίπτωση που η πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου του κτιρίου είναι μεγαλύτερη από 2.000MJ/m<sup>2</sup> (περίπου 100kg/m<sup>2</sup> ισοδύναμο ξύλου). Στην περίπτωση μεμονωμένων επικίνδυνων χώρων (π.χ. λεβητοστάσια, δεξαμενές καυσίμων κλπ.) ισχύουν άλλα μέτρα που αναφέρονται στον Κανονισμό. Παρόμοια ταξινόμηση κτιρίων περιλαμβάνουν και οι άλλοι διεθνείς κανονισμοί ασφαλείας.

### 6.3 Οδεύσεις διαφυγής

Ο κύριος στόχος του σχεδιασμού των οδεύσεων διαφυγής σε έναν χώρο είναι η επίτευξη ασφαλούς εκκένωσης όλων των ενοίκων, σε περίπτωση πυρκαγιάς ή άλλης έκτακτης ανάγκης (Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999). Οι οδεύσεις διαφυγής πρέπει να

παραμένουν ασφαλείς και αποτελεσματικές για τη χρονική διάρκεια που χρειάζονται και να είναι σαφώς αντιληπτές και προσπελάσιμες από όλους τους χρήστες. Η χρήση του κτιρίου και οι ανάγκες των ενοίκων καθορίζουν τον τρόπο σχεδιασμού, τη διαστασιολόγηση, καθώς και τη θέση των οδεύσεων διαφυγής.

Η παροχή της όδευσης διαφυγής καθορίζεται με βάση την ειδική χρήση του κτιρίου και υπολογίζεται για κάθε όροφο ανάλογα με το θεωρητικό πληθυσμό του. Ο όροφος με το μεγαλύτερο αριθμό ενοίκων (πληθυσμό) καθορίζει την παροχή της κατακόρυφης όδευσης διαφυγής (κλιμακοστασίου).

Σε περίπτωση κτιρίων με περισσότερους των έξι ορόφων (συμπεριλαμβανομένου και του ισογείου) η παροχή της κατακόρυφης όδευσης διαφυγής - κλιμακοστασίου ισούται με το άθροισμα των παροχών δύο διαδοχικών ορόφων.

Το πλάτος των τελικών εξόδων στον όροφο ή το επίπεδο εκκένωσης πρέπει να επαρκεί για το άθροισμα των παροχών  $\alpha + \beta + \gamma$  όπου:

$\alpha$ : παροχή κλιμακοστασίων και ραμπών από υπερκείμενους ορόφους ή επίπεδα

$\beta$ : παροχή κλιμακοστασίων και ραμπών από υποκείμενους ορόφους ή επίπεδα

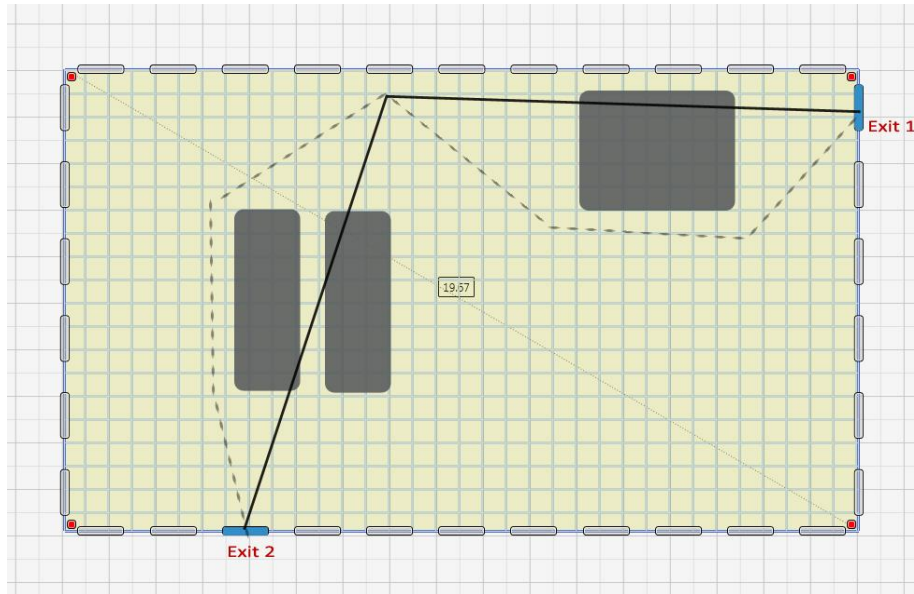
$\gamma$ : παροχή από τον ίδιο όροφο ή επίπεδο εκκένωσης

Ο Κανονισμός ορίζει και το ελάχιστο πλάτος και ύψος των οδεύσεων διαφυγής. Ως πλάτος της όδευσης διαφυγής ορίζεται το ελεύθερο πλάτος στο στενότερο σημείο και μέχρι ύψους 2,00μ. Η μονάδα πλάτους της όδευσης διαφυγής ορίζεται σε 0,60 του μέτρου. Το ελάχιστο πλάτος οποιασδήποτε όδευσης διαφυγής δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερο του 0,70 του μέτρου. Το πλάτος της όδευσης διαφυγής δεν επιτρέπεται να μειώνεται, σε καμιά περίπτωση, στην πορεία προς την τελική έξοδο. Το απαιτούμενο πλάτος της όδευσης διαφυγής, για όλα τα στάδια, προσδιορίζεται σε συνάρτηση με τον αριθμό των ενοίκων, ανάλογα με την ειδική χρήση του κτιρίου (ειδικές διατάξεις) και εκφράζεται σε ακέραιες μονάδες πλάτους (0,60m). Όταν απαιτείται από τον υπολογισμό, προστίθεται μισή μονάδα πλάτους (0,30m) και όχι κλάσματα. Ο περιορισμός αυτός δεν ισχύει για τον καθορισμό του ελαχίστου επιτρεπόμενου πλάτους. Το ελεύθερο ύψος των χώρων, όπου περνά όδευση διαφυγής, πρέπει να είναι τουλάχιστον 2,20m, ενώ για τις σκάλες, δοκούς, ανώφλια θυρών μπορεί να είναι 2,00m (Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999). Οι οδεύσεις διαφυγής δεν πρέπει γενικά να περνούν κοντά σε τμήματα του κτιρίου, που παρουσιάζουν υψηλό βαθμό κινδύνου.

#### **6.4 Απόσταση διαφυγής**

Τα μέγιστα, κατά περίπτωση, επιτρεπόμενα μήκη αποστάσεων (πραγματικής - άμεσης διαφυγής) καθορίζονται από τις αντίστοιχες ειδικές διατάξεις ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου.

Πραγματική απόσταση, όδευσης διαφυγής, ορίζεται το μήκος της πραγματικής πορείας μη συμπεριλαμβανομένων των κινητών επίπλων, που πρέπει να διασχίσει το άτομο από τυχαίο σημείο της κάτοψης του κτιρίου μέχρι να φθάσει στην πιο κοντινή έξοδο κινδύνου, δηλαδή στην αρχή μιας πυροπροστατευμένης όδευσης διαφυγής. Άμεση απόσταση διαφυγής λέγεται το μήκος της ευθείας γραμμής από τυχόν σημείο ενός ορόφου, μετρούμενη μέσα στο περίγραμμα του κτιρίου, προς την πλησιέστερη έξοδο κινδύνου, αγνοώντας τα ενδιάμεσα χωρίσματα και τους τοίχους, εκτός από αυτούς του πυροπροστατευμένου κλιμακοστασίου (**Σχήμα 6.1**).



**Σχήμα 6.1** Άμεση και πραγματική απόσταση από τυχαίο σημείο του χώρου - *Συνεχής γραμμή = άμεση απόσταση, Διακεκομμένη γραμμή = Πραγματική απόσταση* (Πηγή: Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999, ίδια επεξεργασία)

Ενδεικτικά, στον **Πίνακα 6.2** δίνονται τα μέγιστα όρια της πραγματικής και της άμεσης απόστασης για χώρους βιομηχανιών ή βιοτεχνιών. Η κατηγοριοποίηση κτιρίων  $Z_1 - Z_3$  γίνεται με βάση την επικινδυνότητα για εκδήλωση πυρκαγιάς ή, στην περίπτωση αποθήκευσης, με βάση τη μέση πυκνότητα του πυροθερμικού φορτίου, εφόσον αυτό παραμένει σχετικά σταθερό ( $Z_1$  χαμηλή επικινδυνότητα και  $Z_3$  υψηλή επικινδυνότητα). Ακόμα στον **Πίνακα 6.3** δίνονται τα μέγιστα όρια πραγματικής απόστασης από την έξοδο, σε χώρο με και χωρίς αυτόματο σύστημα πυρόσβεσης (sprinkler).

**Πίνακας 6.2** Μέγιστα όρια αποστάσεων από την έξοδο (Πηγή: Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999)

Κατηγορία χώρου	Μέγιστα όρια	
	Πραγματική απόσταση (m)	Άμεση απόσταση (m)
Χώροι $Z_1$	60	35
Χώροι $Z_2$	45	25
Χώροι $Z_3$	25	15

**Πίνακας 6.3** Μέγιστα όρια αποστάσεων από την έξοδο κατά NFPA (Πηγή: National Fire Protection Association, Life Safety Code, 2009)

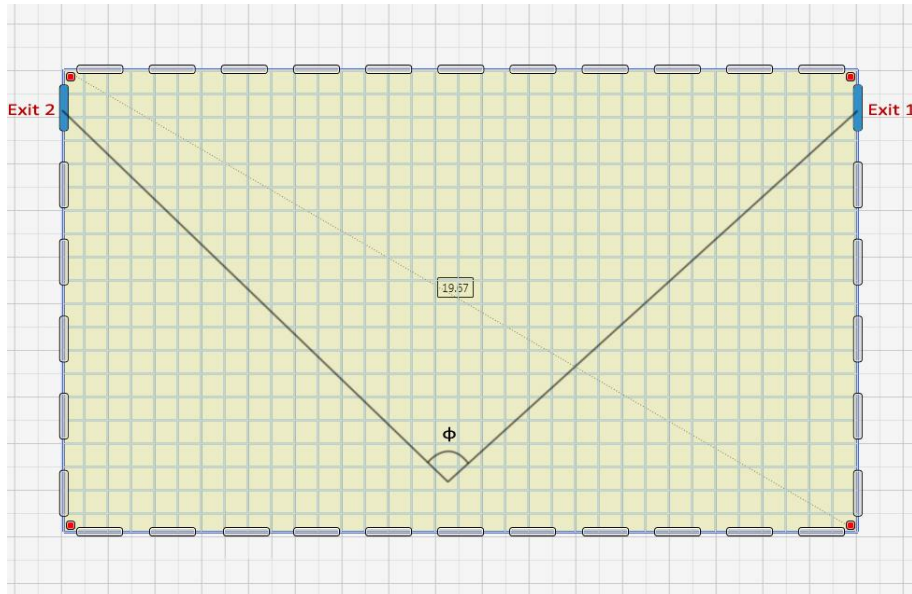
Είδος εγκαταστάσεων	Πραγματική απόσταση (m)	
	Χωρίς αυτόματη πυρόσβεση	Με αυτόματη πυρόσβεση
Χώροι συνάθροισης κοινού	61	76
Εκπαιδευτήρια	45	61
Παιδικοί σταθμοί	45	61
Νοσηλευτικές εγκαταστάσεις	Δ/Π	61
Κινητές νοσηλευτικές μονάδες	45	61
Σωφρονιστικά εγκαταστάσεις	45	61
Κατοικίες	Δεν απαιτείται	Δεν απαιτείται
Ξενοδοχεία	53	99
Καταστήματα	45	Ποικίλει (76 - 120)
Γραφεία	61	91
Βιομηχανικοί χώροι	Ποικίλει (0 - 91)	Ποικίλει (23 - 120)
Αποθήκες	Ποικίλει (23 - 91)	Ποικίλει (23 - 120)
Χαμηλού κινδύνου	Δεν απαιτείται	Δεν απαιτείται
Κανονικού κινδύνου	61	120
Υψηλού κινδύνου	23	30

## 6.5 Διάταξη εξόδων

### 6.5.1 Γωνία

Οι οδεύσεις διαφυγής από τυχαίο σημείο ενός χώρου προς τις δύο εναλλακτικές εξόδους πρέπει να σχηματίζουν γωνία μεγαλύτερη των 45° (**Σχήμα 6.2**) για να θεωρηθεί ότι αποτελούν δύο ξεχωριστές οδεύσεις. Ο κανονισμός αυτός περιλαμβάνεται μόνο στον Ελληνικό Κανονισμό πυροπροστασίας κτιρίων.

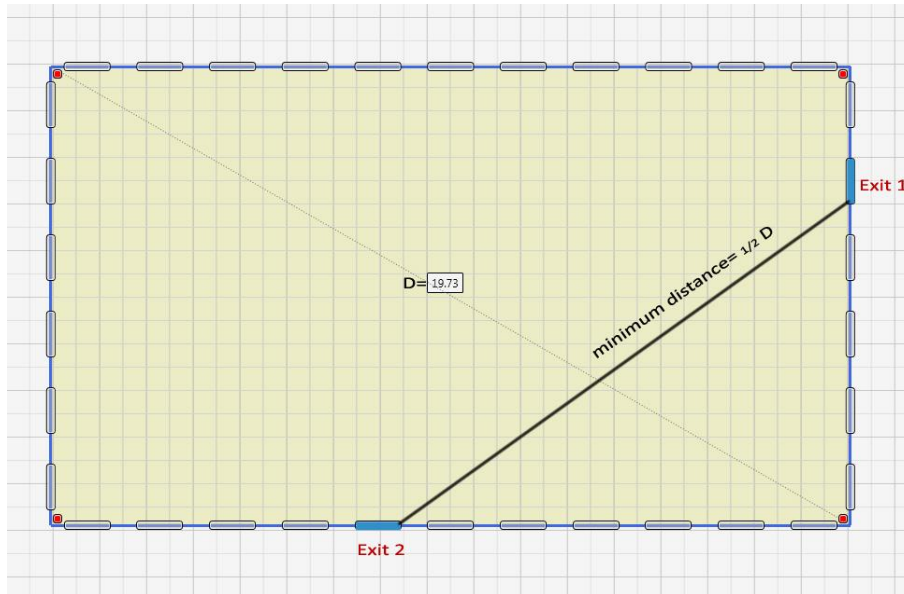




**Σχήμα 6.2** Σχηματιζόμενη γωνία τυχαίου σημείου του χώρου με τις εξόδους διαφυγής  
(Πηγή: Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999, ίδια επεξεργασία)

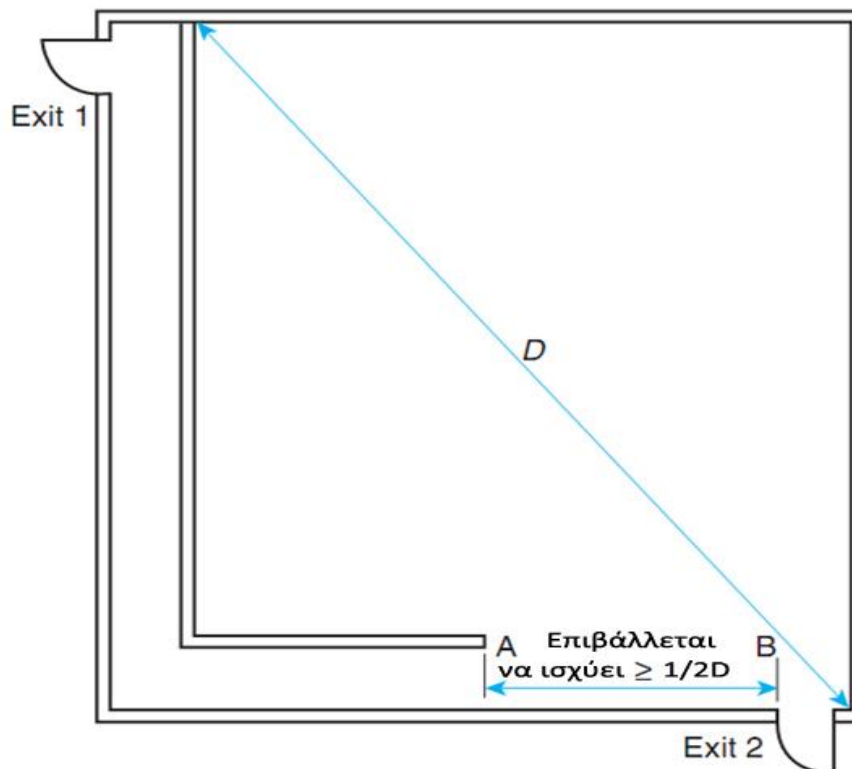
### 6.5.2 Σχετική απόσταση εξόδων

Οι κανονισμοί που δεν περιλαμβάνουν των παραπάνω κανονισμό των  $45^\circ$ , για να μπορέσουν να διασφαλίσουν μια ικανοποιητική διαφοροποίηση των οδεύσεων διαφυγής προς δύο διαφορετικές εξόδους, έχουν εισάγει μια διαφορετική παράμετρο. Στον κανονισμό Life Safety Code Handbook του NFPA, αναφέρεται ότι η θέση και η πρόσβαση των εξόδων διαφυγής, πρέπει να είναι τέτοια ώστε να είναι προσβάσιμες από τον κάθε ένοικο και ανά πάσα στιγμή. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται η σχέση μεταξύ της απόστασης τουλάχιστον δύο εκ των εξόδων διαφυγής με τη μέγιστη διαγώνιο απόσταση του κτιρίου (**Σχήμα 6.3**). Αναλόγως αν ο χώρος περιλαμβάνει αυτόματο σύστημα καταιονισμού νερού ή όχι, η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των εξόδων διαφυγής πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη μισή της μέγιστης διαγωνίου (χωρίς αυτόματο σύστημα), ή μεγαλύτερη από το  $1/3$  της μέγιστης διαγωνίου (με αυτόματο σύστημα) (National Fire Protection Association, Life Safety Code, 2009).

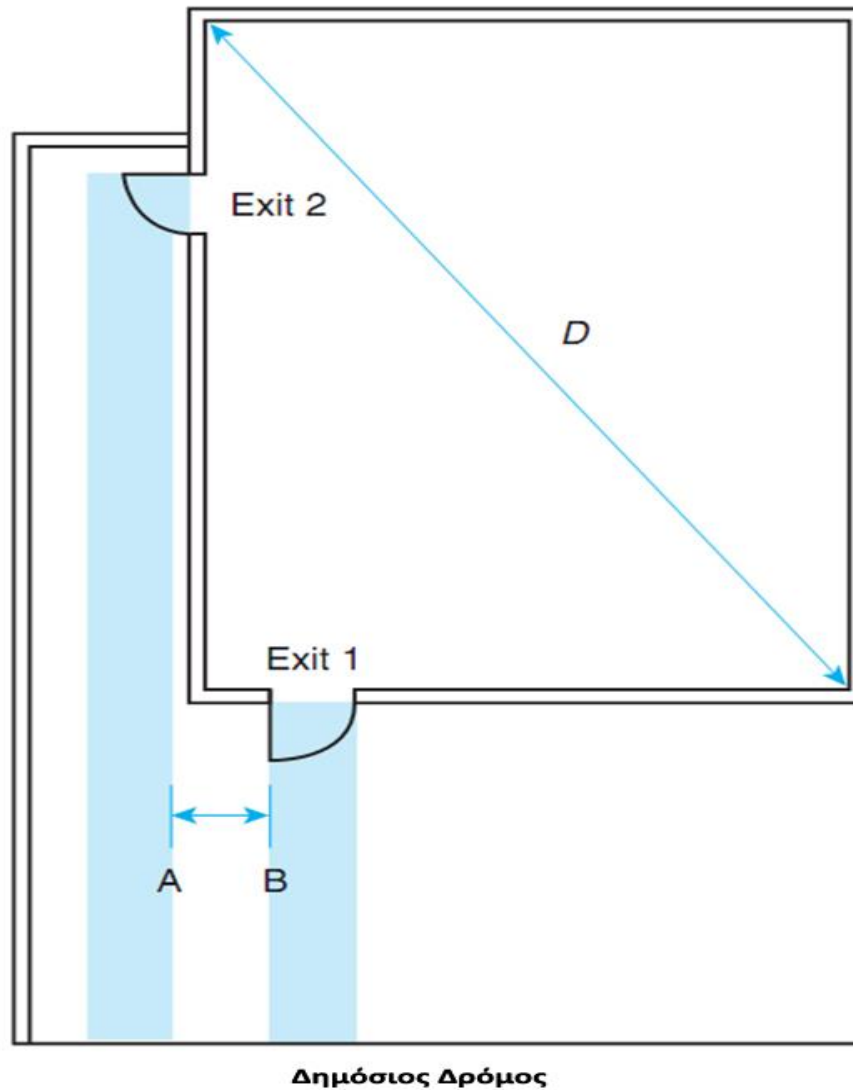


**Σχήμα 6.3** Ελάχιστη απόσταση μεταξύ των εξόδων διαφυγής σε σχέση με τη διαγώνιο (Πηγή: National Fire Protection Association, Life Safety Code, 2009, ίδια επεξεργασία)

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι αυτός ο περιορισμός περιλαμβάνει είτε την απόσταση των εξόδων διαφυγής μεταξύ τους είτε την απόσταση των οδεύσεων διαφυγής μέχρι το ασφαλές σημείο (π.χ. εξωτερικός χώρος, ασφαλής χώρος συγκέντρωσης) λαμβάνοντας υπόψη τη μικρότερη (**Σχήμα 6.4** και **Σχήμα 6.5**).



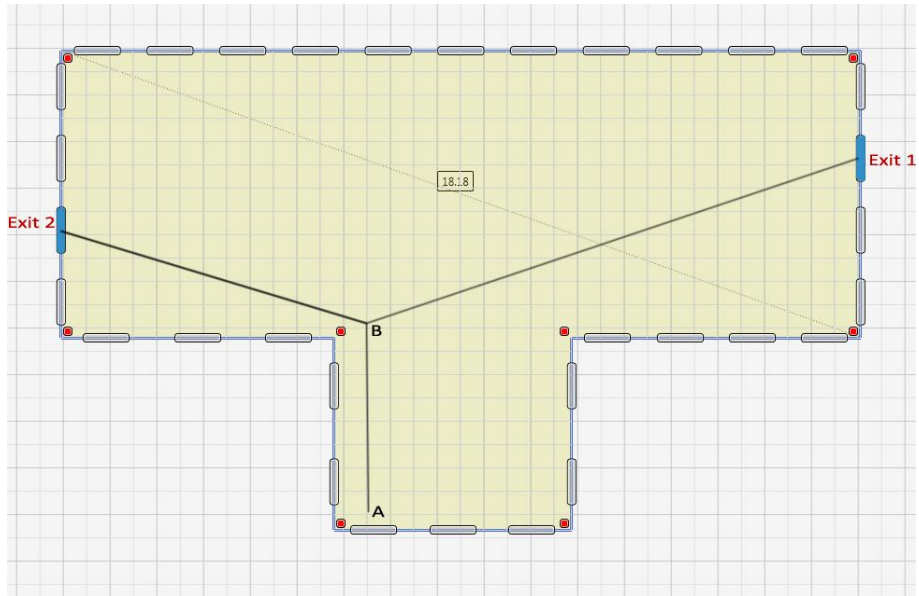
**Σχήμα 6.4** Όρια ελάχιστης απόστασης εξόδων διαφυγής (Πηγή: National Fire Protection Association, Life Safety Code, 2009)



**Σχήμα 6.5** Όρια ελάχιστης απόστασης εξόδων διαφυγής (Πηγή: National Fire Protection Association, Life Safety Code, 2009)

## 6.6 Αδιέξοδα

Ως αδιέξοδο χαρακτηρίζεται μία κοινόχρηστη περιοχή του χώρου, από κάθε σημείο της οποίας η διαφυγή μπορεί να γίνει μόνο προς μία κατεύθυνση (**Σχήμα 6.6**). Τα επιτρεπόμενα μέγιστα όρια για αδιέξοδα ή σύμπτωση του πρώτου τμήματος δύο εναλλακτικών οδεύσεων διαφυγής, εξαρτώνται από τη χρήση του κτιρίου και δίνονται σε πίνακες των κανονισμών (**Πίνακας 6.4**) (στον NFPA το μέγιστο όριο για αδιέξοδα δεν ξεπερνά τα 15m, πλην μιας εξειδικευμένης περίπτωσης που φτάνει τα 30m). Ο περιορισμός αυτός έχει σκοπό να εξαλείψει το ενδεχόμενο εγκλωβισμού ανθρώπων.

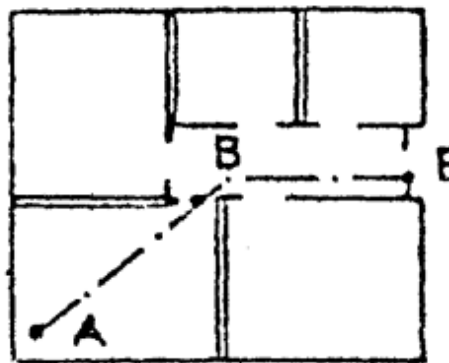


**Σχήμα 6.6** Απόσταση μετακίνησης σε αδιέξοδο (ΑΒ) (Πηγή: Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999, ίδια επεξεργασία)

**Πίνακας 6.4** Μέγιστα όρια για αδιέξοδα για βιομηχανίες - βιοτεχνίες (Πηγή: Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999)

Κατηγορία χώρων	Μέγιστα όρια	
	Πραγματική απόσταση (m)	Άμεση απόσταση (m)
Χώροι Z <sub>1</sub>	35	25
Χώροι Z <sub>2</sub>	25	15
Χώροι Z <sub>3</sub>	15	10

Σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχει επιπλέον και περιορισμός για την απόσταση του τυχαίου σημείου του χώρου από την ενδιάμεση πόρτα (απόσταση ΑΒ, **Σχήμα 6.7**). Σε κάθε περίπτωση η απόσταση αυτή πρέπει να είναι μικρότερη από τα 2/3 του επιτρεπόμενου μήκους της πραγματικής απόστασης όδευσης διαφυγής.



**Σχήμα 6.7** Απόσταση σημείου σε αίθουσα από την πόρτα εξόδου (Πηγή: Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, 1999)

## 6.7 Έξοδοι διαφυγής - πόρτες

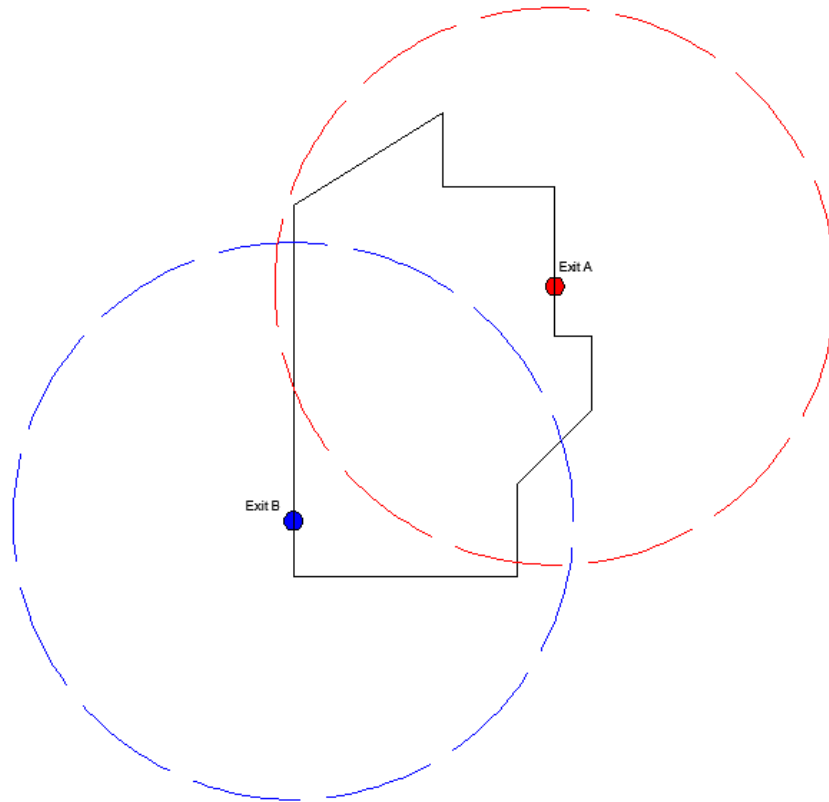
Κάθε πόρτα που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί ως έξοδος κινδύνου, πρέπει να βρίσκεται σε θέση κατάλληλη, έτσι ώστε η πορεία διαφυγής να είναι προφανής και πραγματοποιήσιμη. Σε κάθε άνοιγμα πόρτας, από όπου περνά όδευση διαφυγής, πρέπει να υπάρχει τουλάχιστο ένα θυρόφυλλο με πλάτος ίσο ή μεγαλύτερο από 0,70m. Κανένα θυρόφυλλο, από το οποίο περνά όδευση διαφυγής, δεν επιτρέπεται να έχει πλάτος μεγαλύτερο από 1,2m. Το δάπεδο και από τις δύο πλευρές κάθε πόρτας πρέπει να είναι επίπεδο και να βρίσκεται στην ίδια στάθμη. Κατ' εξαίρεση, όταν η πόρτα οδηγεί προς το υπαίθρο ή προς εξωτερικό εξώστη ή προς την τελική έξοδο, επιτρέπεται η στάθμη του δαπέδου στην εξωτερική πλευρά της πόρτας να βρίσκεται μέχρι και 0,20m χαμηλότερα σε σχέση με την εσωτερική στάθμη. Οι πόρτες εξόδου πρέπει να ανοίγουν υποχρεωτικά προς την κατεύθυνση της όδευσης διαφυγής, όταν στο χώρο του κτιρίου αντιστοιχεί πληθυσμός μεγαλύτερος από 50 άτομα ή ο χώρος παρουσιάζει υψηλό βαθμό κινδύνου. Επιπλέον, δίνονται προδιαγραφές που σχετίζονται με τον μηχανισμό λειτουργίας.

## 6.8 Εφαρμογή περιορισμών

### 6.8.1 Απόσταση

Οι παραπάνω περιορισμοί πρέπει να εφαρμόζονται ώστε να ελεγχθεί αν η επιλογή των εξόδων στον εκάστοτε χώρο είναι σωστή ή λανθασμένη. Είναι μια εργασία που πραγματοποιείται από τους μηχανικούς ασφαλείας και από τις αρμόδιες αρχές κατά τον σχεδιασμό του έργου. Η μελέτη πραγματοποιείται σχεδιαστικά και οπτικά πάνω στα σχέδια των εγκαταστάσεων και με βάση τις παραμέτρους των κανονισμών.

Για τον υπολογισμό της απόστασης του σημείου του χώρου προς την πιο κοντινή έξοδο διαφυγής, ο τρόπος που μπορεί να εφαρμοστεί είναι απλός, χρησιμοποιώντας ένα διαβήτη με ακτίνα τη μέγιστη απόσταση που ορίζεται από τον κανονισμό και κέντρο το σημείο ή τα σημεία των εξόδων διαφυγής (**Σχήμα 6.8**).



**Σχήμα 6.8** Τρόπος ελέγχου κανονισμού μέγιστης απόστασης από τις εξόδους διαφυγής.

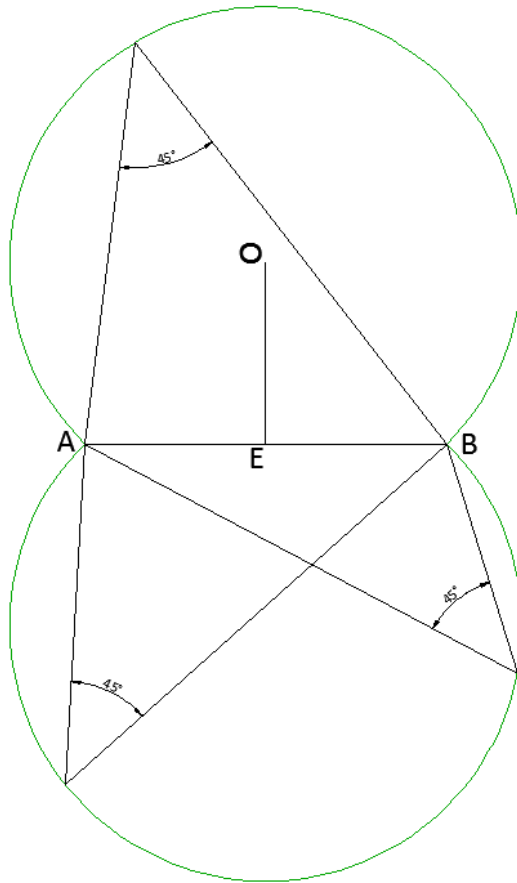
Τα σημεία που βρίσκονται εντός των κύκλων που δημιουργούνται είναι εντός του κανονισμού, ενώ αυτά που είναι εκτός απαιτούν επανασχεδιασμό (στο **Σχήμα 6.8** όλα τα σημεία του χώρου ικανοποιούν τον περιορισμό για τη μέγιστη απόσταση).

### 6.8.2 Γωνία

Για τον έλεγχο της συμμόρφωσης του κανονισμού των 45° αναπτύχθηκε η παρακάτω μεθοδολογία. Για δύο δεδομένες εξόδους διαφυγής πρέπει να βρεθεί ο χώρος μέσα στον οποίο όλα τα σημεία δημιουργούν με τα σημεία των δύο εξόδων γωνία μεγαλύτερη ή ίση με 45°. Οπότε, πρέπει να βρεθεί ένας γεωμετρικός τόπος σημείων που σχηματίζουν με δύο δοσμένα σημεία γωνία ίση ή μεγαλύτερη της επιθυμητής γωνίας (στη συγκεκριμένη περίπτωση 45°). Ο γεωμετρικός τόπος αυτός είναι το τμήμα του κύκλου που προσδιορίζεται από το τόξο ενός κύκλου που περνάει από τα δοσμένα σημεία (τις εξόδους), με κέντρο το οποίο βρίσκεται πάνω στη μεσοκάθετο του ευθύγραμμου τμήματος που ενώνει τα δύο αυτά σημεία και σε απόσταση K (ευθύγραμμο τμήμα OE στο **Σχήμα 6.9**) ίση με:

$$K = \frac{\alpha \cdot \tan(90 - \beta)}{2} \quad (\text{Εξίσωση 6.1})$$

όπου α είναι η απόσταση των δύο σημείων (των δύο εξόδων) και β η επιθυμητή γωνία, με ακτίνα από το κέντρο του μέχρι το ένα εκ των δύο δοσμένων σημείων καθώς και το «κατοπτρικό» της ως προς το ευθύγραμμο τμήμα των δύο δοσμένων σημείων (ευθύγραμμο τμήμα AB), όπως φαίνεται στο **Σχήμα 6.9** (Kallianiotis & Kaliampakos, 2012).

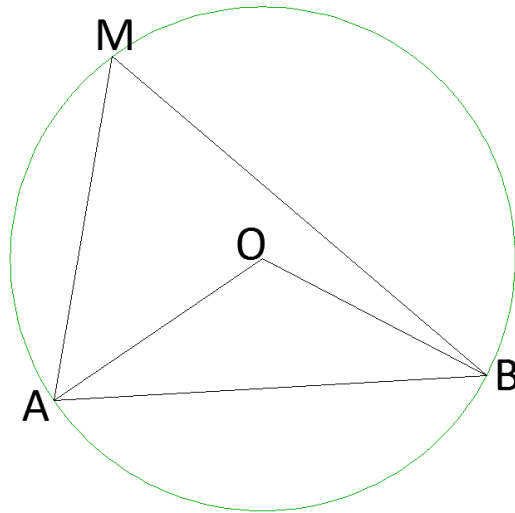


**Σχήμα 6.9** Γεωμετρικός τόπος σημείων που δημιουργούν γωνία  $45^\circ$  με δύο δοσμένα σημεία (A και B)

Απόδειξη

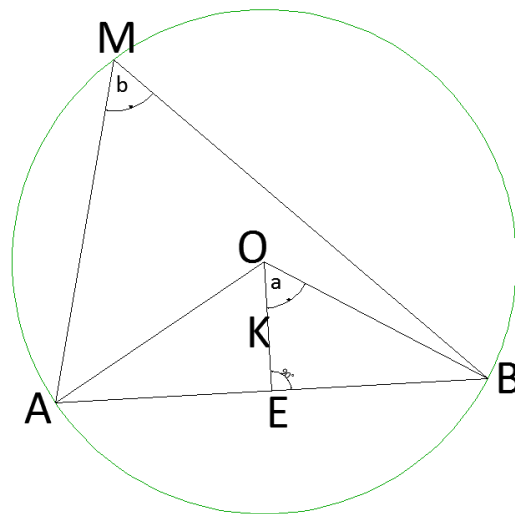
Αποδεικνύεται ευθέως η παραπάνω πρόταση:

Έστω δύο τυχαία σημεία A και B (δύο έξοδοι διαφυγής) και AB το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα δύο σημεία. Είναι γνωστό ότι η επίκεντρη γωνία είναι διπλάσια από την εγγεγραμμένη που αντιστοιχεί στο ίδιο τόξο (**Σχήμα 6.10**).



**Σχήμα 6.10.** Επίκεντρο (AOB) και Εγγεγραμμένη (AMB) γωνία,  $AOB = 2 \cdot AMB$

Αυτό σημαίνει ότι αρκεί να βρεθεί το σημείο O το οποίο βρίσκεται πάνω στη μεσοκάθετο του τμήματος AB (διότι η μεσοκάθετος χορδής ενός κύκλου περνάει από το κέντρο του και αντίστροφα) και δημιουργεί γωνία διπλάσια της επιθυμητής (των  $45^\circ$ , δηλαδή  $90^\circ$ ) με τα σημεία A και B. Λόγω των ίσων τριγώνων AEO και BEO (**Σχήμα 6.11**) και των ιδιοτήτων των τριγώνων, ότι απέναντι από άνισες πλευρές υπάρχουν ομοίως άνισες γωνίες (και αντίστροφα), προκύπτει η **Εξίσωση 6.1**, όπου  $\beta$  είναι η επιθυμητή γωνία, και στην περίπτωση που μας ενδιαφέρει  $45^\circ$ .

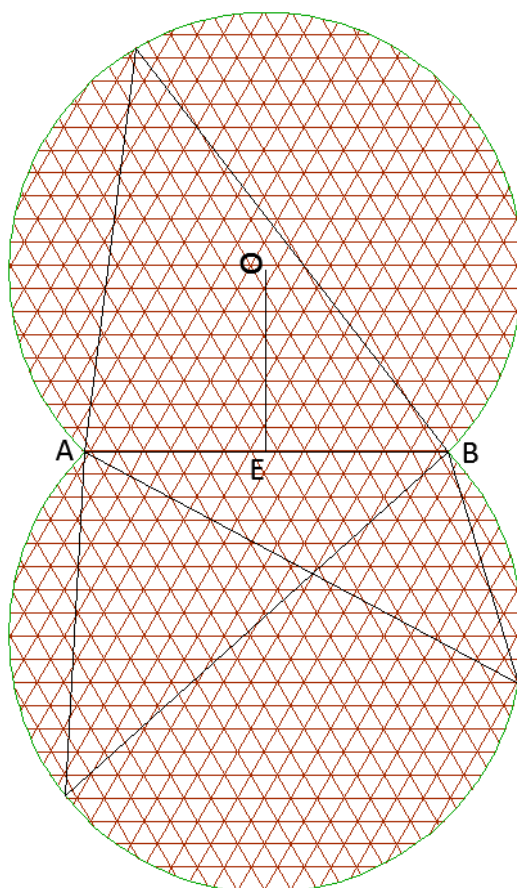


**Σχήμα 6.11** Απόδειξη απόστασης κέντρου του κύκλου του εν λόγω γεωμετρικού τόπου

Οπότε, στην περίπτωση που θέλουμε να βρούμε τον γεωμετρικό τόπο για  $45^\circ$ , το K ισούται με:  $K=AB/2$ , δηλαδή το μισό της απόστασης των δύο αρχικών σημείων μας (των δύο εξόδων διαφυγής).

Εν κατακλείδι, αποδείχθηκε ότι όλα τα σημεία που βρίσκονται μέσα στον σκιαγραφημένο χώρο (**Σχήμα 6.12**) δημιουργούν με τα σημεία A και B γωνία μεγαλύτερη των  $45^\circ$  (αποδεκτά) και όσα είναι εκτός μικρότερη (μη αποδεκτά).





**Σχήμα 6.12** Αποδεκτός χώρος στην περίπτωση των  $45^\circ$

Οπότε ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που δημιουργούν την επιθυμητή γωνία με τα δύο αρχικά δοσμένα σημεία A και B, είναι όλα τα σημεία των κύκλων που ορίζονται από τα δύο τόξα κύκλου με κέντρο το οποίο βρίσκεται πάνω στη μεσοκάθετο του ευθύγραμμου τμήματος AB και σε απόσταση K ίση με:  $K = \alpha \cdot \tan(90-\beta)/2$  (όπου α είναι η απόσταση των δύο εξόδων διαφυγής και β η επιθυμητή γωνία) και με ακτίνα από το κέντρο του μέχρι τον ένα εκ των δύο δοσμένων σημείων, εκατέρωθεν του ευθύγραμμου τμήματος AB.

Ο παραπάνω υπολογισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί και στο AutoCAD, δημιουργώντας πρώτα τον γεωμετρικό τόπο και μετά προσαρμόζοντάς τον εύκολα στα δύο σημεία – εξόδους που ενδιαφέρουν τον χρήστη, με την εξής διαδικασία: α) δημιουργία γεωμετρικού τόπου, β) τοποθέτηση του ενός σημείου στο κέντρο της μιας εξόδου, γ) αλλαγή κλίμακας ομοιόμορφα σε όλο το σχήμα του γεωμετρικού τόπου και τοποθέτηση του άλλου σημείου στο κέντρο της άλλης εξόδου.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο κανονισμός των  $45^\circ$  περιλαμβάνεται μόνο στον Ελληνικό Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων. Στο πλαίσιο της διδακτορικής εργασίας και σε συνεργασία με φοιτητές του Δ.Π.Μ.Σ. "Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων", ερευνήθηκε αν γνωστοί υπόγειοι χώροι διεθνώς συμμορφώνονται με αυτόν τον κανονισμό (Ραχμάνη, Ξενιός, & Κοτσαμίδα, 2013). Για λόγους ασφαλείας το μεγαλύτερο ποσοστό των οργανισμών που προσεγγίστηκαν αρνήθηκαν να παρέχουν τέτοιες πληροφορίες. Συνεπώς το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε είναι περιορισμένο σε σχέση με τις αρχικές προσδοκίες. Οι χώροι για τους οποίους αποκτήθηκαν τα σχέδια εκκένωσης ποικίλουν σε χρήση από αποθηκευτικούς χώρους, γυμναστήρια, παρκινγκ κ.α.

Οι χώροι που μελετήθηκαν είναι:

- **Τ.Π.Π.Λ.:** Στην περιοχή του Λαυρίου και συγκεκριμένα εντός του Τεχνολογικού Πολιτιστικού Πάρκου, κατασκευάστηκε ένα πρωτοποριακό υπόγειο έργο που αποσκοπεί στη μακροχρόνια αποθήκευση τοξικών αποβλήτων. Ο υπόγειος χώρος κατασκευάστηκε με στόχο την εξυγίανση του χώρου από τη βαριά βιομηχανική ρύπανση που υπέστη κατά την υπεραιώνια μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα που έλαβε χώρα στην περιοχή. Το συνολικό εμβαδόν του υπογείου συγκροτήματος προς ωφέλιμη χρήση είναι 1985m<sup>2</sup>.
- **Δημοτικό Γυμναστήριο Καισαριανής:** Πρόκειται για το δημοτικό γυμναστήριο του Δήμου Καισαριανής που βρίσκεται στον υπόγειο χώρο του δημαρχείου και κατασκευάστηκε το 1997.
- **Temppeleaukio Church:** Η υπόγεια εκκλησία του Temppeleaukio σχεδιάστηκε το 1969 και παραμένει ένα από τα κύρια αξιοθέατα του Ελσίνκι. Η εκκλησία είναι λαξευμένη σε βράχο, συμβολίζει τη σύγχρονη καινοτομία της φινλανδικής θρησκευτικής αρχιτεκτονικής και διαθέτει μια εκπληκτική στέγη διαμέτρου 24m καλυμμένη με 22mm χαλκού. Η είσοδος βρίσκεται στο βόρειο άκρο του Fredrikinkatu.
- **Springfield Underground:** Βρίσκεται στο Springfield στην πολιτεία του Missouri στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Το Springfield Underground είναι ένας υπόγειος χώρος που φιλοξενεί όλα τα είδη οργανισμών. Το εμβαδόν του είναι περίπου 223.000m<sup>2</sup> και βρίσκεται σε βάθος 35m από την επιφάνεια.
- **Υπόγειο Parking στη Θέρμη-Θεσσαλονίκη:** Το υπόγειο parking βρίσκεται στην κεντρική πλατεία της Θέρμης και διαθέτει δύο ορόφους. Εξυπηρετεί μια περιοχή με 16.000 κατοίκους και διαθέτει 85 θέσεις στο 1<sup>ο</sup> υπόγειο και 87 θέσεις στο 2<sup>ο</sup> υπόγειο.
- **Rynek Underground:** Βρίσκεται στη Κρακοβία της Πολωνίας. Πρόκειται για ένα μουσείο που παρουσιάζει την Κρακοβία του Μεσαίωνα όπως αυτή ανακαλύφθηκε κάτω από τη σύγχρονη πόλη. Είναι ένα από τα μεγαλύτερα αξιοθέατα της πόλης. Άρχισε να κατασκευάζεται το 2005.
- **Opatija WWTP:** Βρίσκεται στο κέντρο της πόλης Liburnis στην Κροατία και αποτελεί το σημαντικότερο τουριστικό θέρετρο της Κροατίας. Είναι η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων της περιοχής Opatija και αποτελεί ένα κεντρικό τμήμα του αποχετευτικού συστήματος της ευρύτερης αστικής περιοχής. Λόγω έλλειψης κατάλληλης θέσης, αλλά και με στόχο τη συνολική προστασία του περιβάλλοντος από τις δυσάρεστες παρενέργειες (οπτική ρύπανση, ποιότητα αέρα, κ.λπ.), βασικοί χώροι των κεντρικών εγκαταστάσεων για την επεξεργασία των λυμάτων βρίσκονται σε έναν εντελώς κλειστό υπόγειο χώρο.
- **Υπόγειο Parking The Mall Athens:** Πρόκειται για έναν υπόγειο χώρο parking ενός από τα μεγαλύτερα εμπορικά κέντρα της Αθήνας. Βρίσκεται στην περιοχή του Αμαρουσίου. Αποτελείται από 3 επίπεδα και προσφέρει 2100 θέσεις parking.
- **Winsford Saltmine:** Βρίσκεται στο Winsford, μια πόλη στη κομητεία του Cheshire στην Αγγλία. Άνοιξε πρώτη φορά το 1844. Είναι το μεγαλύτερο ορυχείο ορυκτού αλάτος του Ηνωμένου Βασιλείου. Σήμερα, το ορυκτό αλάτι εξορύσσεται σε βάθος πάνω από 150m κάτω από το έδαφος. Το ορυχείο παράγει 1 εκατομμύριο τόνους ορυκτού αλάτι σε ετήσια βάση, και διαθέτει ένα δίκτυο σηράγγων μήκους περίπου 217km.

Τα στοιχεία που αναφέρονται στον **Πίνακα 6.5** είναι ο αριθμός των εξόδων, το ποσοστό του χώρου που τα σημεία του δημιουργούν γωνία ίση ή μεγαλύτερη των 45° με 2 τουλάχιστον εξόδους (ποσοστό κάλυψης) και τέλος, εφόσον το ποσοστό κάλυψης δεν είναι 100%, δηλαδή υπάρχουν περιοχές που είναι εκτός του κανονισμού, ποιο ποσοστό αυτών των

περιοχών είναι υψηλού ενδιαφέροντος, δεν είναι δηλαδή χώροι αποθήκευσης ή άλλοι χώροι που είτε δεν έχουν καθόλου ανθρώπινη παρουσία είτε η πιθανότητα παρουσίας είναι πολύ μικρή (επικίνδυνες περιοχές).

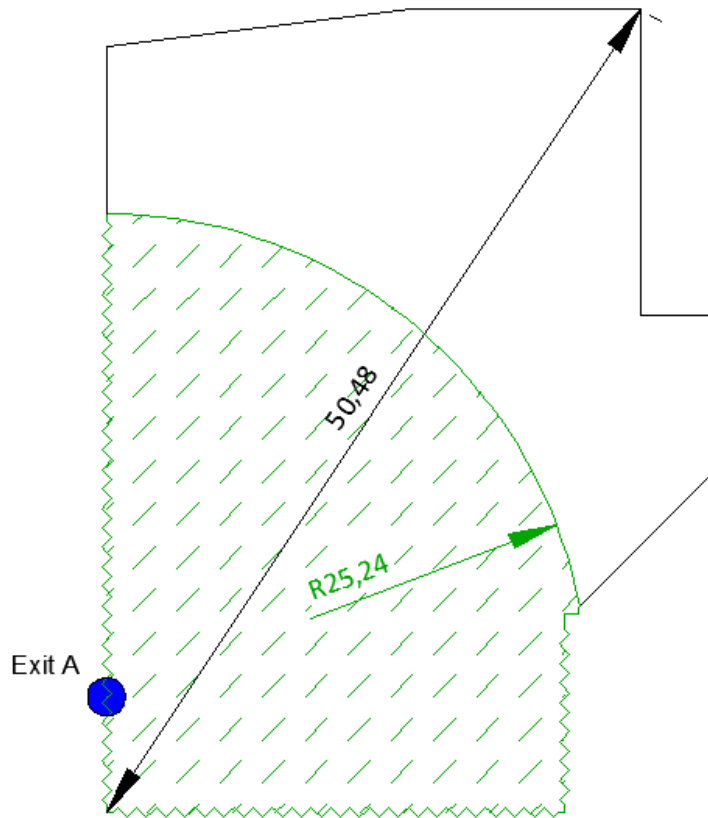
**Πίνακας 6.5** Υπόγειοι χώροι που μελετήθηκαν ως προς τη συμμόρφωση τους με τον κανονισμό των 45°

Χώρος	Έξοδοι	Ποσοστό κάλυψης	Επικίνδυνες περιοχές
Τ.Π.Π.Λ.	2	95%	0%
Δημοτικό Γυμναστήριο Καισαριανής	2	99%	0%
Temppliaukio Church	2	100%	-
Springfield Underground	9	100%	-
Υπόγειο Parking στη Θέρμη-Θεσσαλονίκης	2	97%	0%
Rynek Underground	4	99%	0%
Opatija WWTP	3	100%	-
Υπόγειο Parking The Mall Athens	18	100%	-
Winsford Saltmine	4	100%	-

Τα συμπεράσματα που βγαίνουν από την παραπάνω μελέτη είναι ότι αφενός οι χώροι γενικά συμμορφώνονται με τον κανόνα των 45° και αφετέρου, στις περιπτώσεις που υπάρχουν περιοχές που δεν συμμορφώνονται με τον κανονισμό, αυτές είναι χαμηλού έως μηδενικού ενδιαφέροντος.

### 6.8.3 Σχετική απόσταση εξόδων

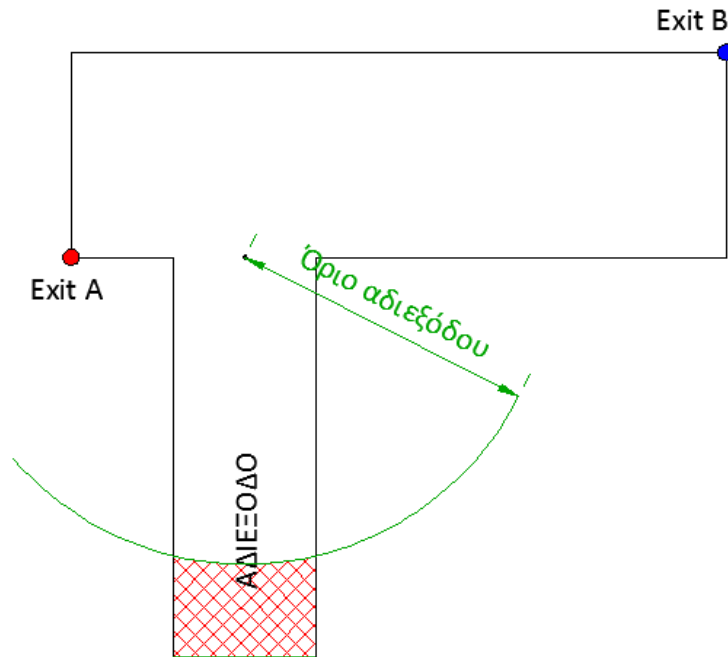
Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο έλεγχος ή η επιλογή των θέσεων των εξόδων διαφυγής σχετικά με την ελάχιστη απόσταση που πρέπει να έχουν μεταξύ τους, παρουσιάζεται στο **Σχήμα 6.13**. Στο σχήμα φαίνεται το τόξο του κύκλου με κέντρο την Exit A και ακτίνα το μισό της μέγιστης διαγωνίου του χώρου, μέσα στο οποίο δεν επιτρέπεται να τοποθετηθεί η δεύτερη έξοδος διαφυγής. Έτσι, με πράσινη τεθλασμένη γραμμή παρουσιάζονται οι πλευρές της περιμέτρου του χώρου όπου δεν πρέπει να τοποθετηθεί η δεύτερη έξοδος.



**Σχήμα 6.13** Σχηματική απεικόνιση ελάχιστης απόστασης εξόδων (η δεύτερη έξοδος δεν μπορεί να τοποθετηθεί στην περίμετρο με τεθλασμένη πράσινη γραμμή)

#### 6.8.4 Αδιέξοδα

Όσον αφορά στον υπολογισμό του μέγιστου μήκους των οδεύσεων διαφυγής σε αδιέξοδα ή τη σύμπτωση του πρώτου μέρους δύο ξεχωριστών οδεύσεων διαφυγής, αυτό προκύπτει από το **Σχήμα 6.14**, όπου η σκιαγραφημένη περιοχή είναι εκτός του μέγιστου ορίου κίνησης σε αδιέξοδα.



Σχήμα 6.14 Υπολογισμός μήκους αδιεξόδου

## 6.9 Θεωρητικός πληθυσμός

Η τιμή του θεωρητικού πληθυσμού είναι ο αριθμός που λαμβάνεται υπόψη για το σχεδιασμό της εκκένωσης και ουσιαστικά αποτελεί τη "φόρτιση" του συστήματος των χώρων που ελέγχονται. Όπως κάθε φόρτιση έχει και τις αβεβαιότητές της, επομένως οι έρευνες και πίνακες που έχουν δημιουργηθεί για τον υπολογισμό είναι προσεγγιστικές. Με αυτόν τον τρόπο, συνήθως, λαμβάνεται ένα άνω όριο. Ένας τρόπος εκτίμησης του πληθυσμού γίνεται ανάλογα με τη χρήση του. Αν ο υπόγειος χώρος έχει μικτή χρήση τότε ο κατάταξη που θα γίνει σε ξεχωριστή κατηγορία χώρου δίνει για κάθε τμήμα τον αντίστοιχο πληθυσμό και όλα μαζί τα τμήματα δίνουν το συνολικό πληθυσμό του υπογείου χώρου. Θα ληφθούν υπόψη οι κανονισμοί από τον Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων (Π.Δ. 71/1988), όπως επίσης και οι διεθνείς κανονισμοί του NFPA. Στον **Πίνακα 6.6** παρουσιάζονται οι συντελεστές για τον υπολογισμό του θεωρητικού πληθυσμού, σε σχέση με τη χρήση και το είδος του χώρου. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι κανονισμοί περιλαμβάνουν και μερικές ειδικές περιπτώσεις χώρων που δίνουν διαφορετικές τιμές από αυτές του πίνακα, όπως για παράδειγμα ο χώρος των γραφείων, στην οποία για την περίπτωση που εξετάζεται μια μεγάλη ενιαία αίθουσα με πολλά γραφεία, ο συντελεστής φόρτισης είναι  $5\text{m}^2/\text{pers}$  αντί για  $9\text{m}^2/\text{pers}$ .

**Πίνακας 6.6** Συντελεστές φόρτισης χώρων σε σχέση με τη χρήση τους

Χρήση κτιρίου	Συντελεστής φόρτισης (m <sup>2</sup> /pers) <sup>4</sup>	
	Π.Δ. 71/1988	NFPA
Χώροι συνάθροισης	Ποικίλει	Ποικίλει
<i>Χώροι με σταθερές θέσεις</i>		
<i>α)ατομικά καθίσματα</i>	1 άτομο ανά κάθισμα	1 άτομο ανά κάθισμα
<i>β)συνεχή καθίσματα πάγκοι</i>	1 άτομο/0,45 μέτρα	2 άτομο/0,45 μέτρα
<i>χώροι συγκέντρωσης</i>	0,5 (καθαρό <sup>5</sup> )	0,65 (καθαρό)
<i>χώροι αναμονής</i>	0,3 (καθαρό)	0,46 - 0,65
<i>εστιατόρια, βιβλιοθήκες κ.α.</i>	1,10 (καθαρό)	9,3
<i>χώροι αθλοπαιδιών</i>	5 (καθαρό)	1,4 - 4,6
Κατοικίες	18	18,6
Ξενοδοχεία	15	18,6
Εκπαιδευτήρια		
<i>αίθουσες διδασκαλίας</i>	2 (καθαρό)	1,9 (καθαρό)
<i>εργαστήρια</i>	4,5 (καθαρό)	4,6 (καθαρό)
<i>άλλοι χώροι</i>	6 (καθαρό)	-
Γραφεία	9 (καθαρό)	9,3
Καταστήματα - εμπορικά κέντρα		
<i>χώροι έκθεσης και πωλήσεων</i>	2 - 6	2,8 - 5,6
<i>κυλικεία - εστιατόρια</i>	1	-
<i>αποθήκες - παρκινγκ</i>	30	27,9 (αποθήκες)
Βιομηχανίες- βιοτεχνίες	10	9,3
Αποθήκες	40	27,9 - 46,5
Χώροι υγείας και κοινωνικής πρόνοιας	11 - 22	9 - 22
Σωφρονιστικά κτίρια	11	11,1
Χώροι στάθμευσης οχημάτων και πρατήρια υγρών καυσίμων	40	-

<sup>4</sup> Μεικτό εμβαδό χώρου εκτός και αν αναφέρεται "καθαρό"

<sup>5</sup> Καθαρό εμβαδό είναι το εμβαδό του χώρου που δεν περιλαμβάνει τοίχους, κολώνες, αίθρια κ.α.

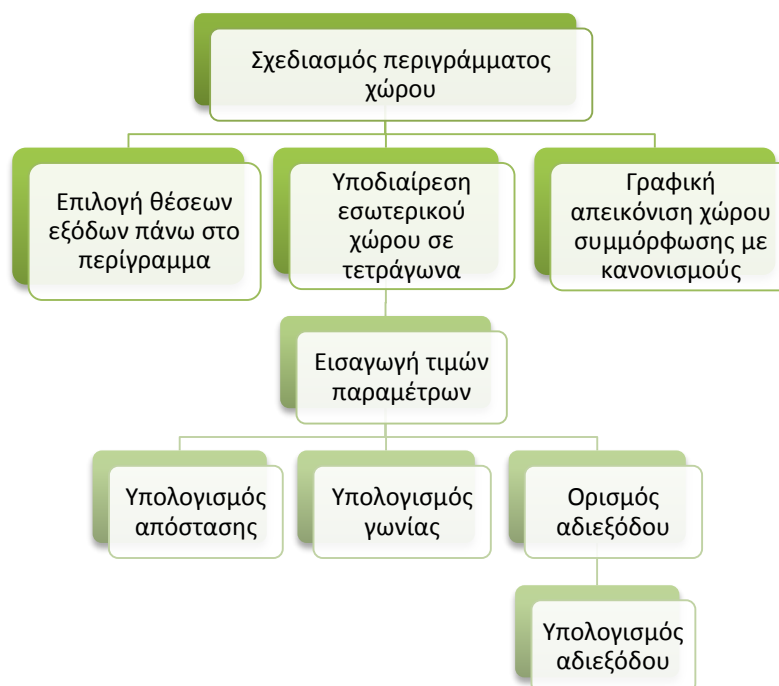
## Κεφάλαιο 7. Ανάπτυξη αλγορίθμων για τη συνδυασμένη εφαρμογή των κανονισμών

### 7.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκαν και αναλύθηκαν οι περιορισμοί και τα χαρακτηριστικά κάθε κτιρίου - χώρου οι οποίοι τον καθιστούν ή όχι ασφαλή και αποτελεσματικό σε περίπτωση άμεσης εκκένωσης του. Εκτός των σχεδιαστικών περιορισμών που αφορούν στο πλάτος των οδεύσεων διαφυγής, στο πλάτος των εξόδων διαφυγής κ.α., μεγάλη βαρύτητα και προσοχή δίνεται στη θέση των εξόδων διαφυγής. Η έξοδος διαφυγής είναι το τελευταίο κρίσιμο "στοιχείο" μιας όδευσης διαφυγής.

### 7.2 Περιγραφή μεθοδολογίας

Μέχρι τώρα ο έλεγχος συμμόρφωσης των κανονισμών γίνεται σχεδιαστικά όπως αναφέρθηκε και αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 6. Στο πλαίσιο της διδακτορικής εργασίας, αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος ο οποίος ελέγχει τη συμμόρφωση του χώρου με βάση τους κανονισμούς και εξάγει γραφικά αποτελέσματα για οπτικό έλεγχο (**Διάγραμμα 7.1**). Με τη χρήση αυτού του αλγορίθμου αναπτύχθηκε ένα λογισμικό (software) με όνομα **Exit Locator** το οποίο παρέχει το περιβάλλον σχεδιασμού, εισαγωγής δεδομένων και εξάγει τα αποτελέσματα.

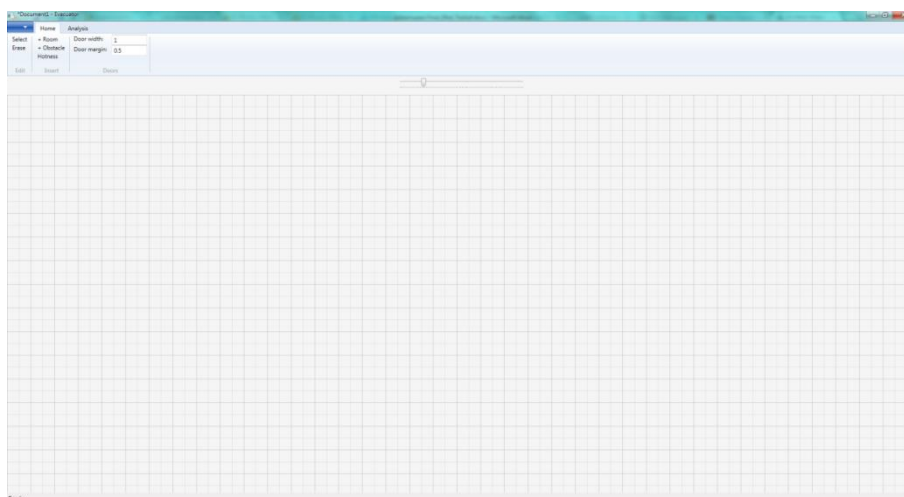


**Διάγραμμα 7.1** Μεθοδολογία λειτουργίας Exit Locator

Το πρώτο βασικό χαρακτηριστικό που περιλαμβάνει το λογισμικό είναι το περιβάλλον σχεδιασμού του χώρου (**Εικόνα 7.1**). Το σχεδιαστικό περιβάλλον δημιουργήθηκε έτσι ώστε να έχει έναν κάναβο στην επιφάνεια εργασίας για μεγαλύτερη ευκολία κατά το σχεδιασμό. Τα εργαλεία που τοποθετήθηκαν στο αρχικό μενού είναι τα εξής:

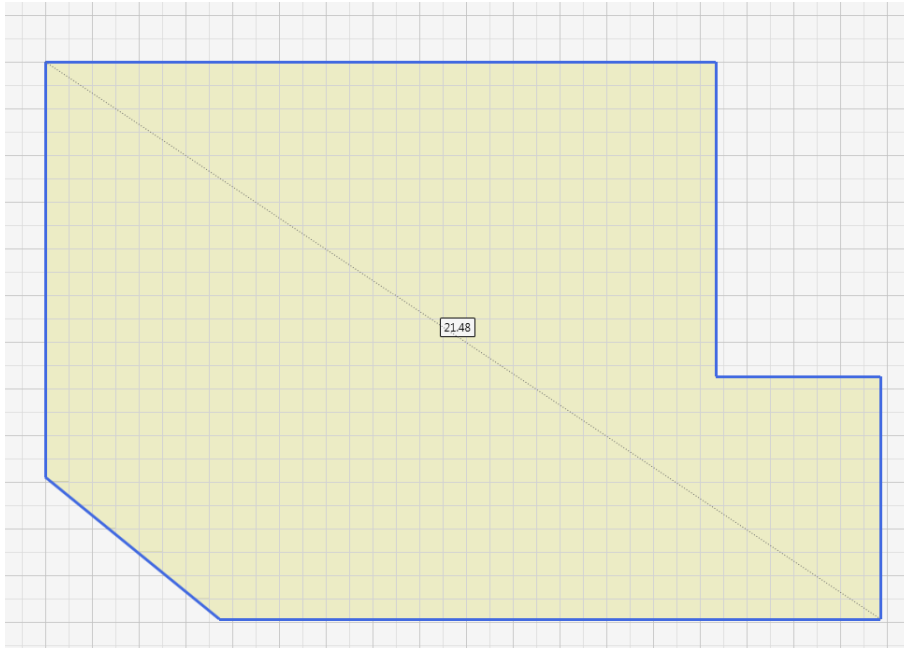
- **Room:** Ενεργοποιεί το εργαλείο σχεδιασμού του περιγράμματος του κτιρίου - χώρου. Κατά το σχεδιασμό αναγράφονται πάνω στην κίνηση του κέρσορα το μήκος της απόστασης (του τοίχου) και η γωνία με τον προηγούμενο τοίχο. Κρατώντας πατημένο το πλήκτρο "Ctrl" οι γραμμές γίνονται παράλληλες ή κάθετες. Ακόμα, πατώντας το πλήκτρο "Enter" το άκρο της τελευταίας γραμμής (τοίχου) ενώνεται με την αρχή της πρώτης γραμμής, δηλαδή "κλείνει το σχήμα". Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού εμφανίζονται βοηθητικές γραμμές που δείχνουν τις προεκτάσεις των κόμβων του σχεδίου. Τέλος, παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να πληκτρολογεί τις τιμές του μήκους και της γωνίας του τοίχου και ο σχεδιασμός να γίνεται με απόλυτη ακρίβεια (**Εικόνα 7.2**).
- **Obstacle:** Με το εργαλείο αυτό, ο χρήστης μπορεί να προσθέσει στο σχέδιο εσωτερικά χωρίσματα ή εμπόδια (κολώνες, στύλους, άλλα δωμάτια κ.α.), με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και στη διαδικασία του περιγράμματος (**Εικόνα 7.3**).
- **Door width:** Στο πεδίο αυτό συμπληρώνεται το επιθυμητό πλάτος των εξόδων διαφυγής.
- **Door margin:** Στο πεδίο αυτό συμπληρώνεται η απόσταση μεταξύ δύο πιθανών διαδοχικών θέσεων εξόδων διαφυγής.  
Πρέπει να σημειωθεί ότι τα δύο τελευταία πεδία βοηθάνε το χρήστη να έχει μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση του τελικού χώρου, καθώς και αυξομειώνουν το χρόνο υπολογισμού ανάλογα με τις τιμές τους.

Με το σχεδιασμό του χώρου και τη διαστασιολόγηση των εξόδων, εμφανίζονται πάνω στο περίγραμμα όλες οι πιθανές θέσεις εξόδων διαφυγής (**Εικόνα 7.4**).

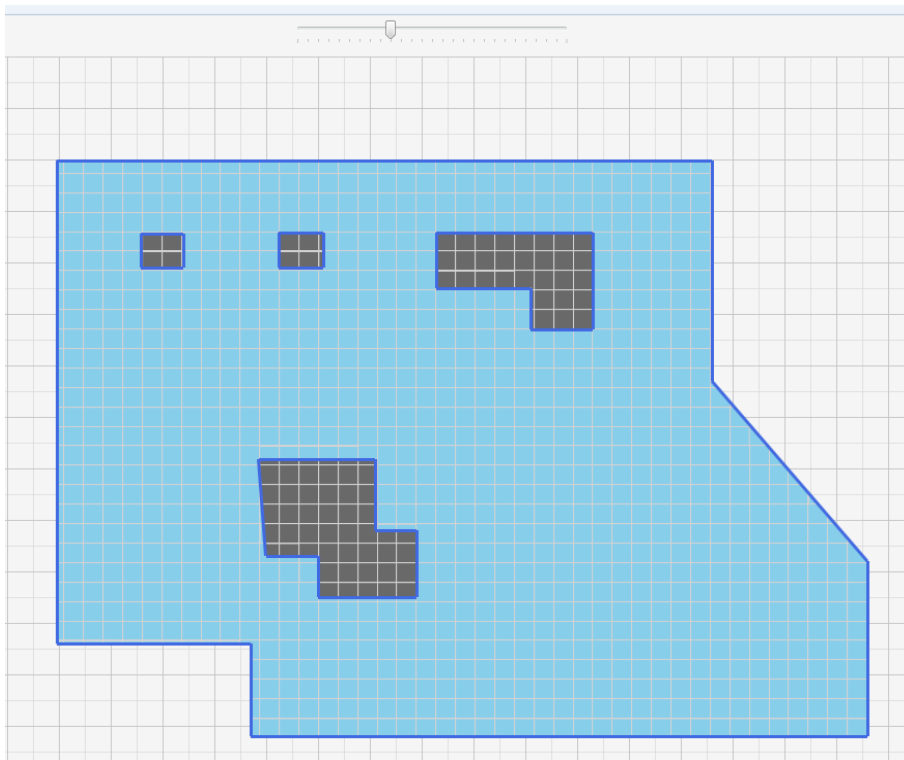


**Εικόνα 7.1** Σχεδιαστικό περιβάλλον (design interface) Exit Locator

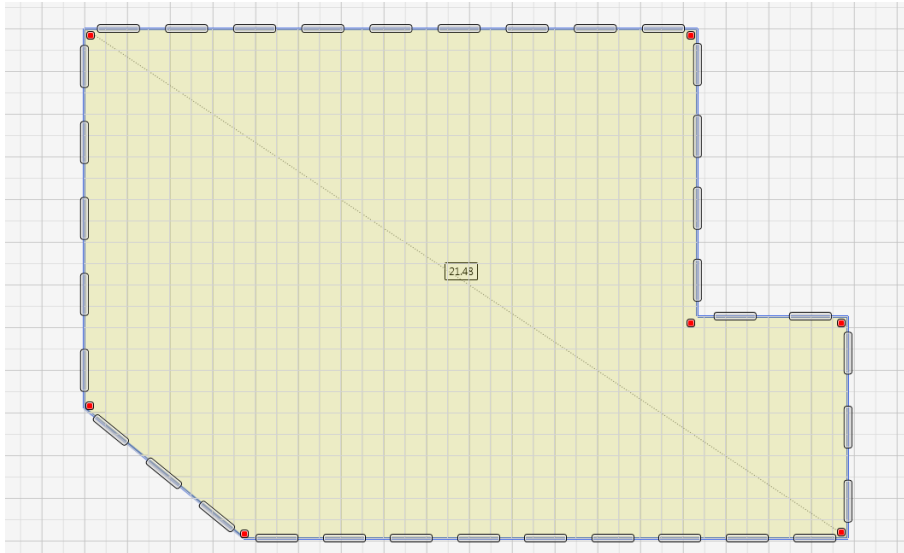




**Εικόνα 7.2** Αρχικός σχεδιασμός στο Exit Locator

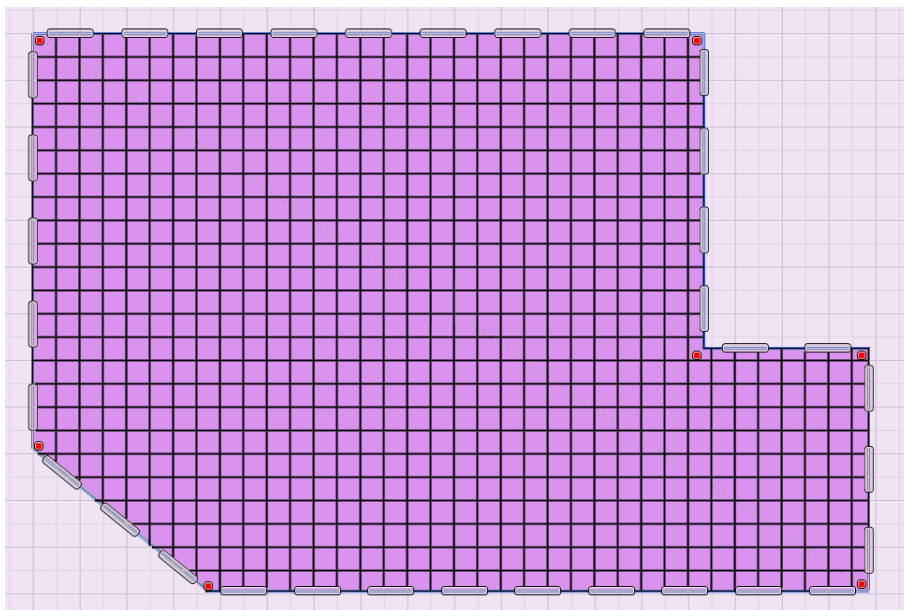


**Εικόνα 7.3** Εισαγωγή εμποδίων Exit Locator



**Εικόνα 7.4** Απεικόνιση πιθανών επιλογών θέσεων διαφυγής από το Exit Locator

Επειδή όλοι οι περιορισμοί αναφέρονται σε σημεία του προς εξέταση χώρου και τις ιδιότητες τους σε σχέση με τις θέσεις των εξόδων (απόσταση από την κοντινότερη έξοδο, σχηματιζόμενη γωνία με τις δύο εξόδους κτλ.), μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του χώρου το εσωτερικό μέρος χωρίζεται σε έναν κάναβο 0,5 \* 0,5 μέτρο (**Εικόνα 7.5**) (περίπου ο χώρος που καταλαμβάνει ένας άνθρωπος στο χώρο).



**Εικόνα 7.5** Κάναβος κάτοψης κτιρίου

Το επόμενο βήμα είναι να επιλεγθούν οι επιθυμητές θέσεις των εξόδων διαφυγής. Αυτό πραγματοποιείται κάνοντας "κλικ" πάνω σε οποιοσδήποτε από τις δυνητικές θέσεις των εξόδων που έχουν εμφανιστεί στο σχέδιο. Τώρα πλέον το λογισμικό έχει υπολογίσει το εμβαδό του χώρου καθώς και τις πιθανές θέσεις των εξόδων διαφυγής. Στην επόμενη φάση ο χρήστης εισάγει τις τιμές των κανονισμών - παραμέτρων. Το τελικό στάδιο είναι ο έλεγχος

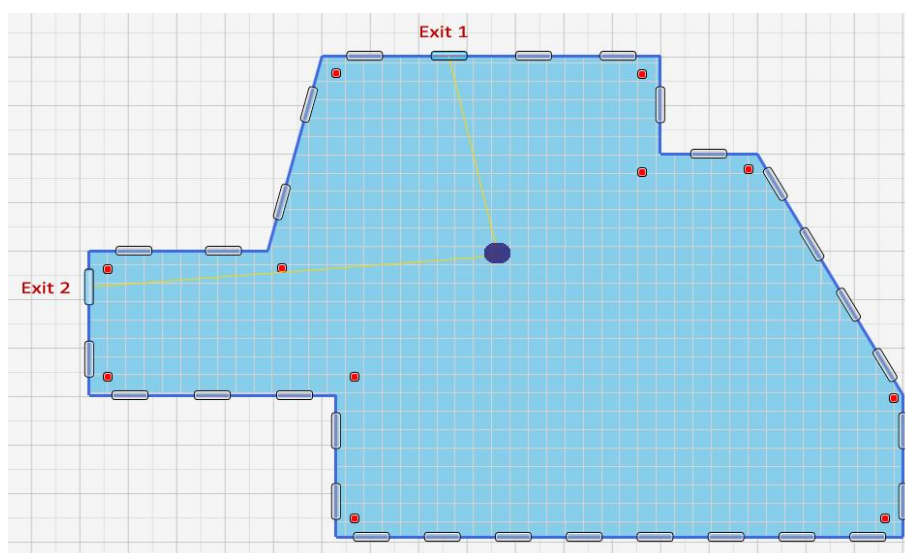
συμμόρφωσης του χώρου με τις παραμέτρους, βασισμένος πάνω στις τιμές που έχουν εισαχθεί.

### 7.3 Υπολογισμός μεταβλητών στο περιβάλλον του Exit Locator

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκε προηγουμένως ο τρόπος με τον οποίο γίνεται "χειροκίνητα" ο έλεγχος αυτών των μεταβλητών (μέγιστη απόσταση, διαδρομή εντός αδιεξόδου κτλ). Στο σημείο αυτό αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο βρίσκονται οι τιμές των μεταβλητών μέσα στο λογισμικό.

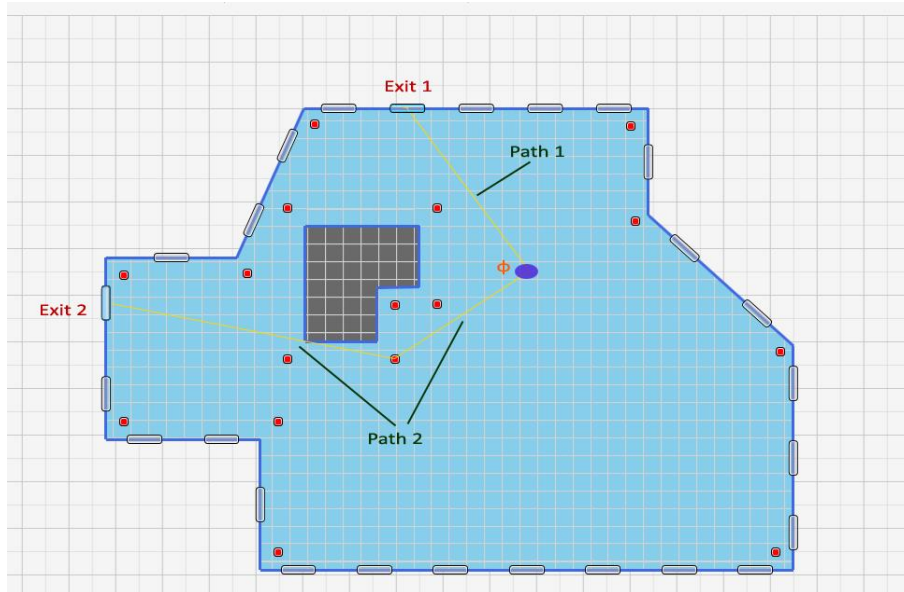
#### 7.3.1 Υπολογισμός απόστασης από την έξοδο διαφυγής

Για τον υπολογισμό της απόστασης από τις εξόδους διαφυγής απαιτείται πρώτα από όλα η επιλογή των θέσεων των εξόδων. Μετά την επιλογή των θέσεων διαφυγής, το λογισμικό υπολογίζει την πραγματική απόσταση κάθε σημείου του χώρου (τετράγωνο του κάναβου που στο εξής θα αναφέρεται ως "κελί") από τις δύο εξόδους διαφυγής (**Σχήμα 7.1**).



**Σχήμα 7.1** Πραγματική απόσταση (στη συγκεκριμένη περίπτωση ταυτίζεται με την άμεση απόσταση) σημείου από τις εξόδους διαφυγής στο Exit Locator

Οι κίτρινες γραμμές στο σχήμα δείχνουν τις δύο διαφορετικές οδεύσεις που θα ακολουθηθούν από το αρχικό σημείο (κυανό σημάδι) μέχρι τα σημεία εξόδου. Το λογισμικό υπολογίζει το μήκος της κάθε γραμμής και παίρνει το μικρότερο κάθε φορά για τη βαθμολόγηση του σημείου αλλά και για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τον κανονισμό. Επίσης, σε περίπτωση που υπάρχει εμπόδιο στη διαδρομή ή γενικά δεν υπάρχει άμεση "οπτική" επαφή με την έξοδο διαφυγής, τότε υπολογίζεται το μήκος κάθε ευθύγραμμου τμήματος μίας όδευσης και το άθροισμα τους δίνει το τελικό μήκος (**Σχήμα 7.2**)



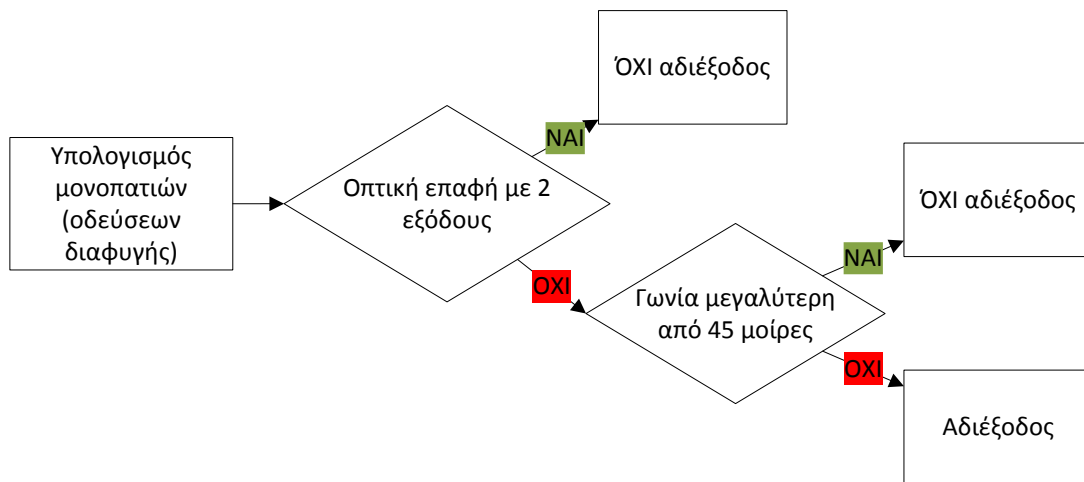
**Σχήμα 7.2** Υπολογισμός πραγματικής απόστασης τεθλασμένων οδεύσεων στο Exit Locator

### 7.3.2 Υπολογισμός γωνίας οδεύσεων προς τις εξόδους διαφυγής

Στο **Σχήμα 7.2** φαίνεται η γωνία  $\phi$  την οποία σχηματίζουν οι δύο διαφορετικές οδεύσεις διαφυγής (Path 1, Path 2). Αυτή τη γωνία υπολογίζει το λογισμικό, ασχέτως με το πόσες στροφές - γωνίες θα παρουσιάσει στην πορεία της η κάθε όδευση, διότι στο αρχικό σημείο κρίνεται το κατά πόσο οι άνθρωποι θα ακολουθήσουν διαφορετικές διαδρομές μειώνοντας το φαινόμενο του συνωστισμού.

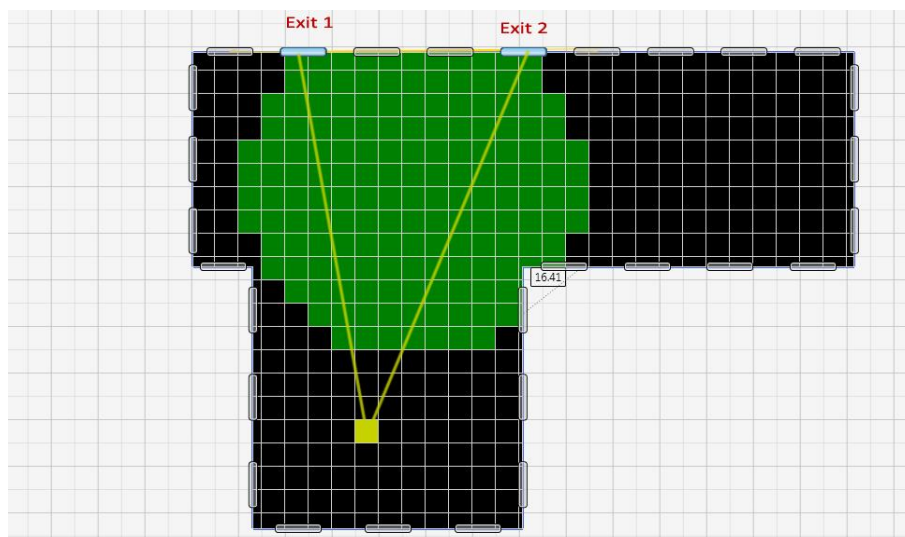
### 7.3.3 Ορισμός και υπολογισμός αδιεξόδων

Ο υπολογισμός των οδεύσεων σε αδιέξοδα έχει κάποιες ιδιαιτερότητες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Αν και με την πρώτη ματιά φαίνεται κάτι απλό και εύκολα υπολογίσιμο, για να μπορέσει το λογισμικό να υπολογίζει το μήκος του αδιεξόδου πρέπει πρώτα να οριστεί σε αυτή τι είναι αδιέξοδος. Ο ορισμός του αδιεξόδου στην γλώσσα του υπολογιστή είναι πολύ σημαντικός διότι ουσιαστικά δίνεται η δυνατότητα στο λογισμικό να αποφασίσει πότε κάποια περιοχή ή καλύτερα κελί του κανάβου βρίσκεται σε αδιέξοδο ή όχι, ώστε να εφαρμοστεί σε αυτό ο περιορισμός που επιβάλλεται από τον εκάστοτε κανονισμό. Για να καλυφτεί η πρόταση "η διαφυγή μπορεί να γίνει μόνο προς μία κατεύθυνση" θεωρείται ότι μια κατεύθυνση είναι είτε η σύμπτωση των δύο οδεύσεων είτε δυο διαφορετικές οδεύσεις με γωνία μικρότερη των  $45^\circ$ , όπως ορίζει το Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος. Οπότε, η οδηγία που λαμβάνει το λογισμικό για να ορίζει ότι ένα κελί βρίσκεται σε αδιέξοδο είναι η εξής: "Αδιέξοδος θεωρείται ένα κελί από το οποίο μια τουλάχιστον όδευση διαφυγής είναι τεθλασμένη και στην αρχή τους οι οδεύσεις διαφυγής σχηματίζουν γωνία μικρότερη από  $45^\circ$  μεταξύ τους" (**Διάγραμμα 7.2**). Η παραπάνω περιγραφή έγινε με σκοπό να αποφευχθεί η σύγχυση του λογισμικού με άλλα κελιά τα οποία δεν πρέπει να ελεγχθούν περαιτέρω για τον κανονισμό που επιβάλλεται σε αδιέξοδο, και πρέπει να ορίζονται ως έγκυρα ή μη έγκυρα μόνο βάση της απόστασης και της γωνίας με τις θέσεις των εξόδων διαφυγής.

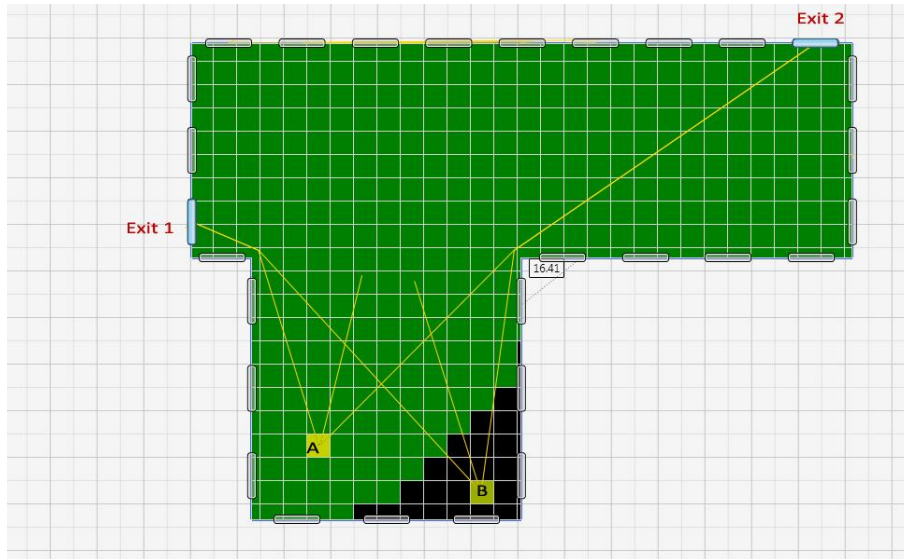


**Διάγραμμα 7.2** Αλγόριθμος υπολογισμού αδιεξόδου στο Exit Locator

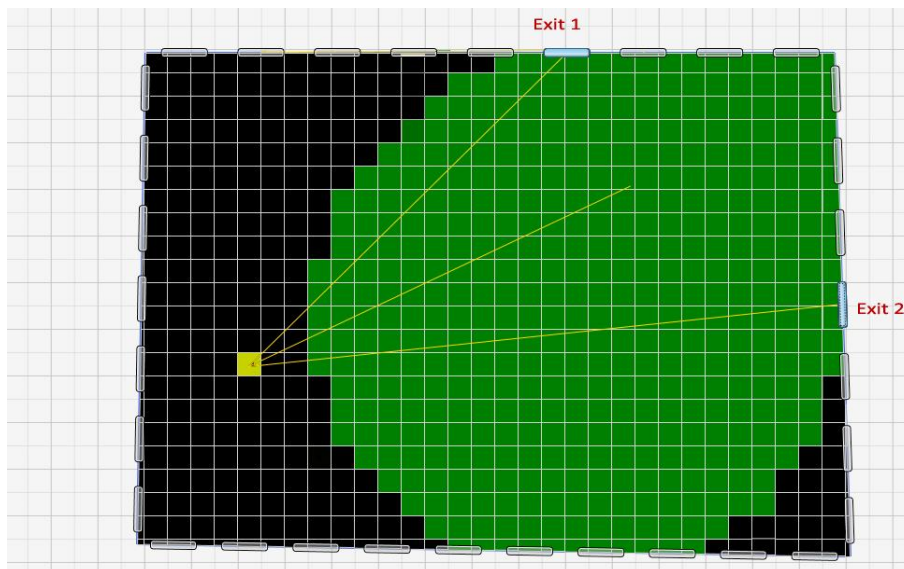
Στα σχήματα 7.3 - 7.5 φαίνονται αυτές οι δύο περιπτώσεις. Με μαύρο χρώμα είναι τα σημεία τα οποία είναι εκτός του περιορισμού της γωνίας των  $45^\circ$  για τον κάθε συνδυασμό θέσεων εξόδων διαφυγής. Στην πρώτη περίπτωση (Σχήμα 7.3) το κίτρινο κελί ορίζεται ως μη έγκυρο διότι σχηματίζει γωνία μικρότερη των  $45^\circ$  από τις ορατές εξόδους διαφυγής. Στη δεύτερη περίπτωση (Σχήμα 7.4), το κίτρινο κελί A δεν ορίζεται άμεσα ως μη έγκυρο, διότι παρόλο που οι δύο οδεύσεις που οδηγούν προς τις εξόδους σχηματίζουν γωνία μικρότερη των  $45^\circ$ , δεν έχει κανένα οπτική επαφή με τις εξόδους οπότε πλέον εφαρμόζεται στο σημείο αυτό ο κανονισμός του αδιεξόδου για να ελεγχθεί εκ νέου η εγκυρότητα του. Το ίδιο ισχύει και για το κίτρινο σημείο B, αλλά με βάση τους υπολογισμούς του προγράμματος το σημείο A συμμορφώνεται με τον κανονισμό του αδιεξόδου ενώ το σημείο B όχι (πράσινες περιοχές είναι έγκυρες και μαύρες όχι). Ακόμα, στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή στα σημεία που δεν είναι έγκυρα, εντάσσεται και το κίτρινο κελί στο Σχήμα 7.5. Στο σχήμα αυτό δεν υπάρχει καμία περίπτωση να θεωρηθεί κάποιο σημείο ή περιοχή του χώρου ως αδιέξοδος, διότι όλα τα σημεία έχουν άμεση οπτική επαφή με όλη την περίμετρο του χώρου.



**Σχήμα 7.3** Υπολογισμός περιοχών αδιεξόδου στο Exit Locator (το κίτρινο κελί δεν βρίσκεται σε περιοχή αδιεξόδου)



**Σχήμα 7.4** Υπολογισμός περιοχών αδιεξόδου στο Exit Locator (το κίτρινο τετράγωνο βρίσκεται σε περιοχή αδιεξόδου)



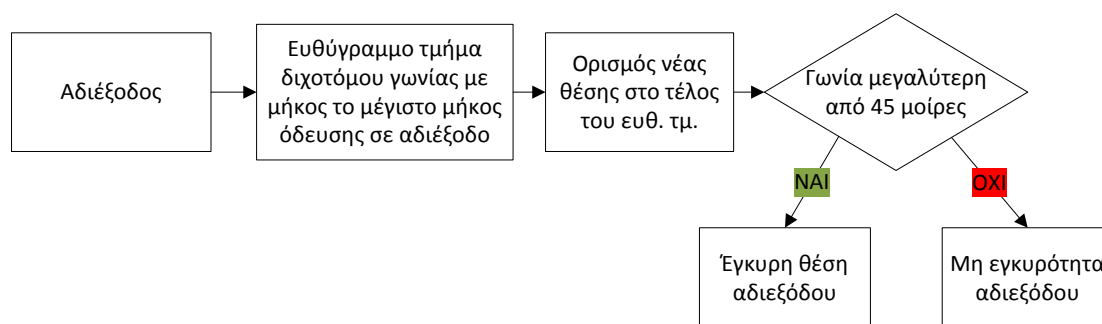
**Σχήμα 7.5** Χώρος που δεν περιέχει περιοχές αδιεξόδου ανεξαρτήτως από τις θέσεις των εξόδων διαφυγής

Για να είναι πιο ξεκάθαρο το ποιά σημεία είναι άμεσα έγκυρα ή άκυρα με βάση τον κανονισμό της σχηματιζόμενης γωνίας των οδεύσεων διαφυγής και ποιά ορίζονται ως αδιεξόδα και απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση, δημιουργήθηκε ο **Πίνακας 7.1** που παρουσιάζει συνοπτικά τις παραπάνω αναφορές.

**Πίνακας 7.1** Συνοπτικός πίνακας εγκυρότητας περιοχών στο Exit Locator

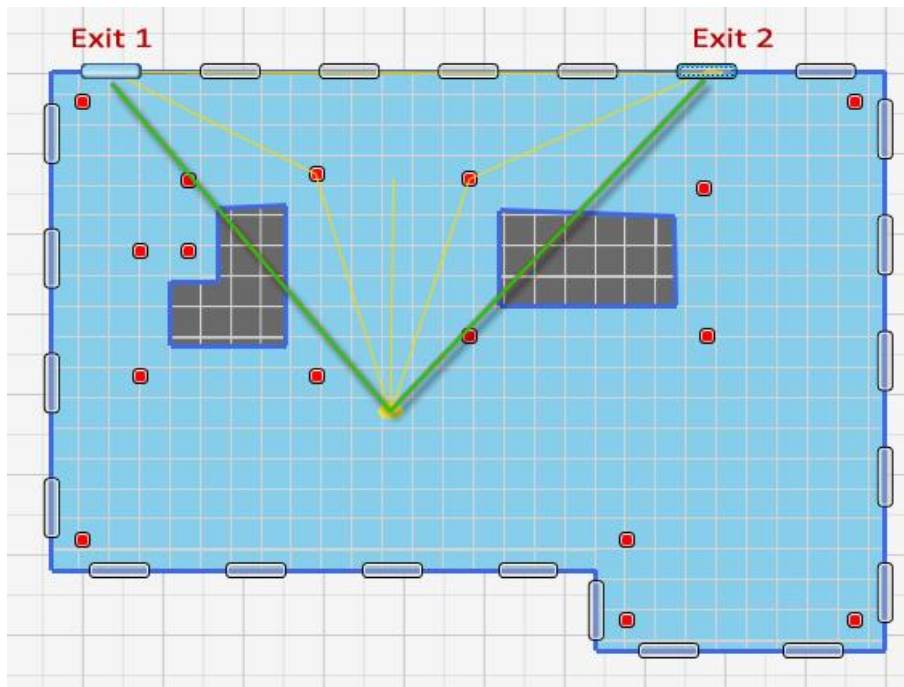
Έξοδοι με οπτική επαφή	Γωνία οδεύσεων	Κατάσταση κελιού
Βλέπει 2	Πάνω από 45	Έγκυρο
	Κάτω από 45	Μη έγκυρο
Βλέπει 1	Πάνω από 45	Έγκυρο
	Κάτω από 45	Έλεγχος αδιεξόδου
Βλέπει 0	Πάνω από 45	Έγκυρο
	Κάτω από 45	Έλεγχος αδιεξόδου

Όταν λοιπόν οριστεί κάποιο κελί ότι εντάσσεται στην ειδική περίπτωση των αδιεξόδων, τότε πρέπει να ελεγχθεί αν η απόσταση που διανύεται εντός του αδιεξόδου είναι μικρότερη από το μέγιστο μήκος που δίνεται από τους κανονισμούς και το μήκος της οδεύσης που διανύεται μέχρι το σημείο που "διαχωρίζονται" οι οδεύσεις διαφυγής. Το σημείο που διαχωρίζονται οι οδεύσεις διαφυγής είναι το σημείο που η νέα σχηματιζόμενη γωνία των οδεύσεων είναι 45°. Το νέο σημείο, λοιπόν, θα πρέπει να βρίσκεται πάνω στη διχοτόμο της γωνίας ώστε να ισαπέχει από τις δύο αρχικές οδεύσεις. Για να βρεθεί όμως η απόσταση που βρίσκεται το σημείο πάνω στη διχοτόμο και συνεπώς το μήκος του αδιεξόδου, ακολουθείται η εξής διαδικασία: Δημιουργείται η διχοτόμος της γωνίας ως ευθύγραμμο τμήμα, με μήκος το μέγιστο μήκος που επιβάλλει ο κάθε κανονισμός (ορίζεται από τον χρήστη). Μετά, το λογισμικό ορίζει προσωρινά ως νέο σημείο το τέλος του ευθύγραμμου τμήματος και ελέγχει αν οι νέες οδεύσεις σχηματίζουν γωνία μεγαλύτερη των 45°. Στην περίπτωση που δεν είναι μεγαλύτερη από 45°, τότε το αρχικό σημείο (κίτρινο τετράγωνο) ορίζεται ως μη έγκυρο (**Διάγραμμα 7.3**).



**Διάγραμμα 7.3** Αλγόριθμος εγκυρότητας αδιεξόδου στο Exit Locator

Τέλος, στην περίπτωση που υπάρχουν εσωτερικά εμπόδια αλλά υπάρχει ελεύθερος διάδρομος περιμετρικά τότε η μελέτη προχωράει κανονικά χωρίς να εφαρμόζεται ο κανονισμός των αδιεξόδων, ασχέτως αν υπάρχει οπτική επαφή με δύο, με μία ή με καμία έξοδο (**Σχήμα 7.6**). Ο όρος "εμπόδια" περιλαμβάνει κολώνες, άλλα δωμάτια, μεγάλα ακλόνητα αντικείμενα, εσωτερικά χωρίσματα κ.α. Αυτή η παραδοχή περιλαμβάνεται στον υπολογισμό διότι παρόλο που οι δύο κοντινότερες οδεύσεις διαφυγής δεν οδηγούν "σε διαφορετικές κατευθύνσεις", υπάρχουν εναλλακτικές διαδρομές που μπορούν να αποτρέψουν τον εγκλωβισμό των ατόμων από πυρκαγιά ή άλλες καταστάσεις.

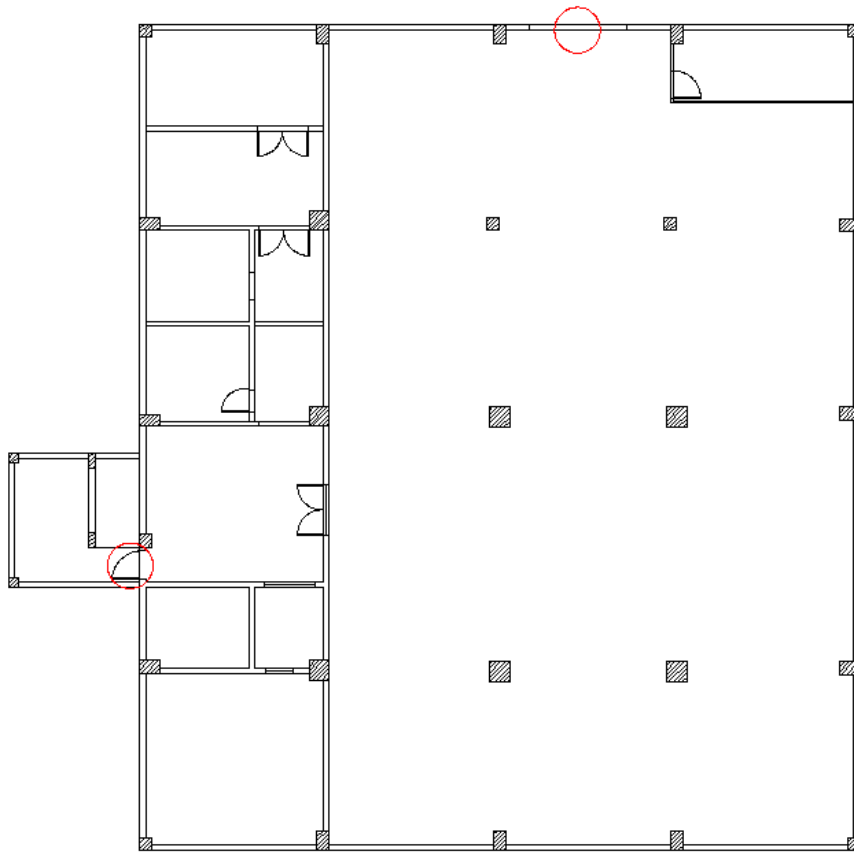


**Σχήμα 7.6** Περίπτωση που δεν υπάρχει οπτική επαφή με καμία έξοδο αλλά δεν υπολογίζεται ως αδιέξοδος. Η πράσινη γραμμή δείχνει ότι εμποδίζεται η οπτική επαφή με τις εξόδους από τα δύο εμπόδια

#### 7.4 Έλεγχος μεθοδολογίας - αλγορίθμου

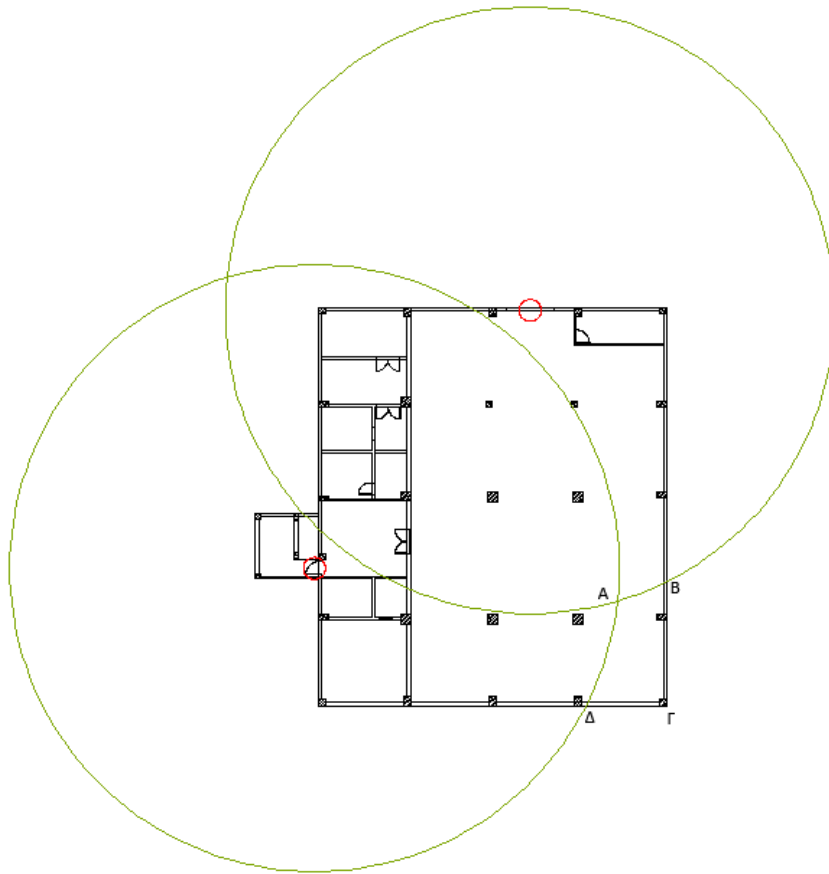
Παρακάτω, παρουσιάζεται η επαλήθευση της μεθοδολογίας. Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας, χρησιμοποιήθηκε ένας υφιστάμενος υπόγειος χώρος και συγκεκριμένα το δημοτικό γυμναστήριο του Δήμου Καισαριανής (**Σχήμα 7.7**). Σύμφωνα με τα στοιχεία που δόθηκαν, η βόρεια έξοδος οδηγεί σε στοά για την είσοδο αυτοκινήτων, ενώ η δυτική σε σκάλες που οδηγούν σε ασφαλή χώρο. Στο χώρο πραγματοποιείται πρώτα ο σχεδιαστικός - "χειροκίνητος" έλεγχος, του οποίου τα αποτελέσματα θα συγκριθούν με αυτά που εξάγονται από το λογισμικό Exit Locator. Οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν είναι σε δύο κανονισμούς, αυτόν της απόστασης και αυτόν των 45°, διότι είναι πιο εύκολο να γίνουν οπτικά κατανοητοί και να επαληθευτούν τα αποτελέσματα.



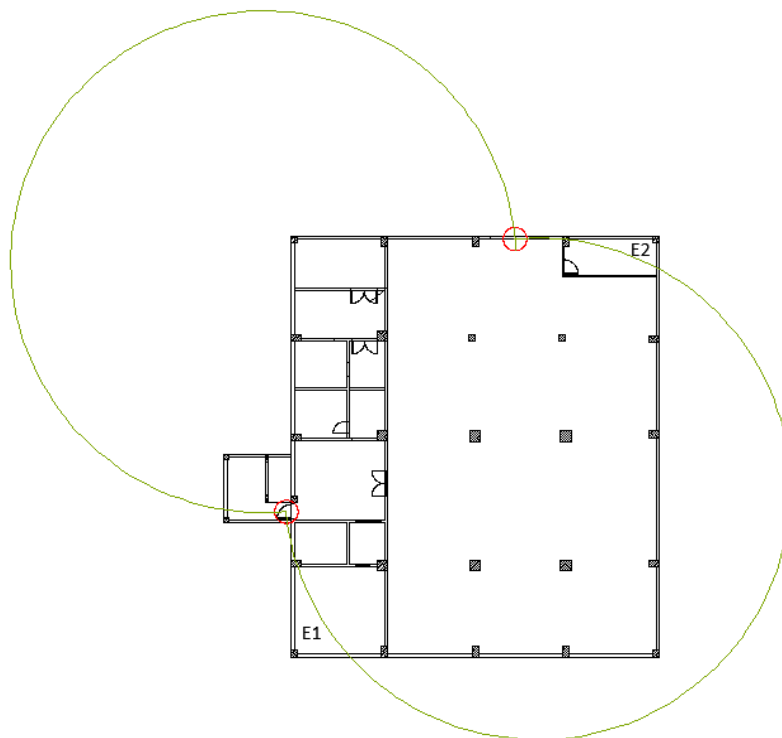


**Σχήμα 7.7** Υπόγειο γυμναστήριο (κάτοψη)

Στο **Σχήμα 7.8** απεικονίζεται η περιοχή που βρίσκεται σε απόσταση 25 μέτρα από τις εξόδους διαφυγής (το 25 μέτρα χρησιμοποιήθηκε ενδεικτικά για τους σκοπούς της επαλήθευσης). Παρατηρείται ότι υπάρχει μια περιοχή ΑΒΓΔ η οποία βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από 25 μέτρα και από τις δύο εξόδους. Στο **Σχήμα 7.9** απεικονίζεται η περιοχή του χώρου στην οποία όλα τα σημεία σχηματίζουν γωνία μεγαλύτερη των  $45^\circ$ . Όπως φαίνεται και στο σχήμα, υπάρχουν δύο πολύ μικρές περιοχές Ε1 και Ε2 οι οποίες είναι εκτός του κανονισμού. Αυτοί οι χώροι βρίσκονται μέσα σε δωμάτια και επιτρέπεται από τους κανονισμούς μετακίνηση (υπάρχει μέγιστο όριο) μέχρι την πόρτα του δωματίου και μετά επιλογή όδευσης διαφυγής.



**Σχήμα 7.8** Υπολογισμός περιοχής κανονισμού απόστασης στο χώρο του γυμναστηρίου

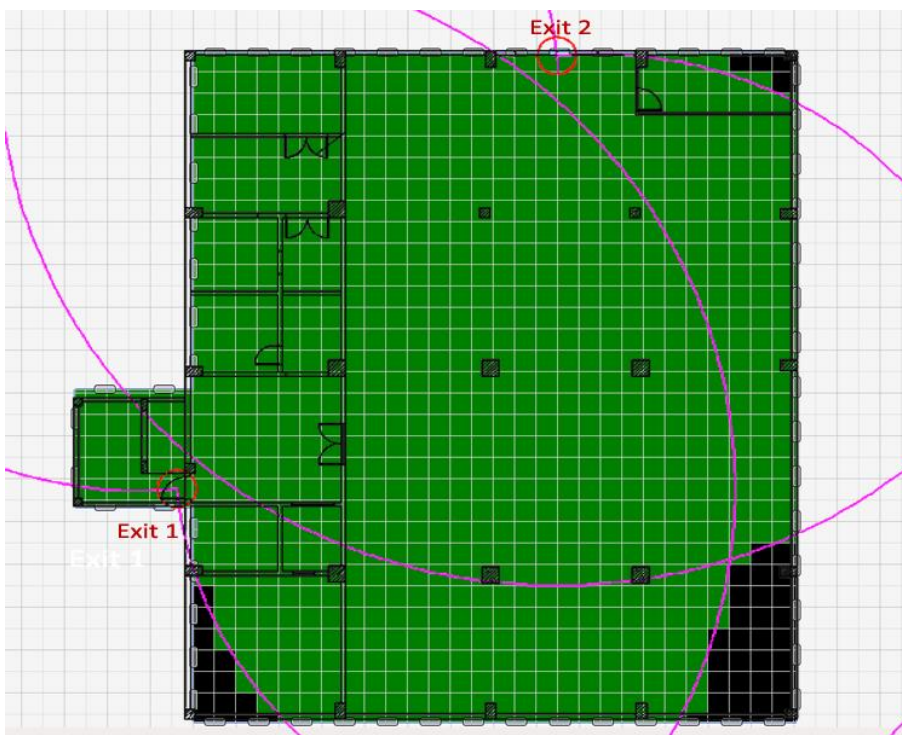


**Σχήμα 7.9** Εφαρμογή του κανόνα των  $45^\circ$  στο χώρο του γυμναστηρίου

Στο επόμενο **Σχήμα 7.10** φαίνεται η πράσινη - έγκυρη περιοχή που υπολογίστηκε μέσα στο λογισμικό Exit Locator. Οι μαύρες περιοχές που σημειώθηκαν ως μη έγκυρες συμπίπτουν με απόλυτη ακρίβεια με αυτές που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα σχήματα. Τοποθετώντας τα τρία σχήματα στο ίδιο επίπεδο επαληθεύεται και οπτικά (άμεσα) η σύμπτωση των περιοχών (**Σχήμα 7.11**).



**Σχήμα 7.10** Αποτελέσματα συμμόρφωσης του γυμναστηρίου στο Exit Locator



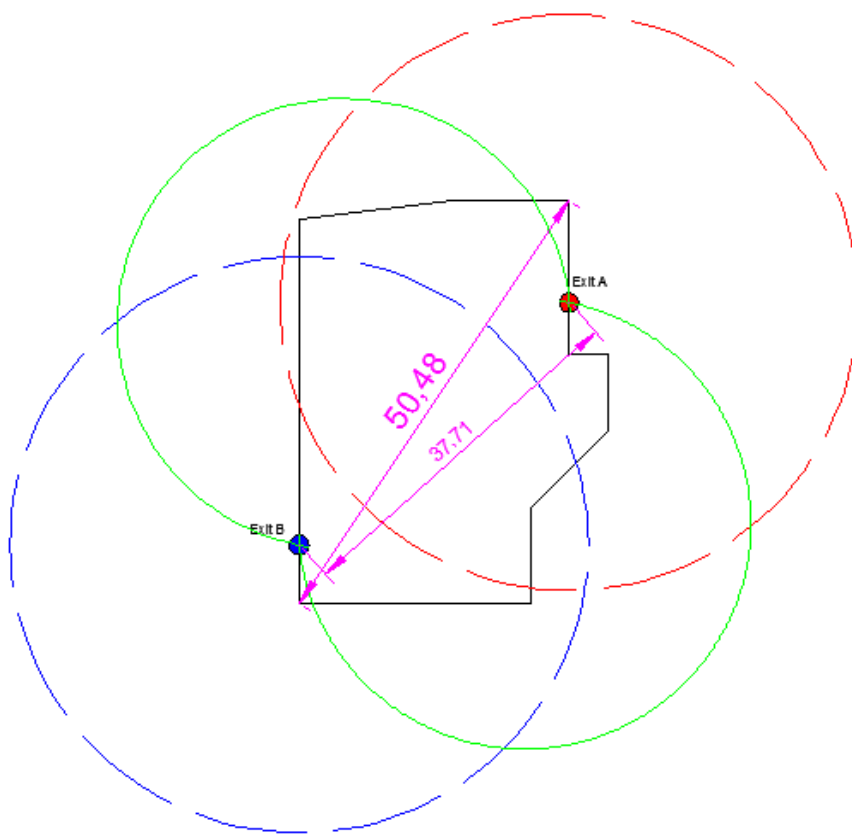
**Σχήμα 7.11** Επαλήθευση αποτελεσμάτων Exit Locator και σχεδιαστικής μεθοδολογίας

Με βάση τα παραπάνω σχέδια (**Σχήμα 7.8** - **Σχήμα 7.11**) και τα αποτελέσματα, επαληθεύτηκε η αποτελεσματικότητα του νέου λογισμικού. Η χρήση του λογισμικού μπορεί να δώσει άμεσα αποτελέσματα για τη συμμόρφωση ή όχι ενός χώρου με τους κανονισμούς εκκένωσης, με βάση τις θέσεις των εξόδων διαφυγής. Με τη χρήση της παραπάνω μεθοδολογίας και του αλγορίθμου ανάπτυξης του λογισμικού, μπορεί να γίνει άμεσα ο έλεγχος συμμόρφωσης με τους κανονισμούς αλλά δεν μπορεί να βρεθεί η βέλτιστη επιλογή τοποθέτησης των εξόδων διαφυγής.

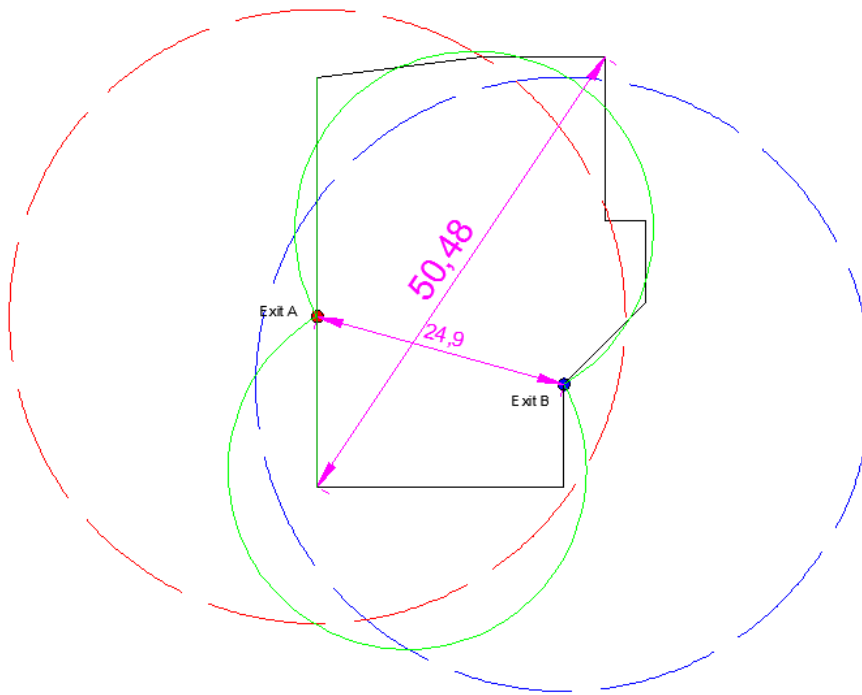
## Κεφάλαιο 8. Βελτιστοποίηση αποτελεσμάτων

### 8.1 Επιλογή βέλτιστων θέσεων εξόδων διαφυγής

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι περιορισμοί από τους κανονισμούς επιτρέπουν στον μελετητή - μηχανικό να ελέγχει και να υπολογίζει τις θέσεις των εξόδων διαφυγής ώστε να συμμορφώνονται με τον εκάστοτε κανονισμό στον οποίο εμπίπτει ο προς εξέταση χώρος. Όμως, σε ένα χώρο ενδέχεται να υπάρχουν περισσότεροι του ενός συνδυασμοί (ή ζεύγη στην περίπτωση που απαιτούνται μόνο δύο έξοδοι διαφυγής) θέσεων εξόδων διαφυγής που ικανοποιούν όλους τους κανονισμούς (Σχήματα 8.1 - 8.2). Αυτό μάλιστα είναι η συνήθης περίπτωση. Στα σχήματα με μπλε και κόκκινο κύκλο περιγράφονται οι περιοχές που είναι εντός του κανονισμού της απόστασης, με πράσινους κύκλους ("οχτάρι") περιγράφεται η περιοχή που συμμορφώνεται με τον κανονισμό των 45° και με τη διαστασιολόγηση του χώρου φαίνεται η συμμόρφωση με τον κανονισμό της ελάχιστης απόστασης μεταξύ των εξόδων διαφυγής (να είναι μεγαλύτερη από το μισό μήκος της μεγαλύτερης διαγωνίου του περιγράμματος του χώρου).



Σχήμα 8.1 Πρώτη ορθή επιλογή θέσεων εξόδων διαφυγής



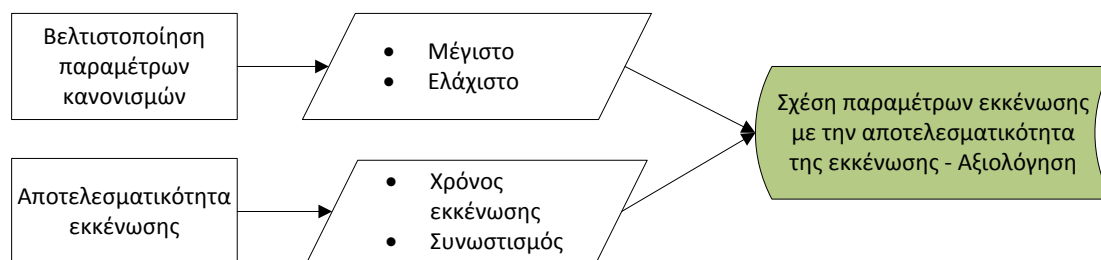
**Σχήμα 8.2** Δεύτερη ορθή επιλογή θέσεων εξόδων διαφυγής

Όπως φαίνεται στα σχήματα που δημιουργήθηκαν (**Σχήματα 8.1 - 8.2**) και οι δύο συνδυασμοί θέσεων εξόδων διαφυγής ικανοποιούν όλους τους κανονισμούς που αναλύθηκαν προηγουμένως. Στην περίπτωση αυτή, δεν υπάρχουν περιοχές με αδιέξοδα ώστε να ελεγχθεί και αυτός ο περιορισμός. Μπορούν να βρεθούν και άλλοι συνδυασμοί οι οποίοι να ικανοποιούν τις συνθήκες που θέλει ο μηχανικός και επιβάλλουν οι κανονισμοί, αλλά αυτό που θα αποδειχθεί παρακάτω είναι ότι κάποιος από αυτούς θα είναι πιο αποτελεσματικός ως προς την ταχύτερη και ασφαλέστερη εκκένωση του χώρου. Για κάθε γεωμετρία και χρήση του χώρου υπάρχει μια λύση, η οποία βελτιστοποιεί τις τιμές των παραμέτρων των κανονισμών και προσφέρει αποτελεσματικότερες συνθήκες εκκένωσης του χώρου. Αυτή η βέλτιστη λύση είναι ο στόχος της περαιτέρω ανάπτυξης του λογισμικού Exit Locator.

## 8.2 Αξιολόγηση κανονισμών

Για να βρεθεί η βέλτιστη επιλογή των θέσεων των εξόδων διαφυγής πρέπει πρώτα να δοθεί ο ορισμός της βελτιστοποίησης, ουσιαστικά η συνάρτηση αξιολόγησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση που μελετάται η βελτιστοποίηση των παραμέτρων των κανονισμών, θα πρέπει αυτές να παίρνουν τις βέλτιστες τιμές. Για παράδειγμα, όσον αφορά στην απόσταση από την έξοδο διαφυγής, αυτή όσο μικρότερη είναι τόσο καλύτερα, ει δυνατόν και μηδενική (δίπλα στην πόρτα εξόδου). Γενικά, όπου οι κανονισμοί δίνουν μέγιστη τιμή τότε βέλτιστη τιμή είναι η ελάχιστη δυνατή και όπου δίνουν ελάχιστη τιμή τότε βέλτιστη είναι η μέγιστη δυνατή τιμή. Αυτό είναι μια εύλογη προσέγγιση, αλλά πρέπει να βρεθεί η σχέση του κάθε κανονισμού με την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης, δηλαδή κατά πόσο η αλλαγή στην τιμή της παραμέτρου του κανονισμού επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης. Πριν, όμως, πρέπει να ορισθεί η αποτελεσματικότητα της εκκένωσης. Η αξιολόγηση γίνεται

με βάση δύο παραμέτρους που βελτιστοποιούν τη διαδικασία εκκένωσης: το χρόνο εκκένωσης και το συνωστισμό (**Διάγραμμα 8.1**).



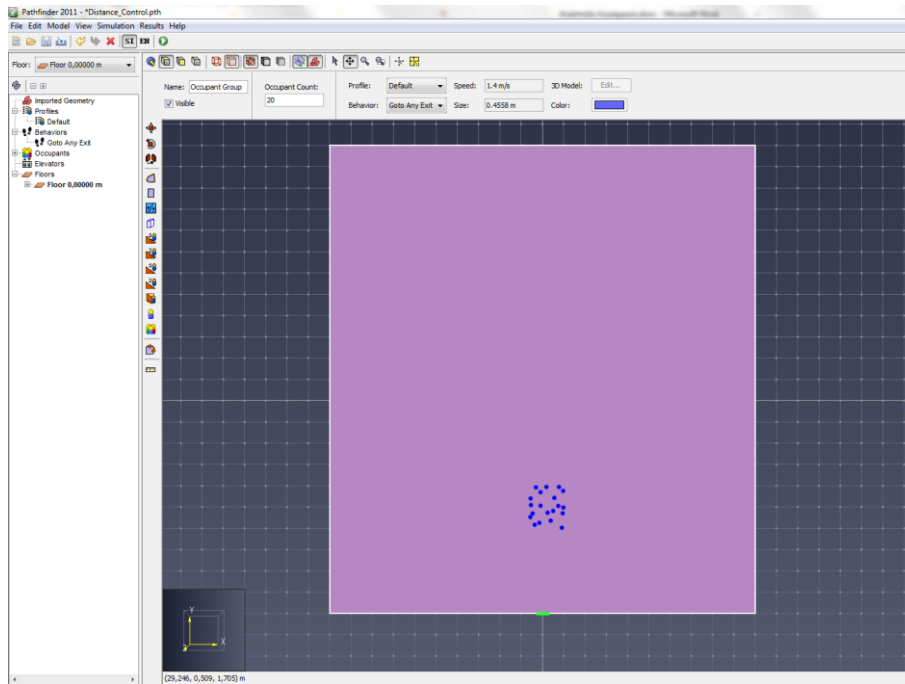
**Διάγραμμα 8.1** Διαδικασία αξιολόγησης παραμέτρων εκκένωσης

Ο συνωστισμός (όπως αναλύεται παρακάτω) υπολογίζεται με βάση τη διάρκεια που η πυκνότητα των ατόμων υπερβαίνει κάποια συγκεκριμένα επίπεδα. Επίσης, στο χρόνο εκκένωσης συμπεριλαμβάνεται και ο χρόνος που υπάρχει κίνηση σε περιοχές αδιεξόδων. Ο χρόνος εκκένωσης είναι ο συνολικός χρόνος που χρειάζεται ένας άνθρωπος κινούμενος μέσα στο χώρο μέχρι να βρεθεί σε ασφαλή θέση. Η κίνησή του στο χώρο μπορεί να γίνεται είτε σε "ανοιχτό" χώρο είτε σε περιοχή που είναι αδιέξοδος (αν τη στιγμή που ξεκινάει τη μετακίνηση του βρίσκεται σε περιοχή αδιεξόδου, αλλιώς έχει επιλέξει λάθος όδευση και η σήμανση του χώρου είναι ελλιπής).

Σκοπός της έρευνας αξιολόγησης είναι να βρεθεί μια συνάρτηση για κάθε μεταβλητή (παραμέτρου εκκένωσης) η οποία θα δείχνει τη σχέση της μεταβλητής με την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης. Για την πραγματοποίηση της έρευνας ορίζονται με  $X_d$ ,  $X_a$ ,  $X_e$ , οι μεταβλητές των κανονισμών για την απόσταση (distance), την γωνία (angle) και το μήκος του αδιεξόδου (dead end) αντίστοιχα.

### 8.2.1 Συνάρτηση απόστασης $g(x_d)$

Ο περιορισμός της απόστασης από την έξοδο διαφυγής δίνεται με σκοπό τον περιορισμό του χρόνου που εκτίθενται οι ένοικοι σε επικίνδυνες συνθήκες όπως φωτιά, διαρροή χημικών και καπνό. Συνεπώς, πρέπει να βρεθεί η μεταβολή του χρόνου εκκένωσης ως προς τη μεταβολή της απόστασης από την έξοδο διαφυγής. Για να γίνει αυτό δημιουργείται ένας χώρος 25 x 25 μέτρα και τοποθετείται μία έξοδος διαφυγής στην μία πλευρά του με πλάτος 1,5 μέτρα (**Εικόνα 8.1**). Έπειτα, τοποθετείται ένα πλήθος ατόμων σε έναν χώρο με εμβαδό 2,5 x 2,5 μέτρα. Επίσης, σε κάθε περίπτωση που παρουσιάζεται στον **Πίνακα 8.1** αλλάζει η πυκνότητα (density) των ατόμων στο χώρο, άρα και ο αριθμός των ατόμων. Στη διεθνή βιβλιογραφία αντί της πυκνότητας χρησιμοποιείται ο διαθέσιμος χώρος ανά άτομο (το αντίστροφο δηλαδή) και μετριέται σε  $m^2/person$ , που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια της παρούσας εργασίας και θα συμβολίζεται ως δ.χ./άτομο. Το πλήθος των ανθρώπων ξεκινάει από απόσταση 2,5 μέτρων από την έξοδο (μέση απόσταση), και μετακινείται 2,5 μέτρα τη φορά μέχρι την απόσταση των 50 μέτρων. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο χρόνος εκκένωσης. Τέλος, δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα (**Διάγραμμα 8.2**) που δείχνει τις καμπύλες που προκύπτουν από τον πίνακα για κάθε τιμή του διαθέσιμου χώρου ανά άτομο. Να σημειωθεί ότι παράμετροι όπως ταχύτητα ανθρώπων και πλάτος εξόδων παρέμειναν σταθεροί και συγκεκριμένα ταχύτητα 1.4m/s και πλάτος πόρτας 1.5m.



**Εικόνα 8.1** Απεικόνιση των σχεδιασμού για την πραγματοποίηση της έρευνας στο περιβάλλον του Pathfinder

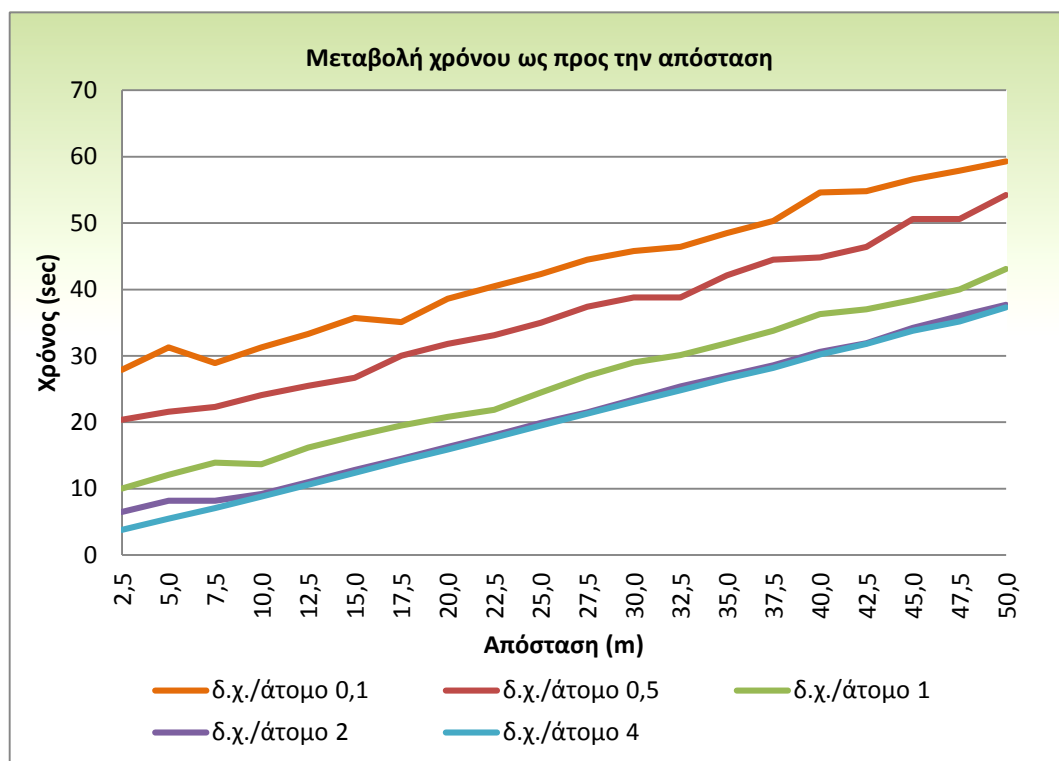
**Πίνακας 8.1** Αποτελέσματα προσομοίωσης μεταβολής χρόνου ως προς την απόσταση (συνέχεια)

Απόσταση (m)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)
	0.1	0.5	1	2	4
	Χρόνος (sec)	Χρόνος (sec)	Χρόνος (sec)	Χρόνος (sec)	Χρόνος (sec)
2.5	27.9	20.4	10.0	6.5	3.8
5	31.3	21.6	12.1	8.2	5.5
7.5	28.9	22.3	13.9	8.2	7.1
10	31.3	24.1	13.7	9.2	8.8
12.5	33.3	25.5	16.2	11.0	10.6
15	35.7	26.7	17.9	12.8	12.4
17.5	35.1	30.0	19.5	14.5	14.2
20	38.6	31.8	20.8	16.3	15.9
22.5	40.5	33.1	21.9	18.0	17.7
25	42.3	35.0	24.5	19.9	19.5
27.5	44.5	37.4	27.0	21.5	21.3
30	45.8	38.8	29.0	23.4	23.1



**Πίνακας 8.1** Αποτελέσματα προσομοίωσης μεταβολής χρόνου ως προς την απόσταση (συνέχεια)

Απόσταση (m)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)
	0.1	0.5	1	2	4
	Χρόνος (sec)	Χρόνος (sec)	Χρόνος (sec)	Χρόνος (sec)	Χρόνος (sec)
32.5	46.4	38.8	30.1	25.4	24.8
35	48.5	42.1	31.9	27.0	26.6
37.5	50.3	44.5	33.8	28.6	28.2
40	54.6	44.8	36.3	30.6	30.2
42.5	54.8	46.4	37.0	31.9	31.8
45	56.6	50.6	38.4	34.2	33.8
47.5	57.9	50.6	40.0	36.0	35.2
50	59.3	54.2	43.1	37.7	37.3



**Διάγραμμα 8.2** Καμπύλες μεταβολής χρόνου ως προς την απόσταση για διαφορετικές τιμές του δ.χ./άτομο

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον Πίνακα 8.1 και το Διάγραμμα 8.2 δείχνουν ότι ο χρόνος εκκένωσης μεταβάλλεται γραμμικά και αναλογικά σε σχέση με την απόσταση. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα πρώτα μέτρα οι καμπύλες παρουσιάζουν κάποιες

αυξομειώσεις, οι οποίες όμως οφείλονται στην αλληλεπίδραση των ανθρώπων καθώς και στην ουρά που δημιουργείται στην πόρτα της εξόδου μέχρι να ολοκληρωθεί η εκκένωση. Αυτό το φαινόμενο εξαλείφεται όσο μεγαλώνει ο διαθέσιμος χώρος ανά άτομο και μειώνεται το πλήθος, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αλληλεπίδραση μεταξύ των ανθρώπων καθώς και η σχηματιζόμενη ουρά στην πόρτα εξόδου, μέχρι που η καμπύλη γίνεται ουσιαστικά ευθεία γραμμή όπως φαίνεται από τη γαλάζια καμπύλη. Οπότε η συνάρτηση  $g(x_d)$  είναι της μορφής:

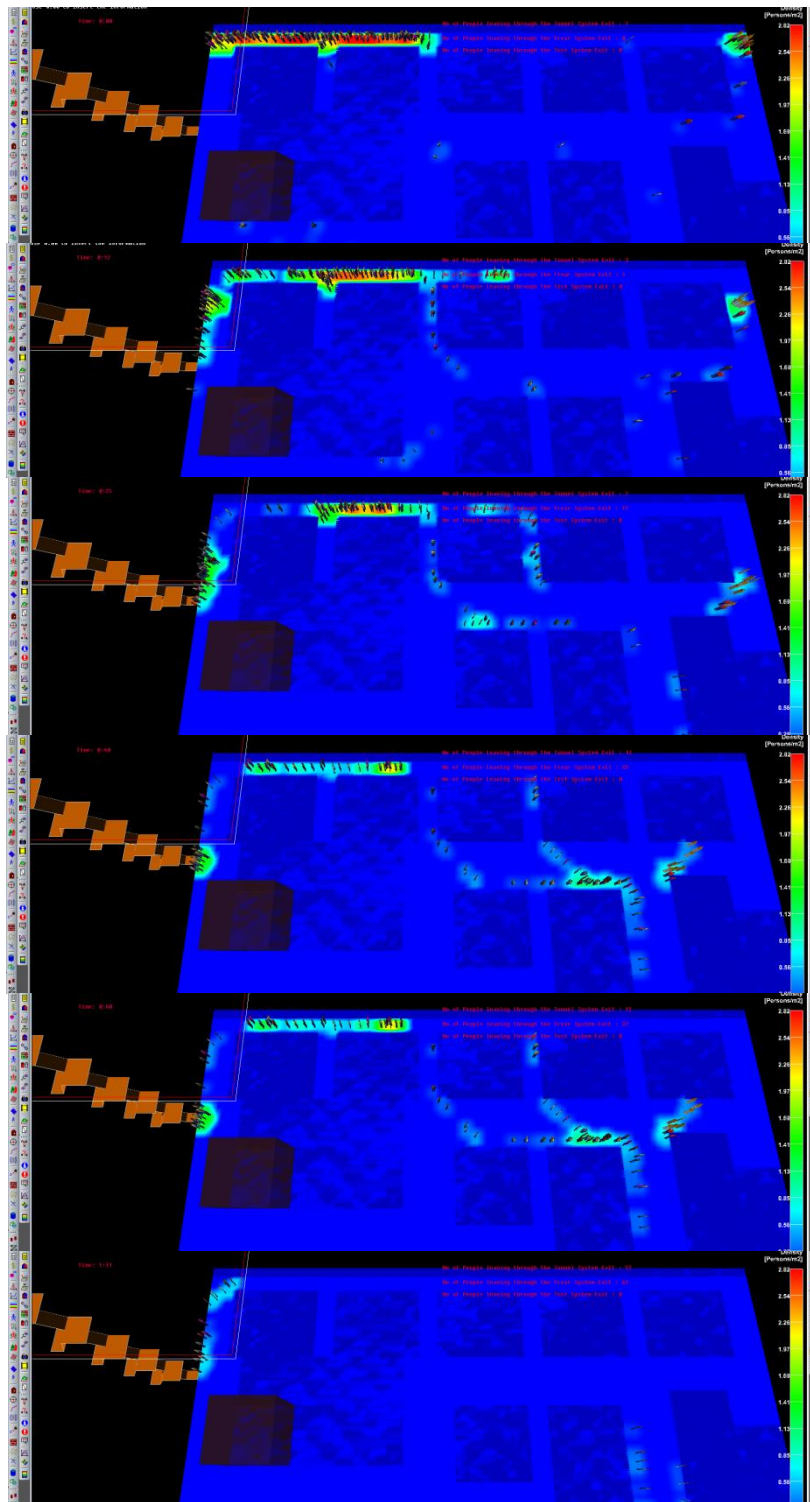
$$g(x_d) = a_1 x_d + b_1 \quad (\text{Εξίσωση 8.1})$$

### 8.2.2 Συνάρτηση γωνίας $h(x_a)$

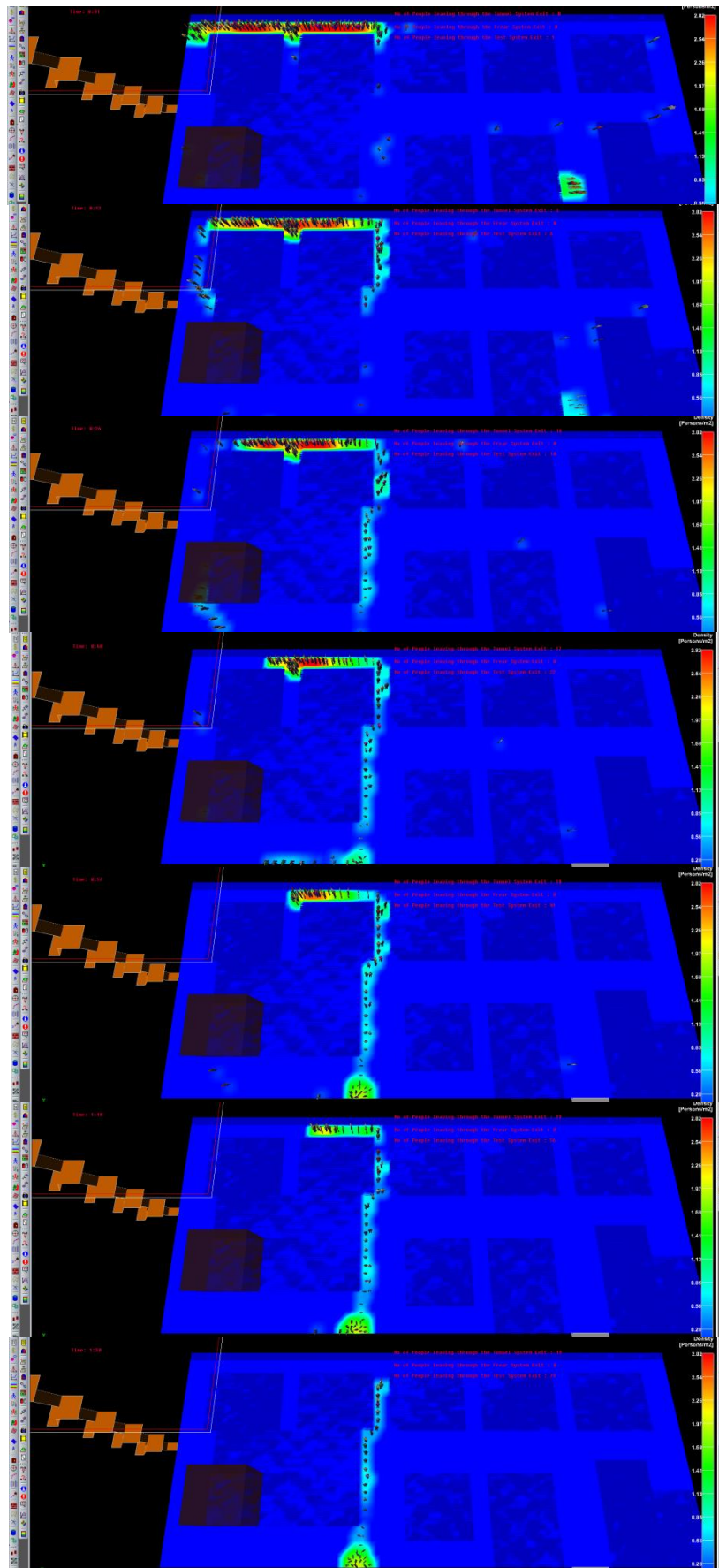
Σκοπός του κανονισμού των 45° που επιβάλλεται στον Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων είναι η αποφυγή σύμπτωσης των οδεύσεων διαφυγής δυο διαφορετικών εξόδων, με σκοπό την αποφυγή του συνωστισμού και όχι τόσο η ελάττωση του χρόνου εκκένωσης. Αυτό αποδεικνύεται και από μελέτη που πραγματοποιήθηκε στον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Λ., όπου συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα της εκκένωσης δύο εναλλακτικών θέσεων των εξόδων διαφυγής και των υφισταμένων. Το πρώτο συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι ο συνολικός χρόνος εκκένωσης αυξάνεται κατά 50%, και συγκεκριμένα από 1min και 15'sec σε 1min και 55sec (αυτός είναι ο χρόνος από τη στιγμή που αρχίζει να κινείται ο πληθυσμός μέχρι τη στιγμή που θα εκκενώσει<sup>6</sup> το χώρο και ο τελευταίος ένοικος). Μπορεί ως απόλυτη τιμή να μη δείχνει τη σημαντικότητα της διαφοράς, αλλά σε πολλές περιπτώσεις άμεσης εκκένωσης, όπως για παράδειγμα κατά τη διαρροή χημικών ουσιών επιβλαβών για τον οργανισμό, ακόμα και μισό λεπτό επιπλέον έκθεσης σε αυτές μπορεί να αποδειχθεί μοιραίο. Το δεύτερο και σημαντικότερο συμπέρασμα είναι αυτό που παρουσιάζεται στα συγκριτικά σχήματα και έχει σχέση με το χρόνο συνωστισμού κατά την εκκένωση (**Σχήμα 8.3** και **Σχήμα 8.4**).

---

<sup>6</sup> Θα εκκενώσει εξ ολοκλήρου το χώρο. Μετά θα χρειαστεί και άλλος χρόνος για τη μετακίνηση του σε ελεύθερο χώρο αλλά μέσα από προστατευμένες οδούς διαφυγής.



**Σχήμα 8.3** Πυκνότητα πληθυσμού κατά την εκκένωση από (υφιστάμενες) εξόδους που συμμορφώνονται με τον κανονισμό



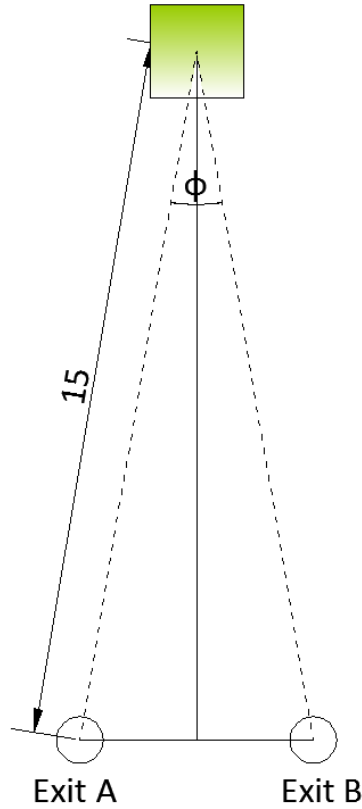
Σχήμα 8.4 Πυκνότητα πληθυσμού κατά την εκκένωση (υποθετικών) εξόδων που δεν συμμορφώνονται με τον κανονισμό

Το **Σχήμα 8.3** παρουσιάζει την πυκνότητα του πληθυσμού (από την έναρξη της κίνησης των ενοίκων και κάθε 15sec μέχρι την πλήρη εκκένωση) κατά την εκκένωση στην περίπτωση που οι δύο έξοδοι διαφυγής είναι εντός ορίου του περιορισμού και κάθε σημείο στο χώρο δημιουργεί μαζί τους γωνία μεγαλύτερη ή ίση των  $45^\circ$ , ενώ το **Σχήμα 8.4** παρουσιάζει την πυκνότητα του πληθυσμού (από την έναρξη της κίνησης των ενοίκων και κάθε 15sec μέχρι την πλήρη εκκένωση) κατά την εκκένωση στην περίπτωση που οι δύο έξοδοι διαφυγής είναι εκτός ορίου του περιορισμού και υπάρχουν σημεία στο χώρο που δημιουργούν μαζί τους γωνία μικρότερη των  $45^\circ$ . Η κλίμακα των χρωμάτων, που φαίνεται και στα δεξιά της κάθε εικόνας, δείχνει την περιοχή διακύμανσης της πυκνότητας αυξανόμενη από το μπλε χρώμα στο κόκκινο. Όπως φαίνεται από το σχήμα, στη δεύτερη περίπτωση (έξοδοι εκτός ορίων), οι κόκκινες περιοχές είναι μεγαλύτερες σε μέγεθος και διαρκούν περισσότερο χρόνο, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο χρόνος και η έκταση συνωστισμού των ενοίκων είναι αυξημένα.

Από τα παραπάνω, βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο κανονισμός των  $45^\circ$  είναι σημαντικός για την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης των κτιρίων και αποτελεί σημαντική παράμετρο για τη μείωση του συνωστισμού.

Η περαιτέρω έρευνα της συγκεκριμένης μεταβλητής ξεκινάει λαμβάνοντας υπόψη μόνο τη μεταβολή της γωνίας χωρίς να υπολογίζεται η επίδραση που έχει η πυκνότητα του πληθυσμού στη μεταβολή του χρόνου εκκένωσης.

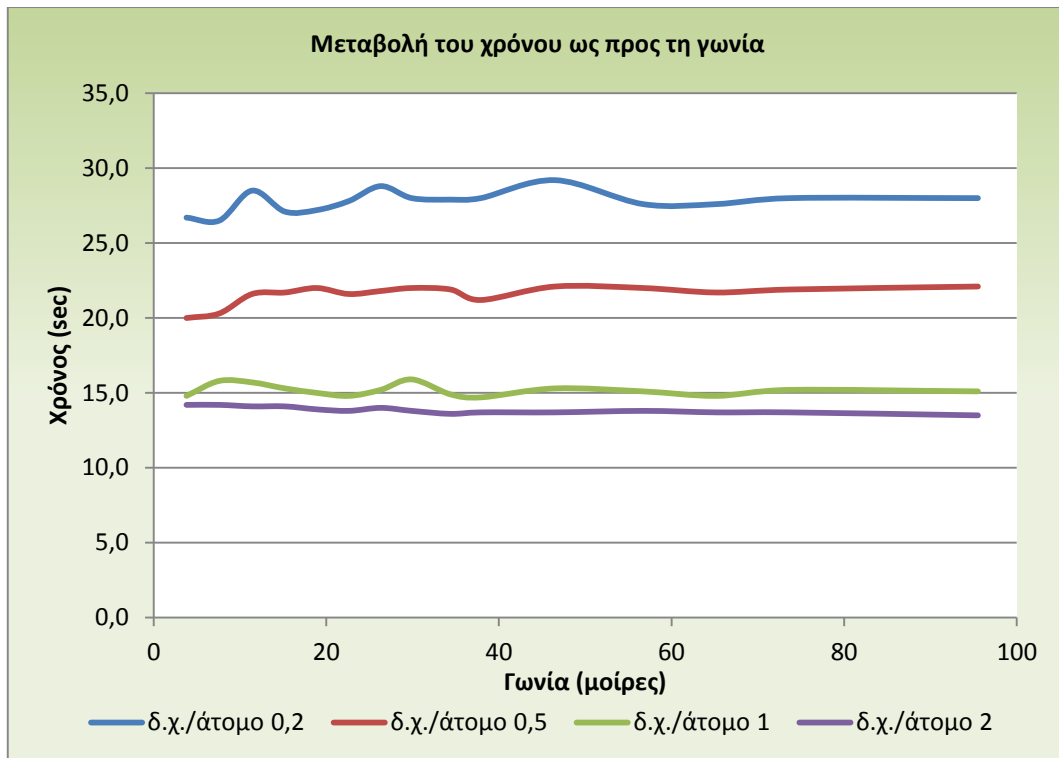
Χρησιμοποιήθηκε ένας τετράγωνος χώρος και οι ένοικοι τοποθετήθηκαν σε ένα χώρο με εμβαδόν  $4m^2$ . Το πλάτος των εξόδων είναι 1m. Οι ένοικοι τοποθετούνται σε σταθερή απόσταση 15m (μέση απόσταση) από την κάθε έξοδο πάνω στη μεσοκάθετο του ευθύγραμμου τμήματος που ενώνει τις δύο εξόδους (**Σχήμα 8.5**), σχηματίζοντας ένα ισοσκελές τρίγωνο. Κάθε φορά υπολογίζεται ο χρόνος εκκένωσης αλλάζοντας τη γωνία  $\phi$  της κορυφής του τριγώνου, διατηρώντας σταθερή την απόσταση του μέσου του τετραγώνου με την κάθε έξοδο. Στην πράξη, απομακρύνονται τα σημεία εξόδου ισόποσα από τη μεσοκάθετο και πλησιάζει το τετράγωνο που "περιέχει" τους ενοίκους τόσο ώστε η απόσταση να παραμένει σταθερή. Μετά, υπολογίζεται η γωνία  $\phi$  και το λογισμικό υπολογίζει το χρόνο εκκένωσης του κτιρίου. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρατίθενται στον **Πίνακα 8.2** και στο **Διάγραμμα 8.3**.



Σχήμα 8.5 Σχηματική απεικόνιση μεθόδου έρευνας

Πίνακας 8.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης μεταβολής χρόνου ως προς την γωνία (Pathfinder)

Γωνία (μοίρες)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)
	0.2	0.5	1.0	2.0
	Χρόνος (sec)	Χρόνος (sec)	Χρόνος (sec)	Χρόνος (sec)
3.8	26.7	20.0	14.8	14.2
7.6	26.5	20.3	15.8	14.2
11.4	28.5	21.6	15.7	14.1
15.2	27.1	21.7	15.3	14.1
18.9	27.2	22.0	15.0	13.9
22.6	27.8	21.6	14.8	13.8
26.3	28.8	21.8	15.2	14.0
29.9	28.0	22.0	15.9	13.8
34.4	27.9	21.9	14.9	13.6
37.9	28.0	21.2	14.7	13.7
46.5	29.2	22.1	15.3	13.7
56.7	27.6	22.0	15.1	13.8
65.2	27.6	21.7	14.8	13.7
73.7	28.0	21.9	15.2	13.7
95.5	28.0	22.1	15.1	13.5



**Διάγραμμα 8.3** Καμπύλες μεταβολής χρόνου ως προς την γωνία για διαφορετικές τιμές του δ.χ./άτομο (Pathfinder)

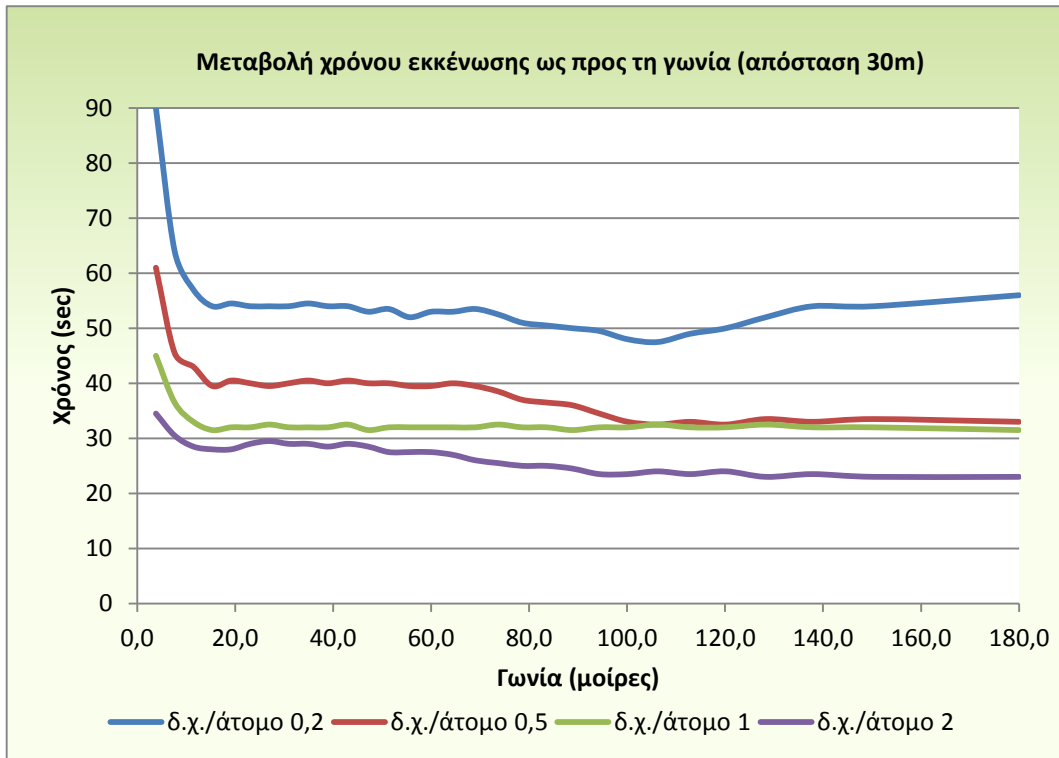
Όπως είναι φανερό από τα παραπάνω, δεν υπάρχουν ουσιαστικές αλλαγές του χρόνου εκκένωσης όσο μεταβάλλεται η γωνία για διάφορες τιμές του δ.χ./άτομο. Αυτό επιβεβαιώνει την υπόθεση ότι ο περιορισμός της γωνίας (45° στο Π.Δ. 71/88) στοχεύει να αποφευχθεί ο συνωστισμός κατά την εκκένωση και όχι να βελτιώσει το χρόνο εκκένωσης των ενοίκων. Επίσης, το πρόγραμμα Pathfinder από το οποίο απορρέουν τα παραπάνω αποτελέσματα, δεν υπολογίζει τη μεταβολή της ταχύτητας κίνησης με βάση την τοπική πυκνότητα των ανθρώπων (υπολογίζει μόνο τη συνολική πυκνότητα σε κάθε χώρο, ασχέτως με το που βρίσκονται οι ένοικοι). Οι παραπάνω δύο ιδιαιτερότητες λαμβάνονται υπόψη στο πρόγραμμα STEPS. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα του λογισμικού STEPS παρατίθενται στη συνέχεια.

Στον Πίνακα 8.3 παρατίθενται τα αποτελέσματα της μεταβολής του χρόνου εκκένωσης σε σχέση με τη μεταβολή της σχηματιζόμενης γωνίας του ομαδοποιημένου πληθυσμού με τις εξόδους διαφυγής (όπως παραπάνω). Επίσης, για κάθε προσομοίωση μετρήθηκε και ο χρόνος που η πυκνότητα των ενοίκων έμεινε σε υψηλά επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, για διαθέσιμο χώρο 0,2m<sup>2</sup>/pers μετράται ο χρόνος για τοπική πυκνότητα μεγαλύτερη από 3pers/m<sup>2</sup>, και για τις υπόλοιπες, μεγαλύτερη από 2pers/m<sup>2</sup>, διότι στις περιπτώσεις με λιγότερα άτομα στα ίδια τετραγωνικά, η τοπική πυκνότητα δεν φτάνει σε τόσο υψηλά επίπεδα. Οι παραπάνω προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν για διαφορετικές τιμές του δ.χ./άτομο και σε σταθερή απόσταση 3m. Επιπλέον, στα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν (Διάγραμμα 8.4 και Διάγραμμα 8.5) απεικονίζονται οι καμπύλες της κάθε μεταβολής.

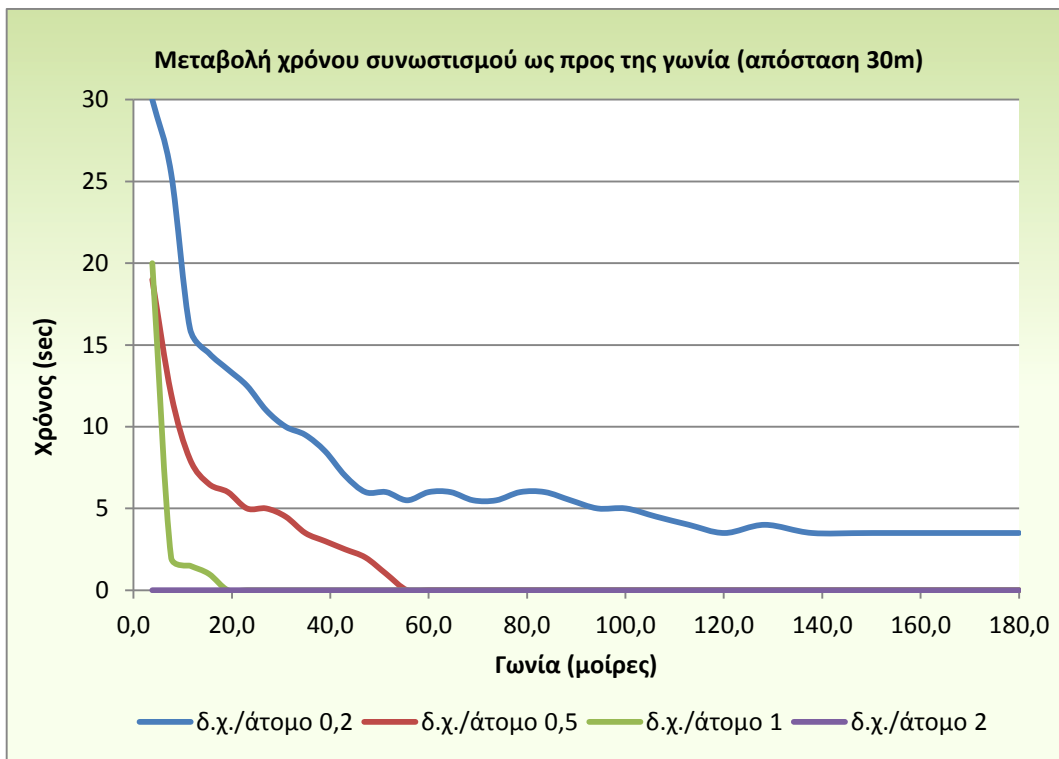
**Πίνακας 8.3** Αποτελέσματα χρόνων εκκένωσης και χρόνου συνωστισμού ως προς τη σχηματιζόμενη γωνία για σταθερή απόσταση 30m (STEPS)

	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)		δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)		δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)		δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	
	0.2		0.5		1.0		2.0	
Γωνία (μοίρες)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)
3.8	90.0	47.0	61.0	19.0	45.0	20.0	34.5	0.0
7.6	64.0	25.5	45.5	12.0	36.5	2.0	30.5	0.0
11.5	57.0	16.0	43.0	8.0	33.0	1.5	28.5	0.0
15.3	54.0	14.5	39.5	6.5	31.5	1.0	28.0	0.0
19.2	54.5	13.5	40.5	6.0	32.0	0.0	28.0	0.0
23.1	54.0	12.5	40.0	5.0	32.0	0.0	29.0	0.0
27.0	54.0	11.0	39.5	5.0	32.5	0.0	29.5	0.0
30.9	54.0	10.0	40.0	4.5	32.0	0.0	29.0	0.0
34.9	54.5	9.5	40.5	3.5	32.0	0.0	29.0	0.0
38.9	54.0	8.5	40.0	3.0	32.0	0.0	28.5	0.0
43.0	54.0	7.0	40.5	2.5.0	32.5	0.0	29	0.0
47.2	53.0	6.0	40.0	2.0	31.5	0.0	28.5	0.0
51.4	53.5	6.0	40.0	1.0	32.0	0.0	27.5	0.0
55.6	52.0	5.5	39.5	0.0	32.0	0.0	27.5	0.0
60.0	53.0	6.0	39.5	0.0	32.0	0.0	27.5	0.0
64.5	53.0	6.0	40.0	0.0	32.0	0.0	27.0	0.0
69.0	53.5	5.5	39.5	0.0	32.0	0.0	26.0	0.0
73.7	52.5	5.5	38.5	0.0	32.5	0.0	25.5	0.0
78.6	51.0	6.0	37.0	0.0	32.0	0.0	25.0	0.0
83.6	50.5	6.0	36.5	0.0	32.0	0.0	25.0	0.0
88.9	50.0	5.5	36	0.0	31.5	0.0	24.5	0.0
94.3	49.5	5.0	34.5	0.0	32.0	0.0	23.5	0.0
100.1	48.0	5.0	33.0	0.0	32.0	0.0	23.5	0.0
106.3	47.5	4.5	32.5	0.0	32.5	0.0	24.0	0.0
112.9	49.0	4.0	33.0	0.0	32.0	0.0	23.5	0.0
120.1	50.0	3.5	32.5	0.0	32.0	0.0	24.0	0.0
128.3	52.0	4.0	33.5	0.0	32.5	0.0	23.0	0.0
137.9	54.0	3.5	33.0	0.0	32.0	0.0	23.5	0.0
150.3	54.0	3.5	33.5	0.0	32.0	0.0	23.0	0.0
180.0	56.0	3.5	33.0	0.0	31.5	0.0	23.0	0.0





**Διάγραμμα 8.4** Καμπύλες μεταβολής χρόνου εκκένωσης ως προς τη γωνία για απόσταση 30m (STEPS)



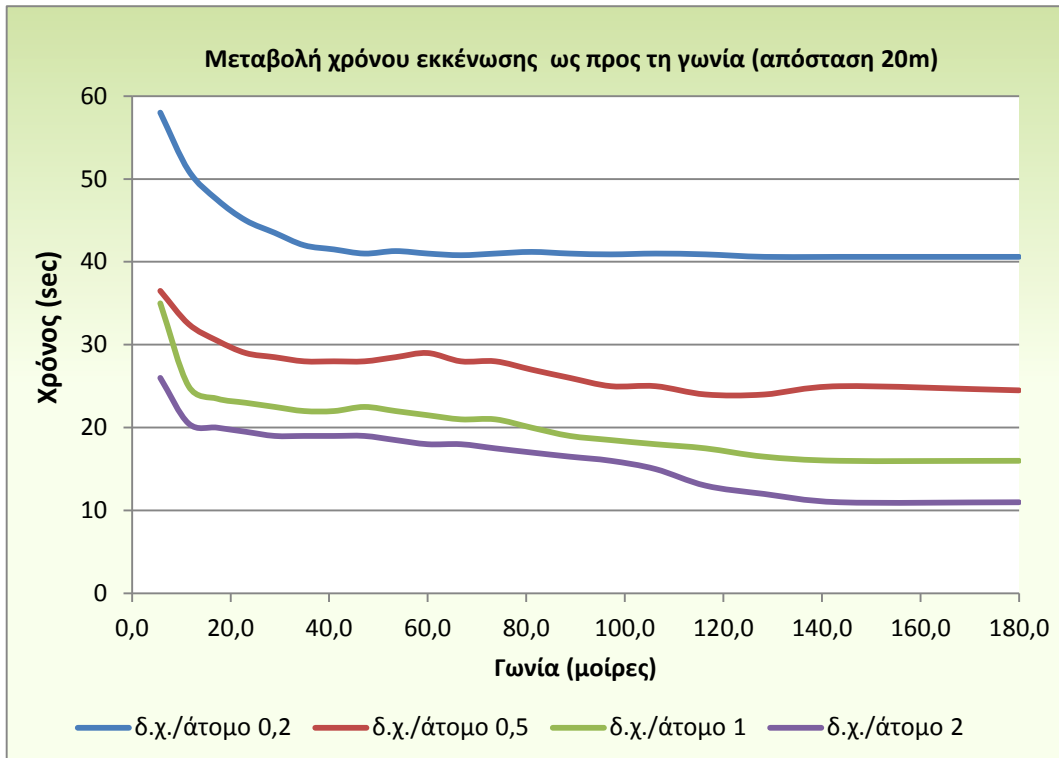
**Διάγραμμα 8.5** Καμπύλες μεταβολής χρόνου συνωστισμού ως προς τη γωνία για απόσταση 30m (STEPS)

Από το **Διάγραμμα 8.4**, παρατηρείται ότι η μεταβολή του χρόνου εκκένωσης ως προς τη γωνία, παρουσιάζει μια εκθετική μείωση μέχρι τη γωνία των 20° και μετά σχετικά σταθεροποιείται. Στο **Διάγραμμα 8.5**, που είναι αυτό όπου εξετάζεται η αποτελεσματικότητα του κανονισμού της σχηματιζόμενης γωνίας, παρατηρείται και πάλι μια εκθετική μείωση του χρόνου συνωστισμού με την αύξηση της γωνίας, αλλά σε μεγαλύτερη κλίμακα. Το παραπάνω φαινόμενο παρατηρείται πιο έντονα όσο αυξάνεται ο δ.χ./άτομο, μέχρι που εξαλείφεται σε πολύ μεγάλη τιμή του δ.χ./άτομο, διότι δεν υπάρχει "σύγκρουση" των ενοίκων που είναι η αιτία δημιουργίας του συνωστισμού.

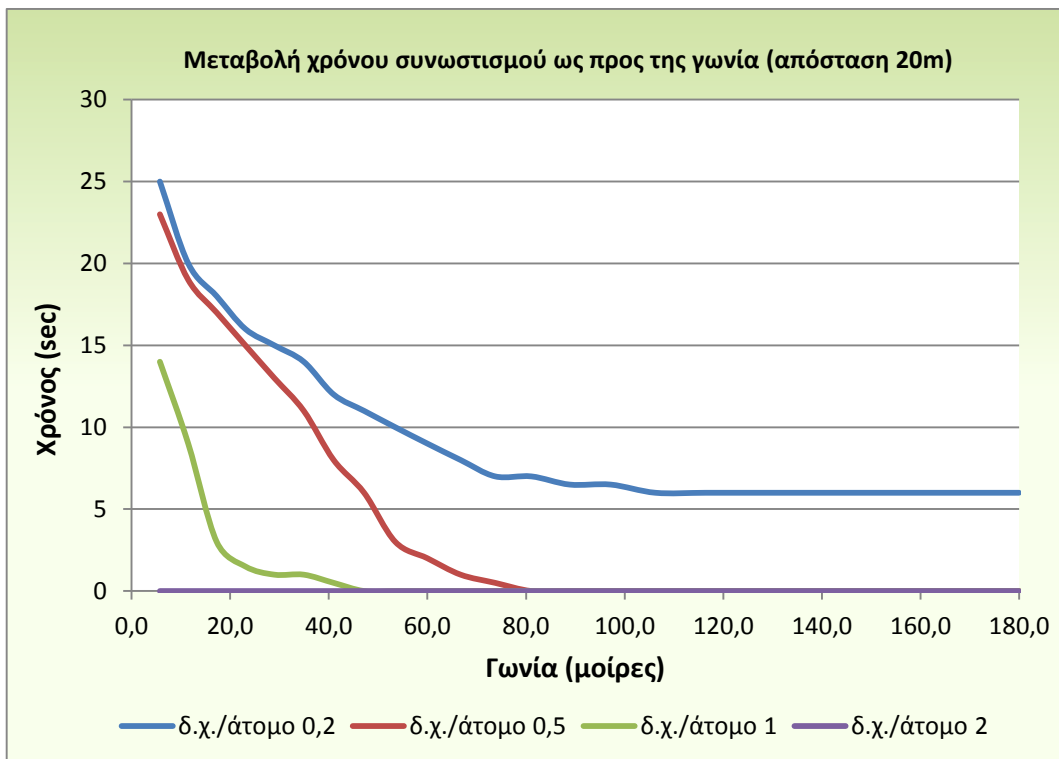
Για να ελεγχθεί αν η απόσταση από τις εξόδους επηρεάζει τις παραπάνω μεταβολές, οι ίδιες προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν και για αποστάσεις 20 και 10 μέτρων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους **Πίνακες 8.4** και **8.5**, καθώς και στα αντίστοιχα διαγράμματα (**Διάγραμμα 8.6 - Διάγραμμα 8.9**).

**Πίνακας 8.4** Αποτελέσματα χρόνων εκκένωσης και χρόνου συνωστισμού ως προς τη σχηματιζόμενη γωνία για σταθερή απόσταση 20m (STEPS)

	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)		δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)		δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)		δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	
	0.2		0.5		1.0		2.0	
Γωνία (μοίρες)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)
5.7	58.0	25.0	36.5	23.0	35.0	14.0	26.0	0.0
11.5	51.0	20.0	32.5	19.0	25.0	9.0	20.5	0.0
17.3	47.5	18.0	30.5	17.0	23.5	3.0	20.0	0.0
23.1	45.0	16.0	29.0	15.0	23.0	1.5	19.5	0.0
29.0	43.5	15.0	28.5	13.0	22.5	1.0	19.0	0.0
34.9	42.0	14.0	28.0	11.0	22.0	1.0	19.0	0.0
41.0	41.5	12.0	28.0	8.0	22.0	0.5	19.0	0.0
47.2	41.0	11.0	28.0	6.0	22.5	0.0	19.0	0.0
53.5	41.3	10.0	28.5	3.0	22.0	0.0	18.5	0.0
60.0	41.0	9.0	29.0	2.0	21.5	0.0	18.0	0.0
66.7	40.8	8.0	28.0	1.0	21.0	0.0	18.0	0.0
73.7	41.0	7.0	28.0	0.5	21.0	0.0	17.5	0.0
81.1	41.2	7.0	27.0	0.0	20.0	0.0	17.0	0.0
88.9	41.0	6.5	26.0	0.0	19.0	0.0	16.5	0.0
97.2	40.9	6.5	25.0	0.0	18.5	0.0	16.0	0.0
106.3	41.0	6.0	25.0	0.0	18.0	0.0	15.0	0.0
116.4	40.9	6.0	24.0	0.0	17.5	0.0	13.0	0.0
128.3	40.6	6.0	24.0	0.0	16.5	0.0	12.0	0.0
143.6	40.6	6.0	25.0	0.0	16.0	0.0	11.0	0.0
180.0	40.6	6.0	24.5	0.0	16.0	0.0	11.0	0.0



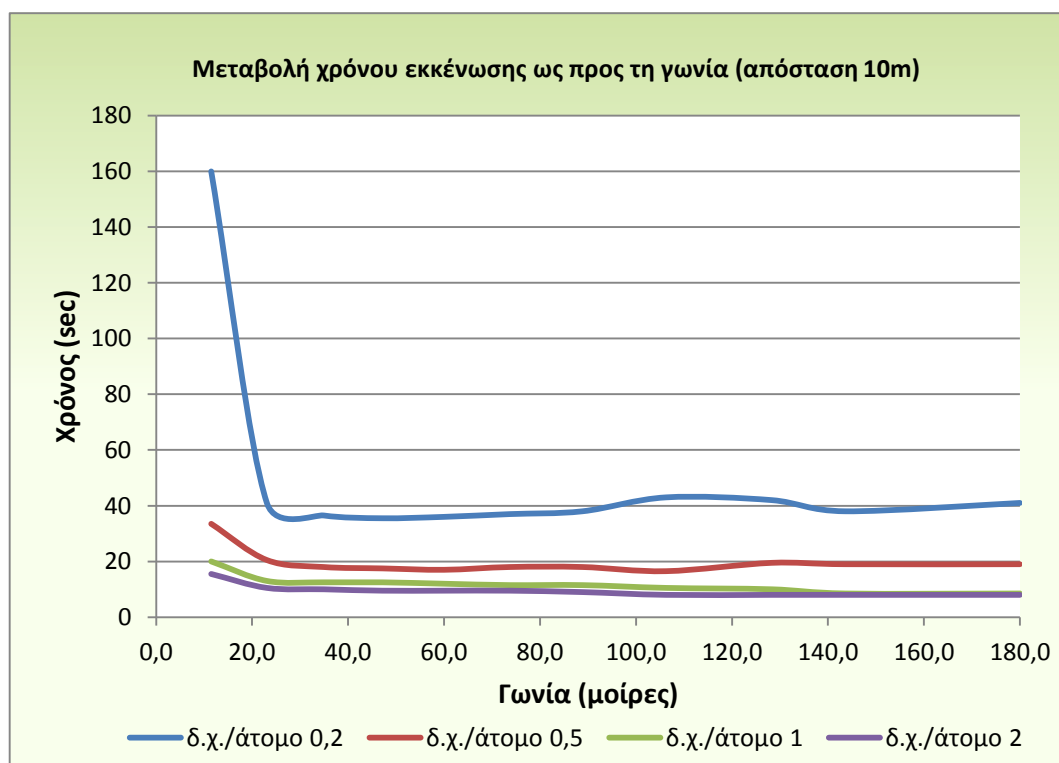
**Διάγραμμα 8.6** Καμπύλες μεταβολής χρόνου εκκένωσης ως προς τη γωνία για απόσταση 20m (STEPS)



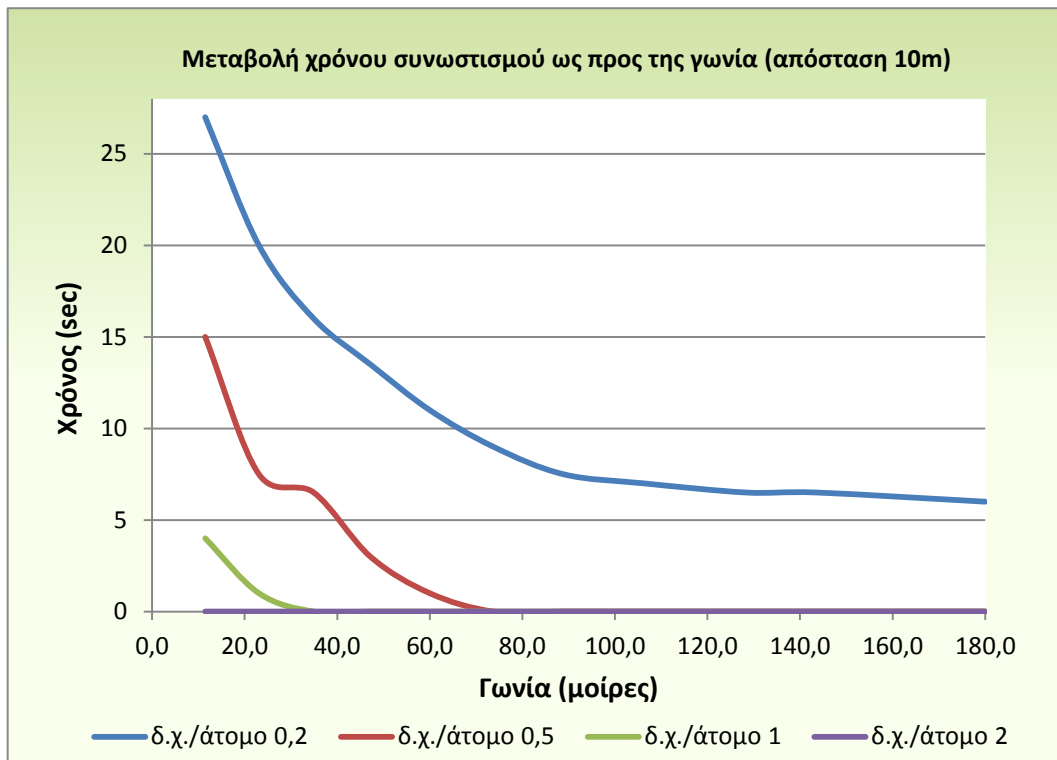
**Διάγραμμα 8.7** Καμπύλες μεταβολής χρόνου συνωστισμού ως προς τη γωνία για απόσταση 20m (STEPS)

**Πίνακας 8.5** Αποτελέσματα χρόνων εκκένωσης και χρόνου συνωστισμού ως προς τη σχηματιζόμενη γωνία για σταθερή απόσταση 10m (STEPS)

	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)		δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)		δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)		δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	
	0.2		0.5		1.0		2.0	
Γωνία (μοίρες)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)
11.5	160.0	27.0	33.5	15.0	20.0	4.0	15.5	0.0
23.1	41.0	20.0	20.5	7.5	13.0	1.0	10.5	0.0
34.9	36.5	16.0	18.0	6.5	12.5	0.0	10.0	0.0
47.2	35.5	13.5	17.5	3.0	12.5	0.0	9.5	0.0
60.0	36.0	11.0	17.0	1.0	12.0	0.0	9.5	0.0
73.7	37.0	9.0	18.0	0.0	11.5	0.0	9.5	0.0
88.9	38.0	7.5	18.0	0.0	11.5	0.0	9.0	0.0
106.3	43.0	7.0	16.5	0.0	10.5	0.0	8.0	0.0
128.3	42.0	6,5	19.5	0.0	10.0	0.0	8.0	0.0
143.6	38.0	6.5	19.0	0.0	8.5	0.0	8.0	0.0
180.0	41.0	6.0	19.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0



**Διάγραμμα 8.8** Καμπύλες μεταβολής χρόνου εκκένωσης ως προς τη γωνία για απόσταση 10m (STEPS)



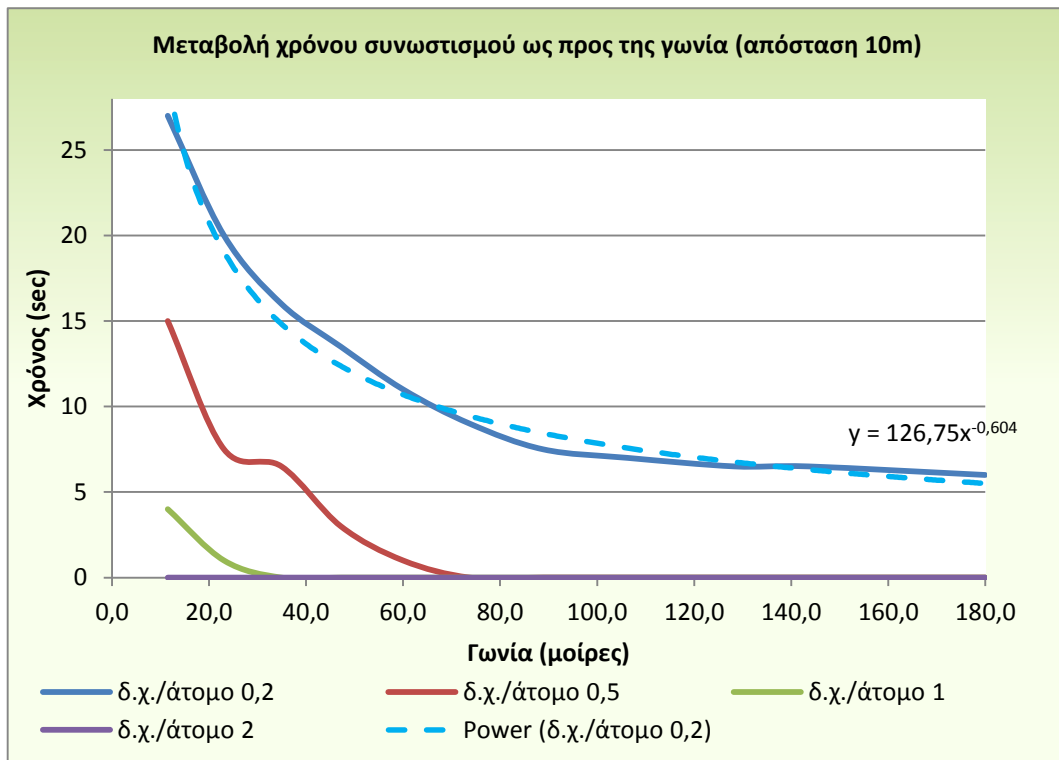
**Διάγραμμα 8.9** Καμπύλες μεταβολής χρόνου συνωστισμού ως προς τη γωνία για απόσταση 10m (STEPS)

Τα ίδια συμπεράσματα για το ρυθμό μεταβολής τόσο του χρόνου όσο και του συνωστισμού (που είναι το επίκεντρο της έρευνας), απορρέουν και από τα παραπάνω διαγράμματα για διαφορετικές αποστάσεις. Οπότε, η συνάρτηση  $h(x_a)$  είναι της μορφής:

$$h(x_a) = \frac{a_2}{x_a^c} \quad (\text{Εξίσωση 8.2})$$

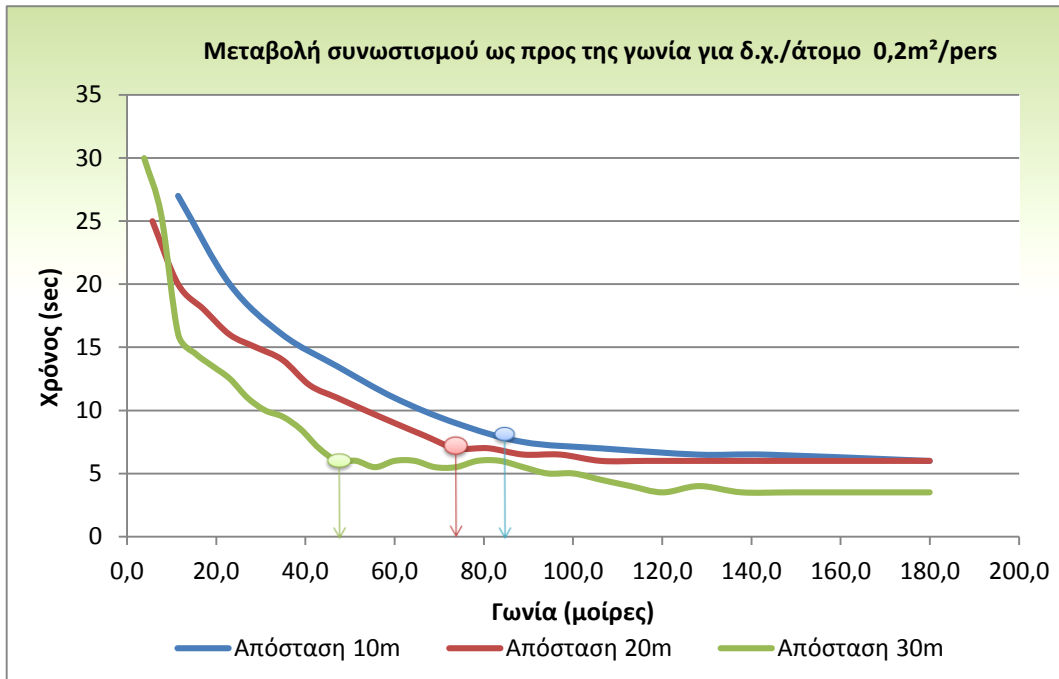
Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι ο χρόνος συνωστισμού μεταβάλλεται σε σχέση με την πυκνότητα και ότι υπάρχει μια κρίσιμη τιμή της γωνίας μέχρι την οποία ο ρυθμός μεταβολής είναι έντονος και μετά από αυτή σχεδόν μηδενίζεται.

Για να υπολογιστεί αυτή η τιμή της γωνίας για την οποία κάθε περαιτέρω αύξηση δεν επιφέρει ουσιαστικές διαφορές στο χρόνο συνωστισμού υπολογίζεται η κλίση της εφαιπτομένης σε κάθε σημείο, η οποία είναι η παράγωγος της συνάρτησης που παράγει την καμπύλη. Στο **Διάγραμμα 8.10** παρουσιάζεται μία τέτοια προσέγγιση. Η γαλάζια διακεκομμένη καμπύλη είναι η εκθετική συνάρτηση που ταιριάζει καλύτερα στη μπλε καμπύλη. Στο διάγραμμα φαίνεται επίσης και ο μαθηματικός τύπος που την παράγει (trendline - excel).

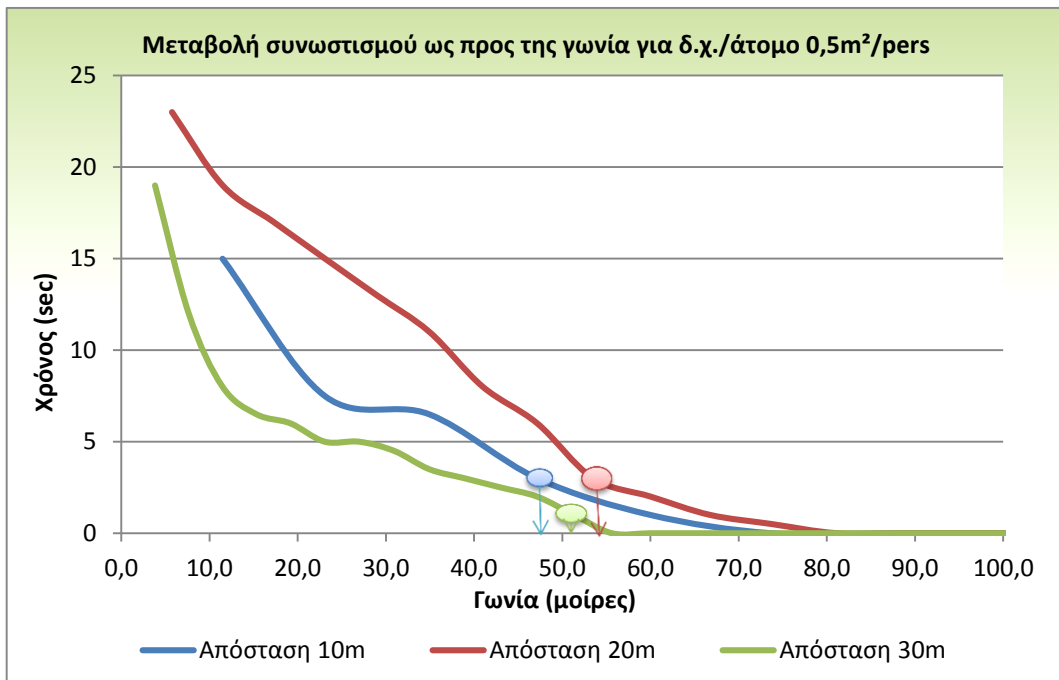


**Διάγραμμα 8.10** Καμπύλη ανηγμένης συνάρτησης γνωστού τύπου

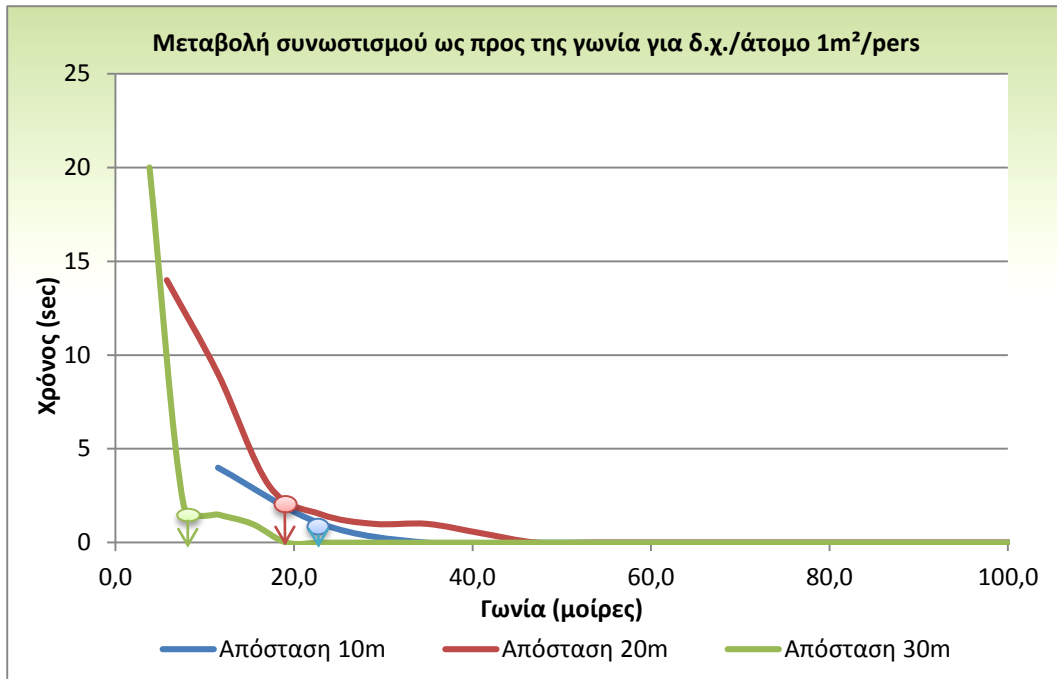
Όπως είναι αναμενόμενο, η καμπύλη της γνωστής εκθετικής συνάρτησης δεν ταιριάζει απόλυτα με την καμπύλη που προκύπτει από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, επομένως αυτή δίνει προσεγγιστικά αποτελέσματα. Καλύτερα αποτελέσματα δίνονται με συνδυασμένη χρήση των πινάκων και των διαγραμμάτων (**Διαγράμματα 8.11 - 8.13**).



**Διάγραμμα 8.11** Διαγραμματικός εντοπισμός της κρίσιμης γωνίας, για την οποία περιορίζεται δραστικά η περαιτέρω μεταβολή (δ.χ./άτομο 2m<sup>2</sup>/pers)



**Διάγραμμα 8.12** Διαγραμματικός εντοπισμός της κρίσιμης γωνίας, για την οποία περιορίζεται δραστικά η περαιτέρω μεταβολή (δ.χ./άτομο 0,5m<sup>2</sup>/pers)



**Διάγραμμα 8.13** Διαγραμματικός εντοπισμός της κρίσιμης γωνίας, για την οποία περιορίζεται δραστικά η περαιτέρω μεταβολή (δ.χ./άτομο 1m<sup>2</sup>/pers)

Έτσι, λοιπόν, προκύπτει ο **Πίνακας 8.6** που δίνει τις βέλτιστες τιμές της κρίσιμης γωνίας που πρέπει να επιλεγεί στο συγκεκριμένο κανονισμό, που έχουν άμεση σχέση με την πυκνότητα των ατόμων που πρόκειται να εκκενώσουν το χώρο.

**Πίνακας 8.6** Βέλτιστες τιμές κρίσιμης γωνίας

δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	0,2	0,5	1,0
Απόσταση (m)			
10	80 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>
20	75 <sup>0</sup>	55 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>
30	45 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>

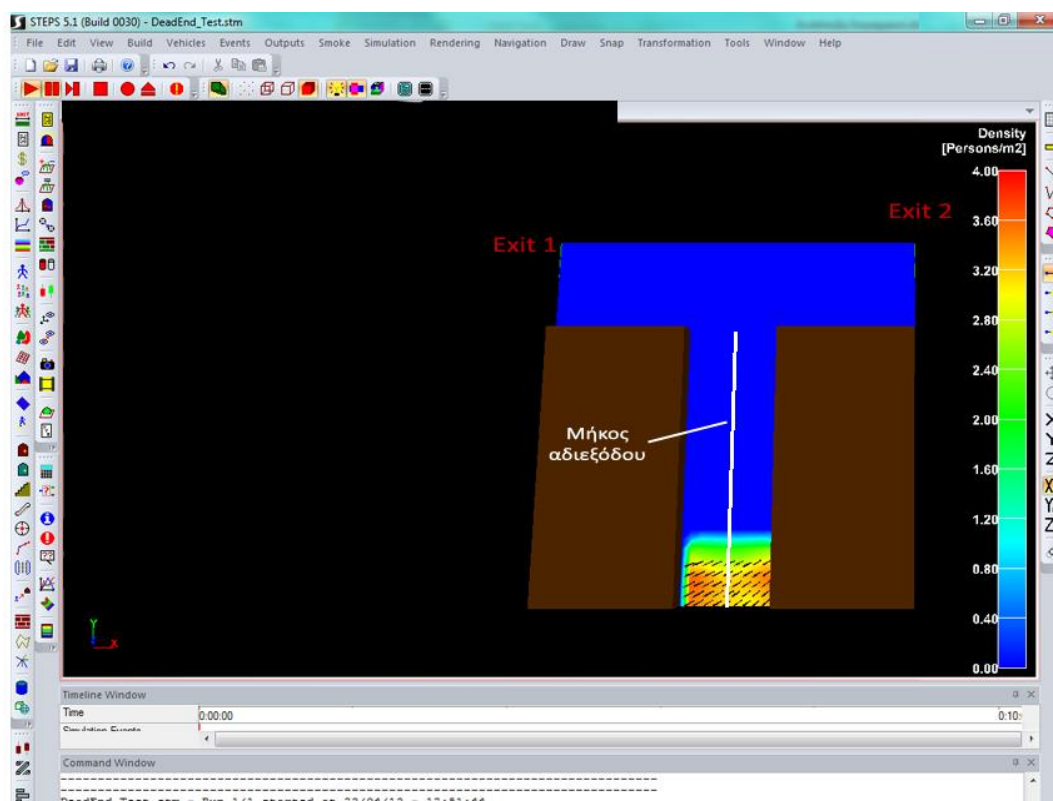
Όσο μεγαλύτερος είναι ο διαθέσιμος χώρος ανά άτομο τόσο μεγαλύτερη γωνία χρειάζεται για την εξασφάλιση καλύτερων συνθηκών εκκένωσης. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι για μικρότερο δ.χ./άτομο, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση τόσο μικρότερη είναι η κρίσιμη γωνία. Αυτό συμβαίνει διότι κατά την κίνηση των ενοίκων προς τις εξόδους, στην περίπτωση που απέχουν σημαντικές αποστάσεις υπάρχει μεγαλύτερο περιθώριο (σε χρόνο και χώρο) αραίωσης τους, σε σχέση με την περίπτωση μικρών αποστάσεων από την έξοδο.

Τέλος, παρατηρείται ότι η γωνία των 45<sup>0</sup> είναι μεν μια καλή προσέγγιση για να βελτιωθούν οι συνθήκες ασφαλούς εκκένωσης, απέχει όμως πολύ από το να συνιστά τη βέλτιστη λύση για κάθε περίπτωση, αφού αποδεικνύεται ότι υπό συγκεκριμένες συνθήκες δεν είναι καθόλου επαρκής (π.χ. μικρές αποστάσεις και μικρό δ.χ./άτομο).



### 8.2.3 Συνάρτηση αδιεξόδου $j(x_e)$

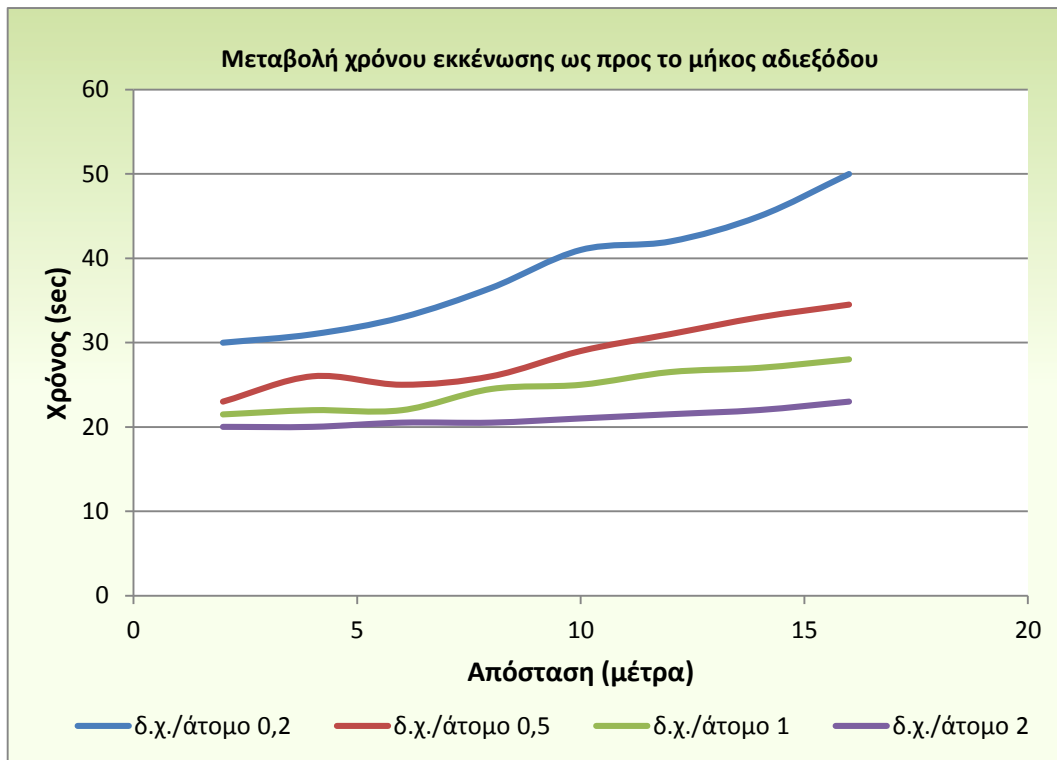
Με παρόμοιο τρόπο ελέγχεται η επιρροή του μήκους του αδιεξόδου (ή σύμπτωσης του πρώτου τμήματος δύο διαφορετικών οδούσεων διαφυγής) στο χρόνο εκκένωσης και στο χρόνο συνωστισμού. Για να γίνει αυτό δημιουργείται σε ένα τυχαίο χώρο, μια περιοχή που θεωρείται αδιεξόδος και τοποθετούνται στο πιο μακρινό σημείο οι ένοικοι (**Εικόνα 8.2**). Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν για διαφορετικό μήκος αδιεξόδου και διαφορετικό δ.χ./άτομο. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον **Πίνακα 8.7** και στα **Διαγράμματα 8.14** και **8.15**.



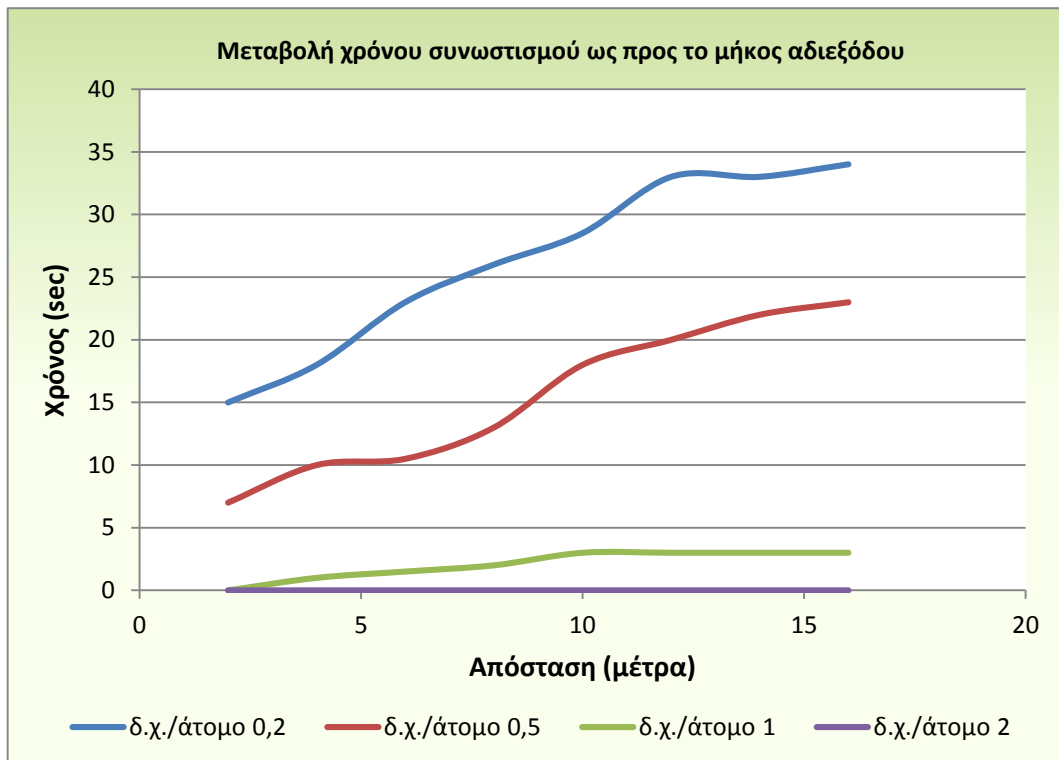
**Εικόνα 8.2** Υπολογισμός κίνησης σε αδιέξοδο (STEPS)

**Πίνακας 8.7** Αποτελέσματα κίνησης σε αδιεξόδο (STEPS)

Απόσταση (m)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)		δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)		δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)		δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)	
	0.2		0.5		1.0		2.0	
	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)	Χρόνος εκ. (sec)	Χρόνος συν. (sec)
2	30.0	15.0	23.0	7.0	21.5	0.0	20.0	0.0
4	31.0	18.0	26.0	10.0	22.0	1.0	20.0	0.0
6	33.0	23.0	25.0	10.5	22.0	1.5	20.5	0.0
8	36.5	26.0	26.0	13.0	24.5	2.0	20.5	0.0
10	41.0	28.5	29.0	18.0	25.0	3.0	21.0	0.0
12	42.0	33.0	31.0	20.0	26.5	3.0	21.5	0.0
14	45.0	33.0	33.0	22.0	27.0	3.0	22.0	0.0
16	50.0	34.0	34.5	23.0	28.0	3.0	23.0	0.0



**Διάγραμμα 8.14** Μεταβολή χρόνου εκκένωσης ως προς το μήκος του αδιεξόδου (STEPS)



**Διάγραμμα 8.15** Μεταβολή χρόνου συνωστισμού ως προς το μήκος του αδιεξόδου (STEPS)

Παρατηρείται μια γραμμική μεταβολή τόσο του χρόνου εκκένωσης όσο και του χρόνου συνωστισμού ως προς το μήκος κίνησης μέσα σε αδιέξοδο. Οπότε, η συνάρτηση  $g(x_d)$  είναι της μορφής:

$$j(x_e) = a_3 x_e + b_3 \quad (\text{Εξίσωση 8.3})$$

### 8.3 Διερεύνηση άλλων παραμέτρων

Μελετήθηκαν, επίσης, και κάποιες άλλες παράμετροι που μπορεί να επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης.

#### 8.3.1 Στροφές όδευσης διαφυγής

Η υπόθεση ότι υπάρχει μεταβολή του χρόνου εκκένωσης ή αύξηση του επιπέδου συνωστισμού στις οδεύσεις διαφυγής ίδιου μήκους, σε όδευση με στροφές σε σχέση με τα ευθύγραμμες οδεύσεις, δεν επαληθεύτηκε από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Ο χρόνος εκκένωσης δεν παρουσίασε ουσιαστική μεταβολή άσχετα με το πλήθος των στροφών αλλά και το εύρος τους, καθώς επίσης δεν παρατηρήθηκε ανωμαλία στα επίπεδα του συνωστισμού στα σημεία αυτά.

Η παραπάνω υπόθεση εργασίας, βασίζεται στο γεγονός ότι η κίνηση μεγάλου πλήθους κατά την εκκένωση ανταποκρίνεται στις κινήσεις των ρευστών. Στην πράξη όμως υπάρχουν δύο βασικές διαφορές: η πρώτη είναι ότι ο άνθρωπος κατά την εκκένωση δεν κινείται με τόσο μεγάλη ταχύτητα όσο τα ρευστά μέσα σε αγωγούς (γεγονός το οποίο προκαλεί έντονες τριβές μεταξύ των μορίων του ρευστού αλλά και με τα τοιχώματα του αγωγού, καθώς επίσης και αδράνεια στις αλλαγές κατεύθυνσης εξαιτίας της φυγόκεντρης δύναμης).

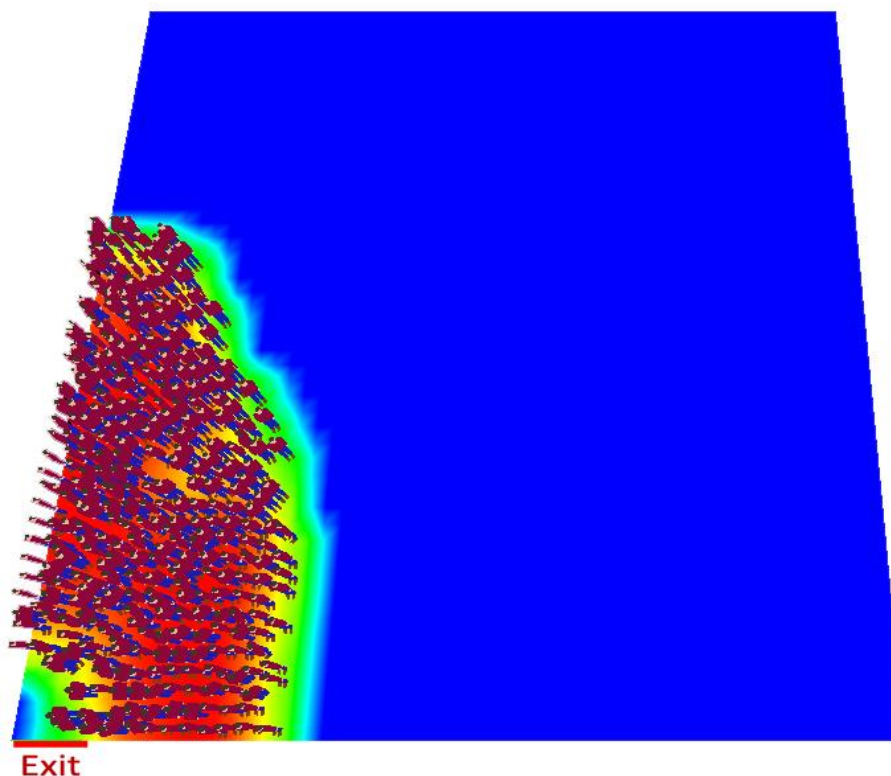
Δεύτερον, ο άνθρωπος έχει την ικανότητα της σκέψης και της πρόβλεψης της επόμενης κίνησης, ώστε να αποφεύγει τις συγκρούσεις κατά την κίνηση του σε αντίθεση με τα ρευστά.

Οπότε, η συνάρτηση μεταβολής του χρόνου εκκένωσης ή του συνωστισμού ως προς τις στροφές της όδευσης διαφυγής είναι της μορφής  $s(x)=\alpha_4$ .

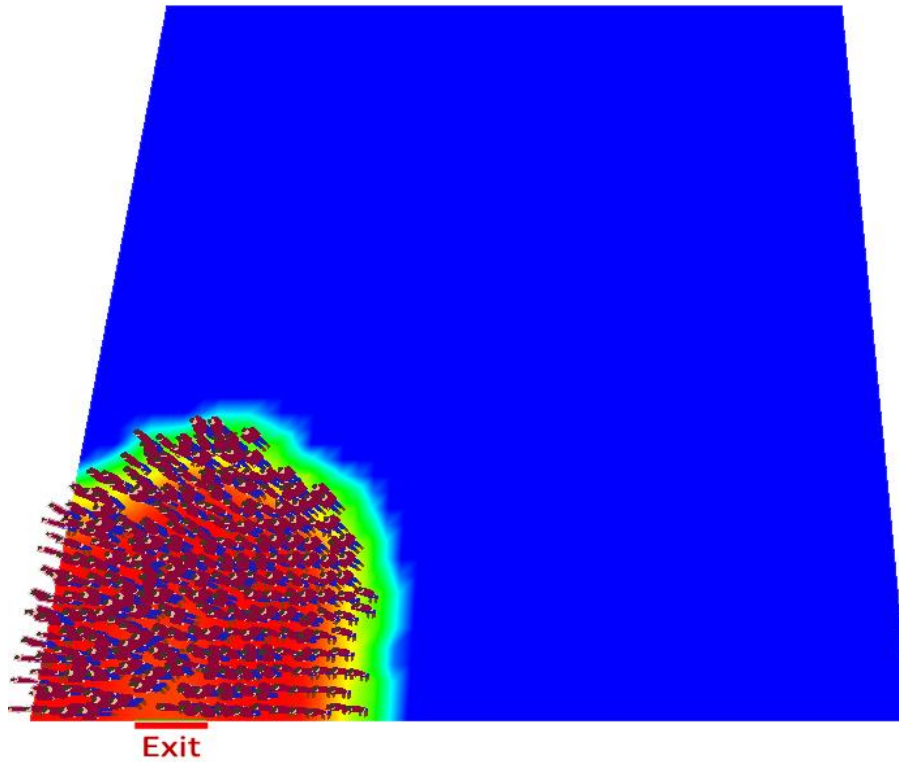
### 8.3.2 "Ακρίβεια" θέσης εξόδων

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας και της κινητικής συμπεριφοράς των ανθρώπων κατά την εκκένωση, χρησιμοποιούνται μοντέλα που σχετίζονται με τις κινήσεις των ρευστών. Εκτός των παραπάνω κανονισμών και παραμέτρων που οδηγούν σε μια ασφαλή και γρήγορη εκκένωση, πρέπει να εξετάζονται και άλλοι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τη ροή των ανθρώπων κατά την έξοδο, όπως για παράδειγμα το πείραμα που διερευνά πως η περιορισμένη πρόσβαση μπορεί να προκαλέσει το συνωστισμό και δείχνει ότι ο συνωστισμός μπορεί να εκτονωθεί υποχρεώνοντας τα πλήθη να κινηθούν σε ρεύματα (Saunders, 2013).

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, μελετήθηκε η επιρροή της θέσης της εξόδου, σε σχέση με τη γωνία προσέγγισης των ενοίκων. Για ένα συγκεκριμένο χώρο η γωνία αυτή αλλάζει όσο απομακρύνεται η έξοδος από ένα σταθερό τοίχο, δηλαδή όσο μεταβάλλεται ο χώρος εξυπηρέτησης από τη μία πλευρά (**Σχήμα 8.6** και **Σχήμα 8.7**).



**Σχήμα 8.6** Θέση εξόδου δίπλα στον τοίχο



**Σχήμα 8.7** Θέση εξόδου τρία μέτρα από τον τοίχο

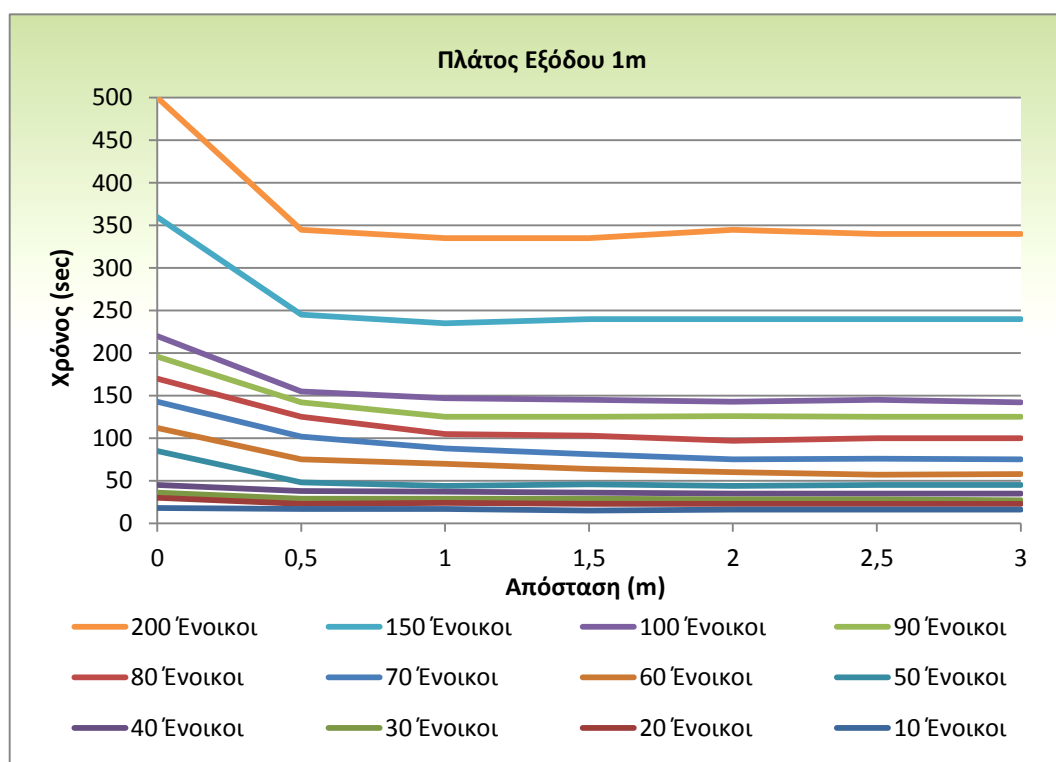
Όπως φαίνεται από τα σχήματα, η διαφορά έγκειται στο ότι υπάρχει περιθώριο προσέγγισης της εξόδου και από τις δύο πλευρές, Έτσι, η "ουρά" αναμονής που σχηματίζεται έχει διαφορετικό σχήμα στις δύο περιπτώσεις.

Για το σκοπό αυτό διατηρείται σταθερός ο προς εκκένωση χώρος, καθώς και τα χαρακτηριστικά των προς εκκένωση ενοίκων (ταχύτητα, μέγεθος κ.α.). Επίσης, πρέπει να ελεγχθεί αν η μεταβολή επηρεάζεται από το πλάτος της εξόδου, καθώς και από το πλήθος των ενοίκων. Ο μέγιστος αριθμός των ατόμων που επιλέχθηκαν για κάθε πλάτος εξόδου, έγινε με γνώμονα τον κανονισμό που αφορά στην παροχή ανά μονάδα πλάτους της εξόδου. Ως ελάχιστο πλάτος εξόδου επιλέχθηκε το ένα μέτρο (0,90m ελάχιστο μήκος δίνεται από το Π.Δ. 71/88), και σε κάθε προσομοίωση γινόταν αύξηση κατά 0,5m.

Για κάθε πλάτος εξόδου, μήκος απόστασης από τον τοίχο και πλήθος ενοίκων έλαβαν χώρα πέντε προσομοιώσεις και υπολογιζόταν ο μέσος όρος του χρόνου εκκένωσης. Τα αποτελέσματα δίνονται στον **Πίνακα 8.8** και στο **Διάγραμμα 8.16**.

**Πίνακας 8.8** Αποτελέσματα προσομοιώσεων για πλάτος εξόδου 1m (STEPS)

Πλάτος πόρτας (m)	1						
Απόσταση από τοίχο (m)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Πλήθος	Χρόνος εκκένωσης (sec)						
10	18	17	17	15	16	16	16
20	30	23	24	23	23	23	23
30	36	29	29	29	28	28	27
40	45	38	37	36	35	35	35
50	85	48	44	46	44	45	45
60	112	75	70	64	60	57	58
70	143	102	88	81	75	76	75
80	170	125	105	103	97	100	100
90	196	142	125	125	126	125	125
100	220	155	147	145	143	145	142
150	360	245	235	240	240	240	240
200	500	345	335	335	345	340	340



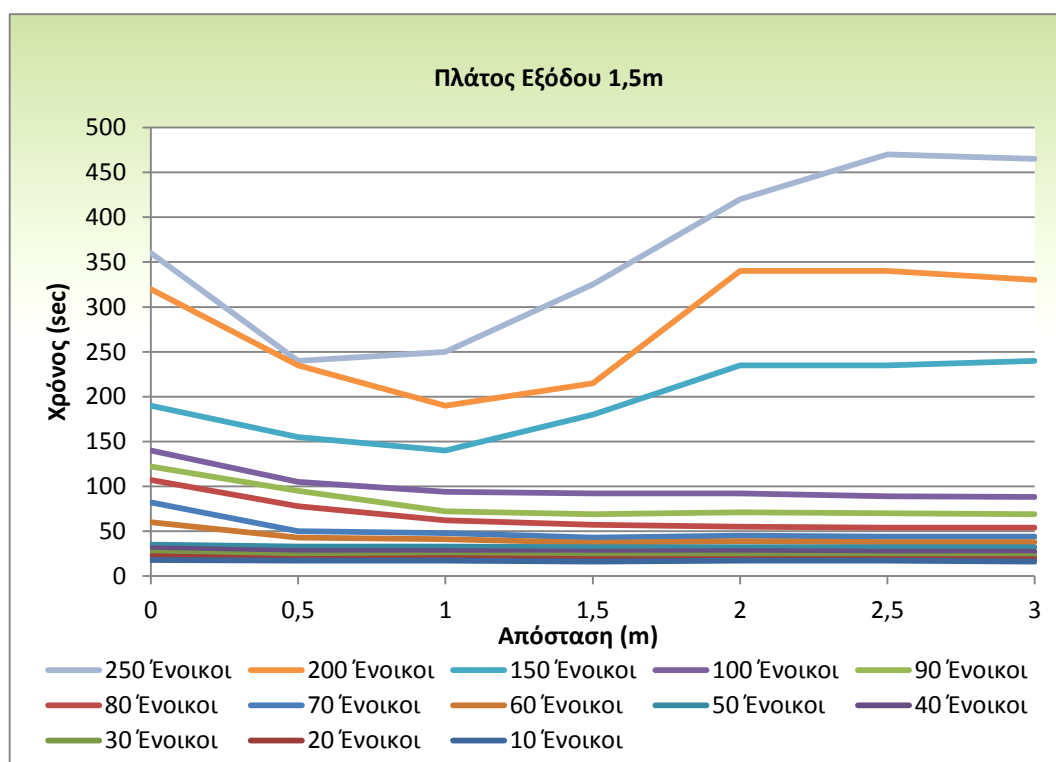
**Διάγραμμα 8.16** Αποτελέσματα προσομοιώσεων για πλάτος εξόδου 1 m

Όπως παρατηρείται, η μετατόπιση μισού μέτρου από τον τοίχο βελτιώνει τους χρόνους εκκένωσης. Επιπλέον, το ποσοστό βελτίωσης του χρόνου αυξάνεται όσο αυξάνεται το πλήθος των ενοίκων. Το παραπάνω φαινόμενο παρατηρείται σε όλα τα πλάτη εξόδων, αλλά με δύο διαφορές. Η πρώτη είναι ότι όσο αυξάνεται το πλάτος της εξόδου τόσο μειώνεται η μεταβολή του χρόνου, κυρίως σε μικρό πλήθος ατόμων. Το δεύτερο και σημαντικότερο

είναι ότι μετά από κάποια τιμή της απόστασης από τον τοίχο παρατηρείται αύξηση του χρόνου εκκένωσης και πολλές φορές ο χρόνος φτάνει σε υψηλότερα επίπεδα από τον αρχικό (έξοδος δίπλα στον τοίχο), όπως φαίνεται στον **Πίνακα 8.9** και στο **Διάγραμμα 8.17**.

**Πίνακας 8.9** Αποτελέσματα προσομοιώσεων για πλάτος εξόδου 1,5m (STEPS)

Πλάτος πόρτας (m)	1.5						
Απόσταση από τοίχο(m)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Πλήθος	Χρόνος εκκένωσης (sec)						
10	18	17	17	16	17	17	16
20	22	19	20	19	19	19	19
30	26	23	23	23	23	22	22
40	31	28	28	27	28	27	27
50	35	33	33	32	32	32	32
60	60	43	41	37	39	38	38
70	82	50	48	43	45	44	44
80	107	78	62	57	55	54	54
90	122	95	72	69	71	70	69
100	140	105	94	92	92	89	88
150	190	155	140	180	235	235	240
200	320	235	190	215	340	340	330
250	360	240	250	325	420	470	465



**Διάγραμμα 8.17** Αποτελέσματα προσομοιώσεων για πλάτος εξόδου 1,5m (STEPS)

Με τον ίδιο τρόπο, δημιουργήθηκαν όλοι οι πίνακες και τα διαγράμματα μέχρι πλάτος εξόδου τέσσερα μέτρα. Μετά τα τέσσερα μέτρα παρατηρήθηκε μια εξάλειψη του φαινομένου ακόμη και για μεγάλο αριθμό ενοίκων (μέσα στα όρια του επιτρεπόμενου), οπότε δεν αναφέρονται τα περαιτέρω αποτελέσματα. Από τα αποτελέσματα των πινάκων και προσομοιώσεων, δημιουργήθηκαν οι συνοπτικοί πίνακες (**Πίνακες 8.10 - 8.16**). Τα ποσοστά με πράσινο χρώμα δείχνουν τη μέση μείωση του χρόνου εκκένωσης ενώ με κόκκινο χρώμα δηλώνεται η εκ νέου αύξηση του χρόνου από την αρχική του τιμή (στην περίπτωση μηδενικής απόστασης της εξόδου από τον τοίχο). Όσο αυξάνεται το πλάτος της εξόδου, παραλείπονται όλες οι τιμές του πλήθους των ενοίκων που δεν παρουσιάζουν ουσιαστική μεταβολή (μεγαλύτερη του 10%) στο χρόνο εκκένωσης.

**Πίνακας 8.10** Ποσοστό μεταβολής του χρόνου εκκένωσης

		Πλάτος εξόδου 1m						
Απόσταση από τοίχο (m)		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Ένοικοι	50					-48%		
	60					-42%		
	70					-41%		
	80					-38%		
	90					-36%		
	100					-35%		
	150					-31%		
	200					-32%		

**Πίνακας 8.11** Ποσοστό μεταβολής του χρόνου εκκένωσης

		Πλάτος εξόδου 1.5m						
Απόσταση από τοίχο (m)		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Ένοικοι	50							
	60					-33%		
	70					-39%		
	80					-44%		
	90					-43%		
	100					-33%		
	150			-30%	5%	25%		
	200			-38%		5%		
	250			-33%	10%	30%		



Πίνακας 8.12 Ποσοστό μεταβολής του χρόνου εκκένωσης

Πλάτος εξόδου 2m							
Απόσταση από τοίχο (m)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Ένοικοι							
80		-27%					
90				-48%			
100				-46%			
150		-30%		5%			
200		-25%			25%	40%	
250		-34%			25%		
300		-20%			10%		

Πίνακας 8.13 Ποσοστό μεταβολής του χρόνου εκκένωσης

Πλάτος εξόδου 2.5m							
Απόσταση από τοίχο (m)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Ένοικοι							
90		-31%					
100		-36%					
150		-25%					
200		-20%					
250		-30%				0%	
300		-25%				15%	
350		-25%			0%		
400		-20%			15%		

Πίνακας 8.14 Ποσοστό μεταβολής του χρόνου εκκένωσης

Πλάτος εξόδου 3m							
Απόσταση από τοίχο (m)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Ένοικοι							
200		-26%					
250		-20%					
300		-30%					
350		-30%					
400		-15%					
450		-22%				0%	
500			-22%			0%	

**Πίνακας 8.15** Ποσοστό μεταβολής του χρόνου εκκένωσης

Πλάτος εξόδου 3.5m								
Ένοικοι	Απόσταση από τοίχο (m)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
	450						-15%	
500						-20%		
550						-15%		
600						-20%		0%

**Πίνακας 8.16** Ποσοστό μεταβολής του χρόνου εκκένωσης

Πλάτος εξόδου 4m								
Ένοικοι	Απόσταση από τοίχο (m)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
	550						-10%	
600						-10%		
650						-15%		

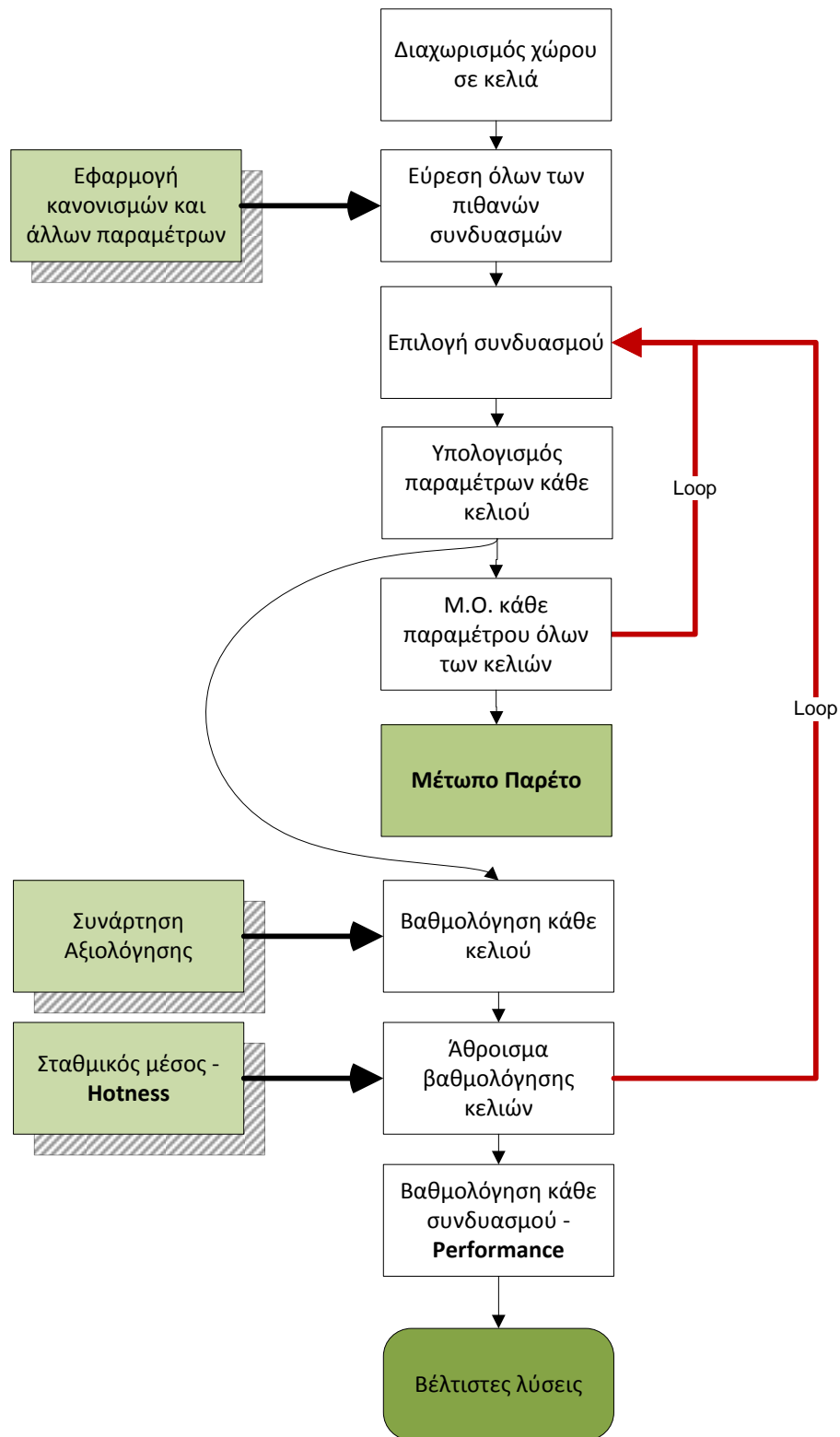
Αξίζει να σημειωθεί ότι σε μικρό αριθμό ενοίκων ο χρόνος είναι ήδη αρκετά χαμηλός (όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 8.10**), οπότε παρόλο που η μείωση μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη (μέχρι και 50%) η ουσιαστική βελτίωση της αποτελεσματικότητας της εκκένωσης δεν είναι υψηλή και μπορεί να αγνοηθεί, αλλά αυτό είναι στην κρίση του μηχανικού ασφαλείας. Οι πίνακες που δημιουργήθηκαν (**Πίνακες 8.10 - 8.16**) δίνουν ένα ακόμα εργαλείο στο μηχανικό ασφαλείας για την προσέγγιση της βέλτιστης θέσης των εξόδων διαφυγής. Με τα νέα δεδομένα, μετά τον υπολογισμό των θέσεων διαφυγής ώστε να συμμορφώνονται με όλους τους κανονισμούς που εμπίπτει ο προς μελέτη χώρος, η τοποθέτηση στο επιλεγμένο σημείο θα γίνεται με γνώμονα αυτούς τους πίνακες, με βάση το επιλεγμένο πλάτος των εξόδων και το μέγιστο αριθμό των ατόμων που αναμένεται να βρεθούν στο χώρο σε μια εκδήλωση έκτακτης ανάγκης.

Από την παραπάνω έρευνα προκύπτουν μερικά ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Το πρώτο συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η απόσταση της εξόδου από τον τοίχο επηρεάζει σημαντικά τους χρόνους εκκένωσης. Τις περισσότερες φορές μισό μέτρο είναι αρκετό ώστε να επιτευχθεί μείωση του χρόνου έως και 40% (για πληθυσμό άνω των 100 ατόμων). Ακόμα, σε μικρά πλάτη εξόδων η μεταβολή είναι εντονότερη σε σχέση με τα μεγάλα πλάτη, επομένως επιβάλλεται μεγαλύτερη προσοχή στις συμβατικές πόρτες εξόδων διαφυγής (1-2 μέτρα). Επίσης, όσο αυξάνεται το πλάτος της εξόδου και ο αριθμός των ατόμων, παρατηρείται το φαινόμενο της εκ νέου αύξησης του χρόνου εκκένωσης, οπότε σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην τοποθέτηση των εξόδων. Τέλος, μετά από τα τέσσερα μέτρα πλάτος εξόδου διαφυγής, η μεταβολή του χρόνου ακόμα και για μεγάλο αριθμό ατόμων είναι πολύ μικρή. Αυτό συμβαίνει διότι μειώνεται αισθητά ο χρόνος αναμονής στην πόρτα εξόδου και η προσέγγιση μπορεί να γίνει από διαφορετικές γωνίες και σημεία της πόρτας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξάλειψη του φαινομένου. Έτσι, σε πολύ μεγάλα πλάτη εξόδων διαφυγής (π.χ. σε μεγάλους βιομηχανικούς χώρους που οι έξοδοι διαφυγής είναι και είσοδοι-έξοδοι βαρέων οχημάτων) μπορεί να παραληφθεί αυτού του είδους η μελέτη.

#### 8.4 Προσδιορισμός βέλτιστων θέσεων στο Exit Locator

Το λογισμικό που αναπτύχθηκε, εκτός από τον έλεγχο συμμόρφωσης ενός χώρου με τους κανονισμούς, έχει ως στόχο τη βελτιστοποίηση των θέσεων των εξόδων διαφυγής λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους και τους περιορισμούς από τους κανονισμούς που παρουσιάστηκαν, καθώς και την εισαγωγή νέων παραμέτρων που επηρεάζουν την εκκένωση.

Η βαθμολόγηση κάθε συνδυασμού θέσεων εξόδων διαφυγής (Performance) έχει άμεση σχέση με τη βαθμολογία κάθε κελιού. Η βαθμολογία κάθε κελιού εξαρτάται από τις τιμές που λαμβάνουν οι παράμετροι των κανονισμών στο συγκεκριμένο κελί και τη συνάρτηση αξιολόγησης (function). Το παραπάνω μοτίβο επαναλαμβάνεται για όλους τους συνδυασμούς εξόδων διαφυγής. Τέλος, παρουσιάζονται με αξιολογική σειρά (με βάση την επίδοση - Performance) όλοι οι συνδυασμοί των εξόδων για το συγκεκριμένο χώρο, με σκοπό να προκύψει ο βέλτιστος δυνατός. Η παραπάνω μεθοδολογία παρουσιάζεται γραφικά στο **Σχήμα 8.8**.

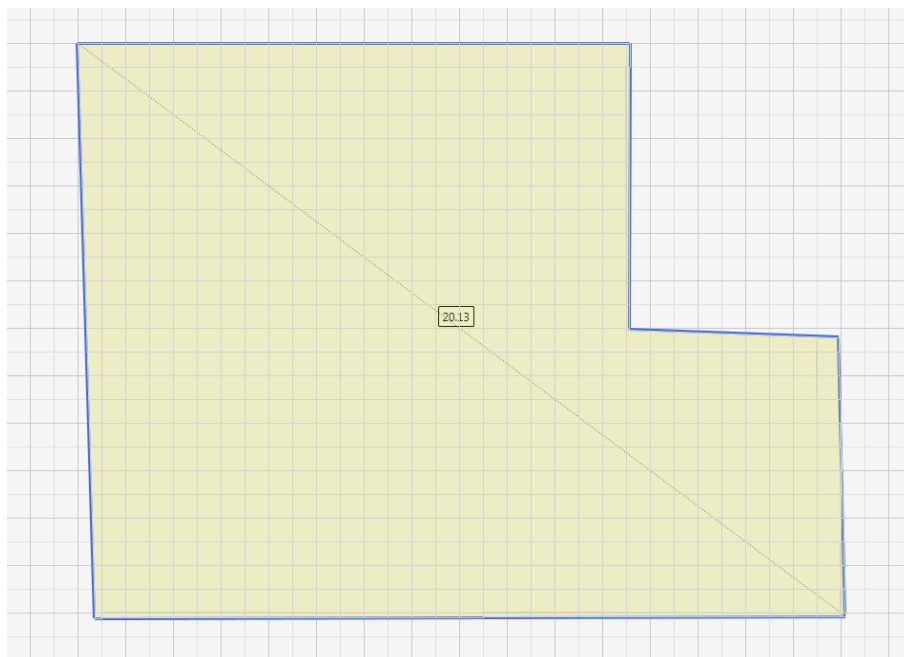


Σχήμα 8.8 Μεθοδολογία αξιολόγησης συνδυασμών θέσεων εξόδων διαφυγής

#### 8.4.1 Εφαρμογή περιορισμών στο Exit Locator

Εφόσον ο χώρος καταμετρηθεί σε μικρά κελιά (Εικόνα 7.5), τότε με βάση τις παραμέτρους που εισάγει ο χρήστης στο λογισμικό, τοποθετούνται στην περίμετρο του σχήματος τα

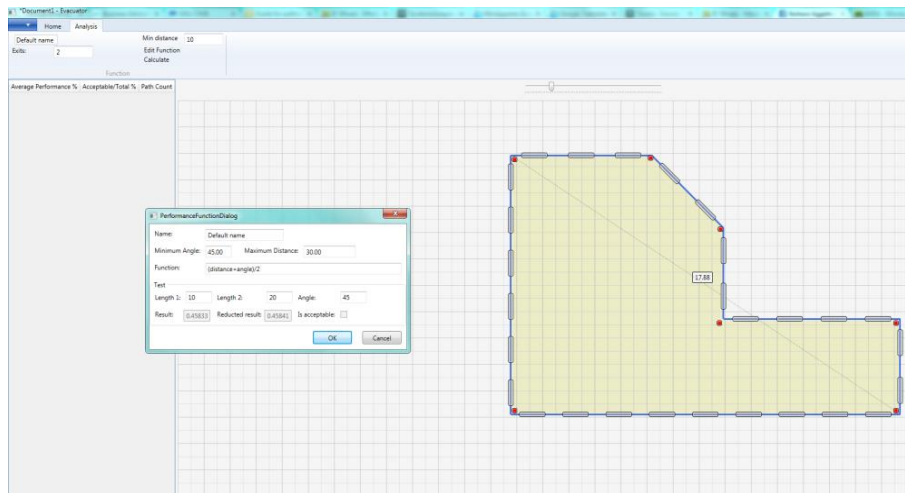
πιθανά σημεία στα οποία μπορεί να τοποθετηθεί μία πόρτα εξόδου (κανονική ή κινδύνου). Η επιπλέον παράμετρος που τοποθετήθηκε στο λογισμικό είναι αυτή του κανονισμού που περιορίζει την τοποθέτηση των εξόδων διαφυγής σε σχέση με τη μέγιστη διαγώνιο του περιγράμματος του χώρου. Πιο συγκεκριμένα, μόλις ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του χώρου στο Exit Locator, γίνεται άμεσα ο υπολογισμός της μεγαλύτερης διαγωνίου και εμφανίζεται στο σχήμα ως μία διακεκομμένη γραμμή που στο μέσο της αναγράφεται το μήκος της (Σχήμα 8.9).



Σχήμα 8.9 Υπολογισμός μέγιστης διαγωνίου στο Exit Locator

Στο λογισμικό έχει προστεθεί και μια καρτέλα "Analysis" στην οποία εισάγονται όλες οι παράμετροι των κανονισμών καθώς και ο τρόπος αξιολόγησής τους (Εικόνα 8.3). Ενεργοποιώντας αυτή την καρτέλα εμφανίζονται στο σχήμα όλες οι πιθανές θέσεις των εξόδων διαφυγής, όπως στην Εικόνα 7.4. Ακόμα, στην καρτέλα υπάρχουν δύο πεδία:

- **Min distance:** εισάγεται η τιμή της ελάχιστης απόστασης μεταξύ δύο εξόδων διαφυγής ώστε να υπολογιστούν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί από το πρόγραμμα. Η τιμή αυτή είναι σχετική με το μήκος της διαγωνίου που εμφανίζεται πάνω στο σχήμα.
- **Exits:** στο πεδίο αυτό εισάγεται ο συνολικός αριθμός των εξόδων του χώρου για τον οποίο πραγματοποιείται ο υπολογισμός των βέλτιστων θέσεων.



Εικόνα 8.3 Καρτέλα "Analysis" στο Exit Locator

Επίσης, στην καρτέλα αυτή υπάρχουν δύο ακόμα επιλογές, το Edit Function και το Calculation. Στο Edit Function ο χρήστης εισάγει τα όρια των κανονισμών (μέγιστη απόσταση, ελάχιστη γωνία κτλ) καθώς και τη συνάρτηση αξιολόγησης και με το κουμπί Calculation γίνεται ο τελικός υπολογισμός και η αξιολόγηση.

#### 8.4.2 Βαθμολόγηση χώρου (Κελιών) - Συνάρτηση Αξιολόγησης (Function)

Σκοπός της βελτιστοποίησης της εκκένωσης είναι η ελαχιστοποίηση των χρόνων εκκένωσης και συνωστισμού. Με μαθηματικούς όρους αυτό μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$\min [\text{Time}_{\text{evacuation}} + \text{Time}_{\text{overcrowding}} + \text{Time}_{\text{deadend}}]$$

Οι παραπάνω χρόνοι όμως έχουν άμεση σχέση με τις τιμές των παραμέτρων εκκένωσης. Παρόλο που και οι τρεις συναρτήσεις των παραμέτρων δίνουν τιμές χρόνου, ο χρόνος που μετράνε είναι διαφορετικός και έχει διαφορετική επίδραση στην αποτελεσματικότητα της εκκένωσης. Με βάση τα παραπάνω και με τη βοήθεια της αξιολόγησης των παραμέτρων των κανονισμών, η συνάρτηση αξιολόγησης - "Function" έχει τη μορφή:

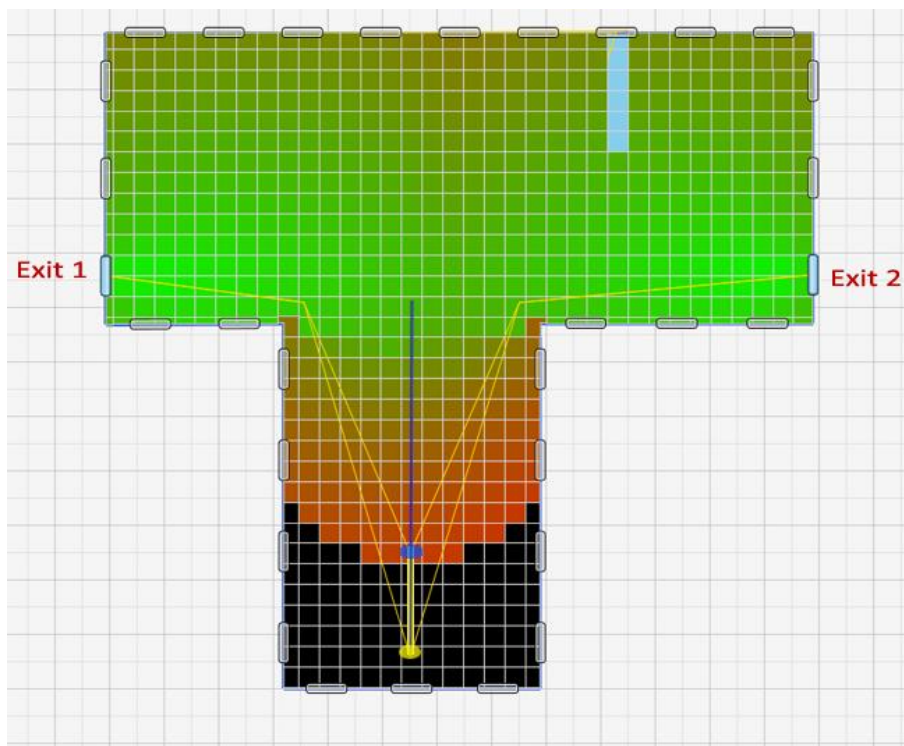
$$F = k_1g(x_d) + k_2h(x_a) + k_3j(x_e) \quad (\text{Εξίσωση 8.4})$$

Όπου  $k_{1,2,3}$  είναι οι σχετικοί συντελεστές βαρύτητας κάθε συνάρτησης στην αποτελεσματικότητα της εκκένωσης (ανάλυση στο **υποκεφάλαιο 8.4.3**).

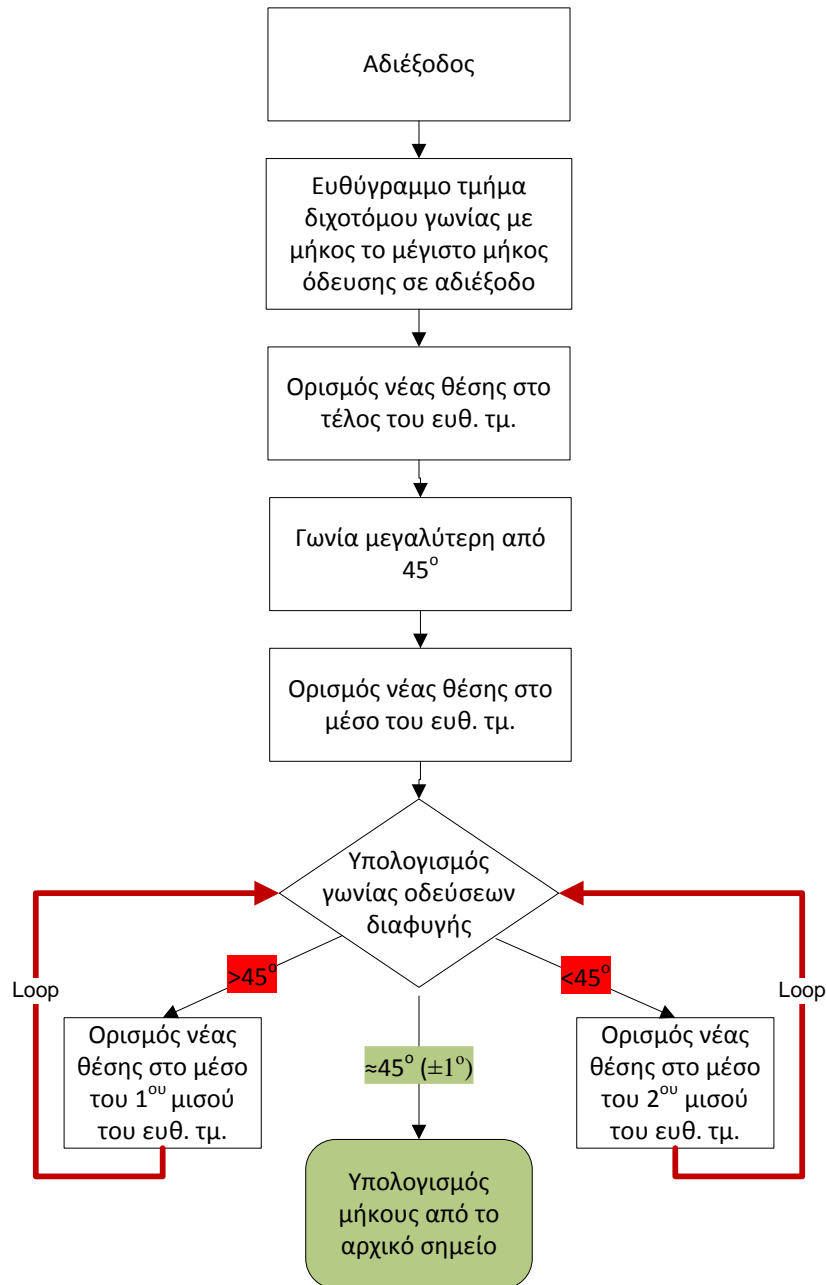
Στη συνάρτηση αξιολόγησης απουσιάζουν δύο μεταβλητές που εξετάστηκαν, γιατί στην πρώτη (στροφές όδευσης διαφυγής) τα αποτελέσματα δεν έδωσαν καμία ουσιαστική μεταβολή και στη δεύτερη που προσδιορίζει την απόσταση της πόρτας από τον τοίχο, γίνεται χρήση των αποτελεσμάτων, αν χρειάζεται, μετά τον αρχικό προσδιορισμό των θέσεων των εξόδων.

Οι μεταβλητές της συνάρτησης είναι οι τιμές των παραμέτρων των κανονισμών για κάθε κελί του κανάβου στον οποίο χωρίστηκε ο προς μελέτη χώρος. Η συνάρτηση αξιολόγησης ουσιαστικά υπολογίζει και αξιολογεί την αποτελεσματική διαφυγή από το κάθε σημείο - κελί του χώρου, βασισμένη στις τιμές των παραμέτρων εκκένωσης (σε σχέση πάντα με το συγκεκριμένο συνδυασμό των θέσεων των εξόδων). Ο τρόπος που γίνεται ο υπολογισμός των τιμών των παραμέτρων αναλύθηκε στο **Κεφάλαιο 7**. Για να μπορέσει όμως να

μετρηθεί και η κίνηση σε αδιέξοδο εισήχθη μια νέα μεθοδολογία. Όταν λοιπόν οριστεί κάποιο κελί ότι εντάσσεται στην ειδική περίπτωση των αδιεξόδων, τότε πρέπει να ελεγχθεί αν η απόσταση που διανύεται εντός του αδιεξόδου είναι μικρότερη από το μέγιστο μήκος που δίνεται από τους κανονισμούς. Η διαδρομή της όδευσης σε αδιέξοδο τελειώνει στο σημείο που διαχωρίζονται οι οδεύσεις διαφυγής, δηλαδή στο σημείο κατά το οποίο η σχηματιζόμενη γωνία των οδεύσεων είναι  $45^\circ$  (Σχήμα 8.10). Το σημείο αυτό βρίσκεται πάνω στη διχοτόμο της γωνίας ώστε να ισαπέχει από τις δύο αρχικές οδεύσεις. Για να βρεθεί όμως η απόσταση που βρίσκεται το σημείο πάνω στη διχοτόμο και συνεπώς το μήκος του αδιεξόδου, ακολουθείται η εξής διαδικασία: Δημιουργείται η διχοτόμος της γωνίας ως ευθύγραμμο τμήμα, με μήκος το μέγιστο μήκος που επιβάλλει ο κανονισμός (ορίζεται από τον χρήστη). Μετά, το λογισμικό ορίζει προσωρινά ως νέο σημείο το τέλος του ευθύγραμμου τμήματος και ελέγχει αν οι νέες οδεύσεις σχηματίζουν γωνία μεγαλύτερη των  $45^\circ$ . Αν όχι, τότε το αρχικό σημείο (κίτρινο σημάδι) στο Σχήμα 8.10 ορίζεται ως μη έγκυρο, αν ναι τότε συνεχίζεται ο έλεγχος ως εξής: το λογισμικό ορίζει ξανά προσωρινά ως νέο σημείο το μέσο του ευθύγραμμου τμήματος της διχοτόμου και υπολογίζεται η νέα γωνία. Αν είναι μικρότερη των  $45^\circ$  τότε συνεχίζεται η διαδικασία με νέο σημείο το μέσο του δεύτερου μισού του ευθύγραμμου τμήματος, αν είναι μεγαλύτερη των  $45^\circ$  τότε συνεχίζεται η διαδικασία με νέο σημείο το μέσο του πρώτου μισού του ευθύγραμμου τμήματος κ.ο.κ., μέχρι να βρεθεί το σημείο που η σχηματιζόμενη γωνία είναι  $45^\circ$  (κυανό σημάδι) (για να μη δημιουργηθούν προβλήματα άπειρων υπολογισμών, η διαδικασία σταματάει όταν βρεθεί σημείο με γωνία  $45^\circ$  ή μεγαλύτερη κατά μια ορισμένη τιμή). Αφού βρεθεί το τελικό σημείο, τότε υπολογίζεται η απόστασή του από το αρχικό σημείο και η τιμή αυτή τοποθετείται στην συνάρτηση  $j(x_e)$ . Η παραπάνω μεθοδολογία παρουσιάζεται γραφικά στο Σχήμα 8.11.



Σχήμα 8.10 Διαδικασία ελέγχου εγκυρότητας αδιεξόδου στο Exit Locator



**Σχήμα 8.11** Μεθοδολογία - αλγόριθμος υπολογισμού μήκους διαδρομής σε αδιέξοδο στο Exit Locator

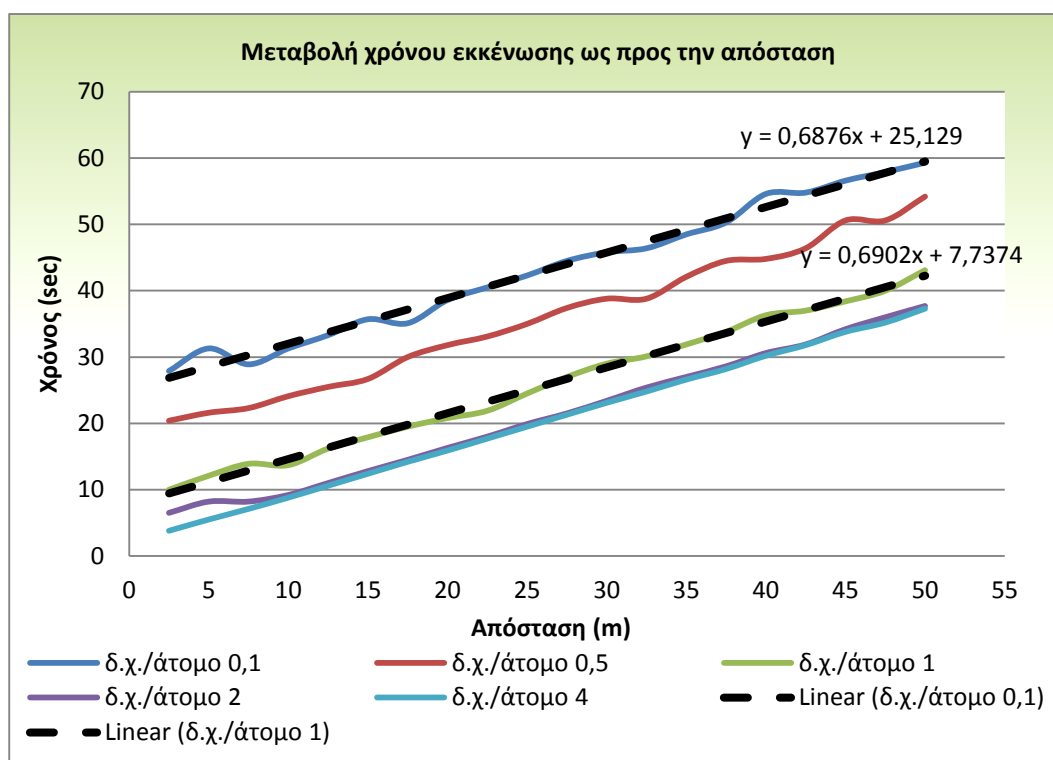
Πλέον, οι τιμές των παραμέτρων των κανονισμών είναι έτοιμες να εισαχθούν στη συνάρτηση αξιολόγησης και να υπολογιστεί η τελική τιμή του κελιού. Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστούν οι σταθεροί συντελεστές της συνάρτησης.

#### 8.4.3 Υπολογισμός σταθερών συντελεστών συνάρτησης

Οι τιμές των σταθερών συντελεστών στη συνάρτηση αξιολόγησης υπολογίζονται με βάση τους πίνακες και τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν κατά την ανάλυση αξιολόγησης των παραμέτρων. Ο συντελεστής  $a_i$  είναι η κλίση (slope) ή ο ρυθμός μεταβολής της συνάρτησης, ενώ ο  $b_i$  είναι ο σταθερός όρος (intercept). Πιο συγκεκριμένα, για τη συνάρτηση της

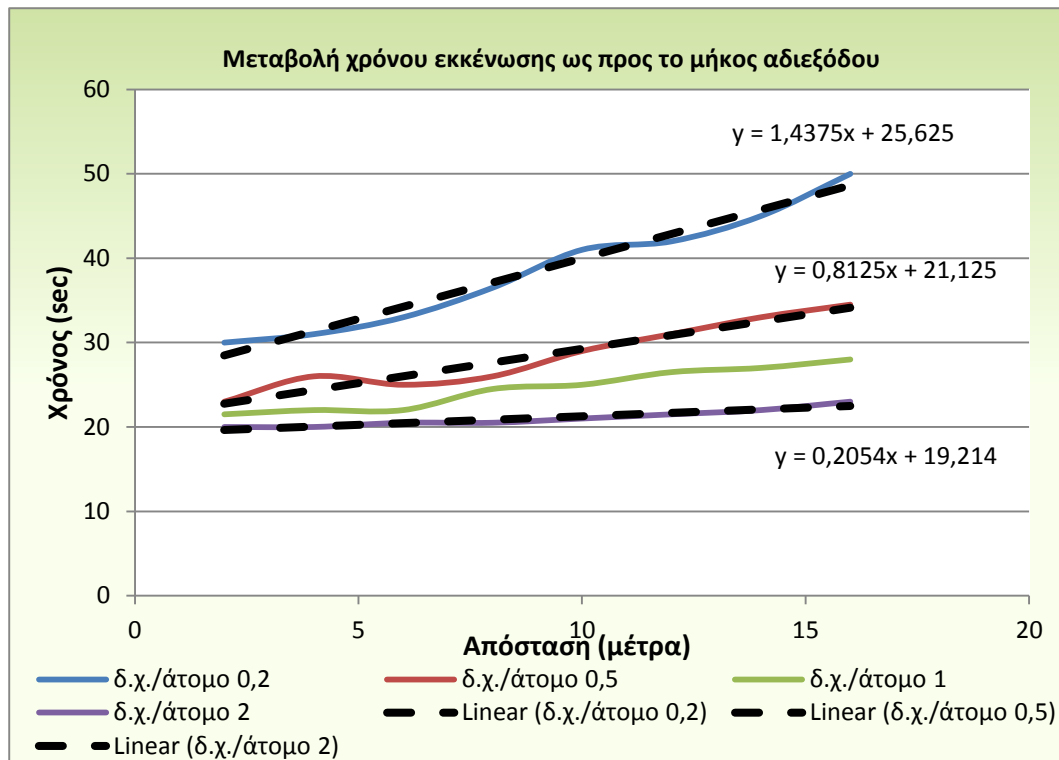


απόστασης (**Εξίσωση 8.1**) ο συντελεστής  $a_1$  παραμένει σχεδόν σταθερός για οποιαδήποτε τιμή της πυκνότητας (ή του δ.χ./άτομο). Στο **Διάγραμμα 8.18** απεικονίζονται οι γραμμές τάσης (trendline) για τις καμπύλες δυο εκ των τιμών του δ.χ./άτομο που επιλέχθηκαν. Οι τιμές του συντελεστή  $a_1$  κυμαίνονται στο διάστημα [0.68, 0.71], άρα μπορεί να επιλεγεί η τιμή για τον συντελεστή  $a_1 = 0,7$ . Αντίθετα, ο συντελεστής  $b_1$  έχει μεγάλο εύρος παίρνοντας τιμές στο διάστημα [1.9, 25.1]. Ο συντελεστής αυτός ουσιαστικά δείχνει τη μετατόπιση της καμπύλης ως προς τον κάθετο άξονα (χρόνος εκκένωσης) και εξαρτάται από το πλήθος των ατόμων και την πυκνότητα τους. Όμως, δεν επηρεάζει καθόλου το ρυθμό μεταβολής της απόστασης ως προς το χρόνο εκκένωσης, οπότε μπορεί να αγνοηθεί τελείως από τη συνάρτηση διότι αυτό που ενδιαφέρει είναι η μεταβολή του χρόνου και όχι η απόλυτη τιμή του.



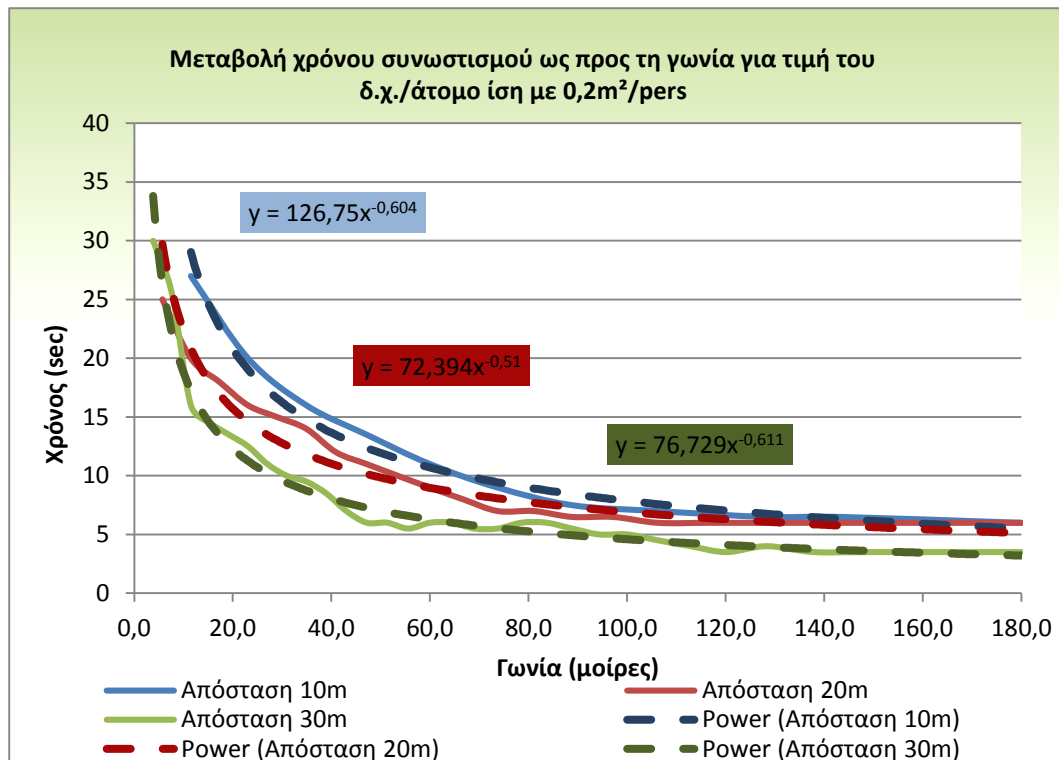
**Διάγραμμα 8.18** Διάγραμμα γραμμών τάσης στη μεταβολή του χρόνου ως προς την απόσταση

Με την ίδια λογική προκύπτει και ο συντελεστής  $a_3$  για την εξίσωση του αδιεξόδου (**Εξίσωση 8.3**), ο οποίος κυμαίνεται στο διάστημα [0.2, 1,4]. Όπως φαίνεται και στο **Διάγραμμα 8.19**, ο ρυθμός μεταβολής του χρόνου εκκένωσης ως προς το μήκος του αδιεξόδου μειώνεται καθώς αυξάνεται ο διαθέσιμος χώρος ανά άτομο. Επειδή η συνάρτηση βελτιστοποίησης έχει μεγαλύτερη σημασία στις πιο δύσκολες συνθήκες (περισσότερο πλήθος ατόμων), αλλά και για να κινείται η ανάλυση στην ασφαλή πλευρά, επιλέχθηκε ο συντελεστής να πάρει την τιμή της δυσμενέστερης περίπτωσης, δηλαδή αυτής που δίνεται από την καμπύλη του ελάχιστου διαθέσιμου χώρου ανά άτομο ( $a_3 = 1,4$ ). Ομοίως, όπως και στην περίπτωση της απόστασης, ο συντελεστής  $b_3$ , που έχει μικρότερο εύρος και κυμαίνεται στο διάστημα [19.2, 25.6], δεν επηρεάζει καθόλου το ρυθμό μεταβολής, οπότε μπορεί να αγνοηθεί τελείως από τη συνάρτηση.



**Διάγραμμα 8.19** Διάγραμμα γραμμών τάσης στη μεταβολή του χρόνου ως προς το μήκος αδιεξόδου

Όσον αφορά τη γωνία, τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται λόγω του είδους της καμπύλης, αλλά και της μετρούμενης μεταβλητής (χρόνος συνωστισμού), η οποία αλλάζει σημαντικά όσο μεταβάλλεται ο δ.χ./άτομο. Για να γίνει πιο κατανοητός ο υπολογισμός των συντελεστών  $a_2$  και  $c$ , η απεικόνιση των γραμμών τάσεων πραγματοποιείται σε διάγραμμα που αναφέρεται στην ίδια τιμή του δ.χ./άτομο και οι καμπύλες αντιπροσωπεύουν διαφορετική απόσταση (**Διάγραμμα 8.20**).



**Διάγραμμα 8.20** Διάγραμμα γραμμών τάσης στη μεταβολή του χρόνου συνωστισμού ως προς τη γωνία (για δ.χ./άτομο 0,2m<sup>2</sup>/pers)

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, σκοπός της χρήσης της συνάρτησης αξιολόγησης είναι να βρεθούν οι βέλτιστες θέσεις των εξόδων διαφυγής ιδιαίτερα για τις πιο δύσκολες και "φορτισμένες" συνθήκες. Για αυτό το λόγο το **Διάγραμμα 8.20** αναφέρεται για δ.χ./άτομο 0,2m<sup>2</sup>/pers, όπου οι καμπύλες διαγράφουν πιο "ομαλή" τροχιά. Παρόλα αυτά, στους **Πίνακες 8.17** και **8.18** φαίνονται οι τιμές των δύο συντελεστών που περιλαμβάνονται στην εξίσωση της γωνίας (**Εξίσωση 8.2**).

**Πίνακας 8.17** Τιμές συντελεστή  $a_2$

Συντελεστής $a_2$				
Απόσταση (m)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)			
	0.2	0.5	1.0	2.0
10	126,8	305,5	623,7	-
20	72,4	591,6	391,5	-
30	76,7	193,4	270,1	-

**Πίνακας 8.18** Τιμές συντελεστή  $c$

Συντελεστής $c$				
Απόσταση (m)	δ.χ./άτομο (m <sup>2</sup> /pers)			
	0.2	0.5	1.0	2.0
10	-0,60	-1,21	-2,05	-
20	-0,51	-1,34	-1,74	-
30	-0,61	-1,27	-2,14	-

Η επιλογή της τιμής των συντελεστών γίνεται με βάση το στόχο της συνάρτησης αξιολόγησης αλλά και της φύσης του κανονισμού της ελάχιστης γωνίας (αποφυγή συνωστισμού, ο οποίος εντείνεται όσο μειώνεται ο διαθέσιμος χώρος ανά άτομο, οπότε οι τιμές των συντελεστών είναι οι αντίστοιχοι μέσοι όροι από τη στήλη του δ.χ./άτομο  $0,2\text{m}^2/\text{pers}$  και συνεπώς  $a_2=92$  και  $c=0,58$  (μέσος όρος).

Οι συντελεστές βαρύτητας  $k_i$  έχουν εισαχθεί στη συνάρτηση αξιολόγησης ώστε να γίνουν συγκρίσιμες οι τιμές των επιμέρους τμημάτων της συνάρτησης. Για να αποφευχθούν προφανή λάθη, πραγματοποιείται κανονικοποίηση των μεταβλητών βελτιστοποίησης. Για να δοθεί η ίδια σχετική βαρύτητα στην κάθε μεταβλητή θα πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

$$k_1 * [g(x_d)\text{max} - g(x_d)\text{min}] = k_2 * [h(x_a)\text{max} - h(x_a)\text{min}] \quad (\text{Εξίσωση 8.5})$$

$$k_1 * [g(x_d)\text{max} - g(x_d)\text{min}] = k_3 * [j(x_e)\text{max} - j(x_e)\text{min}] \quad (\text{Εξίσωση 8.6})$$

Για την εφαρμογή της συνάρτησης αξιολόγησης γίνονται οι κάτωθι παραδοχές:

- Ως μέγιστη γωνία επιλέχθηκε προφανώς αυτή των  $180^\circ$ , ενώ για ελάχιστη αυτή των  $5^\circ$ , διότι αφενός γωνία μικρότερη από αυτή ουσιαστικά οδηγεί σε ταύτιση των δύο εξόδων διαφυγής (σα να υπάρχει μια πόρτα μεγάλου πλάτους) και αφετέρου μικρότερη τιμή οδηγεί σε μη ρεαλιστικά αποτελέσματα (η συνάρτηση τείνει στο άπειρο)
- Ως μέγιστη απόσταση επιλέχθηκε η μέγιστη δυνατή που δίνουν οι κανονισμοί, και αυτή είναι τα 120 μέτρα, διότι παρόλο που αυτή χρησιμοποιείται σε λίγες περιπτώσεις, αυτές περιλαμβάνουν αποθηκευτικούς χώρους, υπόγειους χώρους κ.α. που είναι και οι βασικοί χώροι για τους οποίους γίνεται η διαδικασία προσδιορισμού των βέλτιστων θέσεων
- Ομοίως για το μέγιστο μήκος όδευσης σε αδιέξοδα χρησιμοποιείται το μέγιστο δυνατό που δίνεται από τους κανονισμούς και αυτό είναι τα 35 μέτρα

Τα μέγιστα και τα ελάχιστα κάθε συνάρτησης μπορούν να υπολογιστούν είτε από την ίδια τη συνάρτηση, επιλέγοντας τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή κάθε μεταβλητής είτε από τις τιμές που έχουν δοθεί στους πίνακες αξιολόγησης των μεταβλητών (**υποκεφάλαιο 8.2**).

Χρησιμοποιώντας τις **Εξισώσεις 8.1** και **8.3** καθώς και τους συντελεστές που προέκυψαν από την προηγούμενη ανάλυση, η **Εξίσωση 8.5** και η **Εξίσωση 8.6** δίνουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

$$k_1 * [84 - 0] = k_2 * [35 - 4] \Rightarrow k_2 = 2.7k_1$$

$$k_1 * [84 - 0] = k_3 * [49 - 0] \Rightarrow k_3 = 1.7k_1$$

Επειδή ενδιαφέρει η σχέση μεταξύ των συντελεστών βαρύτητας και όχι η απόλυτη τιμή τους, ένας εκ των συντελεστών μπορεί να έχει τιμή τη μονάδα και επιλέχθηκε  $k_1=1$ , έτσι οι τιμές των συντελεστών βαρύτητας παρουσιάζονται στον **Πίνακα 8.19**.

**Πίνακας 8.19** Τιμές συντελεστών βαρύτητας  $k_i$ 

Συντελεστές βαρύτητας	
$k_1$	1.0
$k_2$	2.7
$k_3$	1.7

Οπότε, η συνάρτηση αξιολόγησης (**Εξίσωση 8.4**) παίρνει την τελική της μορφή:

$$F = 0,7x_d + 248,4x_a^{-0,58} + 2,4x_e \quad (\text{Εξίσωση 8.7})$$

Οι συντελεστές προσδιορίστηκαν έτσι ώστε η τιμή της συνάρτησης να δίνει το ίδιο αποτέλεσμα, όταν δύο μεταβλητές παίρνουν τη μέγιστη τιμή τους και η τρίτη την ελάχιστη ή αντίστοιχα όταν δύο μεταβλητές παίρνουν την ελάχιστη τιμή τους και η τρίτη τη μέγιστη. Τα αποτελέσματα αυτών των έξι περιπτώσεων φαίνονται στον **Πίνακα 8.20**. Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της φύσης της συνάρτησης της γωνίας και των παραδοχών (ελάχιστη είναι  $5^\circ$  και όχι μηδέν), όταν απομονωθεί ως μέγιστη ή ελάχιστη δίνει λίγο διαφορετικά αποτελέσματα.

**Πίνακας 8.20** Τιμές συνάρτησης αξιολόγησης (Performance) για 6 ακραίες περιπτώσεις

	Distance	Angle	Deadend	Performance
Δύο μέγιστες	120	180	0	97,99
	0	5	0	111,82
	0	180	35	97,99
	0	5	0	111,82
	0	180	35	97,99
	120	180	0	97,99
Δύο ελάχιστες	120	180	35	181,99
	0	5	35	195,82
	0	5	35	195,82
	120	5	0	195,82
	120	180	35	181,99
	120	5	0	195,82

Οι συντελεστές βαρύτητας υπολογίστηκαν με τις παραδοχές ότι παίρνουμε τις ακραίες τιμές για όλες τις παραμέτρους. Όμως για να βγαίνουν τα αποτελέσματα και ο χρωματισμός του Performance (Υποκεφάλαιο 8.4.7) πιο ευδιάκριτα και σχετικώς συγκρίσιμα με άλλους χώρους που εμπίπτουν στις ίδιες διατάξεις, οι συντελεστές βαρύτητας πρέπει να προσδιορίζονται ανά περίπτωση, δηλαδή εξαρτώμενοι κάθε φορά από το μέγιστο ή το ελάχιστο (στην περίπτωση της γωνίας) των παραμέτρων εκκένωσης. Με τη χρήση των ίδιων εξισώσεων (**Εξίσωση 8.5** και **8.6**) δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι **Πίνακες 8.21** και **8.22** που δίνουν τους συντελεστές  $k_2$  και  $k_3$  για διαφορετικά όρια των παραμέτρων.

Πίνακας 8.21 Τιμές συντελεστή βαρύτητας  $k_2$

		Συντελεστής $k_2$									
		Ελάχιστο όριο Γωνίας									
		5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
Μέγιστο όριο Απόστασης	5	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7
	10	0,2	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,3	2,8	3,4
	15	0,3	0,7	1,1	1,5	1,9	2,3	2,9	3,5	4,3	5,2
	20	0,4	1,0	1,4	2,0	2,5	3,1	3,8	4,7	5,7	6,9
	25	0,6	1,2	1,8	2,4	3,1	3,9	4,8	5,8	7,1	8,6
	30	0,7	1,4	2,2	2,9	3,8	4,7	5,8	7,0	8,5	10,3
	35	0,8	1,7	2,5	3,4	4,4	5,5	6,7	8,2	9,9	12,1
	40	0,9	1,9	2,9	3,9	5,0	6,3	7,7	9,4	11,3	13,8
	45	1,0	2,2	3,2	4,4	5,6	7,0	8,6	10,5	12,8	15,5
	50	1,1	2,4	3,6	4,9	6,3	7,8	9,6	11,7	14,2	17,2
	55	1,2	2,6	4,0	5,4	6,9	8,6	10,6	12,9	15,6	19,0
	60	1,3	2,9	4,3	5,9	7,5	9,4	11,5	14,0	17,0	20,7
	65	1,4	3,1	4,7	6,3	8,1	10,2	12,5	15,2	18,4	22,4
	70	1,5	3,4	5,1	6,8	8,8	10,9	13,4	16,4	19,9	24,1
	75	1,7	3,6	5,4	7,3	9,4	11,7	14,4	17,5	21,3	25,9
	80	1,8	3,8	5,8	7,8	10,0	12,5	15,4	18,7	22,7	27,6
	85	1,9	4,1	6,1	8,3	10,6	13,3	16,3	19,9	24,1	29,3
90	2,0	4,3	6,5	8,8	11,3	14,1	17,3	21,0	25,5	31,0	
95	2,1	4,6	6,9	9,3	11,9	14,9	18,2	22,2	26,9	32,7	
100	2,2	4,8	7,2	9,8	12,5	15,6	19,2	23,4	28,4	34,5	
105	2,3	5,0	7,6	10,2	13,2	16,4	20,2	24,5	29,8	36,2	
110	2,4	5,3	7,9	10,7	13,8	17,2	21,1	25,7	31,2	37,9	
115	2,5	5,5	8,3	11,2	14,4	18,0	22,1	26,9	32,6	39,6	
120	2,7	5,8	8,7	11,7	15,0	18,8	23,0	28,1	34,0	41,4	

**Πίνακας 8.22** Τιμές συντελεστή βαρύτητας  $k_3$

		<b>Συντελεστής <math>k_3</math></b>						
		<b>Μέγιστο όριο Αδιεξόδου</b>						
		<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>
<b>Μέγιστο όριο Απόστασης</b>	<b>5</b>	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
	<b>10</b>	1,0	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1
	<b>15</b>	1,5	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2
	<b>20</b>	2,0	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3
	<b>25</b>	2,5	1,3	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4
	<b>30</b>	3,0	1,5	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
	<b>35</b>	3,5	1,8	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5
	<b>40</b>	4,0	2,0	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6
	<b>45</b>	4,5	2,3	1,5	1,1	0,9	0,8	0,6
	<b>50</b>	5,0	2,5	1,7	1,3	1,0	0,8	0,7
	<b>55</b>	5,5	2,8	1,8	1,4	1,1	0,9	0,8
	<b>60</b>	6,0	3,0	2,0	1,5	1,2	1,0	0,9
	<b>65</b>	6,5	3,3	2,2	1,6	1,3	1,1	0,9
	<b>70</b>	7,0	3,5	2,3	1,8	1,4	1,2	1,0
	<b>75</b>	7,5	3,8	2,5	1,9	1,5	1,3	1,1
	<b>80</b>	8,0	4,0	2,7	2,0	1,6	1,3	1,1
	<b>85</b>	8,5	4,3	2,8	2,1	1,7	1,4	1,2
<b>90</b>	9,0	4,5	3,0	2,3	1,8	1,5	1,3	
<b>95</b>	9,5	4,8	3,2	2,4	1,9	1,6	1,4	
<b>100</b>	10,0	5,0	3,3	2,5	2,0	1,7	1,4	
<b>105</b>	10,5	5,3	3,5	2,6	2,1	1,8	1,5	
<b>110</b>	11,0	5,5	3,7	2,8	2,2	1,8	1,6	
<b>115</b>	11,5	5,8	3,8	2,9	2,3	1,9	1,6	
<b>120</b>	12,0	6,0	4,0	3,0	2,4	2,0	<b>1,7</b>	

Επειδή αποδείχθηκε ότι οι επιμέρους συναρτήσεις επηρεάζονται από την πυκνότητα των ανθρώπων στο χώρο, τότε οι τιμές των σταθερών μπορούν να μεταβάλλονται, ανάλογα με τον προς μελέτη χώρο. Η συγκεκριμένη συνάρτηση αξιολόγησης μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση και δίνει ρεαλιστικά αποτελέσματα. Το λογισμικό, πάντως, δημιουργήθηκε έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα όλες οι παράμετροι να καθορίζονται από το χρήστη ανάλογα με τη μελέτη που θέλει να κάνει, ή τη χρήση του χώρου που θα μελετήσει, ώστε τα αποτελέσματα να προσαρμόζονται σε αυτές τις ανάγκες.

#### **8.4.4 Υπολογισμός Performance - Ιδιότητα "Hotness"**

Η τελική επίδοση του συνδυασμού των εξόδων, η οποία έχει τον τίτλο "**Performance**" στο λογισμικό Exit Locator, προκύπτει από το μέσο όρο της βαθμολογίας όλων των κελιών που αποτελούν το χώρο.

Όπως έχει παρατηρηθεί σε πολλούς χώρους, υπάρχουν περιοχές που έχουν μεγάλη επισκεψιμότητα και άλλες που έχουν σχεδόν μηδενική. Είναι προφανές ότι η όδευση διαφυγής είναι πιο σημαντική σε περιοχές με μεγάλη επισκεψιμότητα παρά σε αυτές με

μικρότερη. Με βάση τα παραπάνω, επειδή κάθε κελί έχει διαφορετική "βαρύτητα" η οποία εξαρτάται από τη χρήση και την πιθανότητα παρουσίας ανθρώπου στο σημείο, ο μέσος όρος (δηλαδή η τελική βαθμολογία του συνδυασμού των θέσεων των εξόδων - Performance) δεν προκύπτει από την απλή συνάρτηση του μέσου όρου:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = \frac{1}{n} (t_1 + \dots + t_n) \quad (\text{Εξίσωση 8.8})$$

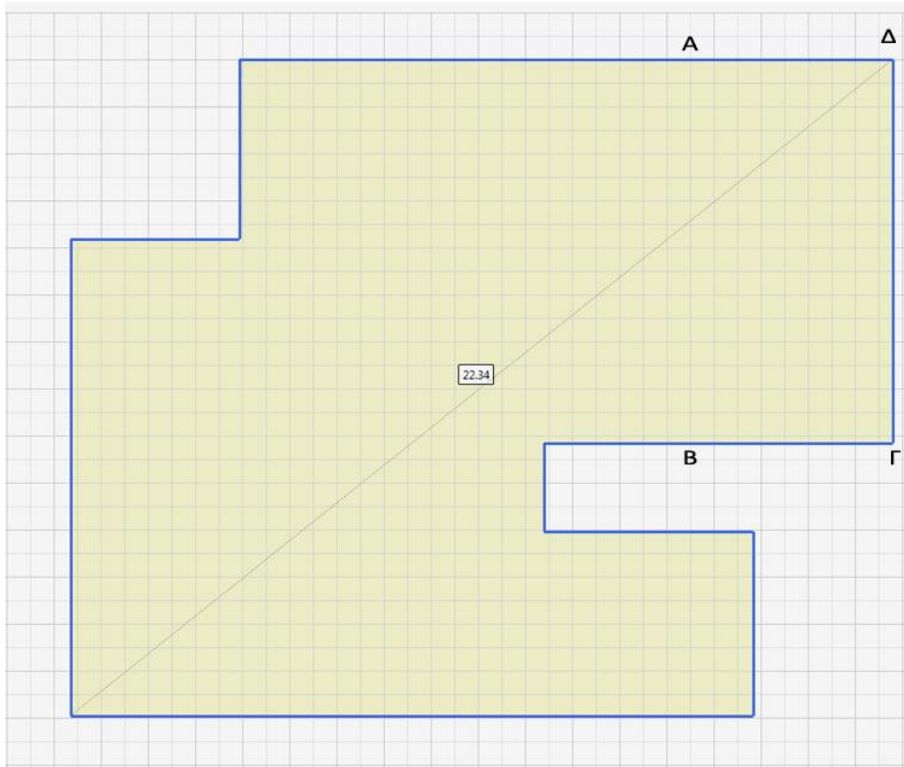
όπου  $t_i$  η  $i$  βαθμολογία του  $i$  κελιού και  $n$  το πλήθος των κελιών, αλλά προκύπτει από το σταθμικό μέσο όρο, όπου  $w_i$  ονομάζεται ο συντελεστής βαρύτητας του κελιού  $i$ .

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k (w_i x_i)}{\sum_{i=1}^k (w_i)} = \frac{w_1 x_1 + \dots + w_k x_k}{w_1 + \dots + w_k} \quad (\text{Εξίσωση 8.9})$$

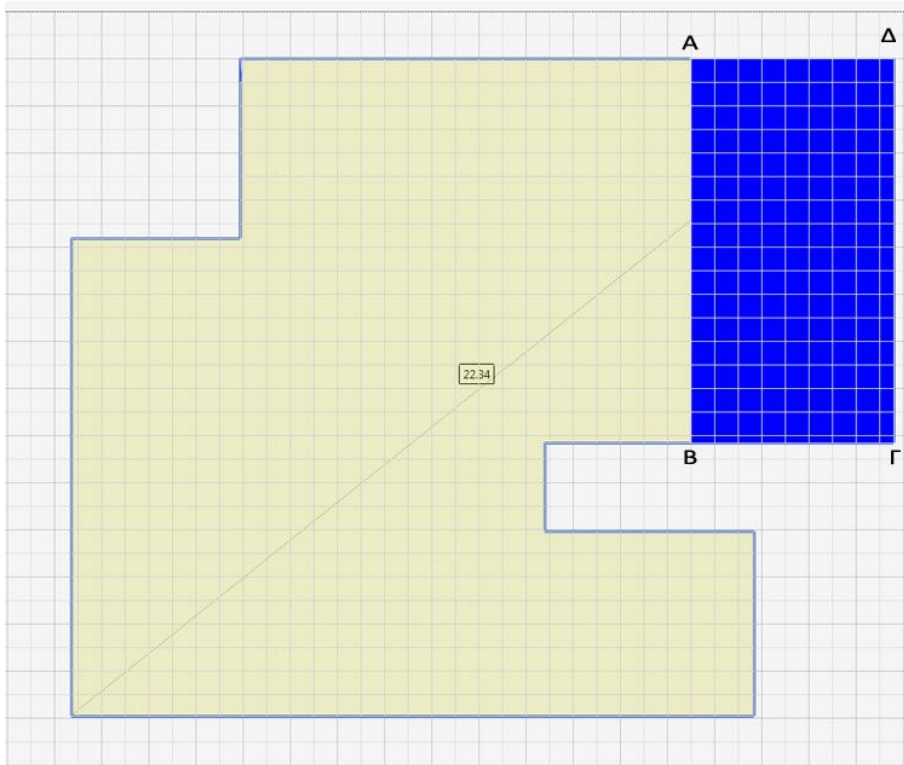
Η Εξίσωση 8.8 θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση ενός χώρου στον οποίο οι ένοικοι είχαν την ίδια πιθανότητα να βρεθούν σε κάθε σημείο του χώρου. Παράδειγμα τέτοιου χώρου είναι μία αίθουσα διδασκαλίας ή ένας χώρος συνάθροισης κοινού (π.χ. συναυλιακός χώρος), χωρίς να υπολογίζονται οι βοηθητικοί χώροι (σκάλες, διάδρομοι, χώροι υγιεινής κ.α.). Σε αντίθετη περίπτωση που μελετάται ένας πιο "πολύπλοκος" χώρος, ο οποίος περιλαμβάνει χώρους γραφείων, αποθηκευτικούς χώρους κ.α., οι οποίοι δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται σε διαφορετικά δωμάτια, αλλά και σε διαφορετικές περιοχές ενός μεγάλου ενιαίου χώρου, τότε υπάρχουν περιοχές ή σημεία στο χώρο στα οποία υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να βρίσκονται οι ένοικοι του χώρου, σε αντίθεση με κάποια άλλα. Σ' αυτήν την περίπτωση εφαρμόζεται η **Εξίσωση 8.9**.

Για να μπορέσει το λογισμικό να καταλάβει τη βαρύτητα κάθε κελιού ( $w_i$ ), επινοήθηκε μια ιδιότητα "**σημαντικότητας σημείου**" που στο εξής θα αναφέρεται ως "**Hotness**", η οποία δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίζει τη βαρύτητα κάθε σημείου (με βάση την πιθανότητα να φιλοξενεί ενοίκους). Για παράδειγμα, έστω ότι σε έναν χώρο (**Σχήμα 8.12**) η περιοχή ΑΒΓΔ χρησιμοποιείται ως χώρος αποθήκευσης. Στην αρχική καρτέλα του λογισμικού ο χρήστης με την επιλογή "Hotness" μπορεί να επιλέγει όλα τα κελιά της περιοχής που θα αλλάξει τη βαρύτητα. Έπειτα, χρησιμοποιώντας τα πλήκτρα "+" και "-", αυξάνει ή μειώνει τη βαρύτητα της περιοχής, η οποία χρωματίζεται σε κλίμακα από μπλε μέχρι κόκκινο (μπλε χαμηλή βαρύτητα - *cold* και κόκκινο υψηλή βαρύτητα - *hot*) (**Σχήμα 8.13**). Οι τιμές του συντελεστή που προέρχονται από την ιδιότητα Hotness βρίσκονται στο διάστημα [0,2] με αρχική τιμή 1 και οι αυξομειώσεις είναι κατά 0,25. Μόλις ξεκινάει το λογισμικό δίνει σε κάθε τετράγωνο μια τιμή hotness η οποία είναι 1 και ο χρήστης την αλλάζει κατά 0,25 με μέγιστο το 2 και ελάχιστο το 0. Αυτό σημαίνει ότι η μέγιστη σχέση που μπορεί να έχουν δυο τετράγωνα είναι 2:0,25 δηλαδή 8 φορές πιο "σημαντικό" το ένα από το άλλο (εξαιρείται η περίπτωση που το τετράγωνο παίρνει τιμή 0).



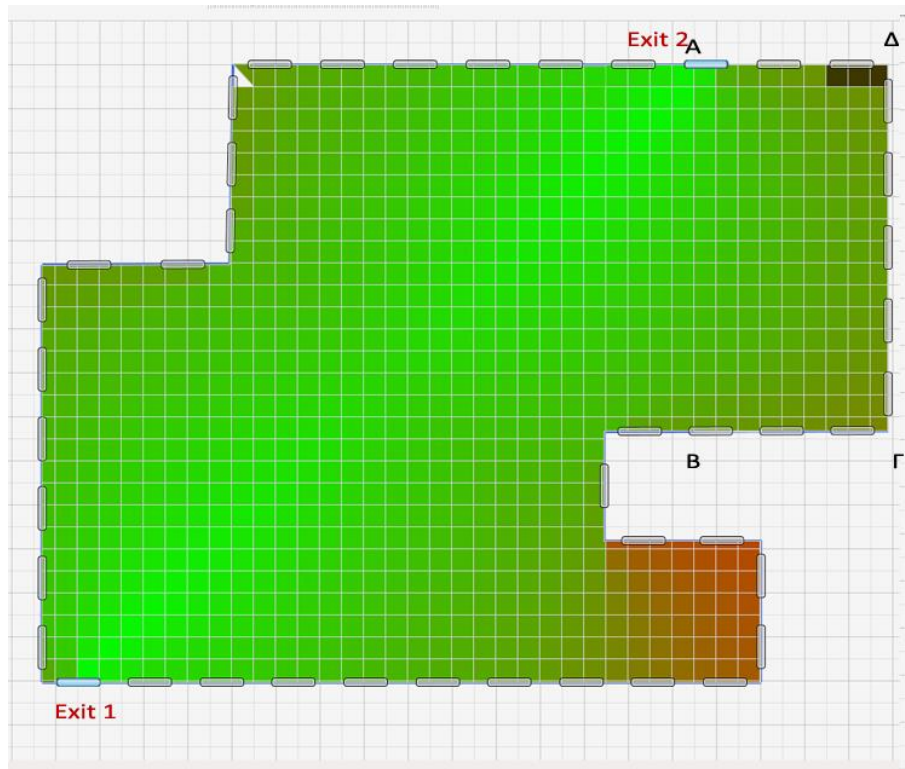


**Σχήμα 8.12** Περιοχή ΑΒΓΔ με χαμηλή επισκεψιμότητα

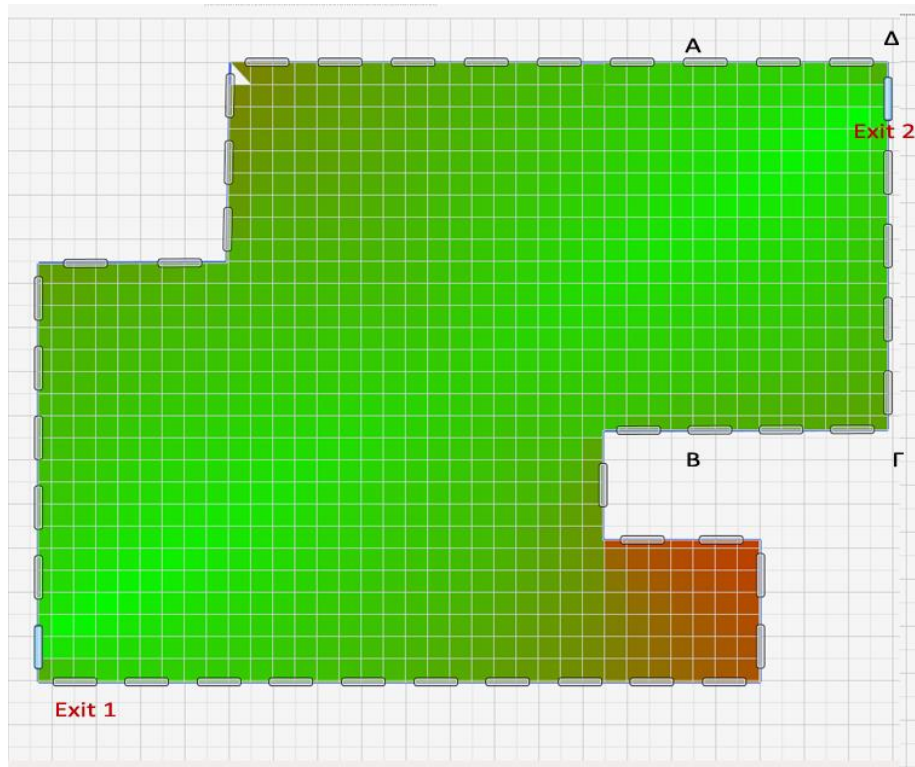


**Σχήμα 8.13** Μείωση βαρύτητας της περιοχής με την ιδιότητα Hotness

Με τον υπολογισμό του σταθμικού μέσου, προκύπτει η τελική βαθμολογία για κάθε συνδυασμό που ονομάζεται Performance. Το επόμενο στάδιο είναι να βρεθεί ο βέλτιστος από τους δυνατούς συνδυασμούς. Πιο συγκεκριμένα, για να γίνει πιο κατανοητή η χρησιμότητα της ιδιότητας Hotness καθώς και η επαλήθευση της λειτουργίας της, για το παραπάνω παράδειγμα, οι βέλτιστες θέσεις στην περίπτωση χρήσης της ιδιότητας Hotness φαίνονται στην **Εικόνα 8.4**, ενώ χωρίς τη χρήση της φαίνονται στην **Εικόνα 8.5**.



**Εικόνα 8.4** Βέλτιστος συνδυασμός με τη χρήση της ιδιότητας Hotness στον τυχαίο χώρο



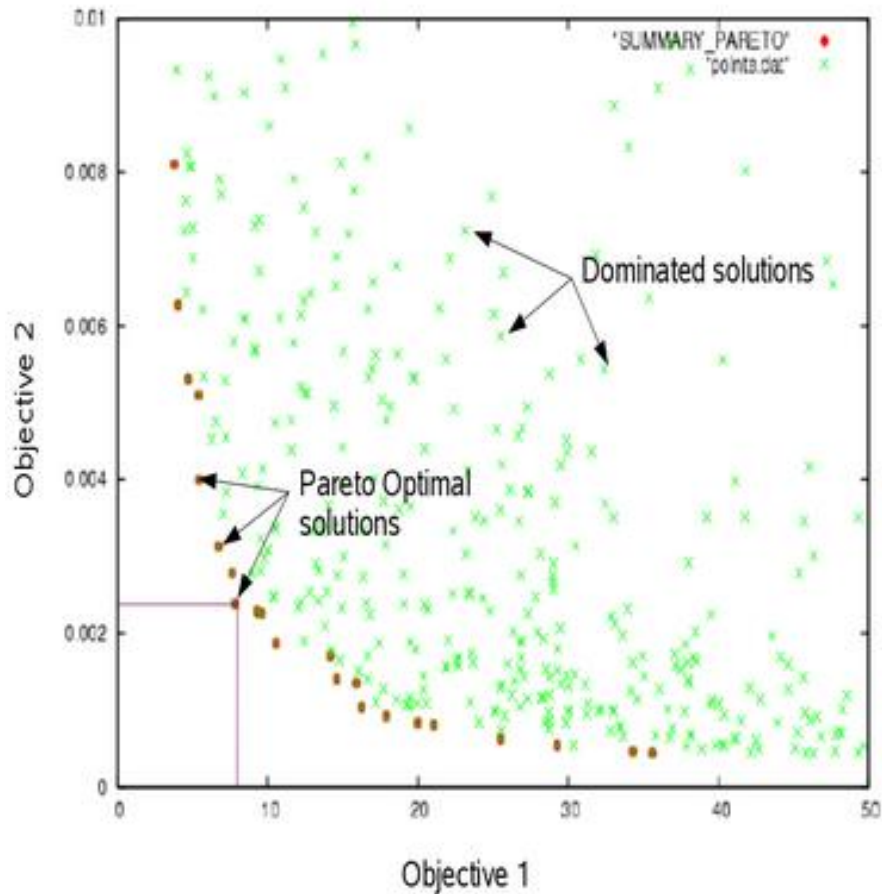
**Εικόνα 8.5** Βέλτιστος συνδυασμός χωρίς τη χρήση της ιδιότητας Hotness στον τυχαίο χώρο

Όπως είναι φανερό από τους δύο συνδυασμούς των θέσεων των εξόδων στις δύο περιπτώσεις, με τη χρήση της ιδιότητας Hotness περιορίζεται η σημασία της περιοχής με χαμηλή επισκεψιμότητα, με αποτέλεσμα οι βέλτιστες θέσεις εξόδου να μετακινούνται πιο κοντά στον κύριο χώρο της εγκατάστασης.

#### **8.4.5 Αξιολόγηση συνδυασμών - Μέτωπο Παρέτο**

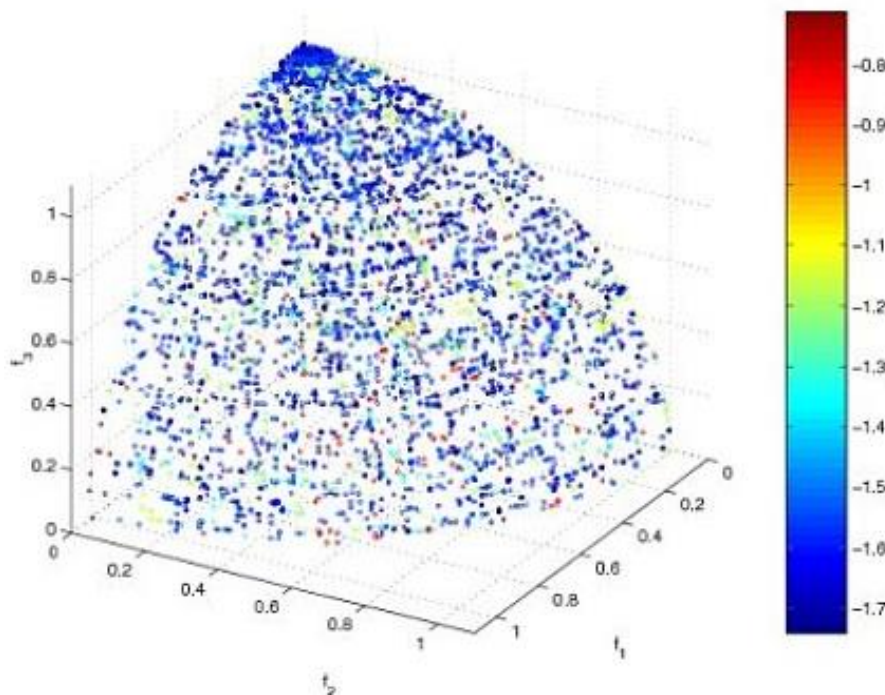
Ο προσδιορισμός του συνδυασμού που βελτιστοποιεί μία συγκεκριμένη μεταβλητή είναι μια σχετικά απλή υπόθεση. Όμως, το ιδανικό είναι να βρεθεί μια βέλτιστη λύση για το σύνολο των παραμέτρων που διέπουν τις διαδικασίες εκκένωσης και όχι για κάθε παράμετρο ξεχωριστά. Σε αυτές τις περιπτώσεις, στις οποίες υπάρχουν πολλαπλοί στόχοι βελτιστοποίησης, που μπορεί να είναι και αντικρουόμενοι μεταξύ τους αλλά έχουν τον ίδιο στόχο (βελτιστοποίηση των διαδικασιών εκκένωσης), είναι απαραίτητη μια εξισορρόπηση για να εξασφαλιστεί ένας ικανοποιητικός σχεδιασμός.

Τα λογισμικά που πραγματοποιούν την παραπάνω διαδικασία (όπως το Exit Locator), ουσιαστικά δημιουργούν ένα μέτωπο Παρέτο (Pareto front) (Noesis Solutions).



**Σχήμα 8.14** Μέτωπο Παρέτο (Pareto front) δύο παραμέτρων (Πηγή: Cenaero ASBL)

Στο **Σχήμα 8.14** απεικονίζεται ένα μέτωπο Παρέτο για τη βελτιστοποίηση ενός στόχου με δύο μεταβλητές. Όλα τα πράσινα σημεία είναι πιθανοί συνδυασμοί των δύο μεταβλητών - παραμέτρων του ίδιου στόχου, ενώ η περιβάλλουσα με τα κόκκινα σημεία είναι οι βελτιστοποιημένοι συνδυασμοί τους. Επίσης, το μέτωπο Παρέτο μπορεί να δημιουργηθεί και για περισσότερες μεταβλητές, μόνο που για περισσότερες από τρεις δεν είναι δυνατή η απεικόνισή του (**Σχήμα 8.15**).



**Σχήμα 8.15** Μέτωπο Παρέτο τριών παραμέτρων (Πηγή: Smith, Fieldsend, & Everson)

Πρέπει να σημειωθεί ότι το μέτωπο Παρέτο δεν προσδιορίζει τη βέλτιστη λύση (διότι δεν είναι μόνο μία σε περιπτώσεις που οι μεταβλητές είναι αντικρουόμενες), αλλά ουσιαστικά απομονώνει αυτές που δεν βελτιστοποιούν τον τελικό στόχο.

Με μαθηματικούς όρους, ένα πολυπαραμετρικό πρόβλημα βελτιστοποίησης μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$\min \text{ or } \max (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))^T \quad (\text{Εξίσωση 8.10})$$

$x \in X$ ,

όπου  $k$  ακέραιος  $\geq 2$  είναι ο αριθμός των μεταβλητών και  $X$  η συλλογή των πιθανών διανυσμάτων μέσα στα όρια των μεταβλητών και των συναρτήσεων που αντιπροσωπεύουν.

Επιπλέον, το διάνυσμα της τιμής του στόχου ορίζεται ως:

$$f: X \rightarrow \mathbf{R}^k, f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))^T \quad (\text{Εξίσωση 8.11})$$

Αν κάποια παράμετρος πρέπει να μεγιστοποιηθεί, αρκεί να ελαχιστοποιηθεί (σε απόλυτη τιμή) η αρνητική της τιμή. Ένα στοιχείο  $x^* \in X$  ονομάζεται πιθανή λύση. Ένα διάνυσμα  $z^* := f(x^*) \in \mathbf{R}^k$  μιας πιθανής λύσης  $x^*$  ονομάζεται διάνυσμα παραμέτρου - αποτέλεσμα (outcome). Σε μια πολυπαραμετρική βελτιστοποίηση δεν υπάρχει μία λύση που να μεγιστοποιεί ή να ελαχιστοποιεί όλες τις μεταβλητές ταυτόχρονα. Επομένως, δίνεται προσοχή στις βέλτιστες λύσεις Παρέτο, δηλαδή λύσεις που δεν μπορούν να βελτιωθούν σε καμία παράμετρο αν δεν υποβαθμιστούν σε τουλάχιστον μια άλλη. Μια πιθανή λύση  $x^1 \in X$  είναι ισχυρότερη μιας άλλης  $x^2 \in X$ , εάν (σε περίπτωση που η βέλτιστη λύση είναι η ελαχιστοποίηση του στόχου):

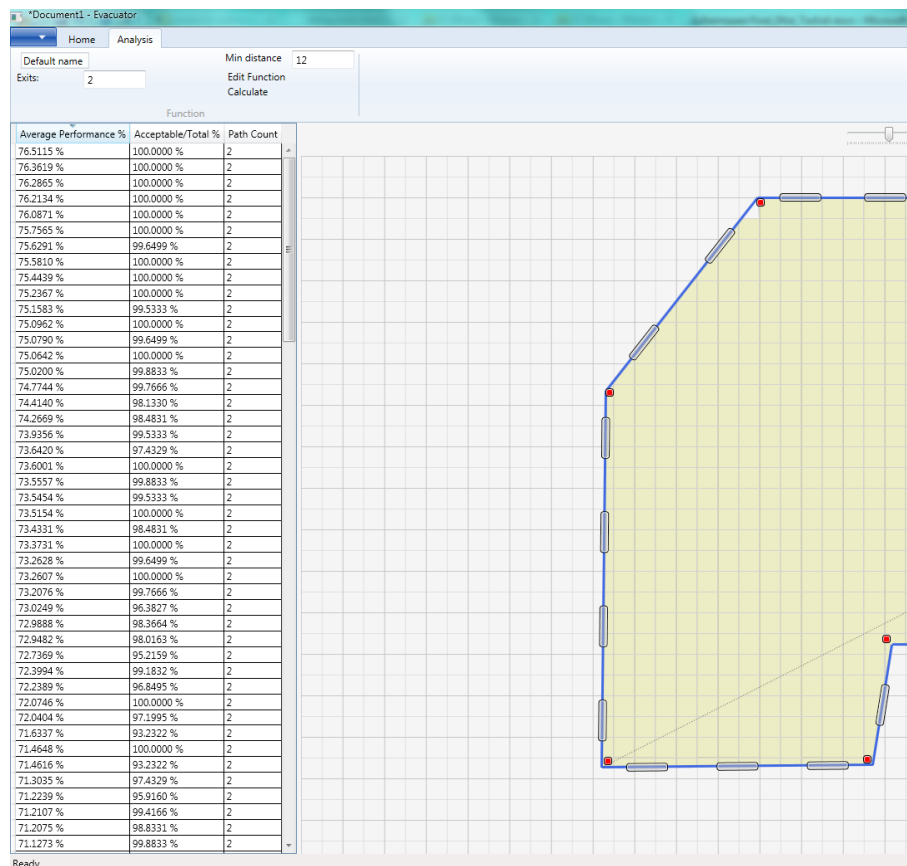
1.  $f_i(x^1) \leq f_i(x^2)$  για όλους τους δείκτες  $i \in \{1,2,\dots,k\}$  και
2.  $f_j(x^1) < f_j(x^2)$  για τουλάχιστον ένα  $j \in \{1,2,\dots,k\}$

Μια λύση  $x^1 \in X$  (και αποτέλεσμα  $f(x^*)$ ) ονομάζεται βέλτιστη λύση Παρέτο αν δεν υπάρχει άλλη λύση ισχυρότερη από αυτή (Pareto optimal solution - non-dominated solution). Το σύνολο αυτών των λύσεων, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ονομάζεται μέτωπο Παρέτο (Miettinen, 1998).

Την παραπάνω διαδικασία την πραγματοποιεί το λογισμικό όταν ενεργοποιηθεί το κουμπί Calculation στην καρτέλα "Analysis" (Εικόνα 8.3). Ανάλογα με το μέγεθος του χώρου και τις παραμέτρους που έχουν εισαχθεί από το χρήστη, η διαδικασία υπολογισμού διαρκεί μερικά δευτερόλεπτα έως λίγα λεπτά. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται σε έναν πίνακα αριστερά από το σχήμα και παρέχουν δύο σημαντικές πληροφορίες για την απόδοση του κάθε συνδυασμού:

- **Average Performance (%):** Στη στήλη αυτή δίνεται η τελική βαθμολογία - Performance του συνδυασμού σε ποσοστό επί τις εκατό. Η τιμή αυτή προφανώς δεν μπορεί να υπερβαίνει το 100%, η οποία είναι μια ουτοπική τιμή.
- **Acceptable/Total (%):** Στη στήλη αυτή υπολογίζεται το ποσοστό του χώρου που βρίσκεται εντός των κανονισμών που έχουν εισαχθεί από το χρήστη, για το συγκεκριμένο συνδυασμό.

Τέλος, υπάρχει δυνατότητα ταξινόμησης κατά αύξουσα ή φθίνουσα τιμή κάθε στήλης.



Εικόνα 8.6 Αποτελέσματα υπολογισμού στο Exit Locator

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι συναρτήσεις που πρέπει να βελτιστοποιηθούν είναι αυτή της απόστασης, της γωνίας και του αδιεξόδου ( $g(x_d)$ ,  $h(x_a)$ ,  $j(x_e)$ ) και πρέπει να πάρουν τις ελάχιστες τιμές διότι, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, παρουσιάζουν επίδραση στο χρόνο εκκένωσης. Στη συνέχεια δίνονται τα αποτελέσματα που εξάγει το Exit Locator για έναν τυχαίο χώρο, ο προσδιορισμός των σημείων Παρέτο και του Μετώπου Παρέτο, καθώς και ο προσδιορισμός του βέλτιστου σημείου-συνδυασμού. Στον **Πίνακα 8.23** φαίνονται οι τιμές των τριών ανεξάρτητων μεταβλητών ( $x_d$ ,  $x_a$ ,  $x_e$ ) σε μερικούς συνδυασμούς (42 συγκεκριμένα) ενός τυχαίου χώρου. Το σύνολο των πιθανών συνδυασμών (για δύο εξόδους) για τον συγκεκριμένο χώρο είναι 1690, εκ των οποίων περίπου 300 συμμορφώνονται με τις τιμές των παραμέτρων εκκένωσης που εισήχθησαν στο λογισμικό (Acceptable/Total=100%).

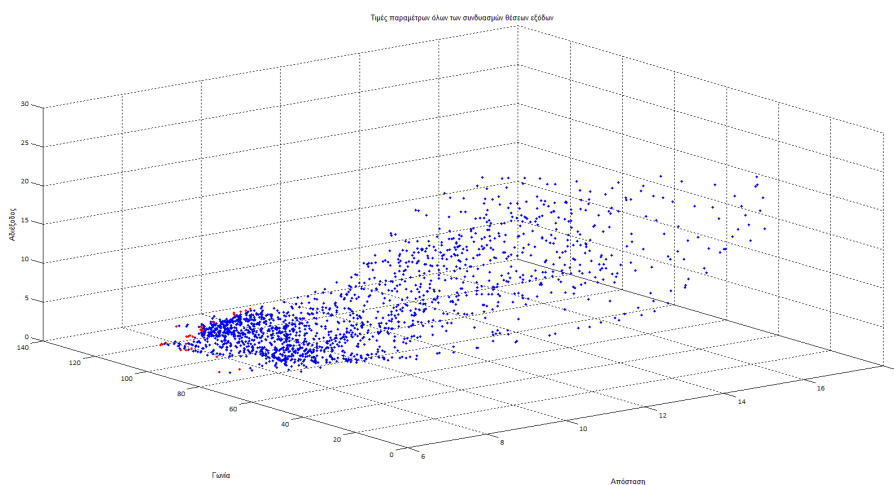
**Πίνακας 8.23** Τιμές ανεξάρτητων μεταβλητών (απόσταση, γωνίας και αδιεξόδου) για κάποιους από τους πιθανούς συνδυασμούς τυχαίου χώρου (συνέχεια)

Average Distance	Average Angle	Average Deadend
11,21	117,71	0,00
9,65	95,93	0,23
10,49	107,71	0,00
8,07	120,69	0,00
9,63	100,85	0,12
9,46	74,29	1,58
9,43	119,66	0,00
9,16	97,21	0,26
9,15	98,57	0,20
11,01	135,03	0,00
10,36	123,55	0,00
9,81	111,65	0,00
9,65	106,53	0,00
9,73	78,60	7,91
10,26	53,08	9,70
10,47	68,18	7,68
8,83	80,84	8,28
10,58	53,09	9,59
11,77	55,32	9,26
12,69	32,24	10,08
8,24	56,65	10,41
10,23	78,15	8,81
10,57	57,85	9,76
11,23	50,99	11,21
12,51	51,99	10,72
10,91	53,38	11,73
9,63	45,13	12,71
10,15	73,79	10,14
14,46	20,73	12,26
12,59	28,30	13,42
9,15	38,94	14,96

**Πίνακας 8.23** Τιμές ανεξάρτητων μεταβλητών (απόσταση, γωνίας και αδιεξόδου) για κάποιους από τους πιθανούς συνδυασμούς τυχαίου χώρου (συνέχεια)

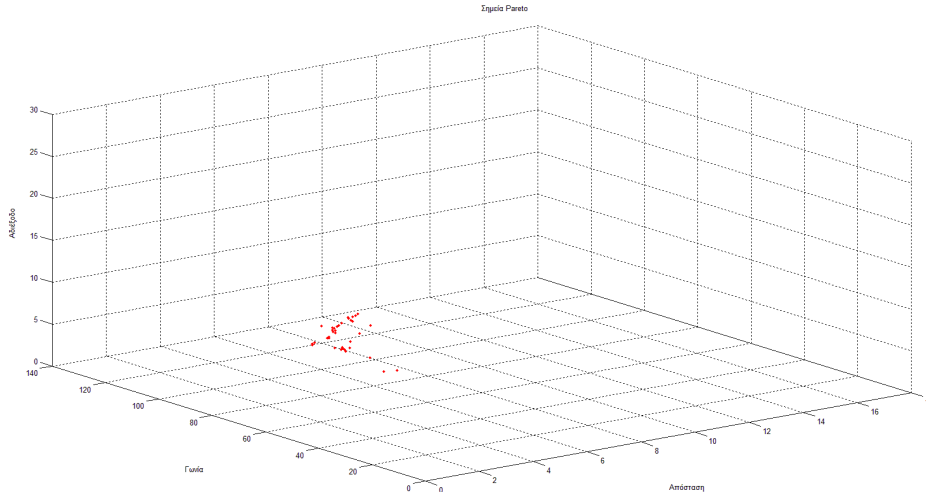
Average Distance	Average Angle	Average Deadend
10,72	59,84	12,20
10,63	43,39	14,70
14,35	52,88	12,03
9,43	69,07	13,95
12,98	35,56	14,41
10,48	47,77	15,33
9,96	53,06	14,97
9,76	60,52	14,56
11,91	37,12	15,10
9,65	51,85	15,50
11,96	48,33	14,71

Στο **Σχήμα 8.16** παρουσιάζονται σε τρισδιάστατο σύστημα αξόνων, οι τιμές των παραμέτρων των συνδυασμών των εξόδων διαφυγής, ενώ με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται αυτές που βρίσκονται πάνω στο μέτωπο Παρέτο. Ακόμα, στο **Σχήμα 8.17** φαίνονται μόνο τα "απομονωμένα" σημεία κατά Παρέτο. Να σημειωθεί ότι οι τιμές Παρέτο προσδιορίζονται για μεγαλύτερο  $\gamma$  (δηλαδή γωνία -  $x_a$ ) και μικρότερα  $x$  και  $z$  (δηλαδή απόσταση -  $x_d$  και αδιέξοδο -  $x_e$ ).



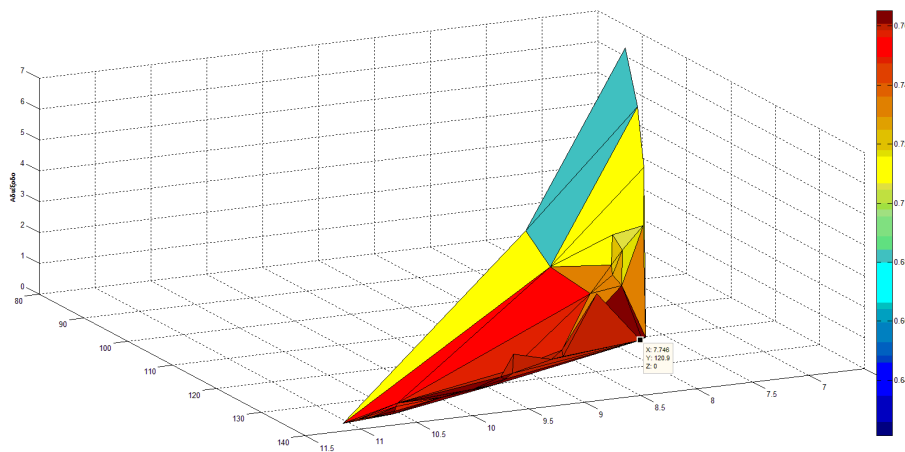
**Σχήμα 8.16** Τιμές παραμέτρων όλων των συνδυασμών





**Σχήμα 8.17** Σημεία Παρέτο

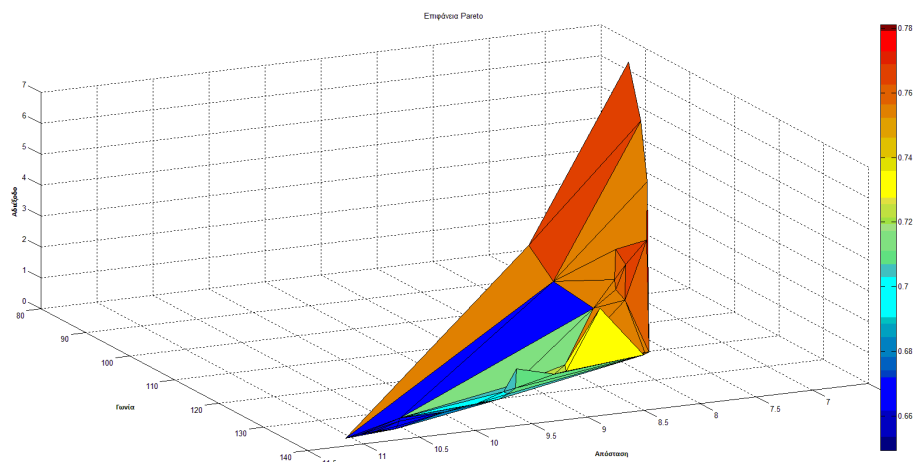
Εφόσον έχουν απομονωθεί οι συνδυασμοί που δεν μπορούν να προσφέρουν βέλτιστα αποτελέσματα (dominated), πρέπει από τους συνδυασμούς που ανήκουν στο μέτωπο Παρέτο να υπολογιστεί ο βέλτιστος δυνατός. Αυτός προκύπτει υπολογίζοντας το ολικό ελάχιστο (επειδή μετράει χρόνο και θέλουμε ελαχιστοποίηση) της συνάρτησης αξιολόγησης. Στο **Σχήμα 8.18** παρουσιάζεται η επιφάνεια Παρέτο των παραπάνω συνδυασμών. Ο χρωματισμός έχει γίνει με βάση την τιμή του Average Performance κάθε συνδυασμού. Στο σημείο που ενώνονται οι γραμμές της επιφάνειας και το χρώμα είναι σκούρο κόκκινο (υψηλό AP), βρίσκεται ο βέλτιστος δυνατός συνδυασμός με τιμές (7.75, 120.93, 0) το οποίο συμπίπτει, όπως είναι αναμενόμενο, με αυτόν που εξάγεται από το Exit locator.



**Σχήμα 8.18** Επιφάνεια Παρέτο (βελτιστοποίηση με βάση την προτεινόμενη συνάρτηση αξιολόγησης)

Η βελτιστοποίηση αυτή προέκυψε χρησιμοποιώντας για τον υπολογισμό του AP τη συνάρτηση αξιολόγησης που έχει προσδιοριστεί στην παρούσα εργασία. Σε περίπτωση που οι συνθήκες είναι τέτοιες που ο μελετητής επιθυμεί, για παράδειγμα, να δώσει μεγαλύτερη

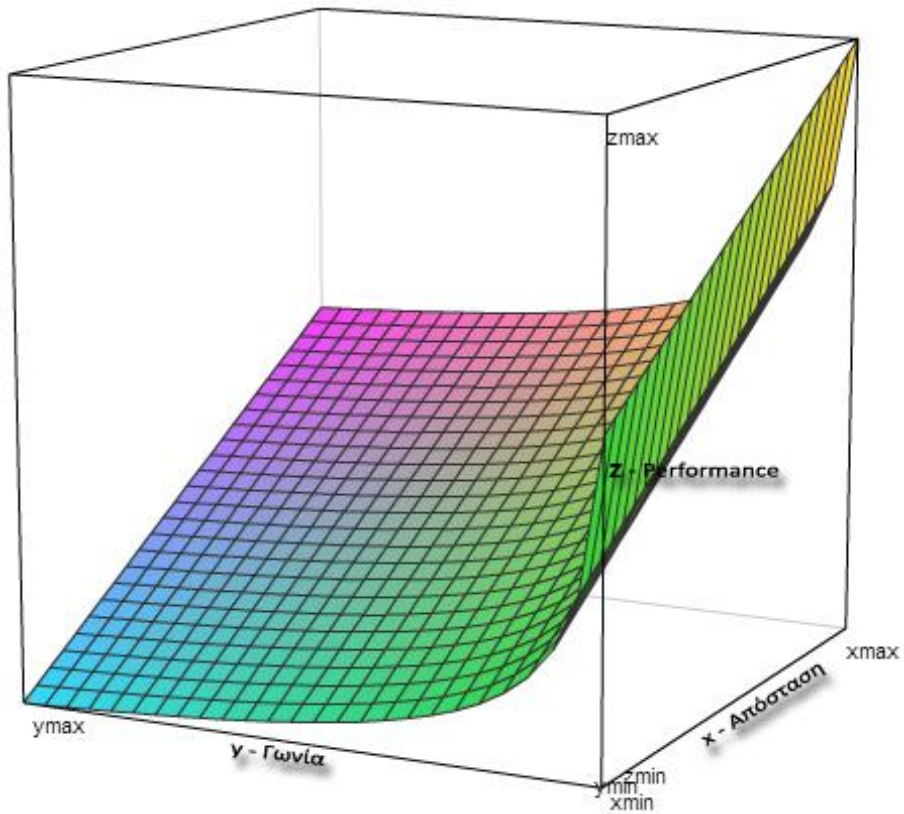
βαρύτητα στην ελαχιστοποίηση της απόστασης, τότε ο χρωματισμός του μετώπου Παρέτο είναι αυτός που φαίνεται στο **Σχήμα 8.19**.



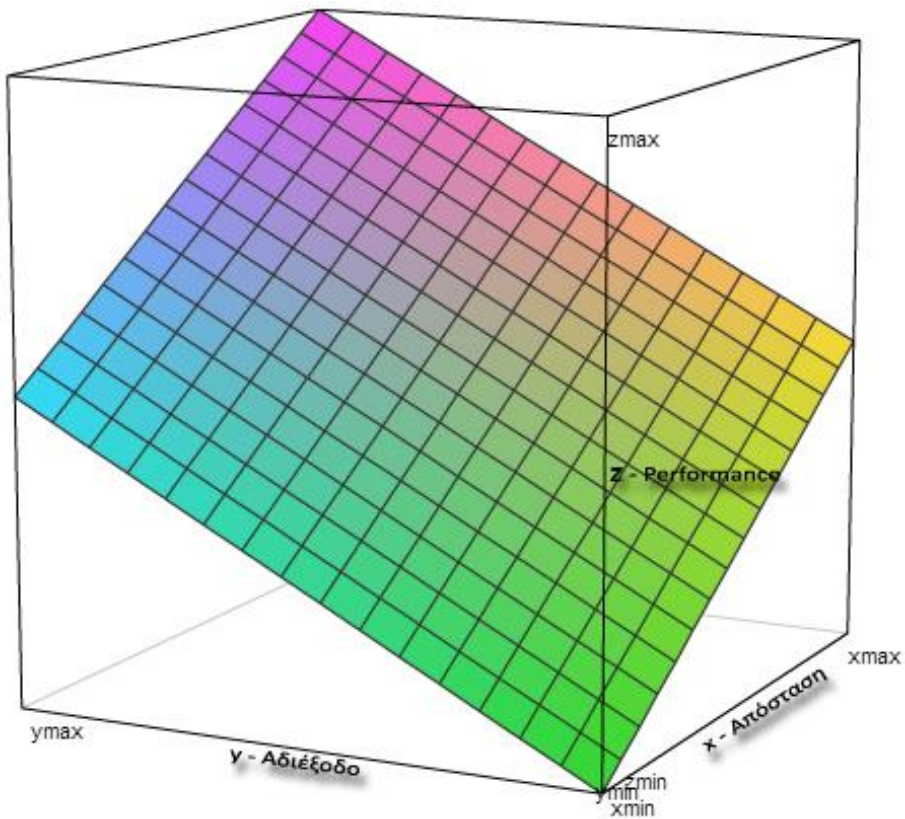
**Σχήμα 8.19** Επιφάνεια Παρέτο εναλλακτικού προσανατολισμού βελτιστοποίησης

#### 8.4.6 Τελική αξιολόγηση συνδυασμών - Performance & Average Performance

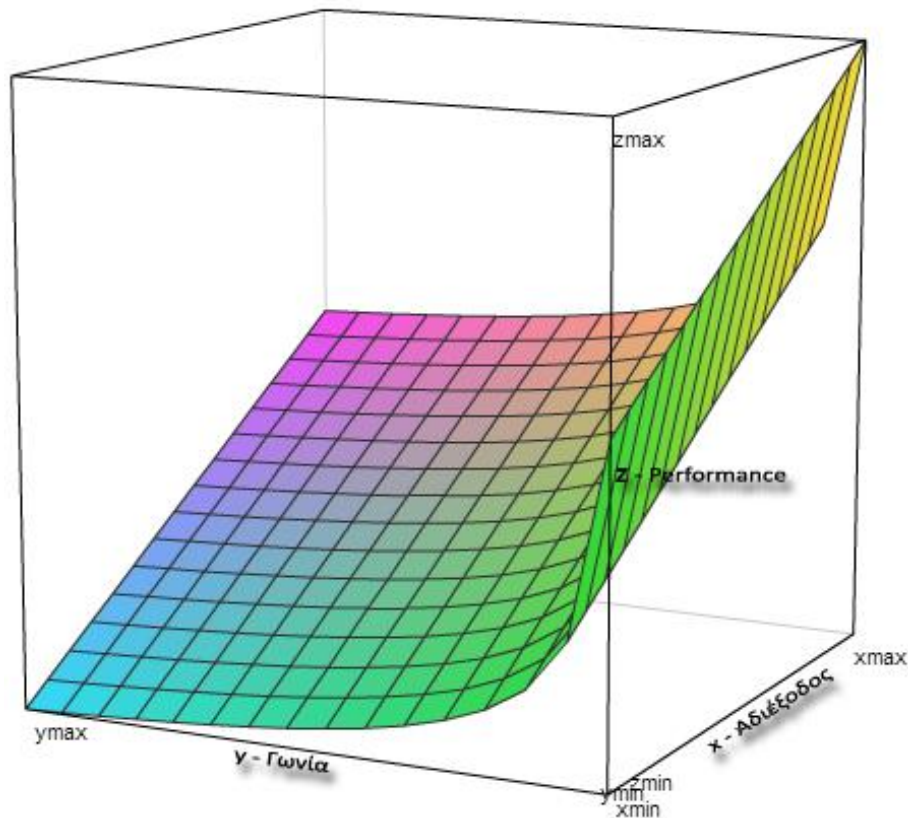
Η τελική αξιολόγηση των συνδυασμών γίνεται με βάση τις τιμές που εξάγονται από τη συνάρτηση αξιολόγησης, η οποία δίνει ουσιαστικά το Performance κάθε κελιού για το συγκεκριμένο συνδυασμό εξόδων. Καθώς μεταβάλλονται οι τιμές των τριών μεταβλητών εκκένωσης (απόσταση, γωνία, αδιέξοδο) μεταβάλλεται και η τιμή της συνάρτησης αξιολόγησης και κατ' επέκταση του Performance. Στα **Διαγράμματα 8.21 - 8.23** φαίνεται η μεταβολή του Performance για τις διάφορες τιμές που μπορεί να έχουν οι μεταβλητές (μέσα στα όρια που έχουν τεθεί στις παραδοχές). Επειδή όμως δεν είναι δυνατόν να φανούν ταυτόχρονα σε ένα διάγραμμα οι τρεις μεταβλητές και η τιμή του Performance (θα χρειαζόντουσαν 4 διαστάσεις), παρουσιάζονται ανά δύο σε τρία διαφορετικά διαγράμματα, κρατώντας την τρίτη σταθερή.



**Διάγραμμα 8.21** Μεταβολή Performance ως προς τις μεταβλητές Απόσταση και Γωνία



**Διάγραμμα 8.22** Μεταβολή Performance ως προς τις μεταβλητές Απόσταση και Αδιέξοδο



**Διάγραμμα 8.23** Μεταβολή Performance ως προς τις μεταβλητές Αδιέξοδο και Γωνία

Το τελικό αποτέλεσμα είναι ουσιαστικά ο συνδυασμός των επιμέρους διαγραμμάτων από τη μελέτη αξιολόγησης της κάθε μεταβλητής. Επίσης, πρέπει να επισημανθεί και σε αυτό το σημείο, ότι λόγω της φύσης των επιμέρους συναρτήσεων (το αποτέλεσμα που δίνουν είναι χρόνος) το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου και άρα της τιμής του Performance.

Η τιμή κάθε κελιού μπορεί να δίνει (αναλογικά με το μέγιστο και το ελάχιστο) μια πρώτη εικόνα για την αποτελεσματικότητα εκκένωσης από το συγκεκριμένο σημείο και για το συγκεκριμένο συνδυασμό των θέσεων των εξόδων, αλλά αυτό που έχει σημασία είναι η γενική αποτελεσματικότητα εκκένωσης του συνδυασμού. Αυτό προκύπτει με το σταθμικό μέσο όρο και τη χρήση της ιδιότητας Hotness που περιεγράφηκε στο υποκεφάλαιο 8.4.4 και παρουσιάζεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^k (h_i P_i)}{\sum_{i=1}^k (h_i)} = \frac{h_1 P_1 + \dots + h_k P_k}{h_1 + \dots + h_k} \quad (\text{Εξίσωση 8.12})$$

όπου  $P_i$  είναι το Performance και  $h_i$  ο συντελεστής βαρύτητας (hotness) του κελιού  $i$ .

Αλλά και πάλι ο μέσος όρος σαν απόλυτη τιμή δεν δίνει ξεκάθαρα μια εικόνα για το βαθμό αποτελεσματικότητας, γι' αυτό πραγματοποιείται μια κανονικοποίηση της τιμής σε ποσοστιαίο βαθμό. Έτσι το Average Performance δίνεται από την **Εξίσωση 8.13**:

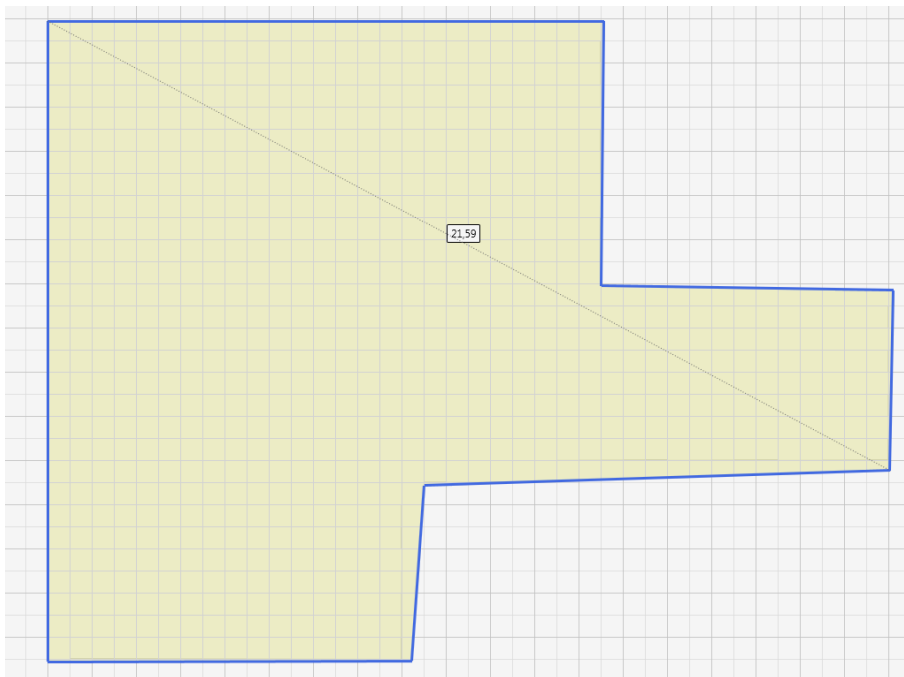
$$AP = \frac{\bar{P} - P_{min}}{P_{max} - P_{min}} \quad (\text{Εξίσωση 8.13})$$

Στην **Εξίσωση 8.13** το  $P_{max}$  και το  $P_{min}$  είναι η μέγιστη και ελάχιστη τιμή αντίστοιχα που μπορεί να πάρει το Performance (δηλαδή μέγιστη γωνία-ελάχιστη απόσταση-ελάχιστο αδιέξοδο και ελάχιστη γωνία-μέγιστη απόσταση-μέγιστο αδιέξοδο αντίστοιχα).

Όπως είναι προφανές, οι τιμές του AP εξαρτώνται άμεσα από τα όρια των κανονισμών αλλά και από την έκταση του χώρου. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χώρος τόσο μικρότερες είναι και οι τιμές του AP. Για να γίνει πιο κατανοητή η σημασία του Average Performance, καθώς και η μεταβολή του ως προς την έκταση ενός χώρου, πραγματοποιείται μια μελέτη σε έναν τυχαίο χώρο (**Σχήμα 8.20**), ο οποίος περιλαμβάνει και περιοχές που μπορεί να θεωρηθούν ως αδιέξοδα, ανάλογα με την τοποθέτηση των εξόδων διαφυγής. Αλλάζοντας κάθε φορά το μέγεθος του χώρου (με μέτρο σύγκρισης το μήκος της μέγιστης διαγωνίου του), αλλά διατηρώντας σταθερές τις τιμές των παραμέτρων εκκένωσης και συγκεκριμένα:

- Ελάχιστη γωνία: 45°
- Μέγιστη απόσταση: 60 μέτρα
- Μέγιστη όδευση σε αδιέξοδα: 20 μέτρα

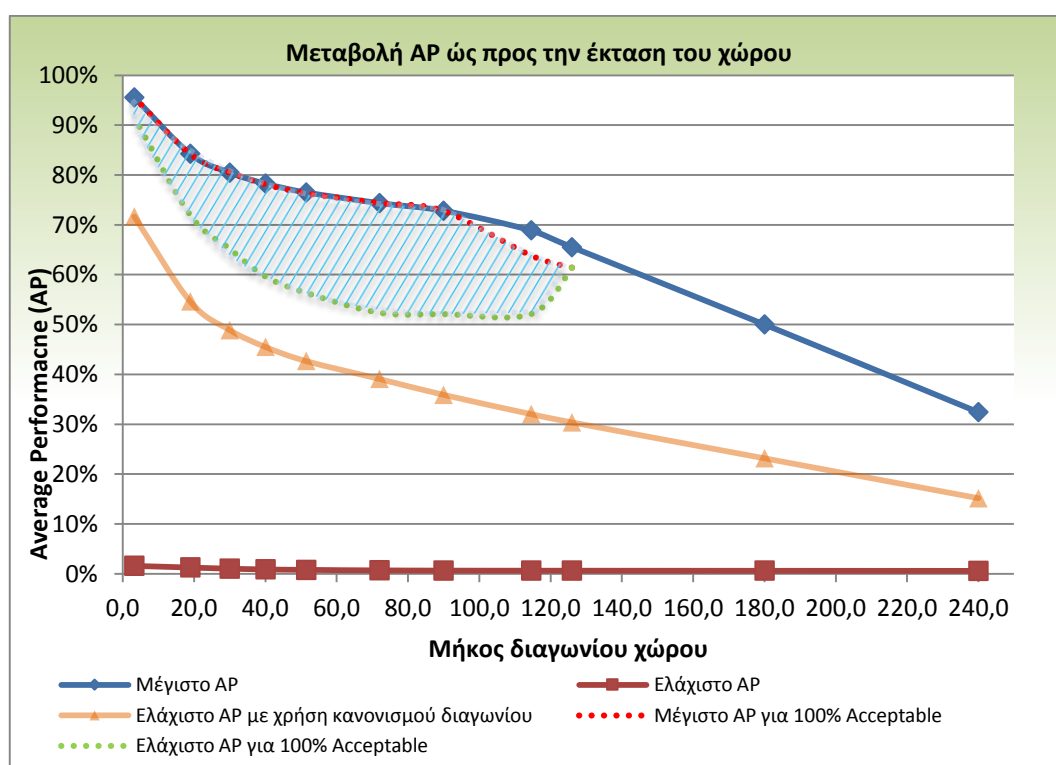
με τη χρήση του Exit Locator μετρήθηκαν οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές του AP για κάθε πιθανό συνδυασμό θέσεων δύο εξόδων διαφυγής.



**Σχήμα 8.20** Περίγραμμα τυχαίου χώρου για τη μελέτη μεταβολής του Average Performance (AP)

Επίσης, μετρήθηκαν και οι ελάχιστες τιμές του AP όταν προστέθηκε και η παράμετρος της επιλογής των θέσεων, έτσι ώστε να συμμορφώνονται με τον κανονισμό της μισής διαγωνίου, με αποτέλεσμα να μειώνεται το πλήθος των πιθανών συνδυασμών και συγκεκριμένα αυτών με τις χαμηλότερες τιμές AP. Έτσι, λοιπόν, στο **Διάγραμμα 8.24** φαίνεται ότι η τιμή της ελάχιστης τιμής του AP μένει ουσιαστικά σταθερή (έχει μια ελάχιστη μείωση από 1,59% στο 0,59%) σε σχέση με την αύξηση του εμβαδού του χώρου. Η μέγιστη

τιμή του AP παρουσιάζει μια μείωση ως προς την αύξηση του εμβαδού του χώρου, η οποία αρχίζει και γίνεται γραμμική μετά από ένα συγκεκριμένο σημείο. Το σημείο αυτό συμπίπτει με το σημείο στο οποίο η έκταση της επιφάνειας του χώρου δεν μπορεί να δώσει κανένα συνδυασμό θέσεων των εξόδων, έτσι ώστε όλος ο χώρος να συμμορφώνεται με τις τιμές των παραμέτρων που επιλέχθηκαν. Μέχρι εκείνο το σημείο, η σχέση δεν είναι γραμμική διότι για κάθε σημείο του χώρου που αλλάζει κατάσταση από "Valid" (συμμορφώνεται με τους κανονισμούς) σε "Invalid" (δεν συμμορφώνεται με τους κανονισμούς) η τιμή μειώνεται απότομα, γιατί όταν μια από τις τρεις παραμέτρους είναι εκτός κανονισμών δίνει αυτόματα μηδενική τιμή στο πλαίσιο του υπολογισμού του Performance στο σημείο αυτό. Έτσι λοιπόν όσο μειώνεται το εμβαδό του χώρου όσο και περισσότεροι συνδυασμοί μπορούν να ικανοποιήσουν τις συνθήκες των παραμέτρων με αποτέλεσμα να αυξάνονται και οι αντίστοιχες τιμές του AP.



**Διάγραμμα 8.24** Μεταβολή AP ως προς την αύξηση της επιφάνειας του χώρου (με σημείο αναφοράς το μήκος της μέγιστης διαγωνίου)

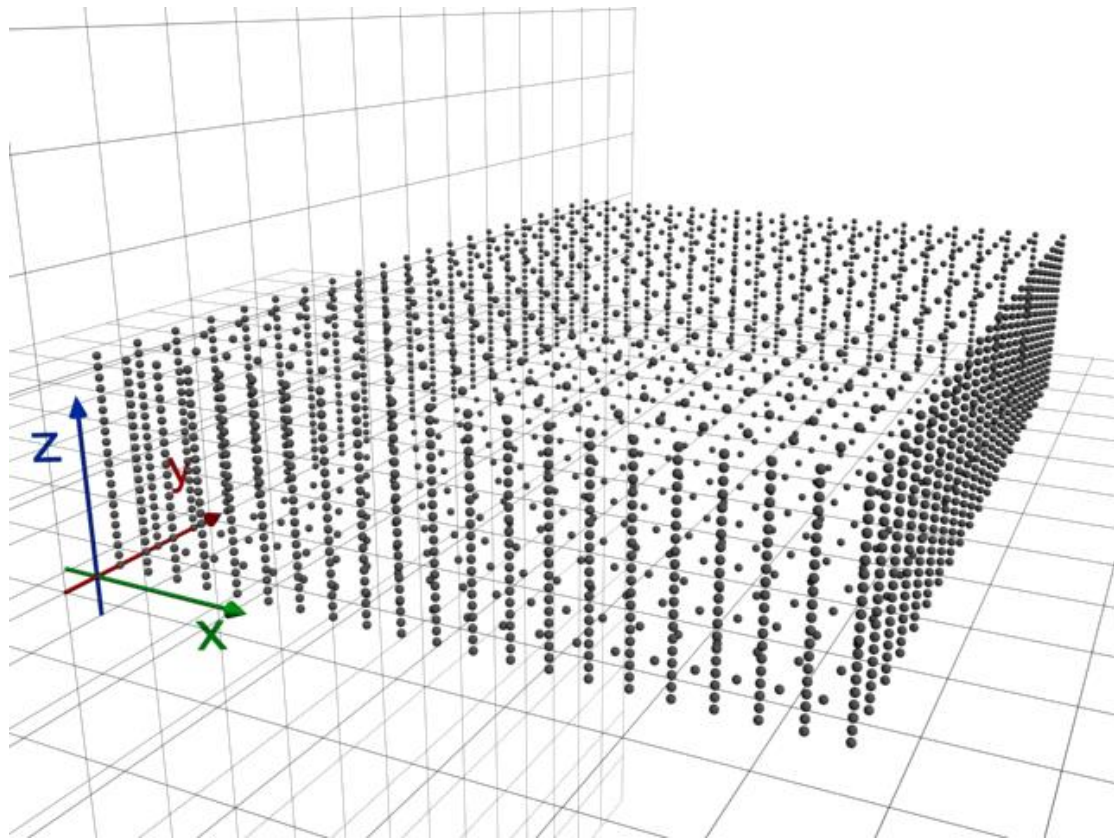
Ακόμα, στο διάγραμμα παρουσιάζεται σε μορφή σκιαγραφημένης επιφάνειας η περιοχή στην οποία κυμαίνεται το AP για τους συνδυασμούς που δίνουν  $Acceptable/Total = 100\%$ . Όπως φαίνεται στον Πίνακα 8.24 υπάρχουν συνδυασμοί θέσεων με χαμηλό AP για τους οποίους ο χώρος συμμορφώνεται με τους κανονισμούς εκκένωσης, αλλά υπάρχουν και συνδυασμοί που δίνουν AP αυξημένο μέχρι και 42% ( $AP_{max}/AP_{min}$ ) από κάποιο συνδυασμό που απλά δημιουργεί συνθήκες συμμόρφωσης με τους κανονισμούς. Το σημείο αυτό αναδεικνύει και την πραγματική αξία της χρήσης του Exit Locator για τον υπολογισμό των θέσεων των εξόδων διαφυγής.

**Πίνακας 8.24** Μέγιστες και ελάχιστες τιμές AP για τους συνδυασμούς που δίνουν  
Acceptable/Total = 100%

Μήκος διαγωνίου	Μέγιστο AP για 100% Acceptable	Ελάχιστο AP για 100% Acceptable	AP <sub>max</sub> /AP <sub>min</sub>
240,0	N/A	N/A	N/A
180,0	N/A	N/A	N/A
126,0	61,38%	61,38%	1,00
114,5	63,80%	52,09%	1,22
90,0	72,74%	52,07%	1,40
72,0	74,36%	52,35%	1,42
51,4	76,30%	56,35%	1,35
40,0	78,10%	59,64%	1,31
30,0	80,48%	65,20%	1,23
18,9	84,17%	71,95%	1,17
3,2	95,55%	91,60%	1,04

Συμπερασματικά, το Average Performance δίνει άμεσα μια εικόνα για την αποτελεσματικότητα του χώρου στις διαδικασίες εκκένωσης, σε συνδυασμό με το Acceptable/Total, καθώς επίσης και ένα καθοριστικό μέτρο σύγκρισης μεταξύ των χώρων που εμπíπτουν στον ίδιο τύπο χρήσης κτιρίου, ως προς την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης και συνεπώς το βαθμό ασφαλείας σε αυτόν τον τομέα.

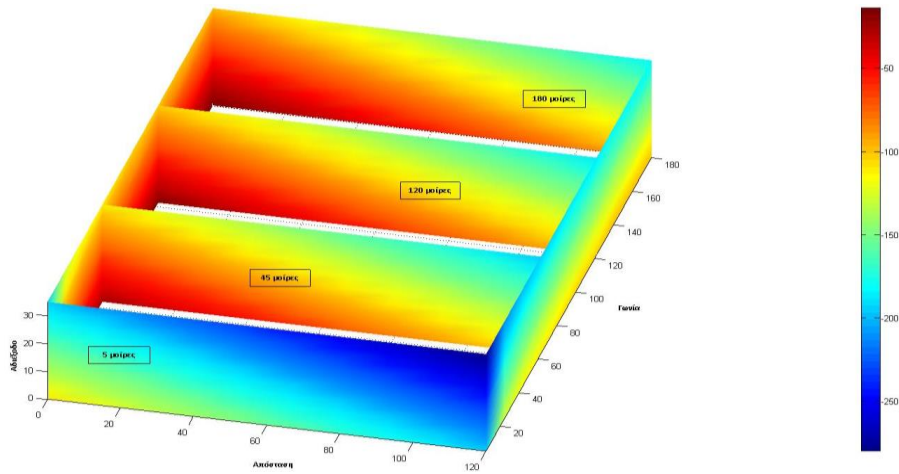
Τέλος, δίνεται μια γραφική απεικόνιση των πιθανών "διανυσμάτων" (εφόσον υπάρχουν τρεις μεταβλητές,  $x, y, z$ , που απεικονίζονται σε ένα καρτεσιανό σύστημα αξόνων, το κάθε σημείο μπορεί να θεωρηθεί διάνυσμα με αρχή την αρχή των αξόνων  $xyz$ ), αλλά και τιμών του Performance. Στο **Σχήμα 8.21** παρουσιάζεται η περιοχή μέσα στον τρισδιάστατο χώρο στην οποία μπορεί να υπάρξει το διάνυσμα του Performance. Η περιοχή αυτή βρίσκεται σε όλα τα θετικά  $x, y, z$ . Στο σχήμα παρουσιάζονται τα μέγιστα που μπορούν να πάρουν με βάση τους κανονισμούς. Επίσης, η γωνία ξεκινάει από τις 5°. Θεωρητικά, οι τιμές που μπορούν να πάρουν είναι για την απόσταση και το αδιέξοδο από 0 έως  $\infty$  και για τη γωνία από 0° έως 180°, αλλά για τιμές που είναι εκτός των κανονισμών το κελί θεωρείται invalid, οπότε δεν υπάρχει για αυτό έχει άμεσο ενδιαφέρον.



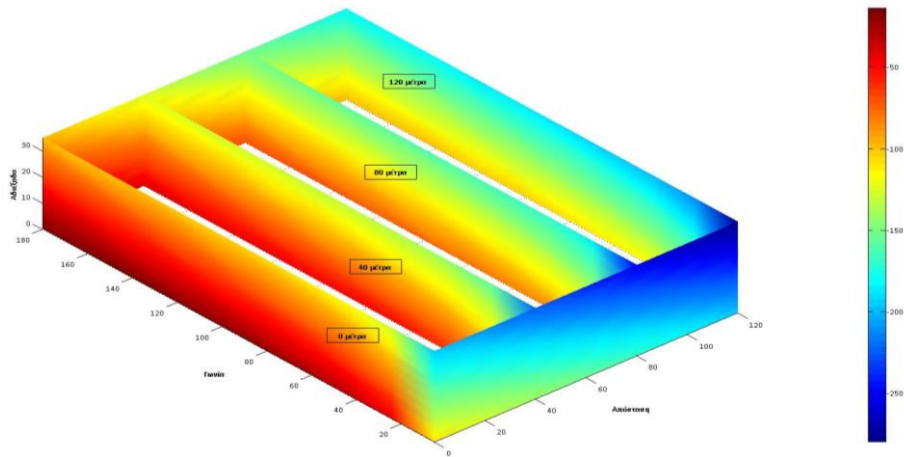
**Σχήμα 8.21** Περιοχή που κυμαίνεται το "διάνυσμα" του Performance

Μέσα σε αυτό το χώρο, ανάλογα με τις τιμές των μεταβλητών προσδιορίζεται (με βάση τη συνάρτηση αξιολόγησης) και η τελική τιμή του Performance. Κανονικά, λοιπόν, πρέπει να φτιαχτεί ένα "νέφος" από σημεία τα οποία θα χρωματίζονται έτσι ώστε να δείχνουν τη μεταβολή της τιμής της συνάρτησης αξιολόγησης. Όμως, κάτι τέτοιο δεν μπορεί να αποδοθεί στο δισδιάστατο χώρο. Έτσι λοιπόν, προτιμήθηκε να παρουσιαστούν κάποιες τομές αυτού του "νέφους" που να δείχνουν τη μεταβολή του Performance, όπως ακριβώς γίνεται και με τον αξονικό τομογράφο στην ιατρική. Στο **Σχήμα 8.22** φαίνονται τέσσερις τομές για την παράμετρο της γωνίας (5, 45, 120, 180 μοιρών) και οι δύο ακραίες (ελάχιστο και μέγιστο) της απόστασης. Αντίστοιχα, στο **Σχήμα 8.23** παρουσιάζονται τέσσερις τομές για την παράμετρο της απόστασης (0, 40, 80, 120 m) και οι δυο ακραίες (ελάχιστο και μέγιστο) της γωνίας. Τέλος, επειδή η παράμετρος του αδιεξόδου έχει μικρότερο εύρος και δεν είναι δυνατή η καθαρή απεικόνιση πολλών τομών ταυτόχρονα, στα **Σχήματα 8.24** και **8.26** απεικονίζονται τρεις τομές του αδιεξόδου, ελάχιστη, μεσαία και μέγιστη.

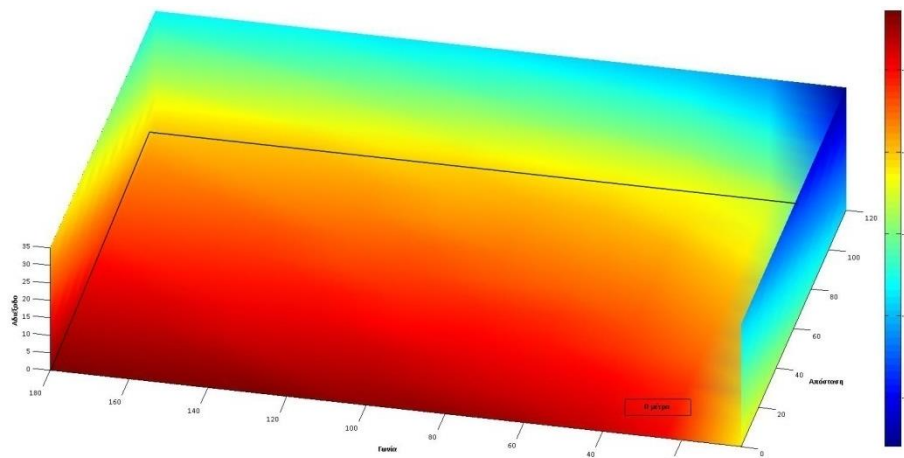




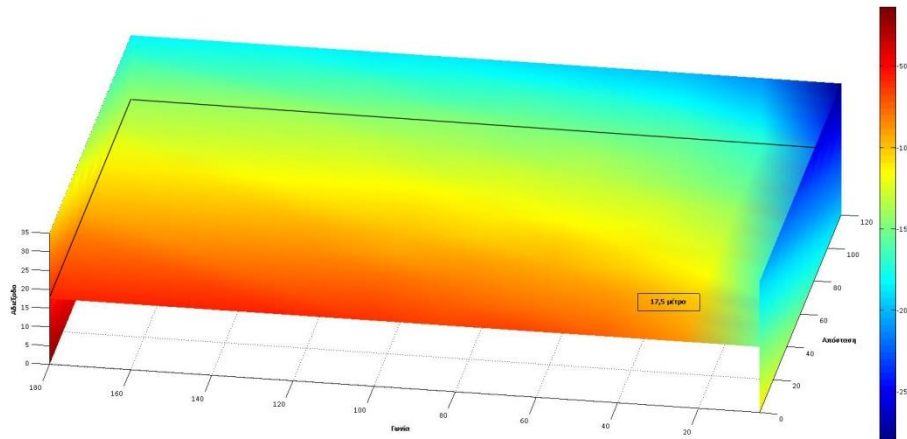
**Σχήμα 8.22** Τομές γωνίας συν δύο τομές ελάχιστου και μέγιστου για απόσταση (0m και 120m αντίστοιχα)



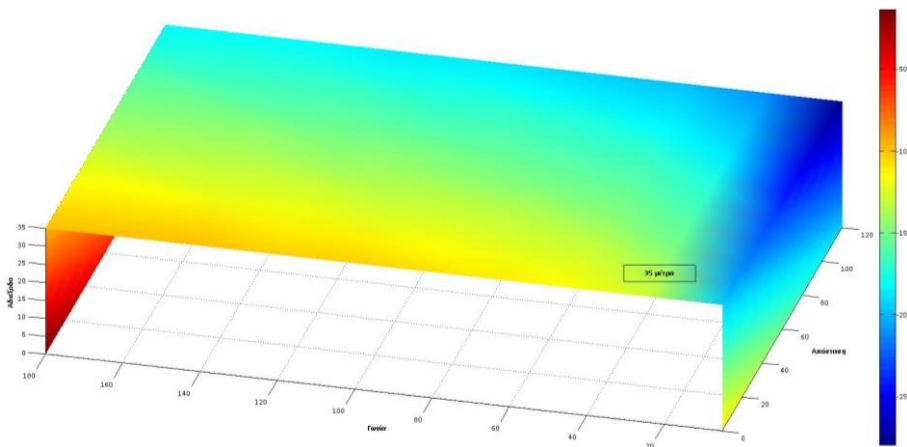
**Σχήμα 8.23** Τομές απόστασης συν δύο τομές ελάχιστου και μέγιστου για γωνία ( $5^\circ$  και  $180^\circ$  αντίστοιχα)



**Σχήμα 8.24** Τομή αδιεξόδου 0 μέτρων συν δύο τομές ελάχιστου και μέγιστου για γωνία ( $5^\circ$  και  $180^\circ$  αντίστοιχα) και μέγιστης για απόσταση (12m)



**Σχήμα 8.25** Τομή αδιεξόδου 17,5m συν δύο τομές ελάχιστου και μέγιστου για γωνία ( $5^\circ$  και  $180^\circ$  αντίστοιχα) και μέγιστης για απόσταση (120m)

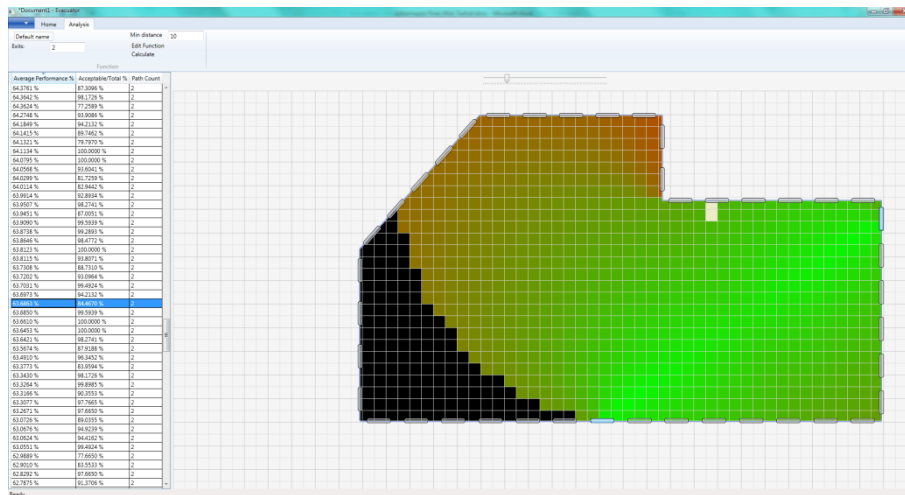


**Σχήμα 8.26** Τομή αδιεξόδου 35m συν 2 τομές ελάχιστου και μέγιστου για γωνία ( $5^\circ$  και  $180^\circ$  αντίστοιχα)

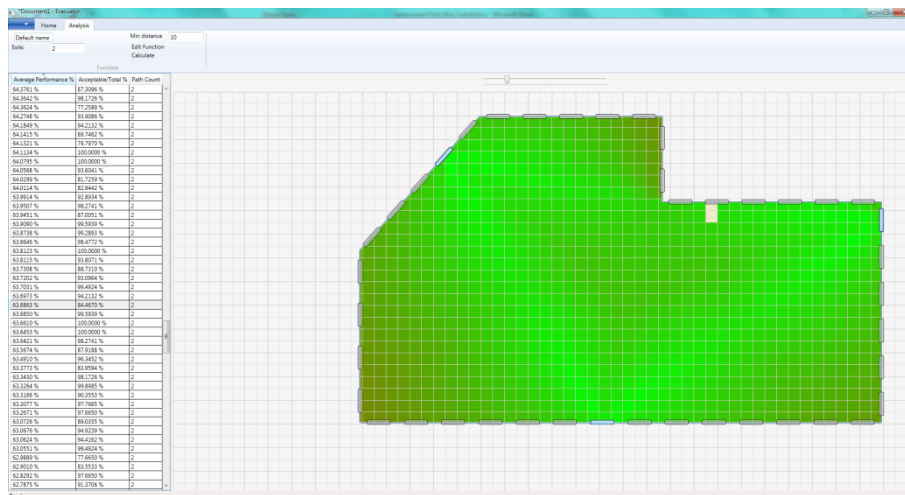
Με τη βοήθεια των σχημάτων (**Σχήματα 8.22 - 8.26**), μπορεί να γίνει οπτικά κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται η τιμή του Performance καθώς μεταβάλλονται οι τιμές των τριών ανεξάρτητων μεταβλητών. Αλλάζοντας τη μορφή της συνάρτησης αξιολόγησης η οπτική απεικόνιση, δηλαδή ο χρωματισμός των τομών μεταβάλλεται ανάλογα.

#### 8.4.7 Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων

Επιλέγοντας ένα συνδυασμό από τον πίνακα αποτελεσμάτων (επιλέγοντας την αντίστοιχη γραμμή) ή επιλέγοντας πάνω στο σχήμα τις θέσεις των εξόδων, ο χώρος χρωματίζεται σε κλίμακα από πράσινο σε κόκκινο, όπου πράσινο τα κελιά με υψηλή βαθμολογία και κόκκινο αυτά με χαμηλή. Οι μαύρες περιοχές είναι αυτές που βρίσκονται εκτός κανονισμών (**Εικόνα 8.7, Εικόνα 8.8**).



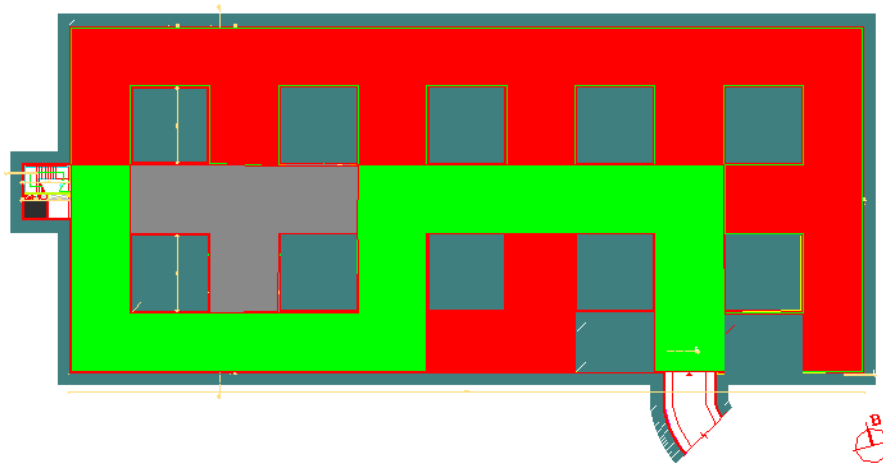
Εικόνα 8.7 Παράδειγμα γραφικής απεικόνισης αποτελεσμάτων στο Exit Locator



Εικόνα 8.8 Παράδειγμα γραφικής απεικόνισης αποτελεσμάτων τριών θέσεων στο Exit Locator

## Κεφάλαιο 9. Επαλήθευση μεθοδολογίας - Σχέδιο εκκένωσης στον υπόγειο χώρο του Τεχνολογικού και Πολιτιστικού Πάρκου Λαυρίου

Στο κεφάλαιο αυτό ελέγχεται η αξιοπιστία της μεθοδολογίας και του λογισμικού που προτείνεται. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε και αναλύθηκε το σχέδιο εκκένωσης του υπόγειου χώρου του Τεχνολογικού και Πολιτιστικού Πάρκου του Λαυρίου (Τ.Π.Π.Λ.), που δημιουργήθηκε με σκοπό την αποθήκευση των επικίνδυνων αποβλήτων από τη μεταλλουργική δραστηριότητα της περιοχής του Λαυρίου. Ο εν λόγω χώρος κατασκευάστηκε με τη μέθοδο των θαλάμων και στύλων, έχει διαστάσεις περίπου 75m x 33m και καταλαμβάνει συνολικό χώρο 2100m<sup>2</sup>, εκ των οποίων τα 700m<sup>2</sup> περίπου είναι το συνολικό εμβαδόν των στύλων, τα άλλα 800m<sup>2</sup> είναι ο χώρος που θα υποδεχθεί τα επικίνδυνα υλικά και τα υπόλοιπα 600m<sup>2</sup> είναι ο χώρος των γραφείων και των χώρων υγιεινής καθώς και οι διάδρομοι κίνησης των ενοίκων (Σχήμα 9.1).



**Σχήμα 9.1** Υπόγειος χώρος Τ.Π.Π.Λ

*κόκκινο: αποθηκευτικός χώρος  
πράσινο: χώρος διέλευσης ενοίκων  
γκρι: χώρος γραφείων  
πράσινο σκούρο: στύλοι*

### 9.1 Κατηγοριοποίηση των εγκαταστάσεων

Ο υπόγειος χώρος του Τ.Π.Π.Λ. είναι μια πρωτοποριακή κατασκευή, κυρίως στον Ελλαδικό χώρο, και αναμένεται να προσελκύσει επιστήμονες αλλά και φοιτητές από τον τομέα της μεταλλευτικής και όχι μόνο, με σκοπό την παρουσίαση του χώρου, καθώς και την πραγματοποίηση συνεδρίων και ημερίδων, με σκοπό την “πρόσκληση” του κοινού στους υπόγειους χώρους, δείχνοντας έτσι την ασφαλή κατασκευή του και την “απενοχοποίηση” των υπογείων έργων. Συνεπώς, ο σχεδιασμός της εκκένωσης πρέπει να πραγματοποιηθεί εξετάζοντας τον υπόγειο χώρο όχι μόνο ως χώρο αποθήκευσης, αλλά και ως χώρο γραφείων, αλλά ακόμα και ως χώρο συνάθροισης κοινού.

Με την ίδια λογική μελετάται και ο τύπος των ενοίκων που θα βρίσκονται σε αυτό το χώρο κατά τη λειτουργία του. Στις συνήθεις καταστάσεις ο χώρος πρέπει να καταλαμβάνεται από

εργαζομένους που θα είναι επαρκώς εκπαιδευμένοι και ενημερωμένοι για τη λειτουργία και τα σχέδια ασφαλείας των εγκαταστάσεων. Βέβαια, υπάρχει η πιθανότητα εισόδου στο χώρο ατόμων που εργάζονται έμμεσα για τις εγκαταστάσεις (π.χ. υπηρεσίες καθαρισμού, ομάδες επισκευής μονάδων, κ.α.), οι οποίοι δεν έχουν άμεση σχέση με το αντικείμενο του χώρου και δεν είναι ενημερωμένοι για την ασφάλεια και τις διαδικασίες αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης στο χώρο. Τέλος, στην περίπτωση μαζικής εισόδου στον υπόγειο χώρο για λόγους επίσκεψης ή παρουσίας του, το μεγαλύτερο ποσοστό των ενοίκων θα αποτελείται από άτομα μη εξειδικευμένα με βιομηχανικούς ή αποθηκευτικούς χώρους (πόσο μάλλον όταν αυτοί βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της γης), το οποίο αποτελεί από μόνο του μια πηγή κινδύνου ή μάλλον αιτία αύξησης των υφιστάμενων κινδύνων, ενώ παράλληλα πιθανώς να προκαλέσει αύξηση του χρόνου απομάκρυνσης από τις εγκαταστάσεις σε μια πιθανή εκκένωση του χώρου. Μια τέτοια κατάσταση προφανώς επιβάλλει επιπλέον ετοιμότητα.

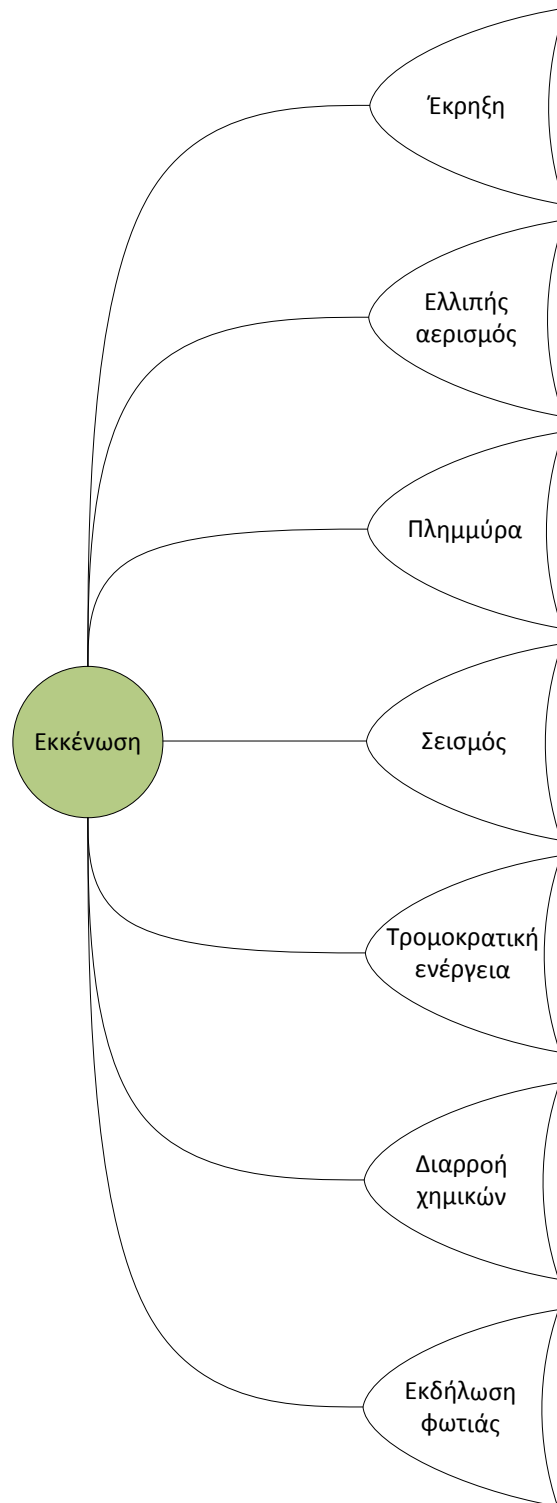
## 9.2 Αξιολόγηση κινδύνων για εκκένωση

Με βάση την αξιολόγηση των κινδύνων σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι περιπτώσεις στις οποίες ενδέχεται να απαιτείται άμεση εκκένωση του συγκεκριμένου χώρου είναι οι εξής:

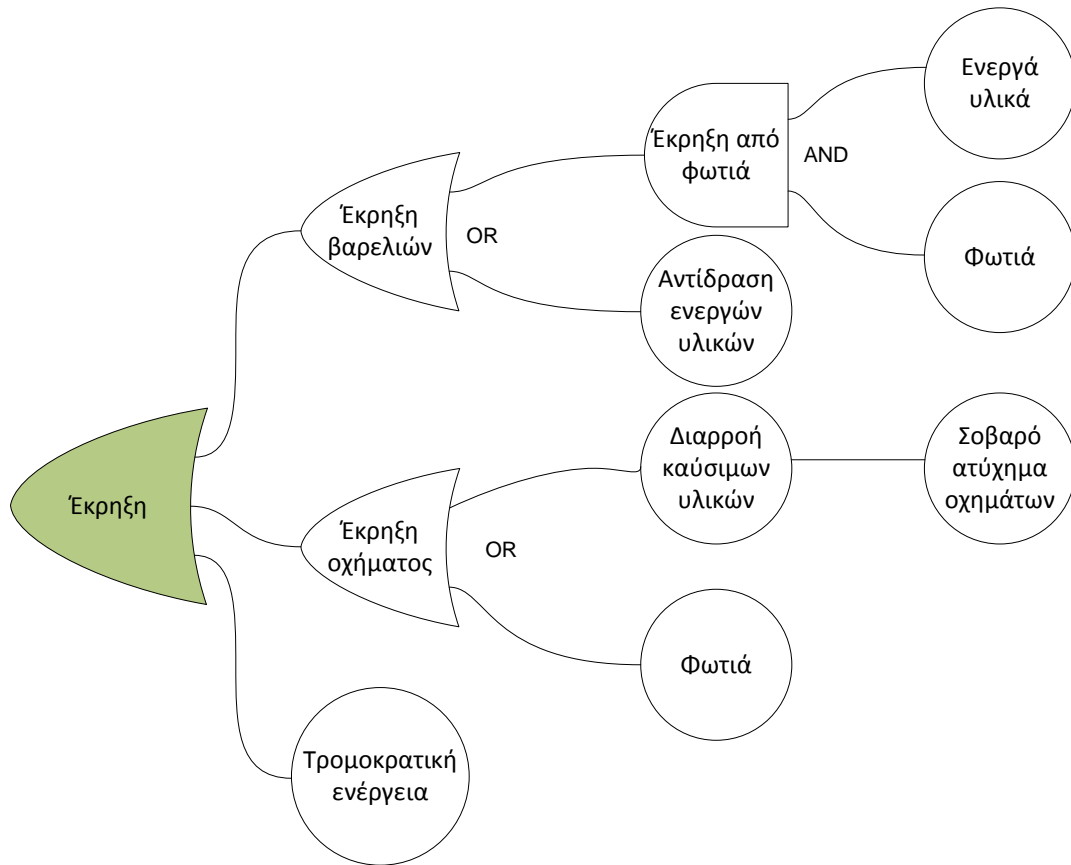
- Εκδήλωση φωτιάς
- Διαρροή τοξικών ουσιών (αρσενικό, κάδμιο, μόλυβδο)
- Απειλή τρομοκρατικής ενέργειας (π.χ. τοποθέτηση εκρηκτικού μηχανισμού)
- Σεισμός
- Πλημμύρα – εισροή υδάτων
- Βλάβη στο σύστημα αερισμού
- Έκρηξη

Στο **Διάγραμμα 9.1** παρουσιάζεται η ανάλυση δέντρου των συμβάντων που μπορεί να οδηγήσουν σε εκκένωση του υπόγειου χώρου του Τ.Π.Λ. (χάριν ευκρίνειας κάθε σενάριο εκκένωσης παρουσιάζεται σε ξεχωριστό διάγραμμα ροής, αλλά συνδυάζοντας τα όλα μαζί προκύπτει μια ολοκληρωμένη ανάλυση δέντρου συμβάντων).

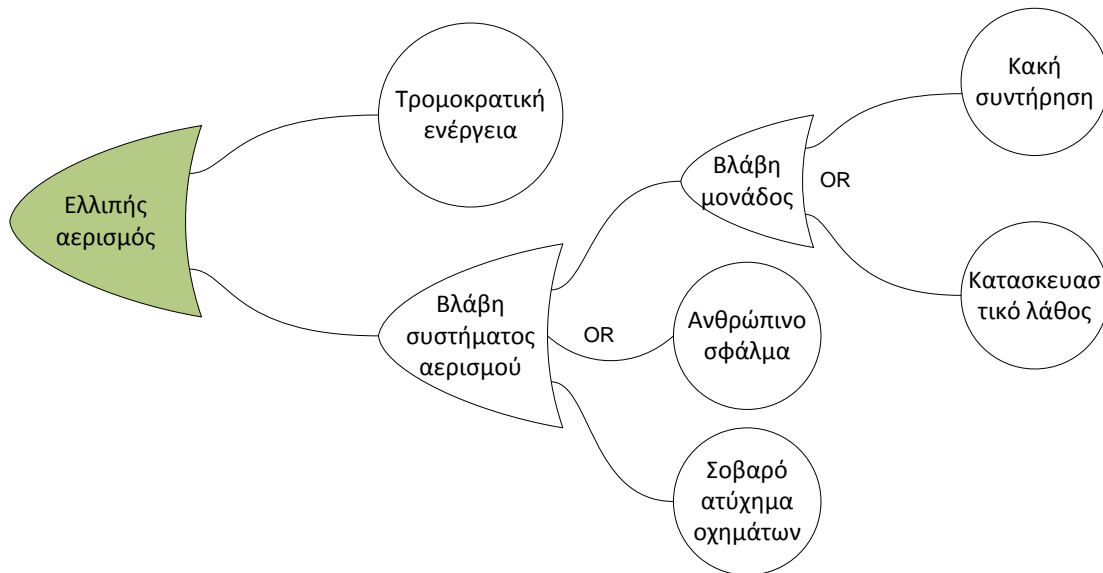
Σε κάθε περίπτωση πρέπει να υπολογιστεί ο διαθέσιμος χρόνος εκκένωσης ( $t_d$ ) και μετά να εξετασθούν όλες οι περιπτώσεις εξέλιξης του περιστατικού, με έμφαση στο χειρότερο δυνατό σενάριο.



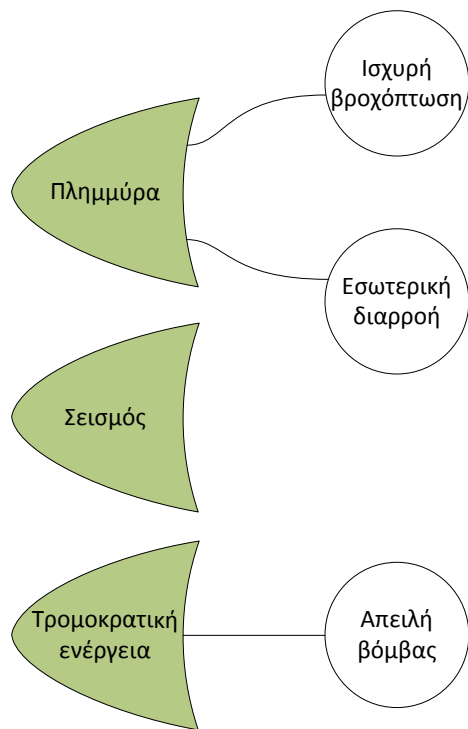
**Διάγραμμα 9.1** Γεγονότα εκκένωσης για τον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Λ.



Διάγραμμα 9.1 Γεγονότα εκκένωσης για τον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Λ. (συνέχεια)

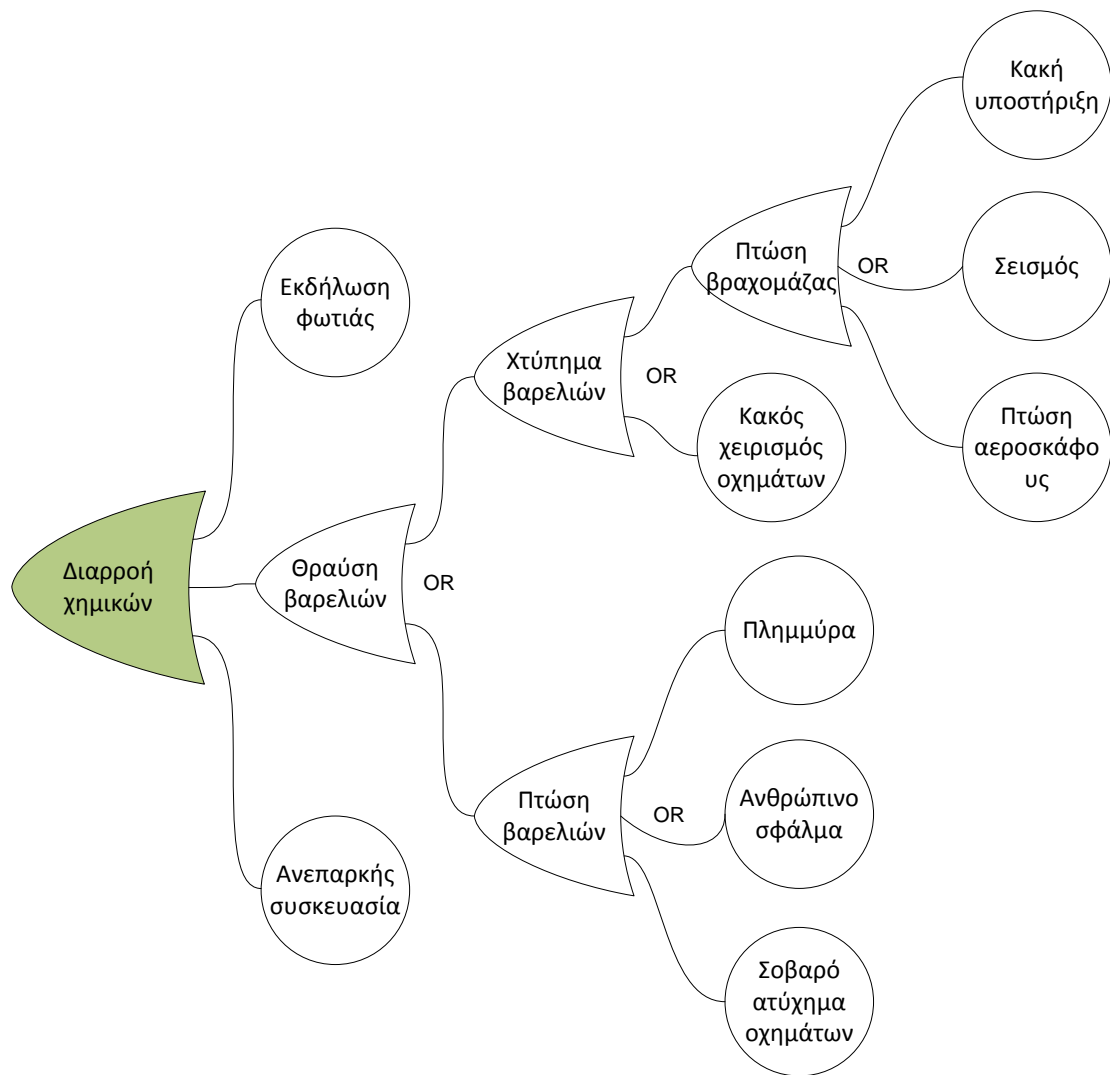


Διάγραμμα 9.1 Γεγονότα εκκένωσης για τον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Λ. (συνέχεια)

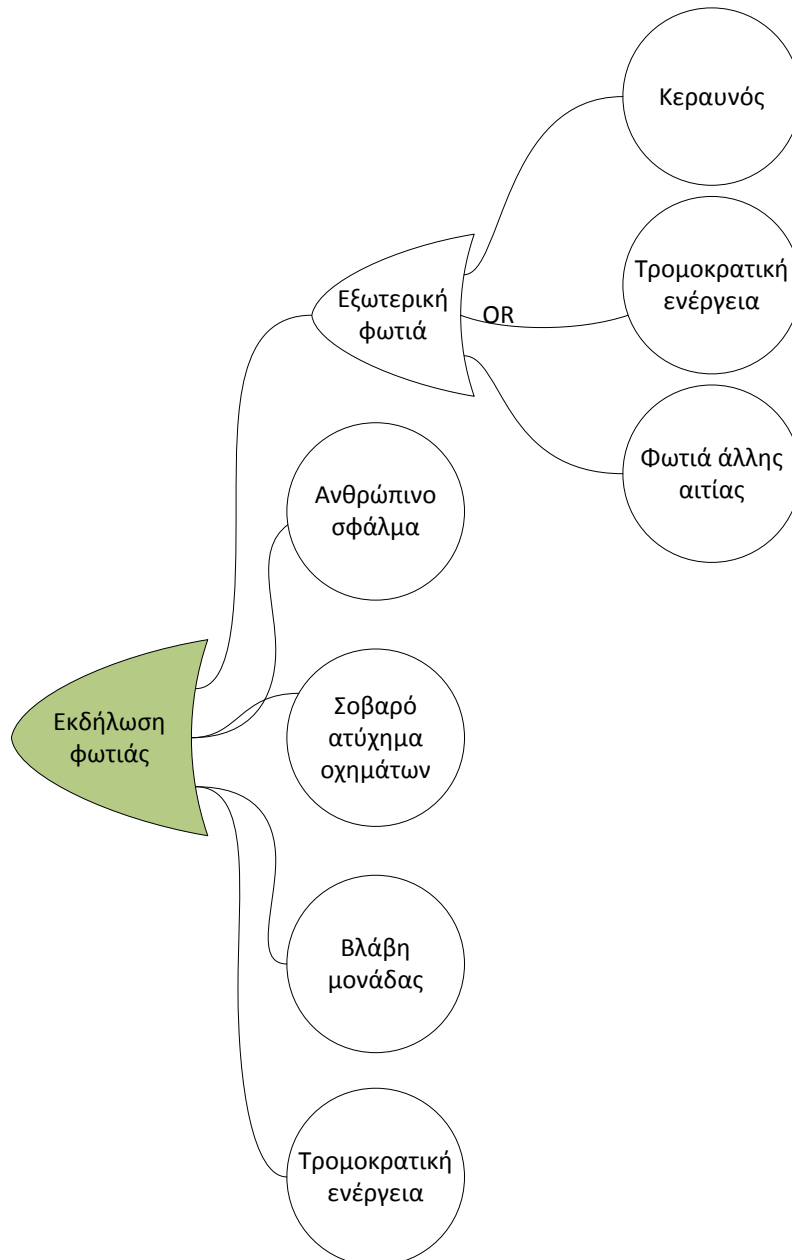


Διάγραμμα 9.1 Γεγονότα εκκένωσης για τον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Λ. (συνέχεια)





Διάγραμμα 9.1 Γεγονότα εκκένωσης για τον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Λ. (συνέχεια)



Διάγραμμα 9.1 Γεγονότα εκκένωσης για τον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Λ. (συνέχεια)

Από τον **Πίνακα 4.2** μπορούν να προσδιοριστούν προσεγγιστικά οι διαθέσιμοι χρόνοι για την εκκένωση ανά είδος περιστατικού. Όπως αναφέρθηκε και στο αντίστοιχο κεφάλαιο, για μια πιο ακριβή προσέγγιση πρέπει να γίνουν αναλυτικές μελέτες. Πιο συγκεκριμένα, στις περιπτώσεις εκδήλωσης φωτιάς, διαρροής χημικών και έκρηξης, υπάρχουν προγράμματα "Υπολογιστικής Ρευστομηχανικής" γνωστά ως CFD (Computational Fluid Dynamics), τα οποία δέχονται δεδομένα και προσομοιώνουν τη ροή του ρευστού καθώς και άλλες παραμέτρους όπως η θερμοκρασία. Με βάση αυτά τα δεδομένα μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος που χρειάζεται από τη στιγμή εκδήλωσης του περιστατικού μέχρι το σημείο που οι συνθήκες στο χώρο γίνονται απαγορευτικές για τον άνθρωπο. Η περίπτωση της τρομοκρατικής ενέργειας είναι μια απρόβλεπτη περίπτωση και δεν μπορεί να προβλεφθεί με κάποιο υπολογιστικό πρόγραμμα, παρά μόνο από εμπειρικά στοιχεία των ομάδων αντιμετώπισης.

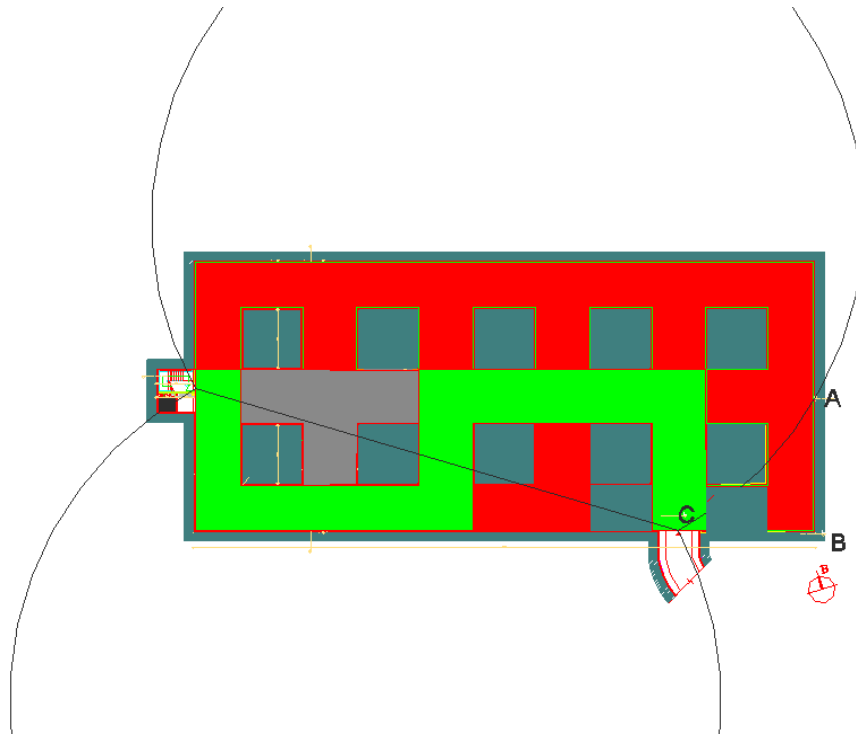
### 9.3 Έλεγχος εγκαταστάσεων για συμμόρφωση με τους κανονισμούς ασφαλείας στις διαδικασίες εκκένωσης

Καταρχάς έγινε έλεγχος συμμόρφωσης του υπόγειου χώρου του Τ.Π.Π.Λ. με τον Ελληνικό κανονισμό όσο και με τις προδιαγραφές του NFPA. Ο Πίνακας 9.1 και τα Σχήματα 9.2 έως 9.5), δείχνουν ότι ο υπόγειος χώρος που εξετάζεται, είναι σύμφωνος με τις προδιαγραφές των διατάξεων της Ελληνικής Πυροσβεστικής Νομοθεσίας και με του NFPA.

**Πίνακας 9.1** Έλεγχος συμμόρφωσης υπογείου χώρου με εθνικούς και διεθνής κανονισμούς

Παράμετροι		Π.Δ. 71/1988	NFPA	Υπόγειος Χώρος Τ.Π.Π.Λ.	
Αριθμός Εξόδων		≥2	≥2	2	
Οδεύσεις διαφυγής	Ελάχιστο πλάτος οδών (m)	1,00	0,95	<u>Θάλαμος</u>	5,5
				<u>Στοά</u>	4,7
				<u>Σκάλα</u>	1,1
	Ελάχιστο πλάτος πόρτας (m)	0,85	0,81	0,95	
	Ελάχιστο πλάτος σκάλας (m)	1,00	0,915	1,10	
Αποστάσεις εξόδων (min)		45°	1/2 διαγωνίου	(Σχήμα 9.2), 61>81/2 (Σχήμα 9.3)	
Μέγιστη άμεση απόσταση οδεύσεων διαφυγής (m)		35*	-	39 (Σχήμα 9.4)	
Μέγιστη πραγματική απόσταση οδεύσεων διαφυγής (m)		60*	122	52	
Μέγιστη απόσταση (διαδρομή) σε αδιέξοδα		25	30	OK	

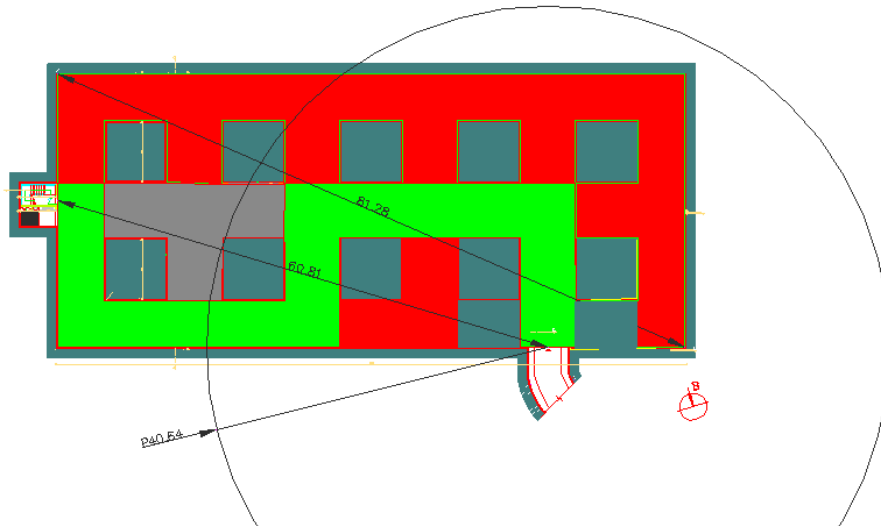
Εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 6.8 και την Εξίσωση 6.1 στην κάτοψη του υπόγειου χώρου του Τ.Π.Π.Λ., προκύπτει το Σχήμα 9.2, όσον αφορά στον έλεγχο συμμόρφωσης της ελάχιστης γωνίας των 45°.



**Σχήμα 9.2** Περιοχή που καλύπτεται με βάση τον κανονισμό των 45° στον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Λ.

Σχεδόν ολόκληρος ο χώρος των εγκαταστάσεων βρίσκεται μέσα στον αποδεκτό χώρο των σημείων που σχηματίζουν γωνία ίση ή μεγαλύτερη των 45°. Εξάιρεση αποτελεί η περιοχή του “τριγώνου” ABC, η οποία περιλαμβάνεται στους χώρους αποθήκευσης και έτσι η πιθανότητα να βρίσκεται πλήθος ατόμων σε αυτό είναι σχετικά μικρή.

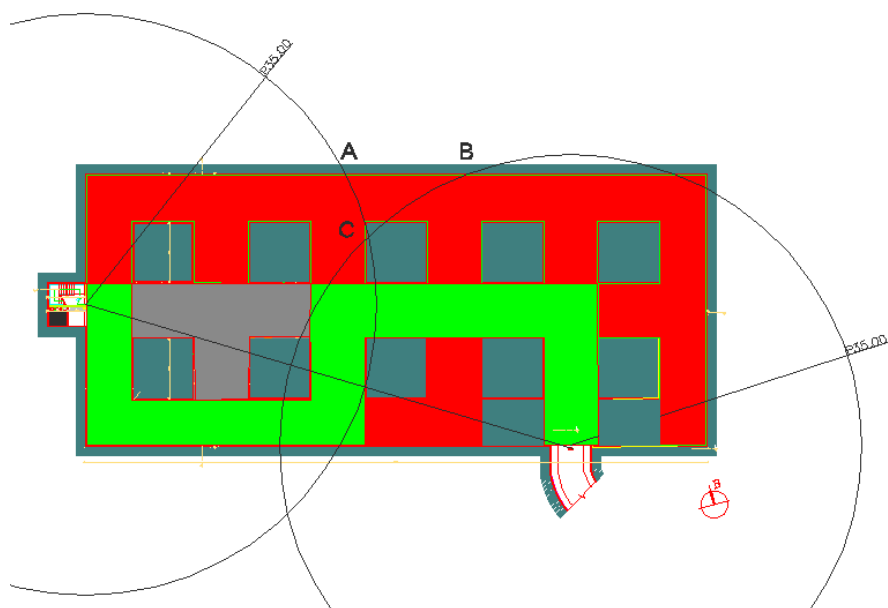
Για να ελεγχθεί η συμμόρφωση του χώρου με τον κανονισμό του NFPA που απαιτεί ελάχιστη απόσταση δύο εξόδων διαφυγής ίση με το μισό της μέγιστης διαγωνίου, δημιουργήθηκε το **Σχήμα 9.3**. Ως σημείο αναφοράς την έξοδο στη στοά, η δεύτερη έξοδος δεν πρέπει να τοποθετηθεί σε σημείο που περικλείεται από τον κύκλο, το οποίο δε συμβαίνει όπως φαίνεται οπτικά στο σχήμα αλλά και από τη διαστασιολόγηση του χώρου (η απόσταση των δύο εξόδων είναι περίπου 61 μέτρα, αρκετά μεγαλύτερη από τα 41 μέτρα που είναι το μισό της διαγωνίου).



**Σχήμα 9.3** Περιοχή που δεν πρέπει να τοποθετηθεί η δεύτερη έξοδος σε σχέση με αυτή της στοάς στον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Λ.

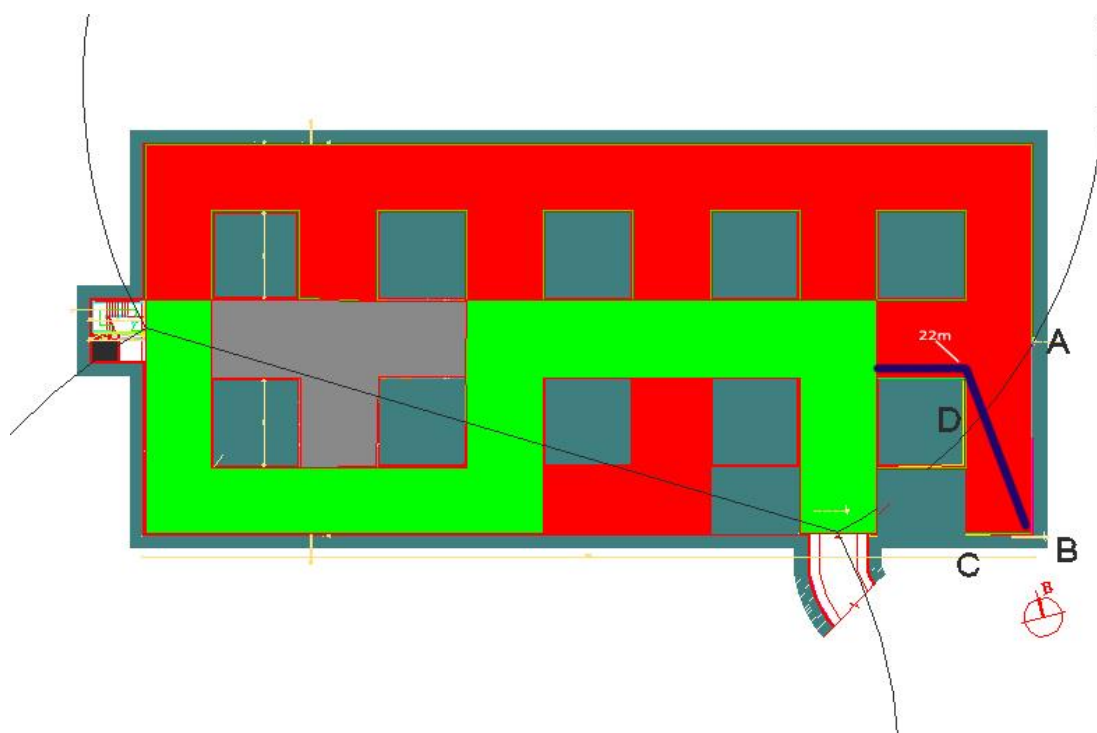
Όσον αφορά στον έλεγχο της μέγιστης απόστασης, στο **Σχήμα 9.4** απεικονίζεται η περιοχή του υπόγειου χώρου (εντός των δύο κύκλων) που βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη από 35m που είναι η μέγιστη άμεση απόσταση (με αυτή τη μεθοδολογία μπορεί να μετρηθεί η άμεση και όχι η πραγματική απόσταση διαφυγής), εκτός από τα σημεία που είναι εντός του "τριγώνου" ABC. Για τα σημεία αυτά, η πραγματική απόσταση διαφυγής είναι περίπου 40m, μικρότερη από τη μέγιστη που επιβάλλει ο κανονισμός (60m).

Στον Ελληνικό κανονισμό πυροπροστασίας κτιρίων αναφέρεται πως στον υπολογισμό της πραγματικής απόστασης, το μήκος της όδευσης σε χώρους μερικώς πυροπροστατευμένους (με δείκτη πυραντίστασης τουλάχιστον 30 λεπτών), λαμβάνεται ίσο με το μισό του πραγματικού της μήκους. Με βάση τα κατασκευαστικά στοιχεία αλλά και τη φύση του υπόγειου χώρου βγαίνει το συμπέρασμα ότι σχεδόν εξ ολοκλήρου ο υπόγειος χώρος που εξετάζεται είναι μερικώς πυροπροστατευμένος με εγκατεστημένο σύστημα αυτόματης πυρόσβεσης, οπότε η μέγιστη απόσταση διαφυγής, για λόγους υπολογισμού, μπορεί να θεωρηθεί διπλάσια από την κανονική.



**Σχήμα 9.4** Περιοχή που καλύπτεται από την άμεση απόσταση προς τις εξόδους διαφυγής στον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Λ.

Για τον έλεγχο του αδιεξόδου εξετάζονται οι περιοχές που βρίσκονται εκτός των ορίων του κανονισμού των 45° και εφόσον αυτές έχουν διέξοδο προς μια μόνο κατεύθυνση. Η περιοχή αυτή βρίσκεται στο νοτιο-ανατολικό τμήμα του χώρου και συγκεκριμένα είναι η περιοχή ABCD στο **Σχήμα 9.5**. Όπως φαίνεται στο σχήμα, το μήκος της διαδρομής από το πιο απομακρυσμένο σημείο (ως προς τις εξόδους) της περιοχής, μέχρι το σημείο που οι οδεύσεις διαφυγής διαχωρίζονται, είναι 22m, μικρότερο από το μέγιστο επιτρεπτό των κανονισμών.



**Σχήμα 9.5** Έλεγχος περιοχής αδιεξόδου στον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Λ.

#### 9.4 Υπολογισμός θεωρητικού και μέγιστου πληθυσμού (ενοίκων)

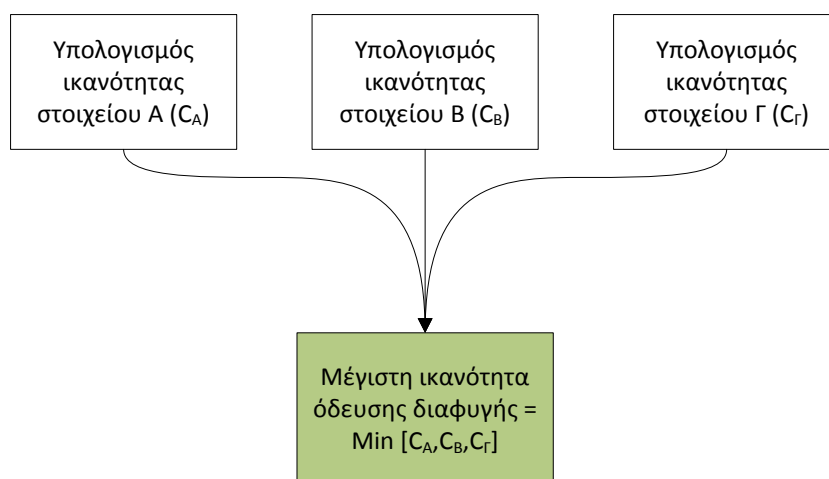
Ο υπολογισμός του θεωρητικού πληθυσμού χρησιμεύει κατά το σχεδιασμό του χώρου, ώστε να υπολογισθούν τα πλάτη των οδούσεων διαφυγής (διάδρομοι, πόρτες, κλιμακοστάσιο κ.α.). Στην περίπτωση ενός υφιστάμενου κτιρίου, όπως αυτό του υπόγειου χώρου του Τ.Π.Π.Λ., πραγματοποιείται αφενός ο υπολογισμός του θεωρητικού πληθυσμού και αφετέρου ο υπολογισμός του πλήθους των ενοίκων που μπορούν να εξυπηρετηθούν με ασφάλεια από τις ήδη κατασκευασμένες οδούσεις διαφυγής. Στη συνέχεια, γίνεται σύγκριση των δύο τιμών.

Με βάση τον **Πίνακα 6.6** και το είδος χρήσης του υπόγειου χώρου που περιλαμβάνει ένα χώρο γραφείων και τον αποθηκευτικό χώρο, προκύπτει ο **Πίνακας 9.2**, στον οποίο παρουσιάζεται ο θεωρητικός πληθυσμός των δύο διαφορετικών χρήσεων (γραφεία - αποθήκευση).

**Πίνακας 9.2** Υπολογισμός θεωρητικού πληθυσμού στον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Λ.

Θεωρητικός πληθυσμός	Κανονισμός πυροπροστασίας (Π.Δ. 71/88)	NFPA
	Γραφεία: $180\text{m}^2/9 = 20\text{per}$	Γραφεία: $180\text{m}^2/9,3 = 19\text{per}$
	Αποθηκευτικός χώρος: $1770\text{m}^2/40 = 45\text{per}$	Αποθηκευτικός χώρος: $1770\text{m}^2/46,5 = 38\text{per}$
	<b>65 ένοικοι</b>	<b>57 ένοικοι</b>

Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστεί ο αριθμός των ατόμων που μπορεί να εξυπηρετήσει ο χώρος με βάση τα πλάτη των οδούσεων διαφυγής. Επειδή ο χώρος έχει δύο εξόδους διαφυγής, θα υπολογιστεί κάθε όδευση ξεχωριστά και το άθροισμα τους θα είναι ο μέγιστος πληθυσμός. Για να συμβεί αυτό, ελέγχονται τα στοιχεία που αποτελούν την κάθε όδευση διαφυγής (διάδρομοι, πόρτες, ράμπες, σκάλες) και υπολογίζεται ο πληθυσμός που μπορεί να εξυπηρετηθεί από το κάθε στοιχείο. Μετά, για μέγιστο πληθυσμό της κάθε όδευσης λαμβάνεται η ελάχιστη τιμή του κάθε στοιχείου που περιλαμβάνει (**Διάγραμμα 9.2**). Στους κανονισμούς προβλέπεται και η μέγιστη ικανότητα εξυπηρέτησης ενοίκων κάθε στοιχείου ανάλογα με το πλάτος του, αλλά και τη χρήση του κτιρίου. Η πρώτη έξοδος διαφυγής είναι αυτή που οδηγεί σε ανοιχτό χώρο μέσω της στοάς και αποτελείται από διαδρόμους και τη ράμπα (κλίση της στοάς). Η δεύτερη έξοδος διαφυγής είναι αυτή που οδηγεί σε ανοιχτό χώρο μέσω του φρέατος και αποτελείται από διαδρόμους, πόρτες και τη σκάλα του κλιμακοστασίου. Τα παραπάνω στοιχεία και οι υπολογισμοί από τον έλεγχο, παρουσιάζονται στον **Πίνακα 9.3**. Με γαλάζιο χρώμα παρουσιάζονται τα στοιχεία που αποτελούν μέρος της όδευσης διαφυγής από το φρέαρ, με ροζ χρώμα παρουσιάζονται τα στοιχεία που αποτελούν μέρος μόνο της εξόδου διαφυγής από τη στοά, ενώ με γκρι χρώμα παρουσιάζονται τα στοιχεία που αποτελούν μέρος και των δύο οδούσεων διαφυγής, δηλαδή οι διάδρομοι.



**Διάγραμμα 9.2** Υπολογισμός μέγιστης ικανότητας εξυπηρέτησης όδευσης διαφυγής

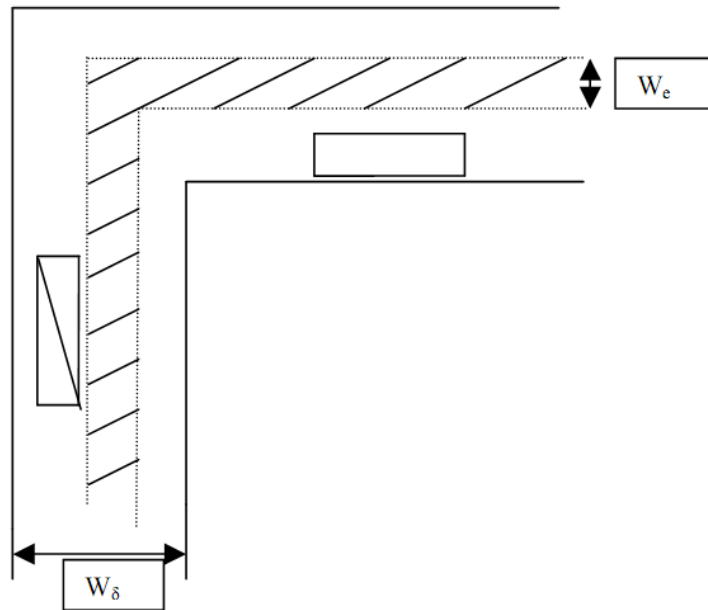
**Πίνακας 9.3** Υπολογισμός μέγιστου πληθυσμού στον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Λ.

		Ικανότητα εξυπηρέτησης (m/per)		Μέγιστος αριθμός ενοίκων	
		Κανονισμός πυροπροστασίας (Π.Δ. 71/88)	NFPA	Κανονισμός πυροπροστασίας (Π.Δ. 71/88)	NFPA
Στοιχεία οδεύσεων διαφυγής	Διάδρομοι	0,006	0,0050	666	800
	Πόρτες		0,0050	158	190
	Ράμπες	0,008	0,0050	375	600
	Σκάλες		0,0076	138	145
Έξοδος στοάς				375	600
Έξοδος φρέατος				138	145
Συνολικό				<b>513</b>	<b>745</b>

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα ο θεωρητικός πληθυσμός είναι περίπου το 10% του "πραγματικού" πληθυσμού που μπορεί να εξυπηρετήσει με ασφάλεια ο χώρος.

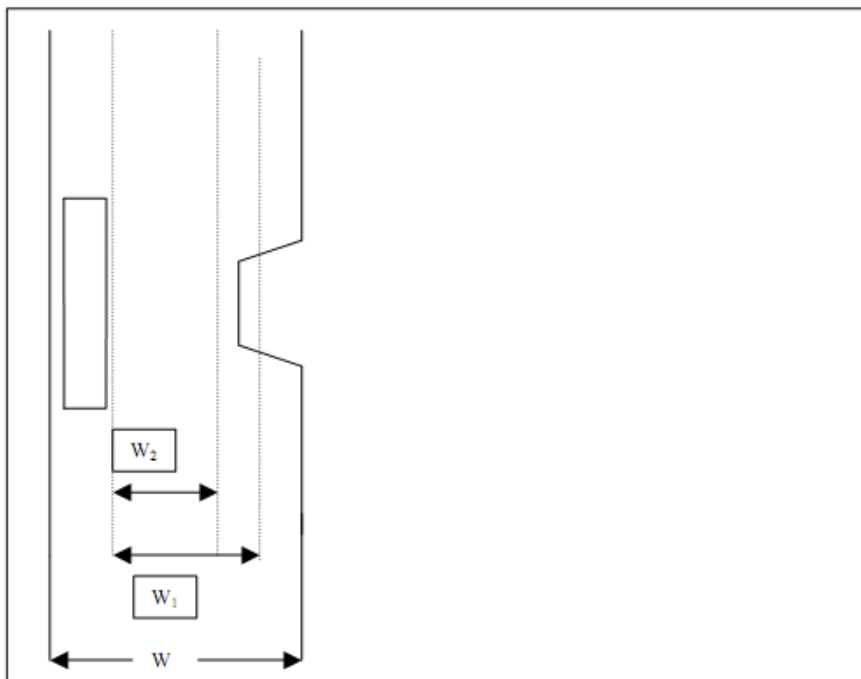
Πρέπει να σημειωθεί, ότι το πλάτος μιας όδευσης διαφυγής  $W$  είναι μεγαλύτερο από το ενεργό πλάτος  $W_e$  κατά τη σχέση  $W_e = W - 2B$ , όπου  $B$  είναι η ελάχιστη απόσταση λόγω των ορίων της όδευσης. Σε ένα διάδρομο με όρια κατακόρυφα το  $B$  είναι 0.15m. Στα υπόγεια έργα τα κατακόρυφα όρια είναι συνήθως τραχιές επιφάνειες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, όχι πάντα επίπεδες σαν τους τοίχους των κατοικιών, γι' αυτό και λαμβάνεται  $B = 0,20m$ . Το πλάτος μίας όδευσης μπορεί να μην περιλαμβάνει όλο το πλάτος ενός διαδρόμου. Σύμφωνα με το **Σχήμα 9.6** σε ένα διάδρομο πλάτους  $W_d$  στους υπόγειους χώρους, τμήματα του διαδρόμου μπορεί να αξιοποιούνται για στάθμευση μηχανήματος ή προσωρινή αποθήκευση.





**Σχήμα 9.6** Ενεργό πλάτος σε σχέση με πλάτος διαδρόμου λόγω εμποδίων (Πηγή: Κυρίτσης, 2010)

Πάντα λαμβάνεται πρόνοια να υπάρχει ένας ιδεατός χώρος, εσωτερικός του διαδρόμου, πλάτους  $W$ , όπου γίνεται η κίνηση ανθρώπων – οχημάτων αλλά και η εκκένωση. Ομοίως σε αυτή τη περίπτωση  $W_\delta > W_e = W - 2B$ . Άλλη περίπτωση που μπορεί να συναντηθεί σε υπόγειο χώρο είναι η τοπική μείωση του διαδρόμου όπου έχει επιλεγθεί η οριοθέτηση όδευσης διαφυγής. Ως πλάτος  $W$  της όδευσης θα ληφθεί  $W_2$  παντού και όχι  $W_1$  για ένα τμήμα ώστε να ισχύει  $W_e = W_2 - 2B$ . Αυτό θα χρησιμοποιηθεί στους προσεγγιστικούς υπολογισμούς και δε σημαίνει ότι θα υπάρχει κάποιο όριο που θα καθοδηγεί τα άτομα στο πλάτος  $W_2$ , όμως από τη συμπεριφορά των πεζών το πλάτος  $W_2$  είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα (**Σχήμα 9.7**).



**Σχήμα 9.7** Επιλογή κατάλληλου ενεργού πλάτους σε όδευση διαφυγής (Πηγή: Κυρίτσης, 2010)

Έτσι, μετά τον υπολογισμό του ενεργού πλάτους και ένα συντελεστή ασφαλείας, επιλέχθηκε για τους υπολογισμούς του **Πίνακα 9.3** πλάτος διαδρόμων 4m και πλάτος στοάς 3m.

Ένας τελευταίος υπολογισμός ασφαλείας που δεν έχει αναφερθεί ακόμα, αλλά υπάρχει στους κανονισμούς του NFPA, είναι αυτός που προβλέπει τη φέρουσα ικανότητα εξυπηρέτησης του χώρου σε περίπτωση που μία έξοδος διαφυγής έχει τεθεί εκτός λειτουργίας. Ο κανονισμός αυτός επιβάλλει πως σε περίπτωση που μία έξοδος διαφυγής έχει τεθεί εκτός λειτουργίας, οι άλλες εξοδοι θα πρέπει να μπορούν να εξυπηρετήσουν τουλάχιστον το μισό πληθυσμό. Αυτό συνεπάγεται πως ο μέγιστος ασφαλής πληθυσμός είναι διπλάσιος από την ικανότητα εξυπηρέτησης της μικρότερης εξόδου. Στην περίπτωση του υπόγειου χώρου του Τ.Π.Π.Λ., υπολογίζεται ο νέος μέγιστος πληθυσμός λαμβάνοντας υπόψη ότι τίθεται εκτός λειτουργίας η έξοδος από τη στοά που έχει τη μεγαλύτερη ικανότητα εξυπηρέτησης ενοίκων. Άρα ο μέγιστος πληθυσμός, καθώς και ο έλεγχος για την ικανότητα του χώρου με βάση το θεωρητικό πληθυσμό, που υπολογίστηκε στον **Πίνακα 9.2**, φαίνεται στον **Πίνακα 9.4**.

**Πίνακας 9.4** Υπολογισμός μέγιστου πληθυσμού με την μία έξοδο εκτός λειτουργίας

	Κανονισμός πυροπροστασίας (Π.Δ. 71/88)	NFPA
50% Θεωρητικού πληθυσμού	$65/2 = 38$	$57/2 = 29$
Έλεγχος θεωρητικού πληθυσμού	$38 < 138$	$29 < 145$
Θεωρητικό μέγιστο	<b>276 (2*138)</b>	<b>290 (2*145)</b>

Πλέον με τα νέα δεδομένα, ο μέγιστος πληθυσμός που μπορεί να εξυπηρετήσει ο υπόγειος χώρος του Τ.Π.Α. που ικανοποιεί όλους τους κανονισμούς που αναφερθήκαν, είναι 276 ένοικοι με βάση τις προδιαγραφές του κανονισμού πυροπροστασίας κτιρίων και 290 με βάση τις προδιαγραφές από το NFPA.

## 9.5 Υπολογισμός χρόνου εκκένωσης

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4, ο χρόνος εκκένωσης ουσιαστικά χωρίζεται σε δύο μέρη, στο θεωρητικό που εξαρτάται από τη χρήση του χώρου, τα κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά και το είδος των ενοίκων που βρίσκονται μέσα σε αυτόν και στο πρακτικό μέρος, που είναι ο συνολικός χρόνος κίνησης των ενοίκων μέχρι να βρεθούν σε ασφαλές μέρος (συνήθως σε ελεύθερο χώρο έξω από το χώρο).

Με βάση τους πίνακες από το Κεφάλαιο 4, και με μια συντηρητικότητα στην επιλογή του κάθε χρόνου, προκύπτουν οι εξής χρόνοι:

- Χρόνος εντοπισμού - 1min
- Χρόνος συναγερμού - 2min
- Χρόνος πριν τη μετακίνηση - 5min
- Χρόνος κίνησης για την εκκένωση – προς μελέτη

Από τα παραπάνω προκύπτει ένας συνολικός "θεωρητικός" χρόνος 8min. Ο υπολογισμός του πραγματικού χρόνου εκκένωσης πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα STEPS. Για να υπολογιστεί η χειρότερη περίπτωση, επιλέχθηκε ο μέγιστος αριθμός ενοίκων που μπορεί να εξυπηρετήσει ο χώρος, δηλαδή 290 ένοικοι. Επίσης, πραγματοποιήθηκε και υπολογισμός του χρόνου εκκένωσης στις περιπτώσεις που έχει τεθεί εκτός λειτουργίας η έξοδος από το φρέαρ ή από τη στοά αντίστοιχα. Για την ολοκλήρωση του υπολογισμού πραγματοποιήθηκαν δέκα προσομοιώσεις με τα παραπάνω χαρακτηριστικά και στο τέλος προέκυψε ο μέσος όρος του χρόνου εκκένωσης και τα αποτελέσματα παρατίθενται στον **Πίνακα 9.5**

**Πίνακας 9.5** Αποτελέσματα προσομοιώσεων χρόνου εκκένωσης του υπόγειου χώρου του Τ.Π.Π.Λ.

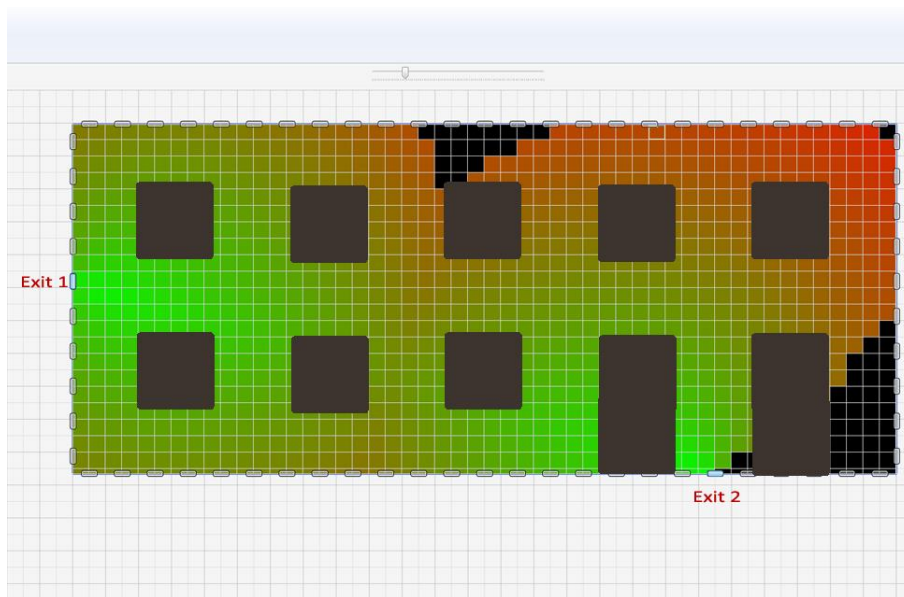
ID δοκιμής	Χρόνος εκκένωσης (min:sec)	Χρήση φρέατος (άτομα)	Χρήση στοάς (άτομα)	Χρόνος εκκένωσης - φρέαρ (min:sec)	Χρόνος εκκένωσης - στοά (min:sec)
1	4:19	94	196	10:09	5:07
2	4:11	84	206	10:20	4:58
3	4:23	88	202	10:08	5:04
4	4:24	85	205	9:59	5:09
5	4:10	89	201	9:56	5:06
6	4:17	92	198	10:07	5:06
7	4:16	97	193	9:45	5:09
8	4:11	92	198	10:05	5:12
9	4:22	95	195	10:01	5:17
10	4:23	98	192	9:52	5:03
<b>Μέσος όρος</b>	<b>4:17</b>	<b>91</b>	<b>199</b>	<b>10:02</b>	<b>5:07</b>

Ο μεγαλύτερος χρόνος που προκύπτει από τον **Πίνακα 9.5** είναι αυτός της περίπτωσης που είναι διαθέσιμη μόνο η έξοδος από το φρέαρ και είναι 10 λεπτά. Οπότε, ο συνολικός χρόνος εκκένωσης του χώρου από τη στιγμή που θα λάβει χώρα μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης έως τη στιγμή που θα βρεθεί και ο τελευταίος ένοικος σε ασφαλή τοποθεσία, είναι 18 λεπτά. Από τον **Πίνακα 4.2** και επειδή ο χώρος περιλαμβάνει ειδικό σύστημα αερισμού ανάγκης, φαίνεται ότι αυτός ο χρόνος καλύπτει όλα τα πιθανά γεγονότα εκτός της περίπτωσης της γενικής απειλής (15-30 λεπτά), η οποία είναι ειδική περίπτωση για κάθε χώρο και χρήζει πάντα ιδιαίτερης προσοχής και ειδικού σχεδιασμού. Αξίζει να σημειωθεί ότι με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, ακόμα και στην πιο φορτισμένη και δυσμενή περίπτωση εκκένωσης του υπόγειου χώρου, ο χρόνος μετακίνησης της εκκένωσης των ενοίκων αποτελεί περίπου το 55% του συνολικού χρόνου εκκένωσης του χώρου. Αυτή η σχέση χρόνου μετακίνησης και συνολικού χρόνου εκκένωσης δείχνει ότι όση προσοχή και έρευνα χρειάζεται για να βελτιωθούν οι οδεύσεις διαφυγής για γρήγορη εκκένωση τόσο προσοχή πρέπει να δίνεται στα συστήματα εντοπισμού και στην εκπαίδευση των ανθρώπων ώστε να μειωθούν και οι χρόνοι που παρεμβάλλονται μεταξύ της έναρξης του περιστατικού και της έναρξης της μετακίνησης των ανθρώπων προς την έξοδο.

## 9.6 Μελέτη υπόγειου χώρου με τη χρήση του Exit Locator

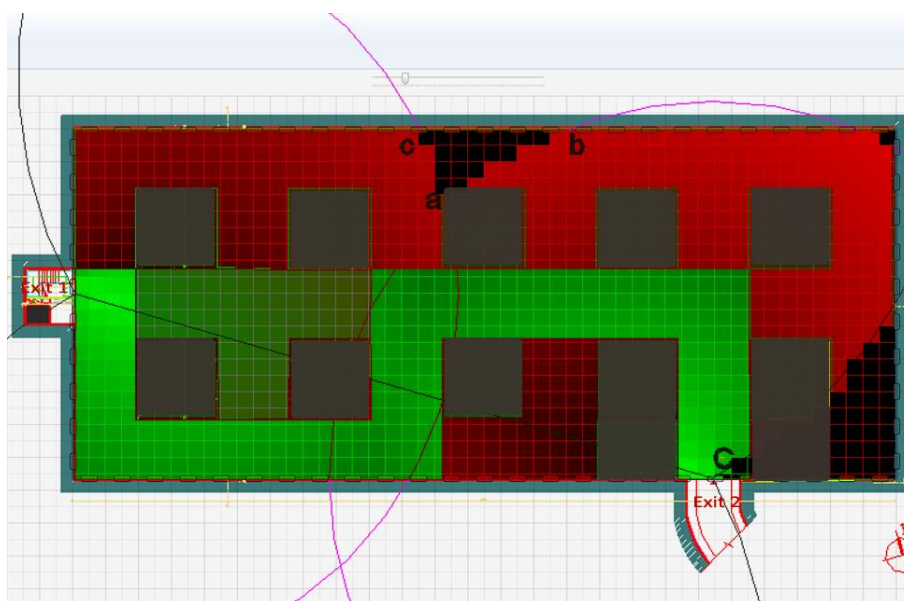
Σχεδιάζοντας το χώρο μέσα στο περιβάλλον του λογισμικού που αναπτύχθηκε και επιλέγοντας για θέσεις εξόδων τις υφιστάμενες, προκύπτουν τα αποτελέσματα που φαίνονται στο **Σχήμα 9.8**. Να σημειωθεί ότι για πρώτη προσέγγιση έγινε χρήση του

λογισμικού λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις δύο παραμέτρους, της απόστασης και της γωνίας, όπως και στα σχήματα 9.2 και 9.4.



**Σχήμα 9.8** Βαθμολόγηση του υπόγειου χώρου του Τ.Π.Π.Λ. με το Exit Locator

Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 9.8** υπάρχουν δύο μικρές περιοχές, όπως είχαν παρατηρηθεί και με την προηγούμενη "χειροκίνητη" μελέτη, οι οποίες δεν συμμορφώνονται με τους κανονισμούς. Το **Σχήμα 9.9** παρουσιάζει την υπέρθεση των τριών σχημάτων και όπως φαίνεται από την εικόνα, οι περιοχές επικαλύπτονται (ακόμα και μερικά απομονωμένα κελιά (πάνω δεξιά και δίπλα στην Exit 2)).



**Σχήμα 9.9** Επικάλυψη περιοχών "χειροκίνητης" μελέτης και με τη χρήση του Exit Locator στο Τ.Π.Π.Λ.

Το επόμενο βήμα είναι να ελεγχθεί ο χώρος με το Exit Locator ενσωματώνοντας όλες τις παραμέτρους (αδιέξοδο και ελάχιστη απόσταση εξόδων ως προς τη διαγώνιο του χώρου), καθώς και τους σύλους που υπάρχουν μέσα στο χώρο και δίνουν μια διαφορετική διάταξη στις οδεύσεις διαφυγής. Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Μέγιστη απόσταση: 60 μέτρα
- Ελάχιστη γωνία:  $45^{\circ}$
- Μέγιστη διαδρομή σε αδιέξοδο: 35 μέτρα
- Ελάχιστη απόσταση μεταξύ εξόδων: 41 μέτρα
- Function:  $F = 0,7x_d + 248,4x_a^{-0,58} + 2,4x_e$

Τα αποτελέσματα του προγράμματος δίνουν Average Performance = 70,4% και Acceptable Area = 100%. Οι μέσες τιμές των παραμέτρων εκκένωσης είναι οι εξής:

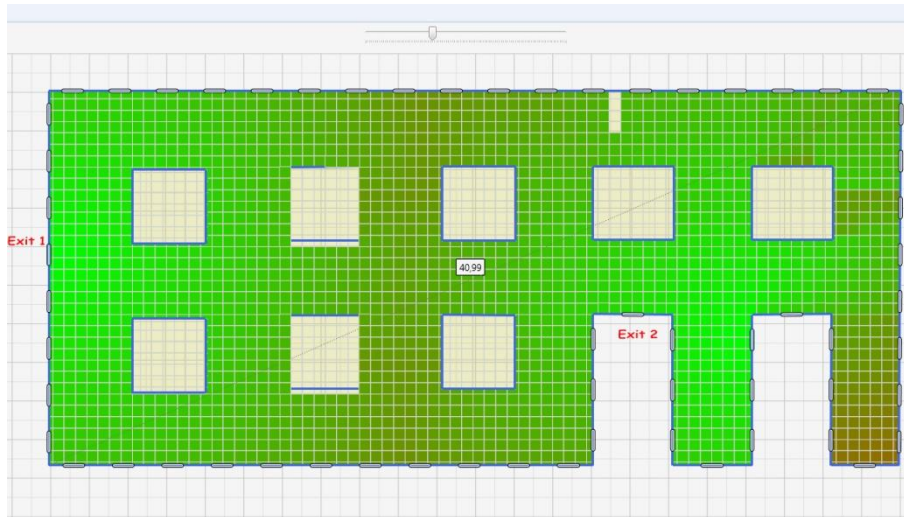
- Μέση Απόσταση: 11,61m
- Μέση Γωνία:  $109^{\circ}$
- Μέση μετακίνηση σε αδιέξοδο: 1,15m

Κατά τον υπολογισμό στο λογισμικό βρήκε 738 πιθανούς συνδυασμούς (είχε επιλεγθεί Exit Width: 2m και Exit Margin: 2m) και ο συγκεκριμένος ήταν κατά αύξοντα αριθμό Average Performance στην 403<sup>η</sup> θέση. Η οπτική παρουσίαση και η χρωματική απεικόνιση φαίνονται στο **Σχήμα 9.10**.



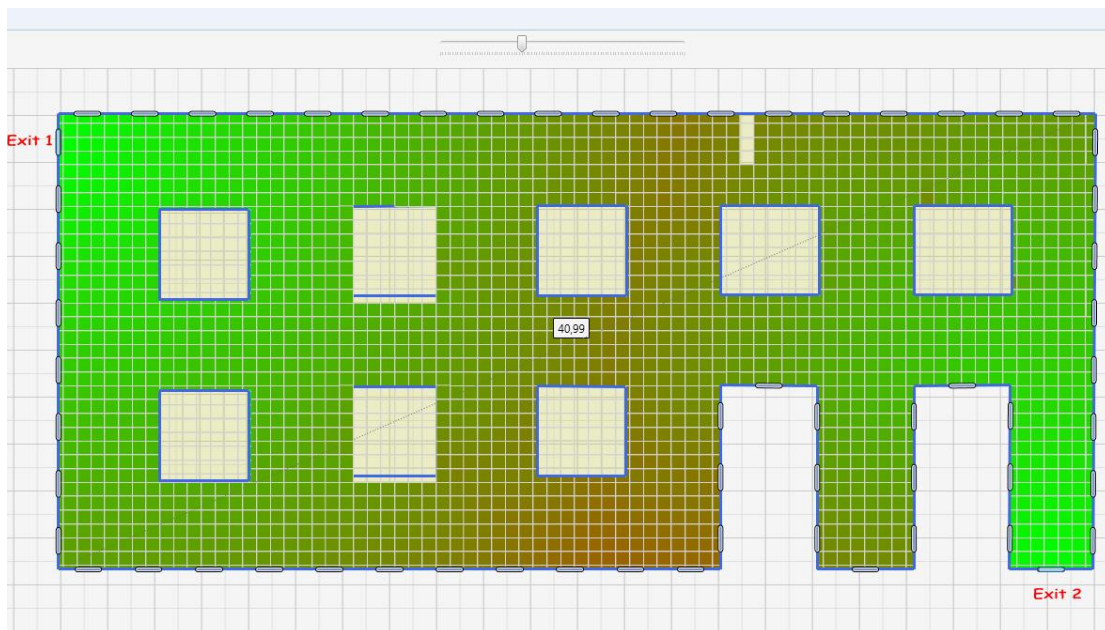
**Σχήμα 9.10** "Χαρτογράφηση" αποτελεσματικότητας εκκένωσης χώρου των υφιστάμενων θέσεων εξόδων του υπόγειου χώρου του Τ.Π.Α. με το Exit Locator

Οι βέλτιστες λύσεις που προκύπτουν από την ανάλυση του χώρου είναι οι εξής: Η έξοδος 1 (Exit 1), βρίσκεται στην ίδια θέση με την υφιστάμενη του φρέατος και η έξοδος 2 (Exit 2) πολύ κοντά στην υφιστάμενη θέση της στοάς, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 9.11**. Αυτή η επιλογή εκτός του ότι δίνει πλήρη συμμόρφωση του χώρου με τους κανονισμούς (Acceptable/Total = 100%), δίνει και Average Performance = 75,1% δηλαδή περίπου 7% καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις υφιστάμενες θέσεις των εξόδων διαφυγής.



**Σχήμα 9.11** Προτεινόμενη επιλογή εξόδων του υπόγειου χώρου του Τ.Π.Π.Α. με το Exit Locator

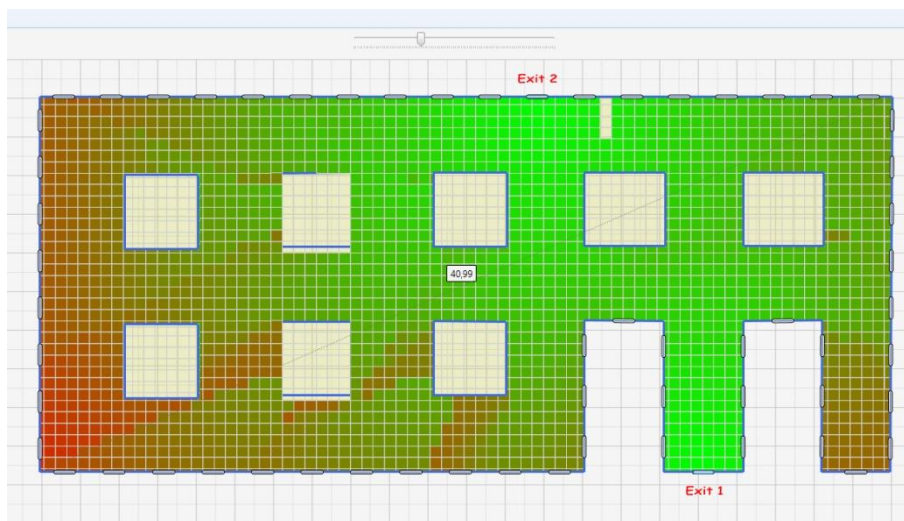
Επίσης, από τα αποτελέσματα του προγράμματος μπορεί να προσδιοριστεί ο χειρότερος δυνατός συνδυασμός που συμμορφώνεται με τους κανονισμούς (Acceptable/Total = 100%). Αυτός φαίνεται στο **Σχήμα 9.12** και δίνει Average Performance = 66,2%. Οι θέσεις των εξόδων που δίνονται από αυτή τη λύση είναι αποδεκτές, αλλά οι βέλτιστες προσφέρουν περίπου 13% καλύτερα αποτελέσματα.



**Σχήμα 9.12** Χειρότερη αποδεκτή λύση του υπόγειου χώρου του Τ.Π.Π.Α. με το Exit Locator

Τέλος, επειδή ο κανονισμός της διαγωνίου δεν εμπεριέχεται στον Ελληνικό Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων, επαναλήφθηκε ο υπολογισμός όλων των πιθανών λύσεων χωρίς τη χρήση του. Ο συνολικός αριθμός των πιθανών συνδυασμών είναι 1830, εκ των οποίων 522 αποδεκτοί. Οι τιμές της βέλτιστης λύσης και της υφιστάμενης θέσης των εξόδων δε μεταβάλλονται, αλλά ως χειρότερη λύση που συμμορφώνεται με τους κανονισμούς

προσδιορίστηκε μια διαφορετική (**Σχήμα 9.13**) που δίνει Average Performance = 63,3%, με αποτέλεσμα η βέλτιστη να δίνει περίπου 19% καλύτερα αποτελέσματα. Στον **Πίνακα 9.6** παρουσιάζονται συνοπτικά όλες οι πληροφορίες για τις λύσεις που περιγράφηκαν.



**Σχήμα 9.13** Χειρότερη αποδεκτή λύση, χωρίς τη χρήση του κανονισμού της διαγωνίου, του υπόγειου χώρου του Τ.Π.Π.Λ. με το Exit Locator

**Πίνακας 9.6** Συνοπτικά αποτελέσματα λύσεων

	Average Performance	Μέση απόσταση (m)	Μέση γωνία (μοίρες)	Μέση αδιέξοδος (m)	Σχέση προς τη βέλτιστη
Βέλτιστη λύση	75,1%	9,5	108	1,4	-
Υφιστάμενες θέσεις	70,4%	11,6	109	1,2	7%
Χειρότερη αποδεκτή λύση	66,2%	13,9	127	0,1	13%
Χειρότερη αποδεκτή λύση (χωρίς τη χρήση του κανονισμού της διαγωνίου)	63,3%	13,3	61	2,8	19%

Συμπερασματικά, ο υπόγειος χώρος του Τ.Π.Π.Λ. είναι σωστά σχεδιασμένος έτσι ώστε να συμμορφώνεται με τους κανονισμούς εκκένωσης, με την εξαίρεση των μικρής έκτασης σημειωμένων προβληματικών περιοχών, αλλά με τη χρήση του λογισμικού που αναπτύχθηκε αποδείχθηκε ότι οι θέσεις των εξόδων θα μπορούσαν να τοποθετηθούν έτσι ώστε να προσφέρουν πιο αποτελεσματική εκκένωση σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, έως και κατά 20%.



## Κεφάλαιο 10. Ανακεφαλαίωση και συμπεράσματα

### 10.1 Γενικά

Οι κανονισμοί και οι νομοθεσίες που είναι σχετικές με θέματα ασφαλείας για κάθε είδος οργανισμού, περιλαμβάνουν όλες τις διατάξεις και τις προδιαγραφές ώστε να δημιουργηθεί ένας ασφαλής χώρος για το προσωπικό και για τα περιουσιακά στοιχεία. Αυτοί οι κανονισμοί περιλαμβάνουν και τις προδιαγραφές που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός σχεδίου εκκένωσης. Μέσα από τη βιβλιογραφική μελέτη παρατηρήθηκε ότι μολονότι σε παγκόσμιο επίπεδο υπάρχουν κοινές γενικές διατάξεις, ανάλογα με το είδος των εγκαταστάσεων οι τιμές των προδιαγραφών (κανονισμών) μπορεί να μεταβάλλονται, όπως για παράδειγμα η μέγιστη επιτρεπόμενη πραγματική απόσταση όδευσης διαφυγής από την πλησιέστερη έξοδο διαφυγής. Επίσης, ένα άλλο κοινό στοιχείο είναι ότι ο τρόπος εκπόνησης των σχεδίων εκκένωσης, ξεκινάει με την κατηγοριοποίηση του οργανισμού, με γνώμονα τρεις παραμέτρους:

- τύπος οργανισμού
- τύπος ενοίκων
- τοποθεσία εγκαταστάσεων

Σημαντικό, επίσης, στοιχείο είναι ότι δεν υπάρχουν ειδικοί κανονισμοί και προδιαγραφές για τα σχέδια εκκένωσης για τους υπόγειους χώρους. Ειδικά στην ελληνική νομοθεσία δεν υπάρχει ουδεμία υποχρέωση υποβολής σχεδίων εκκένωσης για καμία κατηγορία χώρου. Αυτό αντικαθίσταται από μια μελέτη παθητικής πυροπροστασίας, βάσει του Π.Δ. 71/88 μαζί με τις τροποποιήσεις του, η οποία ελέγχεται από την πυροσβεστική υπηρεσία και τις υποχρεωτικές προϋποθέσεις που αυτό προβλέπει για κάθε χώρο ώστε να εξασφαλιστεί ένα επίπεδο ασφαλείας.

Κεντρικό σημείο κάθε αναφοράς σε σχέδια εκκένωσης παρατηρήθηκε ότι είναι οι έξοδοι διαφυγής. Περιλαμβάνουν τον αριθμό των εξόδων, τη διαστασιολόγησή τους, το είδος τους και, κυρίως, τη θέση τους στο χώρο. Οι τρεις πρώτες παράμετροι εξαρτώνται από τον αριθμό και το είδος των ενοίκων που βρίσκονται στο χώρο ενώ η τέταρτη (η θέση των εξόδων στο χώρο) παρουσιάζει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα, διότι επηρεάζεται και από την αρχιτεκτονική του χώρου.

Για τον υπολογισμό των θέσεων των εξόδων διαφυγής, υπάρχουν ουσιαστικά τρεις παράμετροι που σχετίζονται με τη σχετική θέση των εξόδων μεταξύ τους και με τη θέση των εξόδων ως προς τα υπόλοιπα σημεία του χώρου. Πιο συγκεκριμένα:

- Κανένα σημείο του χώρου δεν πρέπει να έχει απόσταση μεγαλύτερη από μια δεδομένη απόσταση από την κοντινότερη έξοδο διαφυγής
- Η διαδρομή μέσα σε αδιεξόδους έχει μια μέγιστη τιμή
- Η σχετική θέση των εξόδων μεταξύ τους εξαρτάται από την απόσταση αλλά και από τη γωνία που σχηματίζει κάθε σημείο του χώρου με δύο από τις εξόδους και πρέπει να έχει μια ελάχιστη τιμή και στις δύο περιπτώσεις.

Επιπλέον, αν και περιγραφικά όλες οι προδιαγραφές διαμορφώνουν ένα συγκεκριμένο πλαίσιο ιδιοτήτων, δεν εντοπίστηκε καμία βιβλιογραφική αναφορά που να τεκμηριώνει τις συγκεκριμένες τιμές.

## 10.2 Αξιολόγηση κανονισμών - παραμέτρων

Η αξιολόγηση των κανονισμών πραγματοποιήθηκε με βάση δύο παραμέτρους που ορίζουν την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης:

- Χρόνος εκκένωσης (συμπεριλαμβανομένου του χρόνου μετακίνησης σε αδιέξοδα)
- Συνωστισμός κατά την εκκένωση

Με τη χρήση προγραμμάτων μοντελοποίησης εκκένωσης, έγιναν προσομοιώσεις με σκοπό να βρεθεί η σχέση κάθε μεταβλητής με την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης. Από τα αποτελέσματα δημιουργήθηκαν οι συναρτήσεις κάθε μεταβλητής που υπολογίζουν χρόνο εκκένωσης ( $g(x_d)$ ,  $j(x_e)$ ) και χρόνο συνωστισμού ( $h(x_a)$ ):

- Απόσταση από την έξοδο  $g(x_d) = a_1 x_d + b_1$
- Γωνία μεταξύ δύο εξόδων διαφυγής  $h(x_a) = a_2 x_a^{-c} + b_2$
- Μήκος μετακίνησης σε αδιέξοδο  $j(x_e) = a_3 x_e + b_3$

Παραγωγίζοντας τις παραπάνω συναρτήσεις είναι δυνατόν να βρεθεί ο ρυθμός μεταβολής της κάθε συνάρτησης. Επειδή η μόνη συνάρτηση που η παράγωγος της δε δίνει σταθερή τιμή είναι αυτή της γωνίας, σε αυτό τον κανονισμό διενεργήθηκαν περαιτέρω έρευνες που οδήγησαν σε πιο αναλυτικά συμπεράσματα όσον αφορά στην ορθή επιλογή της ελάχιστης γωνίας.

## 10.3 Εισαγωγή νέων μεθοδολογιών και προδιαγραφών

Μελετώντας τη βιβλιογραφία για τις προδιαγραφές και τους κανονισμούς εκκένωσης κτιρίων, παρατηρήθηκαν αδυναμίες στις διαδικασίες ελέγχου καθώς και δυνατότητες βελτίωσης των υφιστάμενων προδιαγραφών που σχετίζονται με τις θέσεις των εξόδων διαφυγής. Για το λόγο αυτό, στο πλαίσιο της διδακτορικής εργασίας, αναπτύχθηκαν και αναλύθηκαν νέες μεθοδολογίες με σκοπό τη βελτίωση των κανονισμών ελέγχου και των προδιαγραφών.

### 10.3.1 Υπολογισμός χώρου κάλυψης εξόδων διαφυγής με βάση τον κανονισμό των 45<sup>ο</sup> στον Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων (Π.Δ. 71/88)

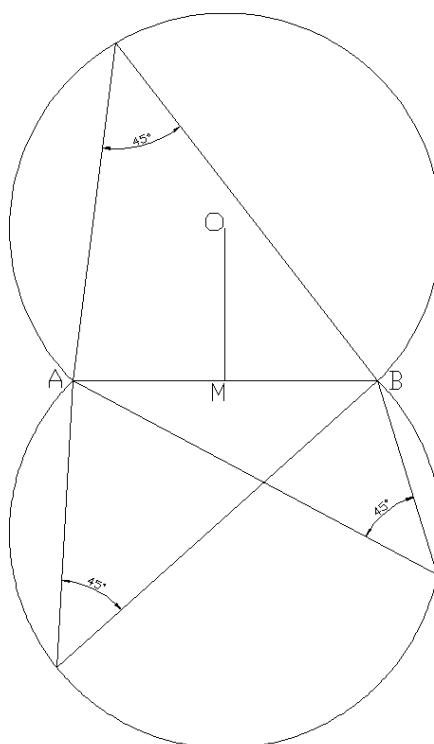
Ο περιορισμός αυτός εντάσσεται στον Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων, με σκοπό την αποφυγή του συνωστισμού κατά τη διαδικασία εκκένωσης του χώρου, που έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση της εκκένωσης καθώς και την εκδήλωση πανικού, η οποία είναι η μια από τις σημαντικότερες αιτίες ατυχημάτων και αστοχίας της εκκένωσης.

Η νέα μεθοδολογία έχει ως στόχο τον άμεσο και ακριβή έλεγχο κάθε χώρου, ως προς τη συμμόρφωσή του σε σχέση με τον προαναφερθέντα κανονισμό. Πιο συγκεκριμένα, στοχεύει στο να εντοπίσει το τμήμα του υπό εξέταση χώρου που συμμορφώνεται με τον κανονισμό. Δηλαδή, για δυο συγκεκριμένες εξόδους διαφυγής στον χώρο, τα σημεία του

οποίου δημιουργούν γωνία μεγαλύτερη ή ίση με  $45^\circ$  με τα σημεία των δύο εξόδων. Ο χώρος αυτός είναι η τομή της συνολικής επιφάνειας και του κυκλικού τμήματος που ορίζει το τόξο ενός κύκλου από το ένα δοσμένο σημείο στο άλλο, με κέντρο πάνω στη μεσοκάθετο του ευθύγραμμου τμήματος που ενώνει τα δύο δοσμένα σημεία (τις εξόδους) και σε απόσταση  $K$ , μαζί με την αντίστοιχη χορδή που είναι το ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ των δύο εξόδων, καθώς επίσης και με το συμμετρικό του ως προς τη χορδή. Η απόσταση  $K$  υπολογίζεται από την **(Εξίσωση 10.1)**.

$$K = \frac{a \cdot \tan(90 - \beta)}{2} \quad \text{(Εξίσωση 10.1)}$$

(όπου  $a$  είναι η απόσταση των δύο αρχικών σημείων-εξόδων και  $\beta$  η επιθυμητή γωνία), με ακτίνα από το κέντρο του μέχρι το ένα εκ των δύο δοσμένων σημείων, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 10.1**.



**Σχήμα 10.1** Γεωμετρικός τόπος σημείων που δημιουργούν γωνία  $45^\circ$  (A και B είναι οι θέσεις των εξόδων διαφυγής) (Πηγή: Kallianiotis & Kaliampakos, 2012)

Σκοπός της γεωμετρικής αυτής προσέγγισης είναι να βρεθεί το κέντρο του κύκλου  $O$  (**Σχήμα 10.1**). Η απόσταση  $K$  είναι το μήκος του ευθύγραμμου τμήματος  $OM$ .

Η παραπάνω μεθοδολογία μπορεί εύκολα να πραγματοποιηθεί και σε ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα, όπως είναι το AutoCAD, και να σκιαγραφηθεί άμεσα ο χώρος ο οποίος συμμορφώνεται με τον κανονισμό των  $45^\circ$  για τις επιλεγμένες θέσεις των εξόδων διαφυγής, ή για οποιαδήποτε άλλη γωνία ορίσει ο μελετητής.

### 10.3.2 Αξιολόγηση κανονισμού ελάχιστης γωνίας

Το STEPS ήταν το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων για τη μελέτη των επιπτώσεων μη συμμόρφωσης του κανονισμού των 45°. Με εφαρμογή στον υπόγειο χώρο του Τεχνολογικού και Πολιτιστικού Πάρκου Λαυρίου (Τ.Π.Π.Λ.), συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα της εκκένωσης μέσω δύο εναλλακτικών θέσεων εξόδων διαφυγής και των υφισταμένων, με τις υφιστάμενες θέσεις να συμμορφώνονται με τον κανονισμό ενώ οι εναλλακτικές όχι. Στην περίπτωση που οι έξοδοι βρίσκονται εκτός ορίων ο χρόνος εκκένωσης και ο συνωστισμός των ενοίκων είναι αυξημένα. Συνεπώς, ο κανονισμός των 45° είναι σημαντικός για την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης των κτιρίων και απαιτείται μια εύχρηστη μεθοδολογία για τον έλεγχο της συμμόρφωσης των χώρων (Kallianiotis & Kaliamprakos, 2012).

Πέρα από την απόδειξη της συμβολής του κανόνα των 45°, διερευνήθηκε η κρίσιμη τιμή της γωνίας σε διάφορες περιπτώσεις, οι οποίες επηρεάζονται άμεσα από τη χρήση του χώρου και τον αριθμό των ενοίκων. Μέσα από αυτή την έρευνα προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Αξιολογήθηκε η συμβολή του κανόνα των 45° στην αποτελεσματικότητα της εκκένωσης
- Προσδιορίστηκε η τιμή της γωνίας (κρίσιμη γωνία) που επηρεάζει περισσότερο το χρόνο εκκένωσης αλλά και το χρόνο συνωστισμού
- Ελέγχθηκε η επίδραση της πυκνότητας των ενοίκων στο χώρο στη βέλτιστη γωνία, σε σχέση με την απόσταση από την έξοδο

Συνοπτικά, αποδείχθηκε ότι όσο περισσότερος είναι ο διαθέσιμος χώρος ανά άτομο τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της κρίσιμης γωνίας για την εξασφάλιση καλύτερων συνθηκών εκκένωσης και πως οι μεγάλες αποστάσεις δίνουν τη δυνατότητα στο πλήθος να εκτονωθεί πιο εύκολα με αποτέλεσμα τη μείωση του φαινομένου του συνωστισμού.

### 10.3.3 Αποδοτικότητα εξόδου διαφυγής σε σχέση με την απόστασή της από τον πλησιέστερο κάθετο τοίχο

Στόχος της έρευνας ήταν να προσδιοριστεί το κατά πόσο μεταβάλλεται ο χρόνος εκκένωσης με τη μεταβολή της απόστασης της εξόδου διαφυγής από τον πλησιέστερο κάθετο τοίχο, καθώς και να βρεθεί, αν υπάρχει, η βέλτιστη απόσταση. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν έδειξαν ότι υπάρχει άμεση σχέση της αποτελεσματικότητας της εξόδου διαφυγής και πιο συγκεκριμένα του χρόνου εξόδου από αυτήν, ως προς την απόστασή της από τον τοίχο. Από τα αποτελέσματα δημιουργήθηκαν πίνακες και διαγράμματα που παρουσιάζουν τη μεταβολή του χρόνου εκκένωσης ως προς την απόσταση της εξόδου από τον τοίχο, αλλά και ως προς τη μεταβολή του πλήθους των ατόμων που βρίσκονται στο χώρο. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

- Η απόσταση της εξόδου από τον τοίχο επηρεάζει τους χρόνους εκκένωσης. Τις περισσότερες φορές 0,5m είναι αρκετά ώστε να επιτευχθεί μείωση του χρόνου έως και 40% (για πληθυσμό άνω των 100 ατόμων)
- Σε μικρά πλάτη εξόδων η μεταβολή του χρόνου είναι εντονότερη σε σχέση με τα μεγάλα πλάτη, επομένως επιβάλλεται μεγαλύτερη προσοχή στις συμβατικές πόρτες εξόδων διαφυγής (1-2m)
- Όσο αυξάνεται το πλάτος της εξόδου και ο αριθμός των ατόμων, περαιτέρω απομάκρυνση της εξόδου από τον τοίχο μπορεί να οδηγήσει σε εκ νέου αύξηση

του χρόνου εκκένωσης, οπότε σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην τοποθέτηση των εξόδων

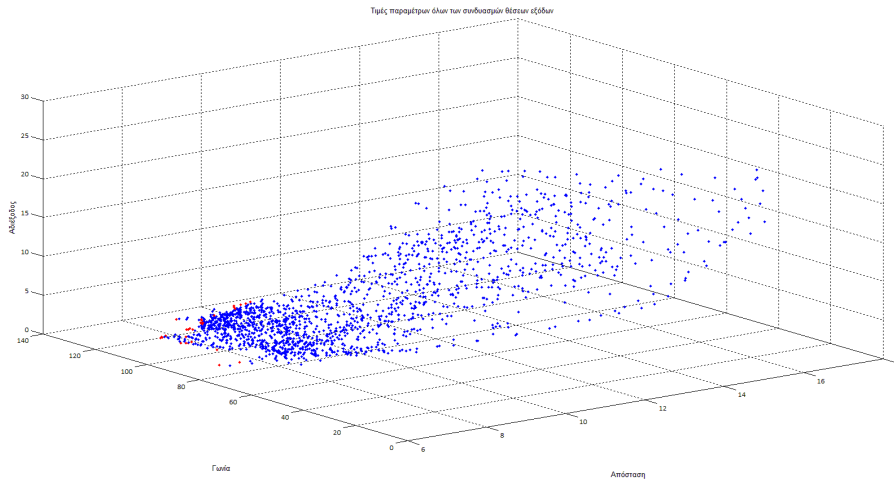
- Μετά από τα τέσσερα μέτρα πλάτος εξόδου διαφυγής, η μεταβολή του χρόνου εκκένωσης ακόμα και για μεγάλο αριθμό ατόμων είναι πολύ μικρή. Αυτό συμβαίνει διότι μειώνεται αισθητά ο χρόνος αναμονής στην πόρτα εξόδου και η προσέγγιση μπορεί να γίνει από διαφορετικές γωνίες και σημεία της πόρτας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, πρακτικά, την εξάλειψη του φαινομένου. Οπότε σε μεγάλα πλάτη εξόδων διαφυγής (π.χ. σε μεγάλους βιομηχανικούς χώρους όπου οι εξοδοί διαφυγής είναι και είσοδοι-εξοδοί βαρέων οχημάτων) η σημασία της θέσης των εξόδων διαφυγής σε σχέση με τον τοίχο είναι μικρή.

Οι πίνακες που προέκυψαν δίνουν ένα ακόμα εργαλείο στο μηχανικό ασφαλείας για την προσέγγιση της βέλτιστης θέσης των εξόδων διαφυγής. Με τα νέα δεδομένα, μετά τον υπολογισμό των βέλτιστων θέσεων διαφυγής σε έναν υπό μελέτη χώρο, η τοποθέτηση στο επιλεγμένο σημείο θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τους **Πίνακες 8.10** έως **8.16**, με βάση το επιλεγμένο πλάτος των εξόδων και το μέγιστο αριθμό των ενοίκων που ενδέχεται να βρίσκονται στο χώρο.

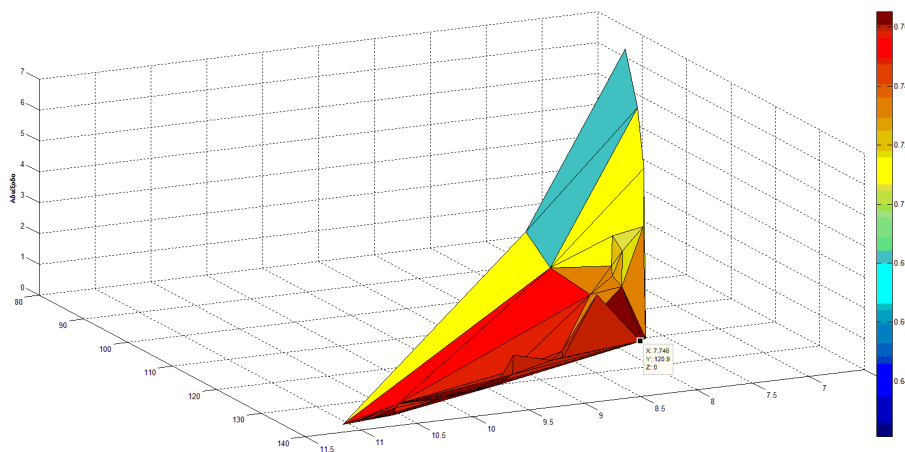
#### **10.4 Έλεγχος συμμόρφωσης και βελτιστοποίηση θέσεων εξόδων διαφυγής**

Αν ένας χώρος συμμορφώνεται με τις διατάξεις και τους κανονισμούς ασφαλείας, με βάση μια τοποθέτηση των οδεύσεων διαφυγής, δεν σημαίνει ότι αποκλείεται η πιθανότητα να υπάρχει ένας ακόμη καλύτερος συνδυασμός, που να παράγει μικρότερους χρόνους εκκένωσης ή συνωστισμού. Έτσι, λοιπόν, αναπτύχθηκε ένας νέος αλγόριθμος και λογισμικό (Exit Locator) το οποίο λαμβάνει υπόψη τις προδιαγραφές των κανονισμών που σχετίζονται με τις θέσεις εξόδων και από τη μία, δίνει άμεσα την εικόνα για τις περιοχές του χώρου που βρίσκονται εντός και εκτός των κανονισμών εκκένωσης, ενώ από την άλλη αξιολογεί κάθε δυνατό συνδυασμό με βάση μια εξίσωση πολλαπλών μεταβλητών. Η διαδικασία αξιολόγησης (Average Performance) ξεκινά πρώτα με τη βαθμολόγηση κάθε κελιού του χώρου και κάθε μεταβλητής ξεχωριστά. Στη συνέχεια οι τιμές κάθε μεταβλητής τοποθετούνται στη συνάρτηση αξιολόγησης, η οποία προκύπτει από το συνδυασμό των επιμέρους συναρτήσεων κάθε μεταβλητής και προκαλεί το τελικό αποτέλεσμα.

Στην περίπτωση που υπάρχουν πολλαπλά κριτήρια βελτιστοποίησης, που μπορεί να είναι αντικρουόμενα μεταξύ τους αλλά έχουν τον ίδιο στόχο (βελτιστοποίηση των διαδικασιών εκκένωσης), είναι απαραίτητη μια εξισορρόπηση για να εξασφαλιστεί ο βέλτιστος συνδυασμός. Τα λογισμικά που πραγματοποιούν την παραπάνω διαδικασία, ουσιαστικά δημιουργούν ένα μέτωπο Παρέτο (Pareto front) (Noesis Solutions). Αφενός υπολογίζονται όλες οι λύσεις και απομονώνονται οι λύσεις Παρέτο (**Εικόνα 10.1**) και αφετέρου προσδιορίζεται το ολικό μέγιστο, δηλαδή η βέλτιστη λύση (**Εικόνα 10.2**). Στην **Εικόνα 10.2** παρουσιάζεται ένα πιθανό μέτωπο Παρέτο με τη χρήση της γενικής συνάρτησης αξιολόγησης, καθώς και η χρωματική κλίμακα που αναφέρεται στις τιμές του Average Performance και οδηγεί στο ολικό μέγιστο.



**Εικόνα 10.1** Λύσεις όλων των συνδυασμών με χρήση της γενικής συνάρτησης αξιολόγησης



**Εικόνα 10.2** Μέτωπο Παρέτο και οπτικός προσδιορισμός ολικού μέγιστου

Για να είναι δυνατός ο προσδιορισμός της καλύτερης δυνατής λύσης μέσα από το σύνολο των βέλτιστων κατά Παρέτο, αναπτύχθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο προσδιορισμού (αλγόριθμος) και ένα σχεδιαστικό περιβάλλον. Για να συμβεί αυτό, πρώτα έγινε μετατροπή των κανονισμών και παραμέτρων εκκένωσης σε μαθηματικές συναρτήσεις, οι οποίες παρουσιάζουν τη συνεισφορά της κάθε παραμέτρου στην αποτελεσματικότητα της εκκένωσης. Η αποτελεσματικότητα της εκκένωσης εκφράστηκε με τη μορφή δύο παραμέτρων, το χρόνο εκκένωσης και το χρόνο συνωστισμού. Ο συνδυασμός των επιμέρους συναρτήσεων οδήγησε στη δημιουργία της γενικής συνάρτησης αξιολόγησης με την οποία προσδιορίζεται η ολική αποτελεσματικότητα της εκκένωσης σε κάθε σημείο του χώρου (κελί). Το σχεδιαστικό περιβάλλον του λογισμικού δίνει αρχικά τη δυνατότητα στο χρήστη να σχεδιάσει τον προς μελέτη χώρο. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να εισάγει τις τιμές των παραμέτρων, των κανονισμών και της συνάρτησης αξιολόγησης ώστε να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός όλων των πιθανών λύσεων. Τέλος, με τη χρήση των

παραπάνω δεδομένων αφενός πραγματοποιείται η βαθμολόγηση όλων των συνδυασμών και τελικά η ταξινόμηση τους (μέτωπο Παρέτο - ολικό μέγιστο) και αφετέρου προσφέρονται οπτικά αποτελέσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα του χώρου στην εκκένωση. Προσδιορίζονται, επίσης, οι περιοχές που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής.

Οι βασικές λειτουργίες που ενσωματώθηκαν στο λογισμικό είναι οι εξής:

- **Συνάρτηση αξιολόγησης**

Με βάση τις μεμονωμένες συναρτήσεις, που προέκυψαν από την αξιολόγηση των παραμέτρων, προέκυψε μια γενικευμένη συνάρτηση αξιολόγησης που δίνει την τελική βαθμολογία του κάθε σημείου (κελιού) στο χώρο, για κάθε συνδυασμό εξόδων διαφυγής και έχει τη μορφή:

$$F = 0,7x_d + 248,4x_a^{-0,58} + 2,4x_e \quad (\text{Εξίσωση 10.2})$$

όπου  $x_d$ ,  $x_a$ ,  $x_e$ , οι μεταβλητές των κανονισμών για την απόσταση (**d**istance), την γωνία (**a**ngle) και το μήκος του αδιεξόδου (**d**ead **e**nd) αντίστοιχα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το λογισμικό αναπτύχθηκε κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ο χρήστης να μπορεί να εισάγει όποιον τύπο συνάρτησης επιθυμεί ώστε να δίνει βαρύτητα σε όποια παράμετρο θέλει, ανάλογα με τη χρήση του χώρου, τον τύπο των ενοίκων κλπ. Η προτεινόμενη, όμως, συνάρτηση αποτελεί ένα τεκμηριωμένο και γενικευμένο τύπο ο οποίος ικανοποιεί απόλυτα πλήθος περιπτώσεων, ενώ δίνει ικανοποιητικές προσεγγίσεις στο σύνολο των περιπτώσεων που μπορούν να προκύψουν.

- **Ιδιότητα Hotness**

Αν όλες οι περιοχές του χώρου είχαν την ίδια σημαντικότητα ως προς την εύρεση βέλτιστης όδευσης διαφυγής, τότε το Average Performance για έναν συγκεκριμένο συνδυασμό εξόδων, θα προέκυπτε από τον υπολογισμό του μέσου όρου των κελιών. Σε περιπτώσεις, όμως που μελετάται ένας πιο πολύπλοκος χώρος, ο οποίος περιλαμβάνει χώρους γραφείων, αποθηκευτικούς χώρους κ.α., οι οποίοι μπορεί να αποτελούν ακόμη και διαφορετικές περιοχές ενός μεγάλου ενιαίου χώρου, τότε θα υπάρχουν περιοχές ή σημεία στο χώρο στα οποία υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να βρίσκονται οι ένοικοι του χώρου σε αντίθεση με κάποια άλλα. Συνεπώς, η όδευση διαφυγής από αυτές της περιοχές - κελιά έχει μεγαλύτερη βαρύτητα. Για το λόγο αυτό, ορίστηκε η ιδιότητα "**Hotness**", η οποία δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίζει τη βαρύτητα κάθε σημείου, με βάση την πιθανότητα να φιλοξενεί ενοίκους. Έτσι λοιπόν, το Average Performance για έναν συγκεκριμένο συνδυασμό εξόδων, προκύπτει από τη χρήση του σταθμικού μέσου όρου:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k (w_i x_i)}{\sum_{i=1}^k (w_i)} = \frac{w_1 x_1 + \dots + w_k x_k}{w_1 + \dots + w_k} \quad (\text{Εξίσωση 10.3})$$

όπου  $w_i$  είναι ο συντελεστής βαρύτητας (τιμές 0 έως 2) του  $i$  στοιχείου και  $x_i$  είναι η βαθμολογία του.

- **Αξιολόγηση συνδυασμών**

Η τελική αξιολόγηση των συνδυασμών γίνεται με τη βοήθεια της γενικής συνάρτησης αξιολόγησης από την οποία προκύπτει το Average Performance (AP) του κάθε συνδυασμού. Το AP δίνει αποτελέσματα σε ποσοστιαία βάση (%) τα οποία ουσιαστικά δηλώνουν το πόσο κοντά ή πόσο μακριά από τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων εκκένωσης βρίσκονται τα επιμέρους κελιά που απαρτίζουν το χώρο

που μελετάται. Εκτός της παραπάνω ιδιότητας, το AP μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια μονάδα μέτρησης και σύγκρισης της αποτελεσματικότητας εκκένωσης κτιρίων και ως επέκταση του βαθμού ασφαλείας τους σε τέτοιες περιπτώσεις.

#### **10.5 Εφαρμογή και επαλήθευση μεθοδολογίας και Exit Locator στον υπόγειο χώρο του Τ.Π.Π.Α.**

Η επαλήθευση του Exit Locator πραγματοποιήθηκε σε έναν υφιστάμενο υπόγειο χώρο, στο συγκρότημα αποθήκευσης επικίνδυνων υλικών στο Τεχνολογικό και Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου. Τα αποτελέσματα συνοπτικά είναι τα εξής:

- Η χρήση του Exit Locator προσφέρει έναν γρήγορο και αποτελεσματικό έλεγχο της συμμόρφωσης του χώρου ως προς τους κανονισμούς ασφαλούς εκκένωσης.
- Ο υπόγειος χώρος συμμορφώνεται με τους κανονισμούς που προβλέπονται στον Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων (Π.Δ. 71/88) και αποτελεί έναν ασφαλή χώρο για εργασία αλλά και για επίσκεψη.
- Αν η χρήση του Exit Locator και της μεθοδολογίας βελτιστοποίησης ήταν δυνατή πριν την κατασκευή του έργου οι έξοδοι (φρέαρ, στοά) θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε εναλλακτικές θέσεις προσφέροντας κατά 7% καλύτερη αποτελεσματικότητα στις διαδικασίες εκκένωσης.

#### **10.6 Η συμβολή της διδακτορική εργασίας. Στοιχεία καινοτομίας και πρωτοτυπίας**

Τα καινοτομικά και πρωτότυπα στοιχεία που συνιστούν τη συμβολή της διδακτορικής εργασίας στην ανάπτυξη της επιστήμης είναι τα εξής:

**Προσδιορίστηκε η επιρροή των μεταβλητών των κανονισμών στην αποτελεσματικότητα της εκκένωσης.** Οι κανονισμοί που περιγράφουν το σωστό σχεδιασμό των σχεδίων ασφαλείας, περιλαμβάνουν και προδιαγραφές οι οποίες σχετίζονται με τις διαδικασίες εκκένωσης. Οι παραπάνω κανονισμοί αν και έχουν προστεθεί τόσο στην Ελληνική όσο και στη διεθνή νομοθεσία, δεν στηρίζονται σε έρευνα που να αποδεικνύει την επιρροή κάθε παραμέτρου στη διαδικασία της εκκένωσης των χώρων.

Συγκεκριμένα, με τη βοήθεια εφαρμογών προσομοίωσης της κίνησης των ανθρώπων κατά την εκκένωση, ελέγχθηκε η επιρροή της κάθε μεταβλητής στην αποτελεσματικότητα της εκκένωσης. Επίσης, αποδείχθηκε η χρησιμότητα του κανονισμού της γωνίας των 45°, που εντάσσεται στον Ελληνικό Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων του Π.Δ. 71/88. Τέλος, προσδιορίστηκε η βέλτιστη τιμή της γωνίας αυτής που πρέπει να λαμβάνεται σε κάθε περίπτωση.

**Αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι ελέγχου συμμόρφωσης των βασικών κανονισμών που αφορούν στα σχέδια εκκένωσης.** Το σύνολο των νέων εργαλείων που αναπτύχθηκαν προσφέρουν στους μηχανικούς ασφαλείας μια καλύτερη άποψη της καταλληλότητας των παρεχόμενων θέσεων εξόδου και μια αποτελεσματικότερη εποπτεία του χώρου, από πλευράς ασφαλείας. Επιπλέον, μπορούν να δώσουν πολύτιμη βοήθεια στο σχεδιασμό και την επιλογή των βέλτιστων θέσεων εξόδων για έναν δεδομένο τύπο κτιρίου ή υπόγειο χώρο. Τέλος, τα εν λόγω εργαλεία βρίσκουν εφαρμογή και σε εγκαταλελειμμένα υπόγεια μεταλλεία, τα οποία προσφέρονται για νέα χρήση καθώς και για υπόγειους χώρους διάφορων χρήσεων (π.χ. χώροι στάθμευσης, αποθήκευση εμπορευμάτων – logistics κ.α.).



**Τεκμηριώθηκε η συμβολή μιας νέας μεταβλητής στη βελτίωση του χρόνου εκκένωσης,** αυτή της απόστασης της πόρτας της εξόδου διαφυγής από τον πλησιέστερο κάθετο τοίχο. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν συνεισφέρουν στην προσέγγιση της βέλτιστης θέσης των εξόδων διαφυγής και συνεπώς της συνολικής διαδικασίας εκκένωσης. Πιο συγκεκριμένα, μετά τον υπολογισμό των θέσεων διαφυγής ώστε να συμμορφώνονται με όλες τις προϋποθέσεις των κανονισμών όπου εμπίπτει ο προς μελέτη χώρος, μπορεί να προσδιοριστεί καλύτερα η ακριβής θέση των εξόδων σε σχέση με την αρχιτεκτονική του κτιρίου.

**Αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο λογισμικό το οποίο προσδιορίζει τις βέλτιστες θέσεις των εξόδων διαφυγής.** Τόσο ο έλεγχος της συμμόρφωσης των κτιρίων με τους κανονισμούς ασφαλείας όσο ακόμα περισσότερο η βελτιστοποίηση των θέσεων των εξόδων διαφυγής αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία. Μέσα από την ανάπτυξη του λογισμικού (Exit Locator), δίνονται δυνατότητες που μέχρι τώρα ήταν ανύπαρκτες ή εξαιρετικά επίπονες. Πιο συγκεκριμένα:

- Ο χρήστης μπορεί να εισαγάγει τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και να επιλέξει τις προϋποθέσεις των κανονισμών στους οποίους εμπίπτει ο χώρος ή ακόμη και να τους προσαρμόσει κατάλληλα, με βάση αποτελέσματα συγκεκριμένων ερευνών. Επίσης, έχει τη δυνατότητα να οριοθετεί τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εξόδων διαφυγής που πρόκειται να υπολογίσει το λογισμικό, όπως το πλάτος της εξόδου, την απόσταση μεταξύ των δυνητικών θέσεων των εξόδων και τις θέσεις τις οποίες επιθυμεί να συμπεριληφθούν στην μελέτη.
- Με βάση τα χαρακτηριστικά που εισάγει ο χρήστης, το λογισμικό πραγματοποιεί ανάλυση, η οποία προσδιορίζει την ικανότητα συμμόρφωσης και την απόδοση κάθε συνδυασμού θέσεων των εξόδων διαφυγής, ως προς τους κανονισμούς ή τις βασικές παραδοχές που επιλέγονται. Από την απόδοση του κάθε συνδυασμού γίνεται η επιλογή των βέλτιστων θέσεων των εξόδων διαφυγής.
- Πέρα από την ολοκληρωμένη ανάλυση για κάθε συνδυασμό θέσεων, υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου απόδοσης συγκεκριμένων συνδυασμών θέσεων που ορίζει ο χρήστης. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο υφιστάμενων χώρων και προσφέρει μια άμεση επισήμανση των περιοχών του χώρου που χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή.
- Υπάρχει η δυνατότητα προσανατολισμού της ανάλυσης για την επιλογή των θέσεων των εξόδων διαφυγής, δίνοντας αυξημένο συντελεστή βαρύτητας σε μια ή περισσότερες μεταβλητές, ως αποτέλεσμα συγκεκριμένης ανάλυσης της επιρροής τους σε ένα συγκεκριμένο χώρο. Γνωρίζοντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του προς εξέταση χώρου (αρχιτεκτονική, χρήση, είδος ενοίκων κτλ), είναι δυνατή μια πιο εξειδικευμένη προσέγγιση.
- Η μέθοδος αξιολόγησης που δημιουργήθηκε βασίστηκε αφενός στη μετατροπή των παραμέτρων της εκκένωσης σε μαθηματικές συναρτήσεις και αφετέρου στην μετατροπή της αποτελεσματικότητας της εκκένωσης σε δύο μετρήσιμους παράγοντες. Με το συνδυασμό των παραπάνω δημιουργήθηκε μια συνάρτηση αξιολόγησης, η οποία "μετράει" την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης σε κάθε σημείο του χώρου. Κατά τον προσδιορισμό της συνάρτησης αξιολόγησης, λήφθηκαν υπ' όψιν τα όρια των παραμέτρων για κάθε χρήση χώρου όπως και όλες οι πιθανές φορτίσεις (πλήθος - πυκνότητα ενοίκων) του χώρου, με αποτέλεσμα η τελική γενικευμένη μορφή της να έχει ένα ευρύτατο πεδίο εφαρμογής, με πολύ καλά αποτελέσματα. Παρόλα αυτά, το λογισμικό δημιουργήθηκε έτσι ώστε να παρέχει στο χρήστη ελευθερία προσαρμογής της συνάρτησης αξιολόγησης.

- Με την εισαγωγή και τον υπολογισμό του Average Performance (AP), δημιουργείται ένα σύστημα βαθμολόγησης και σύγκρισης της αποτελεσματικότητας διαφορετικών χώρων στις διαδικασίες εκκένωσης.

**Η έρευνα συνιστά σημαντική συνεισφορά στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών εκκένωσης.** Χρόνο με το χρόνο γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική η ανάγκη για τους οργανισμούς κάθε είδους, αλλά και τους φορείς αποκατάστασης, να εστιάζουν πάνω στην ετοιμότητα αντιμετώπισης για ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων. Η εκκένωση είναι ένα σημαντικό στοιχείο αυτής της εστίασης. Η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών εκκένωσης, αποτελούν σημαντικό κεφάλαιο στη μείωση των απωλειών (ανθρώπινων και υλικών) κατά την εκδήλωση μιας έκτακτης ανάγκης που απαιτεί εκκένωση του χώρου. Η παραπάνω συμβολή έχει ακόμη μεγαλύτερη σημασία σε υπόγειους χώρους λόγω της ανασφάλειας που συχνά προκαλεί η χρήση τους σε σημαντικά τμήματα του πληθυσμού.

### **10.7 Προτάσεις για συνέχιση της έρευνας (Follow up)**

Μεταξύ των θεμάτων που προκύπτουν από την παρούσα έρευνα προς περαιτέρω διερεύνηση, κρίνονται ως περισσότερο ενδιαφέροντα και σημαντικά τα παρακάτω:

- Διερεύνηση νέων παραμέτρων και μεταβλητών που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης, όπως για παράδειγμα το γεγονός ότι η όδευση διαφυγής των ανθρώπων είναι ίδια με τη διαδρομή διαφυγής του καπνού σε περίπτωση φωτιάς κ.α., που αν αποδειχθούν σημαντικοί πρέπει να ενσωματωθούν στους κανονισμούς αλλά και στη συνάρτηση αξιολόγησης που χρησιμοποιεί το λογισμικό Exit Locator για τον προσδιορισμό των βέλτιστων θέσεων.
- Περαιτέρω ανάπτυξη του Exit Locator, με επιπλέον λειτουργίες και ιδιότητες όπως επιλογή θέσεων εξόδων διαφυγής μέσα στο χώρο, λειτουργία σε τρισδιάστατο πλαίσιο, εισαγωγή αρχείων CAD κλπ.
- Ενσωμάτωση δεδομένων εξέλιξης φωτιάς (FDS - Fire Dynamics Simulator) και διασποράς αερίων.
- Έρευνα για τη μείωση των χρόνων που παρεμβάλλονται μεταξύ της έναρξης του περιστατικού και της έναρξης της μετακίνησης των ανθρώπων προς την έξοδο, που όπως αποδείχθηκε είναι εξίσου σημαντικοί.
- Αξιολόγηση όλων των υπογείων χώρων (και όχι μόνο), με τη χρήση διεθνούς βαθμού ασφαλείας με βάση το Average Performance.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ

Για να επιτευχθεί ένας πιο ρεαλιστικός υπολογισμός ή μια πιο αποτελεσματική λύση, οι μηχανικοί ασφαλείας κάνουν ήδη χρήση μοντέλων εκκένωσης σε υπολογιστές, με σκοπό τη βελτίωση της αξιολόγησης βασικών πτυχών των χαρακτηριστικών ασφαλείας ενός κτιρίου. Προς το παρόν, υπάρχει μια σειρά από μοντέλα εκκένωσης, το καθένα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και λειτουργίες. Τα μοντέλα αυτά περιλαμβάνουν εκείνα που μπορούν να προσφέρουν μια αποτελεσματική χρήση του "χειροκίνητου" υπολογισμού (έχουν τους ίδιους περιορισμούς με τους αποκλειστικά "χειροκίνητους"), μέχρι και αυτά τα μοντέλα που περιλαμβάνουν σύνθετες εξισώσεις και προσομοίωση συμπεριφοράς των ενόικων.

Στο παράρτημα αυτό παρατίθεται μια κατηγοριοποίηση των μοντέλων αυτών, βάση των Kuligowski, Peacock, & Hoskins, 2010, η οποία περιλαμβάνει από τη διαθεσιμότητά τους στο κοινό μέχρι χαρακτηριστικά όπως η μέθοδος μοντελοποίησης, μέθοδος προσομοίωσης συμπεριφοράς ενόικων, εξαγωγή αποτελεσμάτων, οπτική απεικόνιση κ.α.

Μοντέλο	Διαθέσιμο στο κοινό	Μέθοδος Μοντελοποίησης	Σκοπός	Δομή/ Πάγμα	Προοπτική	Συμπεριφορά	Μετακίνηση	Δεδομένα πυρκαγιάς	CAD	Οπτική παρουσίαση	Εγκυρότητα
EVACNET4	Y	M-O	1	C	G	N	UC	N	N	N	FD
WAYOUT	Y	M	5	C	G	N	D	N	N	2-D	FD
STEPS <sup>c</sup>	Y	B	1	F	I	C, P	P, E	Y1,2	Y	2,3-D	C, FD, PE
PEDROUTE	Y	PB	3	C	G	I	D	N	Y	2,3-D	N
Simulex <sup>b</sup>	Y	PB	1	Co.	I	I	ID	N	Y	2-D	FD, PE, 3P
GridFlow	Y	PB	1	Co.	I	I	D	N	Y	2,3-D	FD, PE
FDS+Evac <sup>c</sup>	Y	PB	1	Co.	I	I, C, P	ID	Y3	N/Y	2,3-D	FD, PE, OM
Pathfinder 2009 <sup>c</sup>	Y	PB	1	Co.	I/G	I	D, ID	N	Y	2,3-D	C, FD, PE, OM
SimWalk <sup>c</sup>	Y	PB	1,3	Co.	I	C, P	P	N	Y	2,3-D	FD, PE, 3P
PEDFLOW <sup>c</sup>	Y	B	1	Co.	I	C, P	ID	Y2	Y	2,3-D	PE
PedGo <sup>c</sup>	Y, N1	PB/B	1	F	I/G	I/C, P	P, E (CA), C	Y2	Y	2,3-D	FD, PE, OM, 3P
ASERJ <sup>c</sup>	Y	B-RA	1	Co.	I	C, P	ID	Y1,2	Y	2,3-D	FD, PE
BldEXO <sup>b</sup>	Y	B	1	F	I	C, P	P, E	Y1,2	Y	2,3-D	FD, PE, OM, 3P
Legion <sup>c</sup>	Y, N1	B	1	Co.	I	AI, P	ID, C	Y1	Y	2,3-D	C, FD, PE, 3P
SpaceSensor <sup>c</sup>	Y	B	3	Co.	I	C, P	C, Ac K	N	Y	2,3-D	FD, OM
EPT <sup>c</sup>	Y, N1	B	1	F	I	AI	UC, C	Y2	Y	2,3-D	FD
Myriad II <sup>c</sup>	Y, N1	B	1	C, F, Co.	I	AI	D, UC, IP, Ac K	Y1	Y	2,3-D	PE, 3P
MassMotion <sup>c</sup>	Y, N1	B	1	Co.	I/G	AI, P	C	N	Y	2,3-D	C, FD, PE, OM
PathFinder	N1	M	1	F	I/G	N	D	N	Y	2-D	N
ALLSAFE	N1	PB	5	C	G	I	Un_F	Y1,2	N	2-D	OM
CRISP	N1	B-RA	1	F	I	C, P	E, D	Y3	Y	2,3-D	FD
EGRESS 2002	N1	B	1	F	I	C, P	P, D (CA)	Y2	N	2-D	FD
SGEM <sup>c</sup>	N1	PB	1	Co.	I	I	D	N	Y	2-D	FD, OM
EXIT89 <sup>c</sup>	N2	PB	1	C	I	I/C, P	D	Y1	N	N	FD, 3P
MASSEgress <sup>b</sup>	N2	B	1	Co.	I	C, AI	C	N	Y	2,3-D	PE, OM
EvacuatioNZ <sup>c</sup>	N2	B	1	C	I/G	I, C, P	D, UC	Y2	Y	2-D	FD, PE, OM

Πίνακας Π 1 Κύρια χαρακτηριστικά μοντέλων εκκένωσης

## Κύρια χαρακτηριστικά

Τα μοντέλα που περιλαμβάνονται στον **Πίνακα Π 1** κατηγοριοποιούνται από τα κύρια χαρακτηριστικά τους, τα οποία περιλαμβάνουν τα εξής:

- Διαθεσιμότητα μοντέλου
- Μέθοδος μοντελοποίησης
- Σκοπός μοντέλου
- Τύπος πλέγματος / δομής του μοντέλου
- Προοπτική μοντέλου και ενοίκων
- Συμπεριφορά ανθρώπων-ενοίκων
- Κίνηση των ενοίκων
- Ενσωμάτωση δεδομένων εξέλιξης πυρκαγιάς
- Συνεργασία με ψηφιακά σχέδια (CAD)
- Μεθόδους απεικόνισης - οπτικοποίησης
- Μέθοδοι επικύρωσης - εγκυρότητας

## Διαθεσιμότητα

Στον **Πίνακα Π 1**, τα μοντέλα που είναι διαθέσιμα στο κοινό δωρεάν ή με κάποιο κόστος επισημαίνονται με ένα "Y", τα μοντέλα που είναι διαθέσιμα μόνο μέσω της εταιρείας ανάπτυξης (το μοντέλο χρησιμοποιείται για τον πελάτη με βάση την παροχή συμβουλών) είναι επισημασμένα με "N1", και τα μοντέλα που δεν έχουν κυκλοφορήσει για εμπορική χρήση, είναι χαρακτηρισμένα με "N2".

## Μέθοδος μοντελοποίησης

Αυτή η κατηγορία περιγράφει τη μέθοδο της μοντελοποίησης που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των χρόνων εκκένωσης των κτιρίων. Σύμφωνα με την κατηγορία μοντελοποίησης, στα μοντέλα έχει αποδοθεί μία από τις ακόλουθες τρεις ετικέτες:

- **Μοντέλα συμπεριφοράς-"Behavioural models" (B):** τα μοντέλα αυτά ενσωματώνουν διάφορες ενέργειες των ανθρώπων-ενοίκων σε συμπλήρωση της κίνησης προς ένα καθορισμένο στόχο (έξοδος). Τα μοντέλα αυτά μπορεί επίσης να ενσωματώσουν τη λήψη αποφάσεων των ενοίκων. Τα μοντέλα που έχουν τις δυνατότητες αξιολόγησης του κινδύνου, χαρακτηρίζονται με **(B-RA)**
- **Μοντέλα κίνησης-"Movement models" (M):** στα μοντέλα οι ένοικοι μετακινούνται από ένα σημείο του χώρου σε ένα άλλο (συνήθως προς τη έξοδο ή σε θέση ασφαλείας), χωρίς να υπολογίζουν την ανθρώπινη συμπεριφορά. Αυτά τα μοντέλα είναι χρήσιμα στην απεικόνιση των περιοχών συμφόρησης εντός του προσομοιωμένου χώρου. Για τα ειδικά μοντέλα βελτιστοποίησης δίνεται η ετικέτα **(MO)**
- **Μοντέλα μερικής συμπεριφοράς-"Partial behavior models" (PB):** τα μοντέλα αυτά υπολογίζουν κατά κύριο λόγο την κίνηση των ενοίκων, αλλά αρχίζουν να προσομοιώνουν συμπεριφορές. Πιθανές συμπεριφορές μεταξύ των ενοίκων θα μπορούσαν να αναπαρασταθούν σε καταστάσεις πριν την έναρξη της εκκένωσης, καθώς και ενσωμάτωση άλλων συμπεριφορών όπως αλλαγής πορείας (προσπέραση) και μερικές συνέπειες στην κίνηση των ενοίκων από την εισαγωγή του καπνού. Ωστόσο, αυτά τα μοντέλα δεν προσομοιώνουν τη σαφή λήψη αποφάσεων των ενοίκων.

## Σκοπός

Αυτή η υποκατηγορία περιγράφει τη χρήση του μοντέλου, όσον αφορά στους τύπους των χώρων. Μερικά από τα μοντέλα επικεντρώνουν τις λειτουργίες τους για χρήση σε ένα συγκεκριμένο τύπο κτιρίου και άλλα μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε ένα ευρύ φάσμα χώρων. Οι κατηγορίες που επισημαίνονται στον **Πίνακα Π 1**, περιλαμβάνουν μοντέλα που μπορεί να προσομοιώσουν κάθε είδους χώρων **(1)**, μοντέλα που ειδικεύονται σε κατοικίες **(2)**, μοντέλα που ειδικεύονται σε δημόσιους σταθμούς μεταφορών **(3)**, μοντέλα που είναι πιο κατάλληλα για προσομοίωση χαμηλών κτιρίων (χαμηλότερα από 15 ορόφους) **(4)** και μοντέλα που προσομοιώνουν μόνο μια έξοδο του κτιρίου **(5)**.

## Τύπος πλέγματος / δομής του μοντέλου

Η υποκατηγορία αυτή, χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της μεθόδου της κίνησης των ενοίκων σε ολόκληρο το χώρο. Ένα πυκνό δίκτυο-*fine network* **(F)**, χωρίζει την κάτοψη του μοντέλου σε μια σειρά από μικρά κελιά που οι ένοικοι μετακινούνται από και προς αυτές. Σε ένα πυκνό δίκτυο, τα κελιά συνήθως επιτρέπουν τη χρήση μόνο από ένα άτομο μια συγκεκριμένη στιγμή και συχνά το μέγεθος τους είναι 0,5 m επί 0,5 m (χώρος που απαιτείται για ένα άτομο). Τα μοντέλα με αραιό δικτύου-*coarse network* **(C)** χωρίζουν την κάτοψη σε δωμάτια, διαδρόμους, κλιμακοστάσια, κλπ. και οι ένοικοι μετακινούνται από το ένα δωμάτιο/τομέα του χώρου σε ένα άλλο. Προφανώς, πολλοί ένοικοι μπορούν να καταλαμβάνουν την ίδια περιοχή ταυτόχρονα. Σε ένα μοντέλο με συνεχές δίκτυο-*continuous network* **(Co.)**, εφαρμόζεται ένα 2-D (συνεχές) επίπεδο στις κατόψεις του κτιρίου, επιτρέποντας στους ενοίκους να μετακινούνται από ένα σημείο στο χώρο σε ένα άλλο, σε όλο το χώρο. Οι ένοικοι δε συνδέονται με κάποιο κελί του χώρου, αλλά συχνά υπάρχουν κανόνες που περιορίζουν την ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους. Τα πυκνά και τα συνεχή δίκτυα έχουν την ικανότητα να προσομοιώνουν την παρουσία εμποδίων στο χώρο, τα οποία επηρεάζουν την επιλογή των ενοίκων για τη διαδρομή που θα ακολουθήσουν προς την έξοδο, ενώ στα αραιά δίκτυα οι ένοικοι μετακινούνται μόνο από ένα τμήμα του χώρου σε άλλο.

## Προοπτική μοντέλου και ενοίκων

Η υποκατηγορία αυτή εξηγεί πως το μοντέλο αντιλαμβάνεται τους ενοίκους και πώς οι ένοικοι αντιλαμβάνονται το χώρο.

1. Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους ένα μοντέλο μπορεί να αντιληφθεί το άτομο: σε γενικό επίπεδο **(G)** και ατομικά **(I)**. Μια ατομική προοπτική του μοντέλου πραγματοποιείται όταν το μοντέλο παρακολουθεί την κίνηση των ενοίκων σε όλη την προσομοίωση και μπορεί να δώσει πληροφορίες για τον καθένα (π.χ. θέση σε χρονικά σημεία κατά τη διάρκεια της εκκένωσης). Όταν το μοντέλο έχει γενική άποψη των ενοίκων, τότε τους αντιλαμβάνεται ως μια ομοιογενή ομάδα ατόμων. Σε αυτή την περίπτωση, είναι δυνατός ο προσδιορισμός της πυκνότητας και της μέσης ταχύτητας σε μια δεδομένη στιγμή και τοποθεσία, αλλά είναι αδύνατον να ελέγχονται ατομικά οι ένοικοι καθώς κινούνται προς την έξοδο. Είναι σαφές ότι η ατομική προοπτική είναι πιο λεπτομερής, δεδομένου ότι η θέση του κάθε ατόμου είναι γνωστή ανά πάσα στιγμή, αλλά εξαρτάται από το σκοπό της προσομοίωσης ως προς το ποια εναλλακτική προοπτική είναι η καλύτερη.
2. Ο ένοικος επίσης μπορεί να αντιληφθεί το χώρο είτε σε γενικό επίπεδο **(G)** είτε σε μεμονωμένο επίπεδο **(I)**. Η μεμονωμένη προοπτική του κτιρίου προς τον ένοικο, δεν επιτρέπει στον ένοικο να γνωρίζει όλα τα μονοπάτια - οδεύσεις και τις εξόδους του κτιρίου και η επιλογή της διαδρομής βασίζεται σε καθορισμένα από το χρήστη

κριτήρια (π.χ. κατά την έναρξη της εκκένωσης όλοι οι ένοικοι μπορεί να γνωρίζουν την κύρια είσοδο, αλλά μόνο μερικοί μπορεί να γνωρίζουν τις διαδρομές για τις άλλες εξόδους), πληροφορίες των επιπέδων, προσωπική εμπειρία, ενώ σε ορισμένα μοντέλα, λαμβάνονται και πληροφορίες από τους γύρω ενοίκους. Από την άλλη, σε μια γενική προοπτική, όλοι οι ένοικοι γνωρίζουν αυτόματα τη βέλτιστη όδευση διαφυγής (π.χ. ταχύτερη, κοντινότερη, κλπ.) και λειτουργούν σαν να έχουν μια ολοκληρωμένη άποψη του κτιρίου. Η μεμονωμένη προσέγγιση απαιτεί υπολογιστική ισχύ, ενώ η γενική προσέγγιση είναι προτιμότερη για χώρους όπου υπάρχει μεγάλη εξοικείωση των ενοίκων με το χώρο και με τις διαφορετικές διαδρομές εξόδου.

### Συμπεριφορά ανθρώπων-ενοίκων

Η συμπεριφορά των ενοίκων αναπαριστάται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους στα μοντέλα εκκένωσης. Οι χαρακτηρισμοί που δίνονται στον **Πίνακα Π 1** είναι οι εξής:

- Καμία συμπεριφορά (**N**): δηλώνει ότι η μόνη προσομοίωση είναι η κίνηση της εκκένωσης
- Έμμεση συμπεριφορά (**I**): αντιπροσωπεύει τα μοντέλα που προσπαθούν να προσομοιώσουν τη συμπεριφορά έμμεσα, ενσωματώνοντας ορισμένες καθυστερήσεις απόκρισης ή χαρακτηριστικά των ενοίκων που επηρεάζουν την κίνηση σε όλη την εκκένωση
- Υπό όρους (ή με προϋποθέσεις) (**C**): σε αυτά τα μοντέλα, η συμπεριφορά ενσωματώνεται ως επιμέρους δράσεις ενός ατόμου ή συνόλου ενοίκων, με βάση τις τοπικές συνθήκες π.χ. κτιριακές ή περιβαλλοντικές συνθήκες της εκκένωσης ("εάν...τότε", συνθήκες)
- Τεχνητή νοημοσύνη (**AI**): η συμπεριφορά αυτή προσπαθεί να μιμηθεί την ανθρώπινη νοημοσύνη σε όλη τη διαδικασία εκκένωσης
- Πιθανολογική (**P**): αντιπροσωπεύει ότι πολλά μοντέλα που ενσωματώνουν την συμπεριφορά υπό όρους (ή με προϋποθέσεις), το κάνουν με στοχαστικό τρόπο, επιτρέποντας διακυμάνσεις στα αποτελέσματα με την επανάληψη προσομοιώσεων

### Κίνηση των ενοίκων

Η υποκατηγορία αυτή αναφέρεται στον τρόπο κίνησης των ενοίκων, βασισμένη σε κάποιον αλγόριθμο. Ορισμένα μοντέλα μπορεί να επιτρέπουν στο χρήστη να καθορίσει άλλες μεθόδους. Στα περισσότερα μοντέλα, οι ένοικοι έχουν συνήθως μια συγκεκριμένη ταχύτητα, που καθορίζεται από το χρήστη ή τη μέθοδο μοντελοποίησης. Οι μεγαλύτερες διαφορές προσομοίωσης στα μοντέλα συμβαίνουν όταν οι ένοικοι βρεθούν σε πολύ κοντινές αποστάσεις, με αποτέλεσμα να αυξηθεί πολύ η τοπική πυκνότητα, η αναμονή σε ουρά και η κυκλοφοριακή συμφόρηση στο χώρο.

- Αντιστοιχία πυκνότητας (**D**): Στα μοντέλα αυτά, η ταχύτητα και η ροή των ατόμων ή των ομάδων, υπολογίζεται με βάση την πυκνότητά τους στους χώρους. Υπάρχουν τρεις πηγές που χρησιμοποιούνται συνήθως σε μοντέλα εκκένωσης για τον υπολογισμό της κίνησης σε σχέση με την πυκνότητα, κατά Fruin 1987, κατά Pauls 1995, και κατά Predtechenskii & Milinskii 1978

- Επιλογή χρήστη (**UC**): Ο χρήστης ορίζει την ταχύτητα, τη ροή, και την πυκνότητα σε ορισμένους χώρους του κτιρίου
- Απόσταση μεταξύ των ενοίκων (**ID**): Κάθε άτομο βρίσκεται εντός φυσαλίδας που το αναγκάζει να έχει μια ορισμένη ελάχιστη απόσταση από τους άλλους ενοίκους, τα εμπόδια, και τα συστατικά του χώρου (τοιχοί, γωνίες, κιγκλιδώματα, κλπ.)
- Δυναμικό (**P**): Σε κάθε κελί στο χώρο δίνεται μια συγκεκριμένη αξία ή δυναμική, από το οποίο θα κινηθούν οι ένοικοι σε όλο το χώρο προς ορισμένες κατευθύνσεις. Οι ένοικοι ακολουθούν έναν δυναμικό χάρτη και προσπαθούν να μειώσουν το δυναμικό τους με κάθε βήμα ή κελί στο οποία μετακινούνται. Το δυναμικό της διαδρομής μπορεί να μεταβληθεί με διάφορες μεταβλητές, όπως η υπομονή του ατόμου, η ελκυστικότητα της εξόδου, η εξοικείωση του ατόμου με το χώρο, κλπ. (οι οποίες συνήθως καθορίζονται από το χρήστη)
- Διαθεσιμότητα του επόμενου κελιού (**E**): Σε ορισμένα μοντέλα, ο ένοικος δεν μπορεί να μετακινηθεί σε ένα κελί που έχει ήδη καταληφθεί από κάποιον άλλο. Ως εκ τούτου, ο ένοικος θα περιμένει μέχρι να ελευθερωθεί το επόμενο κελί και το μοντέλο αναλαμβάνει να ορίζει ποιός θα μετακινηθεί πρώτος αν υπάρχουν περισσότεροι από ένας ένοικοι σε αναμονή
- Υπό όρους (**C**): Σε αυτά τα μοντέλα η μετακίνηση σε όλο το χώρο εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, τη δομή, τους άλλους ένοικους, και τα δεδομένα της πυρκαγιάς (εφόσον υπάρχουν). Σε αυτή την περίπτωση, δεν δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην κυκλοφοριακή συμφόρηση στο εσωτερικό του χώρου.
- Εμπειρική (**Ac\_K**): Σε αυτή την περίπτωση, η κίνηση βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στη γνώση-εμπειρία που αποκτάται κατά τη διάρκεια της εκκένωσης. Σε αυτά τα μοντέλα δεν υπάρχει πραγματικός αλγόριθμος κίνησης, επειδή δεν υπολογίζεται ο χρόνος εκκένωσης
- Ανεμπόδιστη ροή (**Un\_F**): Σε τέτοια μοντέλα, υπολογίζεται μόνο η ανεμπόδιστη κίνηση των ενοίκων. Από τον υπολογισμένο χρόνο εκκένωσης, προστίθενται ή αφαιρείται ο χρόνος καθυστέρησης και οι χρόνοι βελτίωσης, ώστε να εξαχθεί το τελικό αποτέλεσμα του χρόνου εκκένωσης
- Κυψελοειδείς αυτοματισμοί (**CA**): Οι ένοικοι σε αυτή την κίνηση μετακινούνται από ένα κελί σε ένα άλλο με τη χρήση μιας προσομοιωμένης σταθμισμένης μήτρας (Carpenter & Olenick, 2003)

### Ενσωμάτωση δεδομένων εξέλιξης πυρκαγιάς

Η υποκατηγορία αυτή, δίνει πληροφορίες σχετικές με το αν το μοντέλο επιτρέπει στο χρήστη να ενσωματώσει τις επιπτώσεις της φωτιάς στην προσομοίωση της εκκένωσης. Ωστόσο, τα μοντέλα ενσωματώνουν αυτά τα δεδομένα με ποικίλους τρόπους. Το μοντέλο μπορεί να ενσωματώνει τα δεδομένα της φωτιάς με τους ακόλουθους τρόπους: Εισαγωγή δεδομένων πυρκαγιάς, που έχουν προσομοιωθεί και εξαχθεί από άλλο μοντέλο (**Y1**), επιτρέποντας στο χρήστη να εισάγει συγκεκριμένα δεδομένα πυρκαγιάς σε συγκεκριμένες στιγμές κατά τη διάρκεια της εκκένωσης (**Y2**) ή το μοντέλο μπορεί να έχει ενσωματωμένη μια εφαρμογή προσομοίωσης πυρκαγιάς και μπορεί να λειτουργεί ταυτόχρονα με τη λειτουργία εκκένωσης (**Y3**). Εάν το μοντέλο δεν μπορεί να ενσωματώνει δεδομένα φωτιάς, τότε χαρακτηρίζεται με (**N**). Εκτός από το πλεονέκτημα να λαμβάνονται τα δεδομένα της πυρκαγιάς, ένα πολύ σημαντικό θέμα είναι το πώς το μοντέλο διαχειρίζεται αυτά τα δεδομένα μέσα στις προσομοιώσεις.



## Συνεργασία με ψηφιακά σχέδια (CAD)

Στην υποκατηγορία αυτή, προσδιορίζεται αν το μοντέλο επιτρέπει στο χρήστη να εισάγει ψηφιακά σχέδια (CAD), ή άλλα αρχεία που περιέχουν το σχεδιάγραμμα του κτιρίου, μέσα στο μοντέλο. Σε πολλές περιπτώσεις, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για εξοικονόμηση χρόνου και μεγαλύτερη ακρίβεια. Εάν το μοντέλο επιτρέπει την είσοδο σχεδίων CAD, χαρακτηρίζεται με **(Y)**, ενώ αν όχι με **(N)**.

## Μέθοδος απεικόνισης - οπτικοποίησης

Στην υποκατηγορία προσδιορίζεται η ικανότητα του μοντέλου να παρέχει στο χρήστη οπτική εικόνα της διαδικασίας εκκένωσης. Οι απεικονίσεις της εκκένωσης επιτρέπουν στο χρήστη να παρατηρεί τα σημεία συμφόρησης και τις επιβαρυμένες περιοχές του κτιρίου. Πολλά μοντέλα επιτρέπουν μια δισδιάστατη απεικόνιση **(2-D)**, ενώ τα πιο πρόσφατα έχουν τη δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης **(3-D)**. Άλλα μοντέλα δεν έχουν καμία δυνατότητα απεικόνισης **(N)**. Για χρήστες που δεν είναι εξοικειωμένοι με το χώρο ή σε περιπτώσεις με πολύπλοκες γεωμετρίες, η οπτικοποίηση παρέχει μια καλύτερη αίσθηση των γεγονότων που λαμβάνουν χώρα.

## Μέθοδοι επικύρωσης - εγκυρότητας

Επίσης, τα μοντέλα χαρακτηρίζονται από τη μέθοδο επικύρωσης, δηλαδή, τη διαδικασία προσδιορισμού και το βαθμό στον οποίο το μοντέλο και τα υποκείμενα δεδομένα είναι ακριβείς αναπαραστάσεις του πραγματικού κόσμου. Οι τρέχουσες διαδικασίες επικύρωσης μοντέλων εκκένωσης είναι οι εξής: επικύρωση μέσω κώδικα **(C)**, επικύρωση από ασκήσεις πυρκαγιάς ή δοκιμές εκκένωσης **(FD)**, την επικύρωση μέσω της βιβλιογραφίας από δοκιμές εκκένωσης (ρυθμοί ροής, κλπ) **(PE)**, την επικύρωση από άλλα μοντέλα **(OM)** και επικύρωση από τρίτους **(3P)** (δηλαδή άλλη ομάδα εκτός αυτής που ανέπτυξε το μοντέλο). Για τα μοντέλα που δεν υπάρχει καμία ένδειξη της επικύρωσης δίνεται ο χαρακτηρισμός **(N)**.

Τέλος, υπάρχουν και άλλες ειδικές δυνατότητες που μπορεί να περιλαμβάνει στις λειτουργίες του ένα μοντέλο. Αυτές είναι:

- Αντιστροφή ροής
- Εισαγωγή εμποδίων και μπλοκαρισμένων εξόδων
- Επιρροή συμπεριφοράς από πυρκαγιά
- Τοξικότητα στους ενοίκους (βαθμός επιρροής)
- Ορισμός ομάδων
- Εισαγωγή ατόμων με ειδικές ανάγκες
- Καθυστερήσεις/υπολογισμός χρόνων πριν την έναρξη της εκκένωσης
- Χρήση ανελκυστήρων
- Επιλογή διαδρομής ενοίκων

## Βιβλιογραφία

- ADA. (1990). *Americas with Disabilities Act*. United States Code.
- Anghelache, O. (2012, June 27). *Top 10 Natural Disasters*. Ανάκτηση June 04, 2013, από Landscape Architects Network : <http://landarchs.com/top-10-natural-disasters/>
- Australia Emergency Management. (2005). *Australian Emergency Manual Series - Evacuation planning\_Manual Number 11*. Dickson: Commonwealth of Australia.
- Australian Building Codes Board. (2004). *Building Code of Australia*. Canberra: CanPrint Communications Pty Ltd on behalf of the ABCB.
- Bennett, B., Repacholi, M., & Carr, Z. (2006). *Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes*. Geneva: World Health Organization.
- Bertazzi, P. A. (2011). *Disasters and Major Accidents*. Ανάκτηση June 04, 2013, από ILO Encyclopaedia of Occupational Health & Safety: <http://www.ilo.org/oshenc/part-vi/disasters-natural-and-technological/item/363-disasters-and-major-accidents>
- British Standard Institutue. (1991). *Fire Safety Engineering in Buildings, Part 1: Guide to the Application of Fire Safety Engineering Principles*. London: British Standard Institutue, DD240.
- Candy, M. N., & Chow, W. (2006). A Brief Review on the Time Line Concept in Evacuation. *International Journal on Architectural Science* , Volume 7, Number 1, p.1-13.
- Carpenter, D. J., & Olenick, S. M. (2003). Updated international survey of computer models for fire and smoke. *Journal of* , 87-110.
- Casavant, D. A. (2007). *Emergency Preparedness for Facilities: A Guide to Safety Planning and Business Continuity*. Plymouth: Government Institutes.
- Cenaero ASBL. (n.d.). *Software-Pareto front*. Ανάκτηση June 11, 2013, από Canaero: <http://www.cenaero.be/Page.asp?docid=27103&langue=EN>
- Chien et al., S.-W. (2004). A Study on the People Evacuation Safety for the Underground MRT Station. *6th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology* (σσ. 292-304). Daegu, Korea: International Association for Fire Safety Science.
- Confederation of Fire Protection Association Europe. (2009). *European Guidelines, Fire Safety Engineering concerning Evacuation from Buildings*. Zurich, Stockholm: CFPA.
- Confederation of Fire Protection Association Europe. (2011). *European Guidelines, Fire safety in apartment buildings*. Zurich, Stockholm: CFPA.
- Deb, K. (2011). *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms:An Introduction*. Kanpur: Kanpur Genetic Algorithms Laboratory.
- Drury et.al., J. (2013). The ESRC research project. Brighton, United Kingdom.

- E. Ronchi, D. A. (2010). Human Behavior in Tunnel Fires: Comparison Between Egress Modes (FDS+EVAC, STEPS, Pathfinder). *INTERFLAM10*, (σσ. 837-848). Nottingham (UK).
- Efthimia K. Mihailidou, K. D. (2012). The 319 Major Industrial Accidents Since 1917. *I.RE.C.H.E.* (σσ. Vol. 4, N. 6, 529-540). Praise Worthy Prize.
- Ellen-Wien Augustijn-Beckers, J. F. (2010). Investigating the effect of different pre-evacuation behavior and exit choice strategies using agent-based modeling . *Procedia Engineering* , 23-35.
- EM-DAT, T. O. (2014). EM-DAT Database. Université Catholique de Louvain, Brussels (Belgium). Ανάκτηση 2014, από EM-DAT The International Disaster Database: [www.emdat.be](http://www.emdat.be)
- Emergency Management Queensland, D. o., & Disaster Management Act, 2. (2012). *Standard Emergency Warning Signal (SEWS)*. Brisbane: The State of Queensland.
- Erickson, P. A. (2006). *Emergency Response Planning for Corporate and Municipal Managers, Second Edition*. Paxton, Massachusetts: Elsevier Butterworth–Heinemann.
- Giuseppe Narzisi. (2008). *Multi-Objective Optimization: A quick introduction*. New York University.
- Gustin, J. F. (2007). *Disaster & Recovery Planning: A Guide fro Facility Managers, Fourth edition*. Lilburn, Georgia: The Fairmont Press, Inc.
- Hui Xie. (2011). Investigation into the Interaction of People with Signage Systems and its Implementation Within Evacuation Models, Ph.D. Thesis. University of Greenwich.
- Hwang, C.-L., & Masud, A. S. (1979). *Multiple objective decision making, methods and applications: a state-of-the-art survey*.
- IFRCRCS. (1993). *Disasters and Major Accidents*. Ανάκτηση Ιούλιος 06, 2013, από ILO Encyclopaedia of Health & Safety: <http://www.ilo.org/oshenc/part-vi/disasters-natural-and-technological/item/363-disasters-and-major-accidents>
- International Nuclear Safety Advisory Group, I. (1992). *The Chernobyl Accident:Updating of INSAG-1*. Vienna: IAEA.
- Kallianiotis, A., & Kaliampakos, D. (2012). Improving Evacuation Plans in Underground Spaces: The Role of Emergency Exits Location. *13th World Conference of ACUUS: Advances in Underground Space Development* (σσ. 100-102). Singapore: Research Publishing.
- Kuligowski, E. D., Peacock, R. D., & Hoskins, B. L. (2010). A Review of Building Evacuation Models, 2nd edition. *National Institute of Standards and Technology* , Technical Note 1680.
- Laboratories, S. N. (2005). *Identifications and Analysis of Factors Affecting Emergency Evacuations*. Washington: Sandia National Laboratories.
- Lars Benthorn, H. F. (1996). Fire Alarm in a Public Building: How do people evaluate information and choose evacuation exit? Lund.

M.J Kinsey, E. G. (2010). Stairs or Lifts? - A Study of Human Factors Associated with Lift/Elevator Usage During Evacuations Using an Online Survey . *PED2010*. Maryland: NIST.

Miettinen, K. (1998). *Nonlinear Multiobjective Optimization*. Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.

Mihailidou, E. K., Antoniadis, K. D., & Assael, M. J. (2012). The 319 Major Industrial Accidents Since 1917. *International Review of Chemical Engineering (I.RE.CH.E.)* , Vol. 4, N. 6, 529-540.

Mills, H. (2000). *Artful Persuasion: How to Command Attention. Change Minds, and Influence People*. Amacom.

National Fire Protection Association. (2009). *Life Safety Code*. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association.

National Fire Protection Association. (1999). *NFPA 520 Standard on Subterranean Spaces*. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association.

National Fire Protection Association. (2010). *Standard on Disaster/Emergency Management and Business Continuity Programs*. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association.

National Interagency Fire Center. (1994). *Incident Command System National Training Curriculum Module 3*. Boise: National Interagency Fire Center.

Nelson, H. E., & Mowrer, F. W. (2002). Emergency Movement. Στο Philip J. DiNenno et.al., *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (σσ. 367-380). Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association.

Nelson, H. E., & Mowrer, F. W. (2002). Emergency Movement. Στο Philip J. DiNenno et.al., *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (σσ. 367-380). Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association.

Noesis Solutions. (n.d.). *Multi-Objective Optimization*. Ανάκτηση June 11, 2013, από Design for real optimus: <http://www.noesisolutions.com/Noesis/design-optimization/optimize/multi-objective-optimization>

Peter van de Leur. (2005). Building evacuation, rules and reality. *HERON* , 237-246.

Preparedness LLC. (2009). *Emergency\_Management\_Business\_Continuity\_Program\_Self-Assessment.pdf*. Sharon, MA: Preparedness, LLC.

Proulx, G. (1995). Evacuation time and movement in apartment buildings. *Fire Safety Journal, Volume 24, Issue 3* , , 229–246.

Proulx, G. (2002). Movement of People: The Evacuation Timing. Στο P. J. et.al., *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (σσ. Section 3, 342-366). Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association.

Proulx, G., & Hadjisophocleous, G. (1994). Occupant Response. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Fire Safety Science* (σσ. 841-852 ). Ottawa, Canada: International Association for Fire Safety Science.

Purser, D. (2003). ASET and RSET: addressing some issues in relation to occupant behaviour and tenability. *Fire Safety Science - Proceedings of the Seventh International Symposium* (σσ. 91-102). Worcester: International Association for Fire Safety Science.

Rausand, M. (2004). *System Reliability Theory*. Hoboken, New Jersey: Wiley.

Richard D. Peacock, E. D. (2011). *Pedestrian and Evacuation Dynamics*. Gaithersburg: Springer.

Robert L. Brady, M. A. (2006). *Accident Investigation: Proven Strategies to Make Yours a Tool for Prevention*. Business & Legal Reports, BLR.

Rose Challenger, C. W. (2009). *Understanding Crowd Behaviours: Supporting Documentation*. Emergency Planning College.

Salmensaari, T. (2010). *Safety in Long Subsea Rail Tunnels*. Helsinki: Aalto University.

Saunders, T. (2013, Φεβρουάριος 29). *Η φυσική του συνωστισμού*. Ανάκτηση Μάρτιος 27, 2013, από Science in School: <http://www.scienceinschool.org/2011/issue21/crowding/greek>

Schofield, D., Drury, J., & Reicher, S. (2004). *The ESRC research project*. Ανάκτηση March 27, 2013, από Effects of social identity on responses to mass emergency evacuation: <http://www.sussex.ac.uk/affiliates/panic/>

Smith, K., Fieldsend, J., & Everson, R. (n.d.). *Multi-objective simulated annealing*. Ανάκτηση June 11, 2013, από University of EXETER: <http://emps.exeter.ac.uk/computer-science/research/computer-science/research-interests/optimisation/mosa/>

Sorensen, J. H. (1991). When Shall We Leave? Factors Affecting the Timing of Evacuation Departures. *Mass Emergencies and Disasters*, Vol.9, No.2, pp.153-165.

Thematic Network FIT - 'Fire in Tunnels'. (2006). *Fire in Tunnels\_General Report*. Brussels.

Wahle, T., & Beatty, G. (1993). *Emergency Management Guide for Business & Industry*. Washington, D.C. - Rockville, Maryland: Federal Emergency Management Agency (FEMA).

William, M. F., Lippitt, J. M., & Webb, P. J. (2000). *Hazardous Waste Handbook for Health and Safety*. Butterworth-Heinemann.

Zuccaro, T. (2009). *European Guideline CFPA-E No 19:2009*. Zürich - Stockholm: CFPA Europe, Guidelines Commission.

Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος, Δ. Ι. (1999). *Κανονισμός Πυροπροστασίας Κτιρίων (Π.Δ. 71/88)*. Αθήνα: Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδος.

Κυρίτσης, Φ. (2010). *Καθορισμός Διαδικασιών Εκπόνησης Σχεδίου Εκκένωσης Σε Υπόγειο Χώρο Με Εξέταση Ιδιαίτερων Χαρακτηριστικών. Παράδειγμα Εφαρμογής Στον Υπόγειο Χώρο Του Τεχνολογικού Πάρκου Λαυρίου*. Αθήνα: ΕΜΠ.

Ραχμάνη, Α., Ξενιός, Ζ., & Κοτσαμίδη, Σ. (2013). Έλεγχος των θέσεων εξόδων διαφυγής σε υπόγειους χώρους σύμφωνα με τον κανόνα των 45 μοιρών. ΕΜΠ.