ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εφαρμογή Τεχνικών Εικονικής Πραγματικότητας σε ζητήματα Ασφάλειας Υπόγειων Χώρων

Δράγιου Δήμητρα

Ζαχαρή Αναστασία

Επιβλέπουσα

Μαρία Μενεγάκη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εφαρμογή Τεχνικών Εικονικής Πραγματικότητας σε ζητήματα Ασφάλειας Υπόγειων Χώρων

Δράγιου Δήμητρα

Ζαχαρή Αναστασία

Επιβλέπουσα: Μαρία Μενεγάκη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 19/07/2021

Καλιαμπάκος Δημήτρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Μενεγάκη Μαρία, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Μπενάρδος Ανδρέας, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε με την επίβλεψη της καθηγήτριας ΕΜΠ Μαρίας Μενεγάκη, της οποίας η βοήθεια ήταν καθοριστική και πολύτιμη καθόλη τη διάρκεια των σπουδών μας. Την ευχαριστούμε θερμά για τις συμβουλές, τις διορθώσεις και την υποστήριξη που μας παρείχε. Παράλληλα, την ευχαριστούμε για τον χρόνο και την υπομονή, καθώς και την εμπιστοσύνη που μας έδειξε αναθέτοντας μας ένα τόσο ενδιαφέρον και πρωτότυπο θέμα εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλουμε στον διδάκτορα Τάσο Καλλιανιώτη, που αφιέρωσε τόσο χρόνο για να μας διδάξει όσες φορές και αν χρειάστηκε το σχεδιασμό 3D, και μοιράστηκε μαζί μας τις γνώσεις του για το πείραμα, κάνοντας το να μοιάζει με παιχνίδι. Φυσικά, δε θα γινόταν να μην ευχαριστήσουμε και όσα μέλη ΔΕΠ, καθηγητές και εργαζόμενοι της σχολής, συμμετείχαν πρόθυμα στο πείραμα, καθώς και τους συναδέλφους μας.

Ευχαριστούμε βαθιά η μια την άλλη, που έχουμε σταθεί συνεργάτες και συνοδοιπόροι από την πρώτη μέρα που βρεθήκαμε μπροστά από το αμφιθέατρο 1, μέχρι και την τελευταία των σπουδών μας, γνωρίζοντας πως πάντα μπορεί η μια να βασιστεί στην άλλη, έχοντας γίνει πια οικογένεια. Δε θα γινόταν να μην ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για την αστείρευτη αγάπη και κατανόηση που μας δείχνουν τόσα χρόνια, ξεκινώντας από τους λατρεμένους μας γονείς, Γιώργο και Γιάννη και Βασιλική και Αγγελική, τα αδέρφια μας Δάφνη και Σωτήρη, το νέο μέλος της οικογένειας που υποδεχθήκαμε πριν λίγες μόλις μέρες, τις αγαπημένες μας γιαγιάδες Αναστασία και Αργυρώ, και τον αγαπημένο μας γάτο Λου. Ευχαριστούμε τον Γιώργο και τον Δήμο που στάθηκαν στο πλευρό μας τόσο κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μας εργασίας, όσο και κατά τη διάρκεια των τελευταίων χρόνων.

Τίποτα δε θα ήταν ίδιο, χωρίς τη συγκρότηση που διδαχθήκαμε από την πολιτική οργάνωση που συμμετέχουμε, την Αριστερή Συσπείρωση, που παρά τη σύντομη ως τώρα ζωή της, έχει δώσει μεγάλες μάχες, ξεπερνώντας το μπόι της, και κάνοντας μας να ονειρευτούμε και να παλέψουμε για μια δίκαιη κοινωνία χωρίς εκμετάλλευση.

Φυσικά δε θα γινόταν να μην ευχαριστήσουμε τον Αριστερό Χώρο Μεταλλειολόγων Μεταλλουργών, που εδώ και 32 χρόνια δε συμβιβάζεται ποτέ και μας έμαθε να χαράζουμε το δικό μας δρόμο ο ένας πλάι στον άλλον, κόντρα στη ζοφερή πραγματικότητα. Ένα ευχαριστώ στους μεγαλύτερους συντρόφους μας που στάθηκαν σαν φάροι για να φωτίζουν τα σκοτεινά μονοπάτια και που μας έμαθαν να δίνουμε τη μάχη για μια καλύτερη προοπτική για τη γενιά μας. Χρωστάμε όμως, ένα μεγάλο ευχαριστώ και στους μικρότερους συντρόφους μας, που μας γεμίζουν ελπίδα γιατί, παρά τις δυσκολίες της περιόδου που τους θέλει εξατομικευμένους, πίσω από οθόνες και με το γκλομπ του αστυνόμου παρά πόδας, παλεύουν να συνεχίσουν τις τρεις αυτές δεκαετίες , στο δρόμο, στη σχολή και στη ζωή. Το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλουμε στη «σειρά» μας, την Ελένη που μας λείπει στο εξωτερικό, τη Βάσια, τον Γιώργο, τη Τζο, τον Χριστόφορο, την Ευγενία και τον Μάριο, για αυτά τα 7 χρόνια που δε θα ήταν ίδια χωρίς αυτούς, που βρέθηκαν πλάι μας, τόσο στις χαρούμενες στιγμές στο στέκι μας, όσο και στις δύσκολες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ασφάλεια αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για τη μελέτη και το σχεδιασμό οποιουδήποτε έργου, ειδικά στους υπόγειους χώρους. Μάλιστα, όσο πιο πυκνά δομούνται οι σύγχρονες πόλεις, τόσο μεγαλώνει η ανάγκη για ασφαλή υπόγεια έργα. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα υπόγειου έργου είναι το Μετρό το οποίο αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας εκατομμυρίων πολιτών. Το γεγονός αυτό καθιστά τη μελέτη για την κατάρτιση ενός αποτελεσματικού σχεδίου ασφαλείας, για ένα τέτοιο χώρο, ύψιστης σημασίας. Ένα από τα πιο κομβικά μέρη ενός σχεδίου ασφαλείας είναι και το σχέδιο εκκένωσης, καθώς η έγκαιρη και οργανωμένη απομάκρυνση του πληθυσμού από την περιοχή εμφάνισης μιας έκτακτης ανάγκης είναι ο μόνος αποτελεσματικός τρόπος μείωσης των επιπτώσεων και συνεπώς του συνολικού κινδύνου.

Τα μοντέλα προσομοίωσης της εκκένωσης τα οποία παίρνουν δεδομένα του χώρου και των συνθηκών της έκτακτης ανάγκης συμβάλουν σημαντικά στην κατάρτιση ενός αποτελεσματικού σχεδίου εκκένωσης. Αδυνατούν, ωστόσο, να λάβουν υπόψη τους την πραγματική συμπεριφορά των ανθρώπων όταν βρίσκονται σε μία επείγουσα κατάσταση. Τα μοντέλα εικονικής πραγματικότητας προσφέρουν τη δυνατότητα περιήγησης στο χώρο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μέσω της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας, σχεδιάσθηκε και υλοποιήθηκε ένα πείραμα για την εκτίμηση της συμπεριφοράς των ανθρώπων σε μία εκκένωση ενός σταθμού Μετρό λόγω πυρκαγιάς

Για το σκοπό αυτό, διαμορφώθηκε ένα περιβάλλον σταθμού Μετρό το οποίο σχεδιάσθηκε στο πρόγραμμα 3ds Max. Κατόπιν, με τις κατάλληλες μετατροπές, μέσω του προγράμματος Unreal Engine, έγινε εφικτή η περιήγηση στο χώρο με εξοπλισμό Virtual Reality. Σύμφωνα με το σενάριο του πειράματος, οι συμμετέχοντες βρίσκονται στην αποβάθρα του σταθμού αντιμέτωποι με μία εστία φωτιάς και πρέπει να εκκενώσουν τον χώρο. Για κάθε συμμετέχοντα καταγράφηκε ο χρόνος και η απόσταση που διάνυσε μέχρι να βρεθεί σε ασφαλή τοποθεσία. Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να συμπληρώσουν ένα σύντομο ερωτηματολόγιο προκειμένου να διερευνηθεί η εξοικείωσή τους με το μετρό και να εκτιμηθεί τη ρεαλιστικότητα του πειράματος.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν μία ασφαλή εκκένωση με όλους τους χρήστες να μην ξεπερνούν τον διαθέσιμο χρόνο εκκένωσης σε υπόγειους χώρους, όπως αυτός έχει οριστεί από την Εθνική Ένωση Πυροπροστασίας (NFPA). Το πιο σημαντικό, όμως, συμπέρασμα για την παρούσα διπλωματική εργασία, είναι πως η τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας μπορεί να συμβάλλει καίρια στην ασφάλεια των υπόγειων χώρων καθώς δίνει τη δυνατότητα προσομοίωσης μιας εκκένωσης με μεγάλο βαθμό ρεαλιστικότητας όπως φάνηκε. Είναι ένα εργαλείο μελέτης των πραγματικών ανθρώπινων συμπεριφορών σε τέτοιες έκτακτες καταστάσεις. Τέλος, η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μία πρώτη προσπάθεια χρήσης της εικονικής πραγματικότητας σε εκκένωση εγκαταστάσεων μετρό, η οποία φαίνεται να έχει μέλλον με ακόμα πιο ρεαλιστικές συνθήκες, όπως είναι η ελεύθερη κίνηση στον χώρο χωρίς την χρήση τηλεχειριστήριου, καθώς και η αναπαράσταση των συνθηκών που δημιουργούνται σε πραγματικό χρόνο, με τη βοήθεια άλλων μοντέλων προσομοίωσης (όπως το Pyrsosim).

ABSTRACT

Safety is one of the most critical parameters for the study and design of any project, especially in an underground project. The denser modern cities are, the greater the need for safe underground projects. A typical example of such an underground project is the Metro, which is now an integral part of the daily lives of millions of citizens. For that reason, the study for an effective security plan for such a space, of utmost importance. One of the most crucial parts of a safety plan is the evacuation plan. The timely and organized evacuation of the population from the emergency area is the only effective way to reduce the impact and, therefore, the overall risk.

Evacuation simulation models that take into account space and emergency conditions contribute significantly to developing an effective evacuation plan. They fail, however, to consider the actual behavior of people when they are in an emergency. Virtual reality models offer the ability to navigate space. Through virtual reality technology, the present dissertation designed and implemented an experiment to assess the behavior of people in an evacuation of a Metro station due to a fire.

Our research focused on the design of a Metro station environment in the 3ds Max program. Following that, with the appropriate conversions through the Unreal Engine program, it became possible to tour the space with Virtual Reality equipment. According to the experiment scenario, the participants are at the station dock facing fire and have to evacuate the area. For each participant, the time and distance travelled until they were in a safe location were recorded. At the end of the experiment, participants completed a short questionnaire to investigate their familiarity with the Metro and assess the experiment's realism.

In conclusion, the experiment results showed a safe evacuation with all users not exceeding the available evacuation time in underground spaces, as defined by the National Fire Protection Association (NFPA). However, the most important conclusion for the present dissertation is that Virtual Reality technology can make a crucial contribution to the security of underground spaces as it enables the evacuation to be simulated with a high degree of realism as it appeared. It is a tool for studying natural human behavior in such emergencies. Finally, this dissertation is the first attempt to use virtual reality in the evacuation of metro facilities. This technology seems to offer great possibilities for future implementations with even more realistic conditions, such as free movement in space without the use of remote control and representation of the conditions (/dynamic environment) in real-time with the help of other simulation models (such as Pyrosim).

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή 1

Κεφάλαιο 2: Ασφάλεια 3

2.1. Γενικά 3

2.2. Σχέδιο ασφάλειας 3

2.2.1. Βασικά Στοιχεία του Σχεδίου Ασφαλείας 5

2.2.2 Σχέδιο ασφάλειας σε περίπτωση πυρκαγιάς 5

2.2.3. Εργαλεία για την κατάστρωση σχεδίου ασφαλείας 7

2.3. Σύστημα συναγερμού 8

Κεφάλαιο 3: Σχεδιασμός εκκένωσης 9

3.1. Γενικά 9

3.2. Μέσα Εξόδου 10

3.2.1. Κατηγορίες Μέσων Εξόδου 10

3.2.2. Χωρητικότητα των Μέσων Εξόδου 12

3.2.2.1 Φορτίο Χρηστών 12

3.2.2.2. Χωρητικότητα Εκκένωσης 13

3.2.3. Αριθμός Μέσων Εκκένωσης 14

3.3. Τύποι Εκκένωσης 15

3.4. Παράγοντες εκκένωσης 15

3.5. Παράγοντες αποτελεσματικότητας της εκκένωσης 17

3.5.1. Αποφάσεις 17

3.5.2. Χρόνος Έρευνας 17

3.5.3. Εύρεση της διαδρομής εξόδου 18

3.5.4 Διαχείριση Σημείων Συγχώνευσης Ροών 18

3.5.5. Αυτοσυγκράτηση 19

3.5.6. Άνιση Χρήση των Εγκαταστάσεων Εξόδου 19

3.6. Χαρακτηριστικά Μετακίνησης Ατόμων 19

3.7. Τύποι Ροής 21

3.8. Χρόνος Εκκένωσης σε περίπτωση πυρκαγιάς 22

3.8.1. Στοιχεία της Κίνησης σε Επείγουσα Κατάσταση 22

3.8.2. Χρόνοι Αντίδρασης σε Περίπτωση Πυρκαγιάς 23

3.9. Κίνηση σε Καπνό λόγω Πυρκαγιάς 27

Κεφάλαιο 4: Εκκένωση υπόγειων χώρων 29

4.1. Εισαγωγή 29

4.2. Υπόγειος χώρος 29

4.3. Υπόγειοι Χώροι για τη Μεταφορά Επιβατών Μέσω Ηλεκτροκίνητων Σιδηροδρομικών Συστημάτων Σταθερής Τροχιάς Σύμφωνα με τις Προδιαγραφές του NFPA 130 31
4.3.1.Υπόγειοι Σταθμοί 31
4.3.2. Μέσα Εξόδου 32
4.4. Έξοδος για τους Επιβάτες 33
4.4.1. Διαδικασίες Έκτακτης Ανάγκης 33
4.5. Σιδηροδρομική Σήραγγα 35
4.5.1. Απειλές σε Σιδηροδρομικές Σήραγγες 37
4.5.2. Διαχείριση του Κινδύνου σε Σήραγγες κατά τον Κύκλο Ζωής της Σήραγγας 37
4.6. Η Ανθρώπινη Συμπεριφορά 38
4.6.1. Επιβάτες του Τρένου και του Μετρό Συμπεριφορά που Προκαλεί Ανεπιθύμητα Συμβάντα, ... 38
4.7. Παραδείγματα για τον Υπολογισμό του Χρόνου Εκκένωσης σε Υπόγειους Σταθμούς 39
Κεφάλαιο 5: Χρήση Προγράμματος 3ds Max για σχεδιασμό εγκαταστάσεων μετρό 41
5.1. Γενικά Στοιχεία για το 3ds Max 41
5.2. Βασικά Χαρακτηριστικά και Δυνατότητες του 3ds Max 41
5.2.1. Το Περιβάλλον Εργασίας 42
5.2.2. Δημιουργία και επεξεργασία αντικειμένων 43
5.2.3. Προσθήκη Υφής 43
5.2.4. Animation 44
5.2.5. Φωτισμός 44
5.2.6. Κάμερα 45
5.2.7. Rendering 45
5.3. Σχεδιασμός σταθμού Μετρό με τη χρήση 3ds Max 46
5.3.1. Απεικόνιση του σταθμού στο 3ds Max 48
5.3.2. Φωτοαπόδοση Σταθμού 52
Κεφάλαιο 6: Εικονική Πραγματικότητα 56
6.1. Εισαγωγή στην εικονική πραγματικότητα 56
6.2 Ιστορική Αναδρομή 57
6.3 Πεδία Εφαρμογής 57
Κεφάλαιο 7: Πείραμα Προσομοίωσης Εκκένωσης Σταθμού Μετρό 59
7.1. Σχεδιασμός Πειράματος 59
7.2. Πειραματική Διαδικασία 63
Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα 67
8.1. Αποτελέσματα και Συμπεράσματα Πειραματικής Διαδικασίας 67
8.2. Συμπεράσματα και συζήτηση επί αυτών 84
Βιβλιογραφία: 87

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.Τετράεδρο της Φωτιάς.....6
Εικόνα 3.1. : Απεικόνιση του χρόνου αντίδρασης σε περίπτωση φωτιάς (SFPE, 2002).....24
Εικόνα 5.1. Autodesk 3ds Max..... 41
Εικόνα 5.2. Το περιβάλλον εργασίας του 3ds Max.....42
Εικόνα 5.3. Βασικά σχήματα του 3ds Max 43
Εικόνα 5.4. Material Editor..... 43
Εικόνα 5.5. Διάγραμμα ροής χρόνου.....44
Εικόνα 5.6. Εισαγωγή Κάμερας στο 3ds Max.....45
Εικόνα 5.7. Σταθμός Μετρό Επίπεδο -3 46
Εικόνα 5.8. Σταθμός Μετρό Επίπεδο -2 46
Εικόνα 5.9. Σταθμός Μετρό Επίπεδο -1 47
Εικόνα 5.10. Σταθμός Μετρό Επίπεδο 0 47
Εικόνα 5.11 Αρχικά σχέδια σταθμού στο 3ds Max 48
Εικόνα 5.12 Προσθήκη στοιχείων του μετρό στο σταθμό 49
Εικόνα 5.13. Κάτοψη.....49
Εικόνα 5.15. Δεξιά όψη..... 50
Εικόνα 5.14.. Μπροστινή όψη..... 50
Εικόνα 5.16. Prespective.....51
Εικόνα 5.17. Σχέδια στο 3ds Max με εξωτερικό χώρο 51
Εικόνα 5.18. Φωτοαπόδοση του σταθμού στο επίπεδο της πλατφόρμας 52
Εικόνα 5.19. Φωτοαπόδοση του σταθμού στο επίπεδο -2.....53
Εικόνα 5.20. Φωτοαπόδοση του σταθμού στο επίπεδο -1.....54
Εικόνα 5.21. Εξωτερικός χώρος σταθμού 55
Εικόνα 7.1. Η απεικόνιση της πυρκαγιάς στην αποβάθρα μέσω του VR 60
Εικόνα 7.2. Απεικόνιση του σταθμού και των εικονικών επιβατών στο VR.....61
Εικόνα 7.3. Κυλιόμενες σκάλες αποβάθρας στο VR 61
Εικόνα 7.4. Σταθερές σκάλες αποβάθρας στο VR 62
Εικόνα 7.5. Η έξοδος κινδύνου στο VR 62
Εικόνα 7.7. Συσκευή VR και χειριστήρια 64
Εικόνα 7.8. Στιγμιότυπο από την πειραματική διαδικασία.....64
Εικόνα 7.9.. Ερωτηματολόγιο..... 66

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 3.1. : Ειδική ροή συναρτήσει της πυκνότητας (Nelson & Mowrer, Emergency Movement, 2002)…… 21

Γράφημα 8. 1 Φύλο.....67

Γράφημα 8. 2 Ηλικιακή Ομάδα…… 68

Γράφημα 8. 3 Συχνότητα Χρήσης Μετρό 68

Γράφημα 8. 4 Μέσα Βελτίωσης Εκκένωσης.....70

Γράφημα 8. 5 Ρεαλιστικότητα…….. 71

Γράφημα 8.6. Ρεαλιστικότητα συγκριτικά με ηλικιακή ομάδα.....71

Γράφημα 8.7.1. Φύλο για πρώτη διαδρομή 73

Γράφημα 8.7.2. Ηλικιακή ομάδα για πρώτη διαδρομή.....73

Γράφημα 8.7.3. Συχνότητα Χρήσης του Μετρό για πρώτη διαδρομή.....73

Γράφημα 8.8.1. Φύλο για δεύτερη διαδρομή 74

Γράφημα 8.8 2. Ηλικιακή Ομάδα για δεύτερη διαδρομή 75

Γράφημα 8.8.3. Συχνότητα Χρήσης Μετρό για δεύτερη διαδρομή 75

Γράφημα 8.9.1. Φύλλο για Τρίτη διαδρομή 76

Γράφημα 8.9.2. Ηλικιακή ομάδα για Τρίτη διαδρομή.....76

Γράφημα 8.9.3. Συχνότητα Χρήσης του Μετρό για Τρίτη διαδρομή 77

Γράφημα 8.10.1. Φύλο για τέταρτη διαδρομή.....78

Γράφημα 8.10.2. Ηλικιακή Ομάδα για τέταρτη διαδρομή.....78

Γράφημα 8.10.3. Συχνότητα Χρήσης Μετρό για τέταρτη διαδρομή 78

Γράφημα 8.11.1. Φύλο για Πέμπτη διαδρομή 79

Γράφημα 8.11.2. Ηλικιακή Ομάδα για Πέμπτη διαδρομή 80

Γράφημα 8.11.3. Συχνότητα Χρήσης Μετρό για Πέμπτη διαδρομή.....80

Γράφημα 8.12.1. Φύλο για έκτη διαδρομή.....81

Γράφημα 8.12.2. Ηλικιακή Ομάδα για έκτη διαδρομή 81

Γράφημα 8.12.3. Συχνότητα Χρήσης Μετρό για έκτη διαδρομή.....82

Γράφημα 8.13.1. Φύλο για έβδομη διαδρομή 83

Γράφημα 8.13.2. Ηλικιακή Ομάδα για έβδομη διαδρομή 83

Γράφημα 8.13.3. Συχνότητα Χρήσης του Μετρό για έβδομη διαδρομή.....83

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1. Συντελεστής Φορτίου Χρηστών [Πηγή: Cote, Harrington, 2009] 13

Πίνακας 3.2. Συντελεστές Χωρητικότητας [Πηγή: Cote, Harrington 2009].....14

Πίνακας 3.3. : Διαθέσιμος χρόνος εκκένωσης υπόγειου χώρου για διαφορετικές επείγουσες καταστάσεις (Κυρίτσης, 2010)…….. 25

Πίνακας3.4.: Παράγοντες επιρροής των επιμέρους χρόνων στην περίπτωση πυρκαγιάς (Κυρίτσης, 2010)…… 26

Πίνακας 3.5.: Χρόνοι t_o kai t_ι σε min για διαφορετικές κατηγορίες συστήματος συναγερμού στην περίπτωση πυρκαγιάς (Κυρίτσης, 2010) 27

Πίνακας 8. 1. Ρεαλιστικότητα…….. 70

Πίνακας 8. 2. Διαδρομές που ακολουθήθηκαν 72

Πίνακας 8.3.Χρόνοι και Απόσταση πρώτης διαδρομής 74

Πίνακας 8. 4.Χρόνοι και απόσταση δεύτερης διαδρομής 75

Πίνακας 8.5. Χρόνοι και απόσταση τρίτης διαδρομής 77

Πίνακας 8.6. Χρόνοι και απόσταση τέταρτης διαδρομής 79

Πίνακας 8.7. Χρόνοι και απόσταση για Πέμπτη διαδρομή 80

Πίνακας 8.9 Χρόνοι και απόσταση για έκτη διαδρομή 82

Πίνακας 8.9. Χρόνοι και απόσταση για έβδομη διαδρομή 84

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Το Μετρό αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας των περισσότερων σύγχρονων αστικών κέντρων, ενώ μετράει ήδη πάνω από 150 χρόνια παρουσίας. Διευκολύνει την καθημερινότητα του κοινωνικού συνόλου, μιας και πρόκειται για μια εύκολη, γρήγορη και προσιτή λύση για την μετακίνηση όλων των πολιτών. Ειδικά, σε έντονα αστικοποιημένο περιβάλλον, υψηλής δόμησης τα υπόγεια έργα αποτέλεσαν εργαλείο και μοχλό για την ενίσχυση ή την βελτίωση της ποιότητας ζωής. Οι περισσότερες ευρωπαϊκές πρωτεύουσες, εκμεταλλεύονται τα οφέλη του εδώ και δεκαετίες, με αποτέλεσμα σταδιακά να μεγαλώσουν τόσο οι γραμμές και οι σταθμοί, που να εξυπηρετούν ένα πολύ μεγάλο μέρος των προαστίων σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό, αντικαθιστώντας την μετακίνηση μέσω Ι.Χ. στην καθημερινότητα. Στην Ελλάδα, περάσαμε στην υπογειοποίηση τμημάτων του παλιού ηλεκτρικού και στην επέκτασή του το 2004. Έκτοτε συνδέει το κέντρο της πρωτεύουσας με ένα μεγάλο κομμάτι των προαστίων, ενώ αυτή τη στιγμή σχεδιάζεται η περαιτέρω επέκτασή του με νέα γραμμή. Παράλληλα, ολοκληρώνεται το Μετρό στη δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας, τη Θεσσαλονίκη, και παραδίδεται στο κοινό.

Είναι λοιπόν αυτονόητο ότι το Μετρό πλέον απασχολεί ένα τεράστιο όγκο εργαζομένων, είτε για τον σχεδιασμό και την συντήρηση, είτε για την καθαριότητα και τη λειτουργία του. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τον μεγάλο όγκο επισκεπτών που έχει ένας σταθμός μετρό καθημερινά, κάνει τη μελέτη της ασφάλειας ενός τέτοιου χώρου πρώτιστης σημασίας. Η σημασία της εκκένωσης είναι καθοριστική και αποτελεί βασικό παράγοντα για την επάρκεια του επιπέδου ασφάλειας. Γι' αυτό η σύνταξη ολοκληρωμένου σχεδίου εκκένωσης σε ένα υπόγειο χώρο το οποίο συμμορφώνεται με τις κανονιστικές διατάξεις συνιστά βασική υποχρέωση για το μελετητή ενός υπόγειου έργου.

Στην παρούσα διπλωματική ερευνήσαμε την εικονική εκκένωση χρησιμοποιώντας 3D και VR τεχνολογίες. Για το σκοπό αυτό, πήραμε τα σχέδια του σταθμού Μετρό, και τα μετατρέψαμε στο πρόγραμμα 3ds Max της Autodesk σε τρισδιάστατο περιβάλλοντα χώρο. Κατόπιν, με τη βοήθεια του προγράμματος Unreal Engine κάναμε εξαγωγή των μοντέλων του σταθμού και προσθέσαμε με τεχνική νοημοσύνη κίνηση των ανθρώπων και φωτιά, έτσι ώστε να επιτρέπεται η περιήγηση μέσω εξοπλισμού Virtual Reality (στερεοσκοπικά γυαλιά VR και τηλεχειριστήριο). Στην πορεία, ακολουθήσαμε μια πειραματική διαδικασία, κατά τη διάρκεια της οποίας συλλέξαμε τα απαιτούμενα δεδομένα, τα οποία στο τέλος επεξεργαστήκαμε προκειμένου να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα γύρω από την εκκένωση του συγκεκριμένου σταθμού Μετρό σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Συγκεκριμένα στο 2ο Κεφάλαιο, παρουσιάζεται το σχέδιο ασφαλείας το οποίο καταρτίζεται για τα τεχνικά έργα (και ειδικά σε περίπτωση πυρκαγιάς) με βάση τους υφιστάμενους κανονισμούς.

Στο 3ο Κεφάλαιο, παρουσιάζονται και περιγράφονται τα στοιχεία που συνθέτουν τη διαδικασία της εκκένωσης, αναλύονται οι παράμετροι που επηρεάζουν και καθορίζουν την εκκένωση. Στην πορεία, παρουσιάζονται οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για το σχεδιασμό της εκκένωσης και περιγράφονται τα μέσα εξόδου, οι τύποι εκκένωσης και οι παράγοντες αποτελεσματικότητας της εκκένωσης.

Στο 4ο Κεφάλαιο γίνεται ειδική αναφορά στην εκκένωση στους υπόγειους χώρους, παρουσιάζονται παραδείγματα από διαδικασίες εκκένωσης σε υπόγεια έργα και παρατίθενται στοιχεία από τη σχετική νομοθεσία και τις διατάξεις των κανονισμών.

Στο 5ο Κεφάλαιο αναφερόμαστε στη χρήση του Προγράμματος 3DS Max και στις απαιτούμενες κινήσεις προκειμένου να σχεδιάσουμε τον σταθμό Μετρό. Περιγράφεται βήμα-βήμα ο σχεδιασμός της αποβάθρας και των υπόλοιπων χώρων, καθώς και οι υφές, τα φώτα και οι κάμερες που τοποθετήθηκαν.

Στο 6ο Κεφάλαιο γίνεται μια μικρή ιστορική αναδρομή για την τεχνολογία Virtual Reality, καθώς και για τις χρήσεις της τα τελευταία χρόνια σε διάφορα πεδία.

Στο 7ο Κεφάλαιο, περιγράφεται αναλυτικά τόσο η σχεδίαση του πειράματος, όσο και η ίδια η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε.

Τέλος, στο 8ο Κεφάλαιο, αναλύονται και μελετούνται τα αποτελέσματα του πειράματος μέσω αναλυτικών διαγραμμάτων, και παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που μπορέσαμε να βγάλουμε μέσα από το πείραμα μας για την εκκένωση του σταθμού ΜΕΤΡΟ Δημοκρατίας, σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Κεφάλαιο 2: Ασφάλεια

2.1. Γενικά

Η δημιουργία ενός σχεδίου ασφαλείας για διάφορες εγκαταστάσεις αποτελεί μία σύνθετη διαδικασία (OSHA 2001). Για τη μελέτη της ασφάλειας, σε πρωταρχικό στάδιο θα πρέπει να διακριθούν δύο όροι που συχνά συγχέονται για να χαρακτηρίσουν το ίδιο συμβάν, ενώ αντιπροσωπεύουν κάτι το εντελώς διαφορετικό (Casavant, 2007). Οι όροι αυτοί είναι η κατάσταση έκτακτης ανάγκης ή επείγουσα κατάσταση και η καταστροφή. Μία επείγουσα κατάσταση (FEMA, 1993) είναι ένα απρόσμενο γεγονός το οποίο επιδρά με αρνητικό πρόσημο στην παραγωγή, την ασφάλεια ή το προσωπικό μιας επιχείρησης και μπορεί να προκαλέσει θάνατο ή σοβαρό τραυματισμό στους εργαζόμενους, στους πελάτες, στο κοινό ή μπορεί να κλείσει μια επιχείρηση, να διακόψει τη λειτουργία, να προκαλέσει φυσική ή περιβαλλοντική καταστροφή, να απειλήσει την οικονομική βιωσιμότητα της δραστηριότητας ή τη δημόσια εικόνα της. Ο όρος καταστροφή περιγράφει μία κατάσταση έκτακτης ανάγκης η οποία έχει εκφυλιστεί, επιδεινωθεί σε κάτι με πολύ μεγαλύτερο αντίκτυπο (Casavant, 2007). Ταυτόχρονα, οι όροι αυτοί δεν αναφέρονται μόνο στα συμβάντα αλλά και στον ίδιο τον οργανισμό, αφού το ίδιο γεγονός μπορεί για έναν οργανισμό να χαρακτηριστεί καταστροφή ενώ για έναν άλλο να είναι μια επείγουσα κατάσταση (Casavant, 2007). 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 (Καλλιανιώτης, 2015).

Για οποιαδήποτε επιχείρηση το πιο σημαντικό όσον αφορά την ασφάλεια και την προετοιμασία για καταστάσεις κρίσης είναι ο αποτελεσματικός σχεδιασμός, μαζί με την συνεχή εκπαίδευση στις διαδικασίες και τεχνικές αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, ελαχιστοποιώντας έτσι τις πιθανότητες απώλειας πρωτίστως της ανθρώπινης ζωής αλλά και ιδιοκτησίας (Gustin, 2007). Οι επείγουσες καταστάσεις είναι συχνότερες από τις καταστροφές, επομένως είναι πιο πιθανό να επηρεάσουν την επιχείρηση και τους διάφορους εμπλεκόμενους.

Πολλά γεγονότα μπορούν να αποτελέσουν επείγουσες καταστάσεις, όπως τα ακόλουθα (FEMA, 1993):

- πυρκαγιά
- επικίνδυνα υλικά για την υγεία
- φυσικά φαινόμενα όπως τυφώνες, ανεμοστρόβιλοι, θύελλα, σεισμός, πλημμύρα
- κατάρρευση των επικοινωνιών
- ραδιενεργό ατύχημα
- έκρηξη

2.2. Σχέδιο ασφάλειας

Ο τρόπος αντιμετώπισης μίας επείγουσας κατάστασης υλοποιείται με το σχέδιο ασφαλείας. Το σχέδιο ασφαλείας έχει σκοπό να σωθούν ζωές, να ελαχιστοποιηθούν οι τραυματισμοί και να μειωθούν οι υλικές επιπτώσεις σε περίπτωση εκδήλωσης μιας εν δυνάμει καταστροφής.

Είναι απαραίτητο να σχεδιάζεται εκ των προτέρων και διεξοδικά όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές και υπάρχει διαθέσιμος επαρκής χρόνος για λογικές και ψύχραιμες σκέψεις που θα καταρτίσουν το σχέδιο.

Για την υλοποίησή του πρέπει να σταθμίζονται οι σημαντικότεροι και πιθανότεροι κίνδυνοι για την εκάστοτε επιχείρηση, να διαχωρίζονται οι κρίσιμες λειτουργίες και να εκτιμάται η πιθανότητα εκδήλωσης επείγουσας κατάστασης. Έχει ιδιαίτερη σημασία οι αρμοδιότητες να καταμερίζονται με σαφή τρόπο και ο οργανισμός να παρέχει στους εργαζόμενους την κατάλληλη εκπαίδευση και τα απαραίτητα μέτρα προστασίας. Το σχέδιο ασφαλείας περιλαμβάνει τις καθορισμένες δράσεις που πρέπει να γίνουν από τους εργοδότες και τους εργαζόμενους, ώστε να διασφαλιστεί η ασφάλεια όλων από τις συνέπειες της επείγουσας κατάστασης (Casavant, 2007). Συγκεκριμένα, το σχέδιο ασφαλείας εξασφαλίζει τόσο τις ζωές όσο και τον περιορισμό των τραυματιών κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της επείγουσας κατάστασης καθώς και την αποκατάσταση των ζημιών. Επειδή οι ζωές, οι περιουσίες και οι επιχειρήσεις βρίσκονται σε διαρκή κίνδυνο, το σχέδιο αντιμετώπισης μίας επείγουσας κατάστασης πρέπει να αποτελεί βασικό στοιχείο του επιχειρηματικού πλάνου κάθε οργανισμού. Για το λόγο αυτό, όλο το δυναμικό μιας επιχείρησης θα πρέπει να εκπαιδεύεται με γνώμονα, μεταξύ άλλων, το σχέδιο δράσης έκτακτης ανάγκης, το οποίο όμως πρέπει να υφίσταται διαρκή επανεξέταση και να αναθεωρείται όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο με βάση τις νέες συνθήκες και διαδικασίες.

Για τον σωστό σχεδιασμό ασφάλειας θα πρέπει να ορίζονται οι βασικοί άξονες της διαχείρισης της καταστροφής/έκτακτης ανάγκης οι οποία είναι τα εξής (OSHA 2001):

- κατεύθυνση και έλεγχος
- επικοινωνίες
- ασφάλεια της ζωής
- προστασία της περιουσίας
- αποκατάσταση

Αυτά τα στοιχεία αποτελούν τα θεμέλια των ενεργειών που η διοίκηση του χώρου πρέπει να ακολουθήσει ώστε να προστατεύσει τους παρευρισκόμενους, τον εξοπλισμό και τη ομαλότητα της λειτουργίας.

Η διαδικασία κατάρτισης του σχεδίου ασφαλείας περιλαμβάνει:

- τον εντοπισμό των προκλήσεων και την ιεράρχηση των προτεραιοτήτων ως προς τις ενδεδειγμένες ενέργειες,
- την καταγραφή του σχεδίου, καθώς και
- τη θέσπιση προγράμματος εκπαίδευσης και συντονισμός ενεργειών με εξωτερικούς παράγοντες και οργανισμούς.

Μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για τις ανάγκες των Α.Μ.Ε.Α. και για όσους δεν καταλαβαίνουν τη γλώσσα (FEMA, 1993). Οι προτεραιότητες του σχεδίου έκτακτης ανάγκης μπορεί να επηρεάζονται από κυβερνητικούς κανονισμούς και να συμμορφώνονται με αυτούς. Η ομάδα εκπόνησης του σχεδίου μπορεί να χρειαστεί να ενσωματώσει συγκεκριμένα στοιχεία και λειτουργίες που διαφορετικά μπορεί να θεωρούνταν χαμηλής προτεραιότητας (Gustin, 2007).

2.2.1. Βασικά Στοιχεία του Σχεδίου Ασφαλείας

Το σχέδιο ασφαλείας πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον τα ακόλουθα στοιχεία (OSHA, 2001):

- μία προκαθορισμένη μεθοδολογία για την αναφορά πυρκαγιάς ή άλλης επείγουσας κατάστασης
- μία πολιτική εκκένωσης και τη διαδικασία υλοποίησής της
- διαδικασίες επείγουσας διαφυγής και καθορισμένες διαδρομές διαφυγής, όπως σχέδια κατόψεων του χώρου εργασίας και ασφαλείς περιοχές ή καταφύγια
- ονοματεπώνυμα, τίτλους, τμήματα και τηλεφωνικούς αριθμούς των εμπλεκόμενων προσώπων, τόσο εκτός όσο και εντός του χώρου εργασίας, ώστε να είναι εφικτή η επικοινωνία για επιπρόσθετες πληροφορίες και διευκρινήσεις για τις αρμοδιότητες στο πλαίσιο του σχεδίου έκτακτης ανάγκης
- διαδικασίες για τους εργαζόμενους που παραμένουν για την εκτέλεση ή τον τερματισμό κρίσιμων λειτουργιών των εγκαταστάσεων, για την εκτέλεση επιχειρήσεων κατάσβεσης πυρκαγιών ή για την εκτέλεση άλλων σημαντικών εργασιών που δεν μπορούν να τερματιστούν πριν την ολοκλήρωση της διαδικασίας της εκκένωσης
- αρμοδιότητες στους εργαζόμενους που έχουν επιφορτιστεί με την ευθύνη επιχειρήσεων διάσωσης και παροχής πρώτων βοηθειών.

Επίσης, θεμιτό είναι στο σχέδιο ασφαλείας να περιλαμβάνονται και η θέση συγκέντρωσης και οι διαδικασίες στις οποίες πρέπει να προβούν οι παρευρισκόμενοι μετά την ολοκλήρωσης της διαδικασίας της εκκένωσης (Αρβελάκη, 2014).

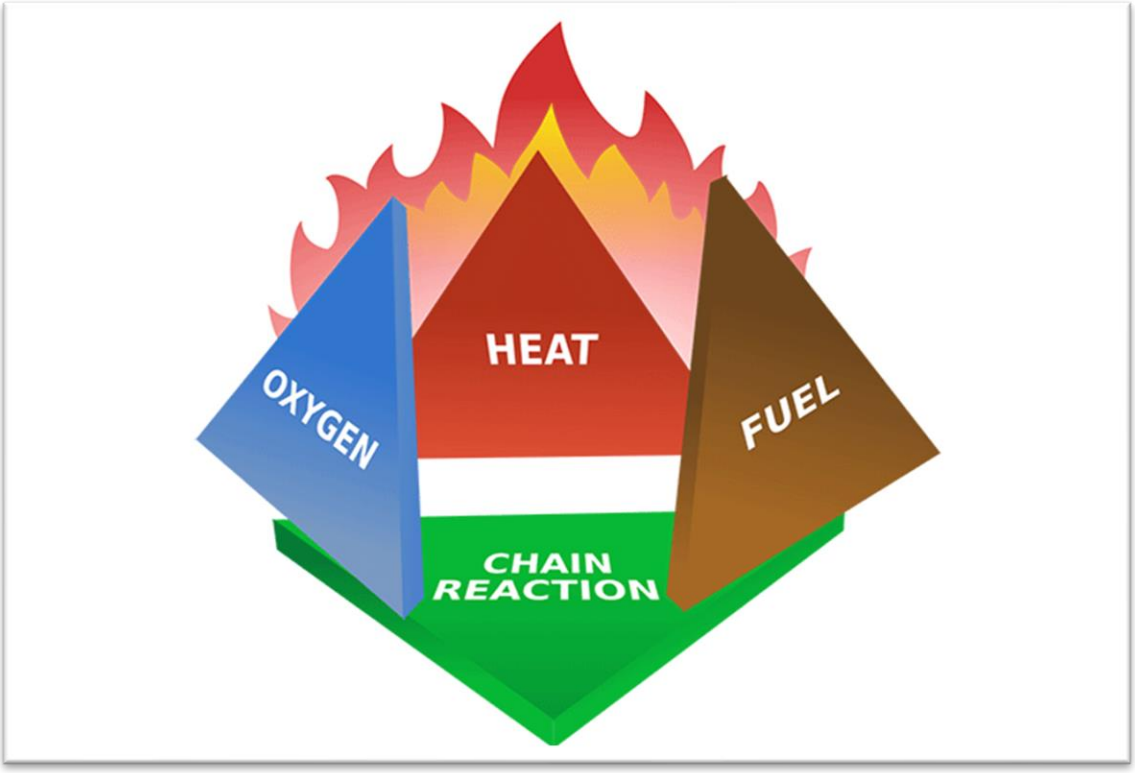
Ορισμένα προαιρετικά στοιχεία που μπορούν να διαμορφώσουν ένα αποτελεσματικό σχέδιο ασφαλείας είναι (OSHA, 2001):

- η τοποθέτηση ενός εφεδρικού κέντρου επικοινωνιών το οποίο θα χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση πυρκαγιάς και/ή έκρηξης
- ένας ασφαλής χώρος εντός ή εκτός του χώρου εργασίας για την αποθήκευση των πρωτότυπων ή αντίγραφων λογιστικών, νομικών και άλλων σημαντικών εγγράφων.

2.2.2 Σχέδιο ασφάλειας σε περίπτωση πυρκαγιάς

Η φωτιά αποτελεί μια ταχεία διαδικασία καύσης, κατά τη διάρκεια της οποίας εκλύεται θερμότητα και φως. Προκειμένου να εκδηλωθεί φωτιά, είναι απαραίτητο να έχουμε καύσιμη ύλη, οξυγόνο, αλυσιδωτή χημική αντίδραση και θερμότητα (βλ. Τετράεδρο της Φωτιάς).

Αναλυτικότερα, η καύση είναι αποτέλεσμα οξειδωτικής χημικής αντίδρασης, κατά την οποία, το καύσιμο αποτελεί τον αναγωγικό παράγοντα, ενώ το οξυγόνο, το οξειδωτικό μέσο. Στην πορεία, η θερμότητα δίνει την απαραίτητη ενέργεια στα μόρια καυσίμου και οξυγόνου. Η μοριακή ενέργεια, μεταφέρεται στην συνέχεια και σε άλλα μόρια καυσίμου και οξυγόνου, δημιουργώντας έτσι μια αλυσιδωτή αντίδραση. Όλα αυτά συμβαίνουν αστραπιαία, ενώ η καύση είναι εξώθερμη αντίδραση. Έτσι, εκδηλώνεται φωτιά. Κατά τη διάρκεια της καύσης, παράγονται ακόμη αέρια προϊόντα, ενώ εκπέμπεται τόσο ορατή, όσο και αόρατη ακτινοβολία.



Εικόνα 1. Τετράεδρο της Φωτιάς

(Εικόνα από https://fire-risk-assessment-network.com)

Τόσο η φλόγα, όσο και η καύση χωρίζονται σε δύο μορφές. Οι δύο μορφές της φλόγας είναι φυσική (ή φωτιστική) όπου το οξυγόνο παράγεται ελεύθερα από τον ατμοσφαιρικό αέρα, και τεχνητή (ή θερμαντική), όπου το οξυγόνο παρέχεται υπό πίεση ρεύματος ή αερίου. Οι δύο μορφές της καύσης είναι η Premixed flames, δηλαδή η ανάμειξη καύσιμου και οξυγόνου πριν από την ανάφλεξη, και η Diffusion flames, δηλαδή το καύσιμο και το οξυγόνο είναι αρχικά χωριστά αλλά καίγονται στην περιοχή όπου αναμειγνύονται. (Babrauskas, 2008)

Τα Τέσσερα Στάδια της φωτιάς:

- Αρχικό Στάδιο, η περιοχή που ξεκινάει μια αργή πυρόλυση και προθέρμανση.
- Στάδιο Ανάπτυξης, η περιοχή που έχει αναπτυχθεί η πυρόλυση, η οποία ξεκινά με ανάφλεξη και περιλαμβάνει και το στάδιο της καύσης.
- Στάδιο Πλήρης Ανάπτυξης, όπου όλα τα εύφλεκτα υλικά έχουν αναφλεγεί. Το συγκεκριμένο στάδιο είναι το πιο επικίνδυνο.
- Στάδιο σβησίματος φωτιάς, η περιοχή που χαρακτηρίζεται από μείωση οξυγόνου και καυσίμου.

Κίνδυνοι Φωτιάς:

Είναι σημαντικό να χωρίσουμε τους κινδύνους της φωτιάς σε τρείς κατηγορίες:

1. Τους κινδύνους για το Περιβάλλον
2. Τους κινδύνους για τις εγκαταστάσεις

3. Τους κινδύνους για τον Άνθρωπο

1.Κίνδυνοι για το περιβάλλον:

Οι κίνδυνοι για το περιβάλλον κρύβονται στις φυσικές συνέπειες της καύσης. Πρόκειται για τις υψηλές θερμοκρασίες, τις φλόγες και τα αέρια παραγόμενα της καύσης, όπως οι διοξίνες.

2.Κίνδυνοι για τις εγκαταστάσεις:

Οι κίνδυνοι για τις εγκαταστάσεις εντοπίζονται από τις υψηλές θερμοκρασίες και από τις φλόγες.

3.Κίνδυνοι για τους ανθρώπους:

Οι κίνδυνοι για τους ανθρώπους μπορεί να προέρχονται είτε από την ίδια την πυρκαγιά και την έκθεσή τους στα θερμά προϊόντα (μάλιστα το ¼ των θανάτων οφείλεται σε αυτό), είτε από τον καπνό και τα τοξικά αέρια που παράγονται(τα ¾ των καταγεγραμμένων θανάτων).

Όταν καταστρώνεται, λοιπόν, σχέδιο ασφάλειας στο οποίο η επείγουσα κατάσταση είναι η πυρκαγιά υπάρχουν επιπλέον στοιχεία που πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στο σχέδιο αυτό (Casavant, 2007). Συγκεκριμένα, για κάθε εγκατάσταση πρέπει να έχει εκπονηθεί ένα σχέδιο το οποίο να είναι προσαρμοσμένο για την περίπτωση πυρκαγιάς και οι εργαζόμενοι να είναι εκπαιδευμένοι σε αυτό. Τα στοιχεία που πρέπει να συγκροτούν το εξειδικευμένο σχέδιο αντιμετώπισης της επείγουσας κατάστασης λόγω πυρκαγιάς είναι (Casavant, 2007):

- ένας κατάλογος με τους παράγοντες επικινδυνότητας ως προς την πρόκληση πυρκαγιάς που υπάρχουν στον χώρο εργασίας
- τα στοιχεία των υπαλλήλων που είναι υπεύθυνοι για τον εντοπισμό των επικίνδυνων πηγών για πρόκληση πυρκαγιάς
- τα στοιχεία των υπαλλήλων που είναι υπεύθυνοι για τον εξοπλισμό πυρόσβεσης και τη σήμανση σχετικού συναγερμού για την πυρκαγιά
- τις διαδικασίες καθαριότητας που περιορίζουν τον κίνδυνο των εύφλεκτων υλικών και των καυσίμων
- τις τεχνικές και τη συχνότητα κατάρτισης των εργαζομένων

2.2.3. Εργαλεία για την κατάστρωση σχεδίου ασφαλείας

Ένας συγκεκριμένος αριθμός εργαλείων μπορούν να βοηθήσουν τις ομάδες έρευνας και διάσωσης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης (Casavant, 2007). Τα περισσότερα από τα συγκεκριμένα εργαλεία είναι άμεσα προσβάσιμα σε αυτούς που επιφορτίζονται με την αρμοδιότητα κατάστρωσης του σχεδίου ασφαλείας, όπως είναι οι κατόψεις στις οποίες σημειώνονται οι έξοδοι, οι θέσεις του εξοπλισμού πυρόσβεσης και του εξοπλισμού πρώτων βοηθειών. Κατά την έναρξη του σχεδιασμού του σχεδίου ασφαλείας το πρώτο βήμα πρέπει να είναι η απόκτηση ενός επικαιροποιημένου αντιγράφου των κατόψεων. Στόχος τους είναι ο προσδιορισμός των παραθύρων, των πορτών, των εξόδων κινδύνου, των πινάκων συναγερμού, των πυροσβεστικών φωλιών και άλλων στοιχείων που χρησιμεύουν σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Σε μία κάτοψη έκτακτης ανάγκης πρέπει να συμπεριλαμβάνονται λεπτομέρειες και πληροφορίες όπως οι ακόλουθες (Gustin, 2007):

- σύστημα απορροής: αποχέτευση όμβριων

• έξοδοι διαφυγής: καθορισμένες οδοί διαφυγής, σκάλες, παράθυρα, πόρτες, έξοδοι κινδύνου, περιοχές που χρησιμοποιούνται στα στάδια της διαδικασίας της εκκένωσης

• πυρασφάλεια: σταθμοί έναρξης συναγερμού πυρκαγιάς, εξοπλισμός κατάσβεσης, ανιχνευτές καπνού, βαλβίδες ελέγχου ψεκασμού και εκτόξευσης νερού, πίνακες συναγερμού

• πρώτες βοήθειες: κουτιά και σταθμοί πρώτων βοηθειών

• ειδικές περιοχές/εγκαταστάσεις: δωμάτια εξοπλισμού, δωμάτια τηλεπικοινωνιών, ζώνες περιορισμένης πρόσβασης, αποθηκευτικοί χώροι

• δίκτυα κοινής ωφέλειας: δίκτυο και βαλβίδες φυσικού αερίου, δίκτυο και βαλβίδες νερού, αποχετευτικό σύστημα

• σύστημα παροχής ενέργειας: θέσεις γεννητριών και διακοπτών ενεργοποίησης, τοποθεσία συστήματος αδιάλειπτης παροχής ενέργειας

2.3. Σύστημα συναγερμού

Το σύστημα συναγερμού και ειδοποίησης (Casavant, 2007) είναι αναπόσπαστο κομμάτι του συνολικού συστήματος ασφαλείας. Πρέπει να είναι λειτουργικό και διαθέσιμο όλο το εικοσιτετράωρο, να συντηρείται συχνά και να ελέγχεται σε τακτική βάση. Το σύστημα συναγερμού πρέπει να γίνεται αντιληπτό υπερκαλύπτοντας το μέγιστο επίπεδο θορύβου στο χώρο εργασίας όταν αυτό είναι απαραίτητο (Casavant, 2007). Όταν αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί, εξαιτίας υψηλού επιπέδου θορύβου που μπορεί να υπάρχει σε ορισμένα τμήματα, συνίσταται η τοποθέτηση ενός επιπρόσθετου συστήματος συναγερμού το οποίο πιθανώς να ενσωματώνει στοιχεία οπτικής ειδοποίησης. Ένας ηχητικός συναγερμός σε συνδυασμό με οπτικό σήμα δύναται να παρέχει περισσότερη προστασία. Το σχέδιο ασφαλείας πρέπει να περιλαμβάνει τρόπο ειδοποίησης και τρόπο αναφοράς καταστάσεων έκτακτης ανάγκης για όλους τους παρευρισκόμενους, συμπεριλαμβανομένων και αυτών με ειδικές ανάγκες, ώστε να προβούν σε εκκένωση ή άλλες ενέργειες όπως απαιτείται.

Ορισμένα βασικά μέτρα που πρέπει να ληφθούν είναι τα ακόλουθα (OSHA 2001):

• οι συναγερμοί να είναι διακριτοί και να αναγνωρίζονται από όλους τους εργαζόμενους και παρευρισκόμενους ως ένα σήμα για την εκκένωση του χώρου εργασίας ή για την εκτέλεση σχετικών ενεργειών όπως αυτές έχουν προσδιοριστεί στο σχέδιο

• η διαθεσιμότητα ενός συστήματος επικοινωνίας έκτακτης ανάγκης όπως ένα δημόσιο σύστημα επικοινωνιών, ένα σύστημα φορητής επικοινωνίας ή άλλο μέσο για την ειδοποίηση των εργαζομένων καθώς και την επικοινωνία με την αστυνομία, την πυροσβεστική υπηρεσία και άλλους συναρμόδιους φορείς

• η διασφάλιση ότι η ειδοποίηση για την έκτακτη ανάγκη θα είναι εφικτό να ακουστεί, να είναι ορατή ή να γίνει αντιληπτή από όλους στο χώρο εργασίας. Ακόμη και αν έχει προκληθεί διακοπή ρεύματος θα πρέπει να υπάρχει τρόπος ειδοποίησης, όπως ενδεχομένως ένα εγκατεστημένο βοηθητικό σύστημα παροχής ισχύος.

Κεφάλαιο 3: Σχεδιασμός εκκένωσης

3.1. Γενικά

Το σχέδιο εκκένωσης αποτελεί συστατικό στοιχείο του σχεδίου ασφαλείας, καθώς η έγκαιρη και οργανωμένη απομάκρυνση του πληθυσμού από την περιοχή εμφάνισης μιας έκτακτης ανάγκης, είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος μείωσης των επιπτώσεων και συνεπώς του συνολικού κινδύνου (OSHA, 2001). Συγκεκριμένα, σε περίπτωση πυρκαγιάς, μία άμεση εκκένωση σε μια προκαθορισμένη περιοχή μακριά από την εγκατάσταση είναι συνήθως απαραίτητη. Μία ανορθόδοξη διαδικασία εκκένωσης πιθανώς να οδηγήσει σε αύξηση του απαιτούμενου χρόνου, σε εγκλωβισμό, τραυματισμούς και υλικές ζημιές (OSHA, 2001).

Σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης μπορεί να κριθεί απαραίτητη η εκκένωση ενός χώρου. Η εύρυθμη και ολοκληρωμένη εκκένωση όλων των εμπλεκόμενων ατόμων απαιτεί ενδελεχή σχεδιασμό, πρόληψη για διαδρομές διαφυγής αλλά και σύστημα καταμέτρησης όλων των ατόμων μετά τη διαδικασία της εκκένωσης. Όταν ο σχεδιασμός είναι κατάλληλος και λαμβάνει υπόψη όλους τους παράγοντες, η εκκένωση μπορεί να γίνει με ελάχιστα προβλήματα σε λίγο χρόνο.

Κατά την εκπόνηση του σχεδίου εκκένωσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα (OSHA, 2001):

- οι προϋποθέσεις στις οποίες η εκκένωση κρίνεται αναγκαία
- η δημιουργία μίας σαφώς καθορισμένης αλυσίδας εντολών. Προσδιορισμός του προσωπικού που είναι εξουσιοδοτημένο να δώσει εντολή για την έναρξη διαδικασίας εκκένωσης ή τη διακοπή της λειτουργίας του χώρου. Καθορισμός εποπτών εκκένωσης για να βοηθούν τους άλλους, να καθοδηγούν τη διαδικασία εκκένωσης και να παρακολουθούν το προσωπικό
- ο καθορισμός συγκεκριμένων διαδικασιών εκκένωσης συμπεριλαμβανομένων των διαδρομών και των εξόδων. Οι συγκεκριμένες διαδικασίες και ακολουθίες εκκένωσης πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμες σε όλους τους εργαζομένους. Καθορισμός ενός συστήματος παρακολούθησης, μέτρησης και μετακίνησης του προσωπικού
- ο καθορισμός διαδικασιών για την βοήθεια των Α.Μ.Ε.Α. και αυτών που δεν καταλαβαίνουν τη γλώσσα
- η ανάρτηση των διαδικασιών και των σταδίων της εκκένωσης σε εμφανή σημεία
- η εξουσιοδότηση προσωπικού για τη συνέχεια ή τον τερματισμό κρίσιμων λειτουργιών, ενώ η εκκένωση είναι σε εξέλιξη. Το συγκεκριμένο προσωπικό πρέπει να είναι ικανό να αναγνωρίσει πότε πρέπει να εγκαταλείψει τη συγκεκριμένη λειτουργία και να προχωρήσουν σε εγκατάλειψη του χώρου, δηλαδή να ακολουθήσουν τη διαδικασία εκκένωσης
- ο συντονισμός με τον αρμόδιο τοπικό φορέα πολιτικής προστασίας.

3.2. Μέσα Εξόδου

3.2.1. Κατηγορίες Μέσων Εξόδου

Τα μέσα εξόδου είναι οι συνεχείς και απρόσκοπτοι δρόμοι μετακίνησης από ένα σημείο ενός συγκεκριμένου χώρου σε ένα δημόσιο δρόμο και αποτελούνται από τρεις ξεχωριστές και διακριτές συνιστώσες που πρέπει να παρέχονται από κάθε θέση εντός της εγκατάστασης (Gustin, 2007).

Οι συγκεκριμένες συνιστώσες είναι:

- η πρόσβαση στην έξοδο
- η έξοδος
- η έξοδος της εκκένωσης

Πρόσβαση στην έξοδο: Η πρόσβαση στην έξοδο είναι εκείνη η συνιστώσα που οδηγεί σε μία έξοδο (OSHA, 2003). Περιλαμβάνει τους χώρους αυτούς που πρέπει να διανύσουν οι παρευρισκόμενοι, όπως αίθουσες, πόρτες, διαδρόμους, σκάλες και ράμπες, για την προσέγγιση μίας εξόδου (Gustin, 2007).

Οι ανελκυστήρες δεν περιλαμβάνονται σε αυτούς τους χώρους καθώς δεν επιτρέπεται να χρησιμεύσουν ως συνιστώσες των μέσων του συστήματος εξόδου. Παρ' όλα αυτά τα άτομα που βρίσκονται στους ανελκυστήρες κατά την εκδήλωση της έκτακτης ανάγκης πρέπει να εξέλθουν και η μετακίνηση από τον ανελκυστήρα στο διάδρομο είναι η πρόσβαση στην έξοδο για τα συγκεκριμένα άτομα.

Έξοδος: Η έξοδος αποτελεί τη συνιστώσα που είναι ξεχωριστή από όλους τους άλλους χώρους, είτε λόγω κατασκευής – που πρέπει να έχει τον ελάχιστο απαιτούμενο βαθμό αντοχής σε πυρκαγιά - , είτε από τον εξοπλισμό της, έτσι ώστε να παρέχεται ένας προστατευμένος τρόπος μετακίνησης στο σημείο εξόδου της εκκένωσης (Gustin, 2007). Η έξοδος μπορεί να περιλαμβάνει διατάξεις θυρών, σκάλες, ράμπες, πυράντοχα περιβλήματα, διόδους εξόδου και εξωτερικά μπαλκόνια. Τα στοιχεία εξόδου πρέπει πάντα να συμμορφώνονται στις προδιαγραφές των κανονισμών για την πυροπροστασία. Ένα απλό παράδειγμα εξόδου είναι μία πόρτα ή μία μορφή θύρας που ανοίγει κατευθείαν προς τα έξω (Cote, Harrington, 2009). Τέτοιου είδους πόρτες ή ανοίγματα παρέχουν τον απαιτούμενο προστατευμένο τρόπο μετακίνησης μέχρι την έξοδο της εκκένωσης. Μία έξοδος, εκτός από μία πόρτα που ανοίγει προς τα έξω, πρέπει να παρέχει μία προστατευμένη διαδρομή. Στην περίπτωση των κλιμακοστασίων η έξοδος περιλαμβάνει την πόρτα του συγκροτήματος που οδηγεί στο κλιμακοστάσιο, το περίβλημα της σκάλας, τα σκαλοπάτια και τα πλατύσκαλα και την πόρτα του συγκροτήματος από το περίβλημα στο εσωτερικό ή εξωτερικό της εξόδου της εκκένωσης (Cote, Harrington, 2009).

Έξοδος της εκκένωσης: Η τρίτη συνιστώσα από την οποία αποτελείται ένα μέσο εξόδου είναι η έξοδος της εκκένωσης. Αυτή ουσιαστικά αποτελεί την πορεία της διαδρομής από τη λήξη της εξόδου σε ένα δημόσιο δρόμο (OSHA 2003).

Ένα μέσο εξόδου θεωρείται προσβάσιμο όταν πληροί ένα από τα παρακάτω κριτήρια (Cote, Harrington, 2009):

- ένα πρόσωπο που κινείται με αναπηρικό καροτσάκι πρέπει να είναι σε θέση να μετακινηθεί χωρίς βοήθεια μέσω της πρόσβασης στην έξοδο, της εξόδου και της εξόδου της εκκένωσης

σε ένα δημόσιο χώρο. Προκειμένου να είναι προσβάσιμα τα μέσα εξόδου πρέπει στις υψομετρικές διαφορές να υπάρχουν ράμπες και όχι σκαλιά

• ένα πρόσωπο που κινείται με αναπηρικό καροτσάκι πρέπει να είναι σε θέση να μετακινηθεί χωρίς βοήθεια μέσω εκείνου του τμήματος της πρόσβασης στην έξοδο που είναι απαραίτητο ώστε να φτάσει σε ασφαλή περιοχή.

Σχεδιαστικά και Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά των Μέσων Εξόδου OSHA, 2003

Μερικές σχεδιαστικές και κατασκευαστικές απαιτήσεις για τις διαδρομές εξόδου είναι οι εξής (OSHA, 2003):

• οι διαδρομές εξόδου πρέπει να είναι μόνιμα τμήματα της εγκατάστασης
• οι έξοδοι της εκκένωσης πρέπει να οδηγούν απευθείας εκτός ή σε κάποιο δρόμο, διάδρομο, ασφαλή περιοχή, δημόσιο χώρο ή ανοιχτό χώρο. Αυτές οι περιοχές πρέπει να είναι αρκετά μεγάλες ώστε να φιλοξενήσουν όλους τους χρήστες του χώρου που ενδέχεται να χρησιμοποιήσουν τη διαδρομή εξόδου
• οι σκάλες εξόδου που συνεχίζουν εκτός του επιπέδου που οριοθετείται η έξοδος της εκκένωσης πρέπει να διακόπτονται στο συγκεκριμένο επίπεδο από πόρτες, χωρίσματα ή άλλα αποτελεσματικά μέσα που καταδεικνύουν με σαφήνεια την κατεύθυνση της διαδρομής που οδηγεί στην έξοδο της εκκένωσης
• οι πόρτες των διαδρομών εξόδου πρέπει να είναι ξεκλείδωτες από την εσωτερική πλευρά και πρέπει να είναι απαλλαγμένες από συσκευές ή συναγερμούς που θα μπορούσαν να περιορίσουν τη χρήση της διαδρομής εξόδου αν η συσκευή ή ο συναγερμός δε λειτουργήσει
• πλευρικά ανοιγόμενες πόρτες εξόδου πρέπει να χρησιμοποιούνται για να συνδέουν τους χώρους των εγκαταστάσεων με τις διαδρομές εξόδου. Αυτές οι πόρτες πρέπει να ανοίγουν προς την κατεύθυνση της διαδρομής εξόδου αν ο χώρος πρόκειται να καταληφθεί από περισσότερα από 50 άτομα ή αν το δωμάτιο είναι μία περιοχή υψηλής επικινδυνότητας
• οι διαδρομές εξόδου πρέπει να υποστηρίζουν το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο των ατόμων που εξυπηρετούνται σε κάθε όροφο και η χωρητικότητα μίας διαδρομής εξόδου δεν πρέπει να μειώνεται στην κατεύθυνση της διαδρομής μετάβασης στην έξοδο της εκκένωσης
• τα ανώτατα όρια των διαδρομών εξόδου πρέπει να είναι τουλάχιστον 2.28m στο ύψος
• μία είσοδος στη διαδρομή εξόδου πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.84m πλατιά σε όλα τα σημεία. Όπου υπάρχει μία μόνο είσοδος που οδηγεί στην έξοδο ή στην έξοδο της εκκένωσης το πλάτος της εξόδου και της εξόδου εκκένωσης πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το πλάτος της πρόσβασης στην έξοδο. Αντικείμενα που εξέχουν στην έξοδο, δεν πρέπει να μειώνουν το πλάτος της

Ορισμένες προδιαγραφές για τις εξόδους είναι οι ακόλουθες (OSHA, 2003):

• οι έξοδοι πρέπει να διαχωρίζονται από πυράντοχα υλικά, δηλαδή να έχουν μία ώρα αντοχή σε πυρκαγιά, αν η έξοδος συνδέει τρεις ή λιγότερους ορόφους και να έχουν δύο ώρες αντοχή σε πυρκαγιά αν η έξοδος συνδέει περισσότερους από τρεις ορόφους
• οι έξοδοι επιτρέπεται να έχουν μόνο εκείνα τα ανοίγματα που είναι απαραίτητα για να επιτρέπουν την πρόσβαση προς την έξοδο από κατεχόμενες περιοχές του χώρου εργασίας ή προς την έξοδο της εκκένωσης. Τα ανοίγματα πρέπει να προστατεύονται από αυτόματο μηχανισμό κλεισίματος, εγκεκριμένες πυράντοχες πόρτες που παραμένουν κλειστές ή κλείνουν αυτόματα σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης

Ορισμένα στοιχεία σχετικά με τη συντήρηση, τη διαφύλαξη και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των διαδρομών εξόδου (OSHA, 2003):

- η διατήρηση των διαδρομών εξόδου χωρίς εκρηκτικά ή εύφλεκτα έπιπλα ή άλλα διακοσμητικά
- διάρθρωση των διαδρομών εξόδου έτσι ώστε οι εργαζόμενοι να μην χρειάζεται να μετακινηθούν προς τη κατεύθυνση μίας περιοχής υψηλού κινδύνου εκτός αν η διαδρομή της μετάβασης είναι αποτελεσματικά προστατευμένη από την περιοχή υψηλού κινδύνου
- η βεβαίωση ότι οι διαδρομές εξόδου είναι ανεμπόδιστες από υλικά, εξοπλισμό, κλειδωμένες πόρτες ή αδιέξοδα
- η βεβαίωση ότι τα μέτρα που έχουν θεσπιστεί για τη προστασία των εργαζομένων κατά τη διάρκεια μίας έκτακτης ανάγκης παραμένουν σε καλή κατάσταση λειτουργίας
- η παροχή φωτισμού των διαδρομών εξόδου που να είναι επαρκής για τους εργαζόμενους με κανονική όραση
- η διατήρηση των θυρών των διαδρομών εξόδου χωρίς διακοσμήσεις ή σημεία που επισκιάζουν την ορατότητα των θυρών
- η τοποθέτηση πινακίδων κατά μήκος της πρόσβασης σε έξοδο που να υποδεικνύουν την κατεύθυνση της διαδρομής στην πλησιέστερη έξοδο και την έξοδο της εκκένωσης αν η κατεύθυνση δεν είναι άμεσα εμφανής. Επίσης, η οπτική επαφή σε ένα σήμα εξόδου πρέπει να είναι σαφώς ορατή
- η τοποθέτηση πινακίδων εξόδου σε απλά ευανάγνωστα γράμματα με την έκφραση «ΕΞΟΔΟΣ»
- η ανανέωση χρωματισμού επικάλυψης που λειτουργεί επιβραδυντικά στην εξέλιξη της πυρκαγιάς ή άλλες λύσεις επαρκείς για να διατηρήσουν τις ιδιότητες επιβράδυνσης της πυρκαγιάς
- η διατήρηση των διαδρομών εξόδου κατά τη διάρκεια κατασκευής, επισκευής ή μετατροπών

3.2.2. Χωρητικότητα των Μέσων Εξόδου

3.2.2.1 Φορτίο Χρηστών

Η συνολική χωρητικότητα των μέσων εξόδου, πρέπει να είναι επαρκής για το φορτίο των επιβατών αυτών (Cote, Harrington, 2009). Τα μέσα εξόδου έχουν σαν σκοπό να εξυπηρετήσουν όλους τους ανθρώπους που χρησιμοποιούν το χώρο. Η ταξινόμηση κατά μέγεθος επιτυγχάνεται μέσω μιας καθορισμένης μεθόδου ταιριάζοντας το φορτίο των χρηστών του ορόφου έναντι της υπολογισμένης χωρητικότητας εξόδου των στοιχείων της εξόδου που εξυπηρετούν τον όροφο. Δεν έχει σκοπό να εξασφαλίσει ότι όλοι οι χρήστες μπορούν να φύγουν αμέσως, ωστόσο στοχεύει στην γρήγορη κίνηση χωρίς τη δημιουργία μεγάλων ουρών (Cote, Harrington, 2009). Η γεωμετρία της κατασκευής, η πληρότητά της και το σχετιζόμενο φορτίο των χρηστών, καθώς και η απόσταση μετακίνησης στις εξόδους υπαγορεύουν, σε μεγάλο βαθμό, τη θέση των εξόδων, τον αριθμό των εξόδων, καθώς και την χωρητικότητα των εξόδων και την πρόσβαση σε αυτές (Αρβελάκη, 2014). Κατά συνέπεια, οι ίδιοι οι έξοδοι επηρεάζουν το σχέδιο και τη διάταξη του συνόλου των μέσων του συστήματος εξόδου (Cote, Harrington, 2009). Ο αριθμός των ανθρώπων που μπορούν να εξυπηρετήσουν τα μέσα του συστήματος εξόδου δεν καθορίζεται μόνο από την ικανότητα των εξόδων, αλλά και από τον αριθμό των ατόμων που μπορεί να εξυπηρετήσει κάθε τμήμα της πρόσβασης εξόδου και της εξόδου εκκένωσης. Τα νέα συστήματα εξόδου που χρησιμοποιούν δύο μέσα εξόδου πρέπει να είναι τέτοια σε μέγεθος που κάθε διαδρομή εξόδου να δύναται να φιλοξενήσει κατά ελάχιστο το μισό του φορτίου χρηστών του ορόφου. Σκοπός αυτής της

παραμέτρου είναι η πρόληψη μιας κατάστασης που η απώλεια οποιασδήποτε διαδρομής εξόδου, μειώνει την υπόλοιπη χωρητικότητα εξόδου σε λιγότερο από το ήμισυ αυτής που χρειάζεται για να φιλοξενήσει το φορτίο των χρηστών του ορόφου (Cote, Harrington, 2009). Το φορτίο των χρηστών δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τον αριθμό των ατόμων που καθορίζεται διαιρώντας το εμβαδόν του ορόφου που αντιστοιχεί στην εν λόγω χρήση με τον συντελεστή φορτίου των χρηστών για τη συγκεκριμένη χρήση (Cote, Harrington, 2009). Στον Πίνακα 3.1. δίνεται ο συντελεστής φορτίου ανάλογα με τη χρήση του χώρου. Το κανονικό φορτίο των χρηστών δεν είναι απαραίτητα κατάλληλο κριτήριο, διότι ο μεγαλύτερος κίνδυνος μπορεί να συμβεί όταν ένα ασυνήθιστα μεγάλο πλήθος είναι παρών.

Πίνακας 3.1. Συντελεστής Φορτίου Χρηστών [Πηγή: Cote, Harrington, 2009]

Use	Ft^2 per person	m^2 per person
Assembly Use	7 net	0.65 net
Concentrated use, without fixed seating	15 net	1.4 net
Less concentrated use, without fixed seating	1person/18 linear in	1person/455linear mm
Bench-type seating	Number of fixed seats	Number of fixed seats
Kitchens	100	9.3
Library stack areas	100	9.3
Library reading rooms	50 net	4.6 net
Swimming pools	50 (water surface)	4.6 (water surface)
Swimming pool decks	30	2.8
Exercise rooms with equipment	50	4.6
Exercise rooms without equipment	15	1.4
Stages	15 net	1.4 net
Lighting and access catwalks, galleries, gridirons	100 net	9.3 net
Casinos and similar gaming areas	11	1
Skating rinks	50	4.6
Educational Use		
Classrooms	20net	1.9net
Shops, laboratories, vocational rooms	50 net	4.6 net
Day-Care Use		
Health Care Use		
Inpatient treatment departments	240	22.3
Sleeping departments	120	11.1
Ambulatory health care	100	9.3
Detention and Correctional Use	120	11.1
Residential Use		
Hotels and dormitories	200	18.6
Apartment buildings	200	18.6
Board and care, large	200	18.6
Industrial Use		
General and high hazard industrial	100	9.3
Business Use (other than bellow)	100	9.3
Air traffic control tower observation levels	40	3.7
Storage Use		
In mercantile occupancies	300	27.9
In other than storage and mercantile occupancies	500	46.5
Mercantile Use		
Sales area on street floor	30	2.8
Sales area on two or more street floor	40	3.7
Sales area on floor below street floor	30	2.8
Sale area on floors above street floor	60	5.6
Floors or portions of floors used only for storage, receiving and shipping, and not open to public	300	27.9
Mall buildings	Per factors applicable to use of space	

3.2.2.2. Χωρητικότητα Εκκένωσης

Η χωρητικότητα της εκκένωσης βασίζεται στους συντελεστές χωρητικότητας οι οποίοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.. Οι συγκεκριμένοι συντελεστές έχουν σχέση με το είδος του χώρου και το μέσο που χρησιμοποιείται για την εκκένωση.

Πίνακας 3.2. Συντελεστές Χωρητικότητας [Πηγή: Cote, Harrington 2009]

Area	Stairways (width per person)		Level Components and Ramps (width per person)	
	in.	mm	in.	mm
Board and care	0.4	10	0.2	5
Health care, sprinklered	0.3	7.6	0.2	5
Health care, nonsprinklered	0.6	15	0.5	13
High hazard contents	0.7	18	0.4	10
All others	0.3	7.6	0.2	5

Η απαιτούμενη χωρητικότητα ενός διαδρόμου πρέπει να είναι το φορτίο των ατόμων που χρησιμοποιεί το διάδρομο για την πρόσβαση στην έξοδο διαιρώντας το με τον απαιτούμενο αριθμό των εξόδων που συνδέει ο διάδρομος. Ωστόσο, η χωρητικότητα του διαδρόμου δεν μπορεί να είναι μικρότερη από την απαιτούμενη χωρητικότητα της εξόδου στην οποία ο διάδρομος οδηγεί. Ο διάδρομος δεν επιτρέπεται να δημιουργεί μία στένωση η οποία δυσχεραίνει και εμποδίζει τη ροή των ατόμων προς το άνοιγμα της πόρτας εξόδου.

3.2.3. Αριθμός Μέσων Εκκένωσης

Ένας χώρος εργασίας πρέπει να έχει κατά ελάχιστο δύο διαδρομές εξόδου για να είναι εφικτή η άμεση εκκένωση των εργαζομένων και των υπόλοιπων παρευρισκόμενων σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης (OSHA, 2003). Ωστόσο, είναι πιθανό να απαιτούνται και περισσότεροι από δύο έξοδοι σε περιπτώσεις που ο αριθμός των εργαζομένων, το μέγεθος του χώρου ή η διευθέτηση του χώρου εργασίας δεν αφήνουν την ασφαλή εκκένωση. Οι διαδρομές της εξόδου πρέπει να είναι σε τοποθεσίες τέτοιες που η πρόσβαση στην καθεμία να είναι κατά το δυνατό ευκολότερη σε περίπτωση που η άλλη έξοδος έχει αποκλειστεί από πυρκαγιά ή καπνό. Η ύπαρξη μίας διαδρομής εξόδου είναι δυνατή μόνο αν ο αριθμός των εργαζομένων, το μέγεθος του χώρου ή η χρήση του επιτρέπουν στους εργαζόμενους να προχωρήσουν σε εκκένωση με ασφάλεια σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Συγκεκριμένα, ανάλογα με το φορτίο των χρηστών ο αριθμός των μέσων εξόδου καθορίζεται ως εξής (Cote, Harrington, 2009):

Για φορτίο χρηστών μεταξύ 500 και 1000	**→τουλάχιστον 3 έξοδοι**
Για φορτίο χρηστών άνω των 1000	**→τουλάχιστον 4 έξοδοι**

Στα πολυόροφα κτήρια θα πρέπει να καθορίζεται το φορτίο των χρηστών κάθε ορόφου μεμονωμένα και να χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του αριθμού των μέσων εξόδου σε κάθε όροφο, διασφαλίζοντας ότι ο απαιτούμενος αριθμός των μέσων εξόδου δε μειώνεται στην κατεύθυνση της διαδρομής εκκένωσης.

3.3. Τύποι Εκκένωσης

Οι τύποι της εκκένωσης καθορίζονται από δύο συνιστώσες: Το χρόνο εκκένωσης και τον τρόπο διεξαγωγής τους (Καλλιανιώτης, 2015).

Με βάση τον χρόνο, οι τύποι εκκένωσης αποτελούνται από δύο κατηγορίες:

→ Άμεση εκκένωση: Η εκκένωση που προκύπτει λόγω ατυχήματος και απαιτεί άμεση αντίδραση με αποτέλεσμα να μην επιτρέπει επαρκή προειδοποίηση και να έχει 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: Η εκκένωση αυτή είναι επακόλουθο ενός γεγονότος για το έχει προηγηθεί κάποια ένδειξη ή προειδοποίηση και αφήνει ανεπηρέαστο τον χρόνο προετοιμασίας. Παραδείγματα τέτοιων γεγονότων είναι κατά κύριο λόγο ακραία καιρικά φαινόμενα όπως πλημμύρες, κυκλώνες και άλλα.

Με βάση τον τρόπο διεξαγωγής τους διακρίνονται δύο διαφορετικοί τύποι εκκένωσης: η μερική εκκένωση και η πλήρης ή συνολική εκκένωση. Για τον καθορισμό του τύπου εκκένωσης θα πρέπει να συνεκτιμώνται η φύση της καταστροφής ή της έκτακτης ανάγκης, η δυνητική απειλή για την ασφάλεια των παρευρισκόμενων καθώς και η αμεσότητα της απειλής (Gustin, 2007).

→ Μερική εκκένωση: Κατά τη μερική εκκένωση, μετακινούνται μόνο οι παρευρισκόμενοι που επηρεάζονται από κάποιο συμβάν το οποίο θέτει σε κίνδυνο την ασφάλειά τους, εκκενώνοντας την απειλούμενη ζώνη και πηγαίνοντας σε μια ασφαλή ή προστατευμένη περιοχή η οποία βρίσκεται είτε εντός είτε εκτός της εγκατάστασης.

→ Πλήρης ή συνολική εκκένωση: Για αυτή την εκκένωση απαιτείται η εγκατάλειψη όλων των εγκαταστάσεων από το σύνολο των παρευρισκόμενων σε αυτές, με μόνη εξαίρεση την ομάδα αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης ή καταστροφής. Αυτοί που απαρτίζουν την ομάδα ενδεχομένως να παραμείνουν για να βεβαιωθούν ότι όλοι οι παρευρισκόμενοι έχουν εγκαταλείψει τον χώρο και να διασφαλίσουν τις κρίσιμες περιοχές και λειτουργίες του χώρου, ανάλογα πάντα με τη φύση και την αμεσότητα της καταστροφής ή της έκτακτης ανάγκης (Gustin, 2007).

3.4. Παράγοντες εκκένωσης

Κατά τον προσδιορισμό του τύπου εκκένωσης που θα εφαρμοστεί λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες. Στους βασικούς παράγοοτες εκκένωσης διακρίνονται οι εξής:

- η φύση του συμβάντος έκτακτης ανάγκης ή καταστροφής
- η δυνητική απειλή για την ασφάλεια των παρευρισκόμενων, όπως εκτιμάται από τη σοβαρότητα του περιστατικού.

Οι παράγοντες αυτοί καθορίζουν και την αμεσότητα την ανάγκης εκκένωσης.

Για την ανάπτυξη στρατηγικών εκκένωσης οφείλουν να εξετάζονται και άλλοι κρίσιμοι παράγοντες. Υπάρχουν αρκετοί ακόμα παράγοντες που σχετίζονται με την εκτέλεση της εκκένωσης και πρέπει να μελετώνται κατά τη δημιουργία του σχεδίου εκκένωσης, όπως:

• Ο καταμερισμός των ευθυνών και των αρμοδιοτήτων εντός των εγκαταστάσεων, που σχετίζονται με την εντολή έναρξης και την εποπτεία της εκκένωσης. Ανάλογα με τη φύση και τη σοβαρότητα του συμβάντος έκτακτης ανάγκης ή καταστροφής, 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 την εντολή εκκένωσης και αν αυτή πρέπει να δοθεί ή όχι, γεγονός που έχει να κάνει με τη διαθεσιμότητα των έγκαιρων και συναφών πληροφοριών. Στην περίπτωση που η απόφαση ληφθεί πολύ νωρίς ενώ ο κίνδυνος έχει αρχίσει να υποχωρεί, οι παρευρισκόμενοι αλλά και ο ίδιος ο οργανισμός, ενδέχεται να έχουν εκτεθεί σε αδικαιολόγητο κίνδυνο, ταλαιπωρία και κόστος. Από την άλλη, αν η απόφαση ληφθεί πολύ αργά, οι παρευρισκόμενοι μπορεί να υποχρεωθούν είτε να εκκενώσουν υπό συνθήκες υψηλού κινδύνου είτε να βρουν καταφύγιο εντός των εγκαταστάσεων και ο οργανισμός να υποστεί όλες τις επιπτώσεις του κινδύνου.

• Η ετοιμότητα και η εκπαίδευση του οργανισμού ή της κοινότητας, είναι καίριας σημασίας για την επίτευξη 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 σε σχέση με την απόφαση της εκκένωσης και αν θα πρέπει να εκτελεσθεί εκτός των εγκαταστάσεων ή με 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 ενημέρωσης (έντυπη, ηλεκτρονική κ.α.) για τη διάδοση των πληροφοριών
- Να μεταφέρει έγκυρη, αξιόπιστη, 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. Για την ανάπτυξη στρατηγικών εκκένωσης, πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο σχηματισμού εσωτερικών ομάδων εκκένωσης και αναζήτησης. Οι ομάδες αυτές θα μπορούν άμεσα να εκτελούν και να ελέγχουν μια εκκένωση.

• Εκπαίδευση των 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.

3.5. Παράγοντες αποτελεσματικότητας της εκκένωσης

3.5.1. Αποφάσεις

Ο χρόνος για τη λήψη μιας απόφασης όταν συναντάται έκτακτη ανάγκη ή καταστροφή επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης. Οι άνθρωποι συνήθως χρειάζονται χρόνο για να λάβουν αποφάσεις, ενώ συχνά παρατηρείται η τάση οι άνθρωποι να αναβάλλουν τη λήψη επείγουσας απόφασης, μέχρι να γίνει σαφές ότι απαιτείται δράση. Επίσης, έχει σημειωθεί ότι άτομα σε ομάδες είναι πιο πιθανό να καθυστερούν να αντιδράσουν σε ένα προειδοποιητικό συναγερμό έως ότου είναι σαφές ότι η ομάδα αποδέχεται την ανάγκη να ληφθούν μέτρα έκτακτης δράσης (SFPE, 2002). Ο παράγοντας αυτός έχει καταγραφεί και ποσοτικοποιηθεί από έρευνες και ονομάζεται «συνειρμικός» παράγοντας. Για τη μείωση της καθυστέρησης της ανάληψης επείγουσας δράσης είναι απαραίτητα η έγκαιρη εκπαίδευση, η οργάνωση και η πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο για ένα περιστατικό έκτακτης ανάγκης.

Μία από τις πιο διαδεδομένες αναλύσεις δεδομένων που σχετίζονται με ενέργειες επείγουσες ανάγκης σε κατοικίες είναι αυτή του Levin (1985) κατά την οποία προτείνεται η ταξινόμηση της ταχύτητας αντίδρασης σε τέσσερις κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές βασίζονται στην αρχική ερμηνεία των ενδείξεων από τα μεμονωμένα εμπλεκόμενα άτομα και ορίζονται ως διακριτές κλάσεις. Οι κλάσεις που έχουν προταθεί είναι οι εξής (SFPE, 2002):

Α: το άτομο πιστεύει ότι μπορεί να υπάρχει μία πυρκαγιά (αλλά δεν είναι βέβαιο)

Β: το άτομο πιστεύει ότι είναι πιθανό να υπάρχει μία πυρκαγιά

Γ: το άτομο είναι σίγουρο ότι υπάρχει μία πυρκαγιά και έχει δει επαρκή καπνό για να πιστεύει ότι η πυρκαγιά είναι επικίνδυνη

Δ: το άτομο έχει δει φλόγες

Κατά συντριπτική πλειοψηφία η καθολική απόκριση, σε μία αμφίβολη περίπτωση της κατηγορίας Α, είναι η αναζήτηση πληροφοριών. Εξαίρεση από τον γενικό αυτό κανόνα αποτελούν αυτοί που είναι υπεύθυνοι για άτομα που δε μπορούν να φροντίσουν τον εαυτό τους, όπως μικρά παιδιά ή άτομα με ειδικές ανάγκες και είναι αυτοί που αναλαμβάνουν δράση για να προχωρήσουν σε εκκένωση ή να παρέχουν προστασία. Αντίθετα, σε μία αμφίβολη κατάσταση της κατηγορίας Δ, δράση έκτακτης ανάγκης λαμβάνεται πάντα. Σε αμφίβολες καταστάσεις των κατηγοριών Β και Γ ορισμένα άτομα συνεχίζουν να αναζητούν πληροφορίες, ενώ άλλα αναλαμβάνουν άλλες μορφές δράσης έκτακτης ανάγκης, όπως η αντιμετώπιση της πυρκαγιάς, κλήση της πυροσβεστικής υπηρεσίας και εκκένωση του χώρου. Για τις περιπτώσεις που τα άτομα κατατάχθηκαν στις κατηγορίες Β και Γ, το ποσοστό των ατόμων που αναζητούν πληροφορίες αντί να προβούν σε ενέργειες έκτακτης ανάγκης ήταν περίπου 50 % από την κατηγορία Β και 35 % από την κατηγορία Γ.

3.5.2. Χρόνος Έρευνας

Οι άνθρωποι συχνά αναζητούν μεμονωμένα ενδείξεις για να αποσαφηνίσουν τις αμφιβολίες που υπάρχουν σε περιπτώσεις πυρκαγιών (SFPE, 2002). Από καταγραφή των συμπεριφορών των ατόμων που έχουν εμπλακεί σε περιπτώσεις πυρκαγιάς σε ξενοδοχείο προέκυψαν στοιχεία που δείχνουν ότι συχνά εμφανίζονται αρκετές αντιπαραγωγικές κινήσεις. Η πιο διαδεδομένη από αυτές τις κινήσεις είναι η αναζήτηση πληροφοριών για τις οποίες τα άτομα

αισθάνονται ότι είναι απαραίτητες ώστε να λάβουν την κατάλληλη απόφαση. Γίνεται έτσι αντιληπτό ότι η σαφή πληροφόρηση στους χρήστες του κτιρίου σχετικά με την εμφάνιση και τη θέση της πυρκαγιάς καθώς και για την κατάσταση των οδών διαφυγής μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της απόδοσης της εκκένωσης.

3.5.3. Εύρεση της διαδρομής εξόδου

Η εύρεση της διαδρομής εξόδου είναι πολύ σημαντική ειδικά σε περιπτώσεις στις οποίες τα άτομα που καλούνται να εκκενώσουν ένα κτήριο δεν είναι εξοικειωμένα με αυτό καθώς και με το σύστημα εξόδου έκτακτης ανάγκης. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε επειδή είναι επισκέπτες αυτού του κτηρίου είτε σε κατασκευές ή εγκαταστάσεις που τα άτομα χρησιμοποιούν σπάνια τις σκάλες, όπως είναι τα ξενοδοχεία, κτήρια γραφείων πολλαπλών χρήσεων κ.α.
Η παροχή πινακίδων σήμανσης εξόδου και κατεύθυνσης εξόδου για την εύρεση της διαδρομής εξόδου αποτελεί την τυπική λύση που συναντάται. Ωστόσο, η ικανότητα ενός ατόμου να βρει τη διαδρομή εξόδου δεν είναι η ίδια για όλους και σχετίζεται με το πόσο καλά το άτομο αντιλαμβάνεται τη θέση του και το περιβάλλον (SFPE, 2002). Ο όρος που δίνεται συχνά για να περιγράψει την παραπάνω αντίληψη είναι η γνωστική χαρτογράφηση. Οι άνθρωποι τείνουν να διατηρούν τις γνωστικές εικόνες της χαρτογράφησης, σε απλές, τυποποιημένες μορφές όπως ευθείες γραμμές και ορθογώνια. Υπό αυτό το πρίσμα οι πινακίδες σήμανσης εξόδου είναι μόνο ένα μέρος της συνολικής ικανότητας του ατόμου να αντιλαμβάνεται έναν κατάλληλο γνωστικό χάρτη.

Ορισμένα άλλα κριτήρια που αξιολογούνται ως υψηλής σημασίας για την εξεύρεση της διαδρομής εξόδου είναι (SFPE, 2002):

- η πολυπλοκότητα του χώρου που σχετίζεται με κοινές διατάξεις ή παρόμοιους τύπους κτηρίων
- η ύπαρξη διακριτών ενδείξεων των σημείων ιδιαίτερης προσοχής

Ειδικά σε εγκαταστάσεις στις οποίες τα άτομα δεν είναι εξοικειωμένα με τις διαδρομές εξόδου είναι ευνοϊκότερο να υπάρχει όσο το δυνατόν απλούστερη διάταξη των διαδρομών και τα σημεία εξόδου να είναι εμφανή ως προς την τοποθεσία τους και να διαβεβαιώνουν ότι πράγματι οδηγούν στην ασφάλεια του.

Συμπερασματικά, η αποτελεσματικότητα της εύρεσης εξόδου έχει άμεση σχέση με την πολυπλοκότητα της διαρρύθμισης του χώρου. Μερικοί παράγοντες (SFPE, 2002) που αυξάνουν την πολυπλοκότητα είναι ασυνήθιστες διατάξεις των διαδρόμων, αμβλείες γωνίες, ομόκεντροι διάδρομοι και θύρες πρόσβασης στην έξοδο που εμφανίζονται να είναι ίδιες με τις υπόλοιπες πόρτες. Αντίθετα, η απλοποίηση της διάταξης του χώρου και ο σαφής προσδιορισμός της διαδρομής εξόδου μειώνουν το χρόνο που απαιτείται για την εύρεση της διαδρομής εξόδου και συνεπώς τον συνολικό χρόνο της εκκένωσης.

3.5.4 Διαχείριση Σημείων Συγχώνευσης Ροών

Οι υπολογισμοί του χρόνου εκκένωσης μέσω αναλύσεων υποθέτουν ότι η ροή των ανθρώπων είναι παρόμοια με αυτή της υδραυλικής ροής (SFPE, 2002). Έτσι, η συγχώνευση δύο ροών, δηλαδή ατόμων που εισέρχονται από ένα χώρο στο κλιμακοστάσιο που υπάρχει ήδη ροή ατόμων, θεωρείται ότι αυτορυθμίζεται σύμφωνα με τις δυνατότητες του κλιμακοστασίου και την ποσότητα της ροής από κάθε πηγή.

Σε περιπτώσεις ασκήσεων εκκένωσης λόγω έκτακτης ανάγκης έχει παρατηρηθεί έντονη διακοπή της συνέχειας της ροής. Όταν μία ροή σταματάει, μία άλλη ξεκινάει σε ένα σημείο συγκέντρωσης. Η μεγαλύτερη απόδοση στη συγκέντρωση της ροής συμβαίνει όταν μία ροή χρησιμοποιεί μία διαδρομή εξόδου στη μέγιστη χωρητικότητά της, μπλοκάρει κάθε άλλη είσοδο μέχρι να ολοκληρωθεί η ροή πέρα από το σημείο συγχώνευσης των ροών (SFPE, 2002).
Σε πραγματικές εκκενώσεις, ωστόσο, υπάρχει συνήθως η κατανομή της πρόσβασης στα σημεία των συγκεντρώσεων. Αυτή η κατάσταση προκαλεί διακοπές στη ροή εξόδου οι οποίες μπορεί να έχουν μία σημαντική επίπτωση στη χωρητικότητα της διατομής εξόδου. Συγκεκριμένα, έχουν παρατηρηθεί επιδράσεις τόσο υψηλές όσο 30-50% μείωση στη ροή σε κλιμακοστάσιο μόνο από τη συγκεκριμένη αιτία.

3.5.5. Αυτοσυγκράτηση

Έχει παρατηρηθεί ότι εγκαταστάσεις με υψηλό αριθμό παρευρισκομένων τα άτομα παραμένουν σε κατάσταση αναμονής και απέχουν από τη διαδικασία της εκκένωσης μέχρι να μειωθεί το πλήθος (μείωση της πυκνότητας) (SFPE, 2002). Όταν αυτά τα άτομα φτάνουν σε κρίσιμα σημεία εξόδου, όπως είναι συνήθως το κλιμακοστάσιο το οποίο τροφοδοτείται συνεχώς από μία μικρή ουρά αναμονής, η δράση των ατόμων δεν θα έχει κάποιο αντίκτυπο. Ωστόσο, όταν μία καθυστέρηση προκύπτει από ένα μεμονωμένο άτομο, η τροφοδοσία στα κρίσιμα σημεία μειώνεται και προκαλείται μείωση στην αποτελεσματικότητα της εκκένωσης.

3.5.6. Άνιση Χρήση των Εγκαταστάσεων Εξόδου

Όταν μία οι περισσότερες εγκαταστάσεις εξόδου χρησιμοποιούνται περισσότερο από άλλες, η αποτελεσματικότητα της εκκένωσης μειώνεται, καθώς υπάρχει υπερφόρτωση ορισμένων διαδρομών εξόδου.
Η επίδραση της άνισης χρήσης των εγκαταστάσεων εξόδου μπορεί να εκτιμηθεί ως συνάρτηση (SFPE, 2002):

- της κατανομής των εξόδων σε σχέση με την κατανομή του πληθυσμού
- του βαθμού που οι έξοδοι θα χρησιμοποιηθούν είτε για είσοδο στο κτήριο ή για κοινή χρήση εντός της κατασκευής
- του συνόλου των γνωστικών παραγόντων χαρτογράφησης

3.6. Χαρακτηριστικά Μετακίνησης Ατόμων

Για να μελετηθεί η εκκένωση εγκαταστάσεων σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης ή καταστροφής είναι απαραίτητο να μελετηθούν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά που αφορούν τη μετακίνηση των ατόμων τόσο εν γένει όσο και σε επείγουσες καταστάσεις. Υπάρχουν τρεις θεμελιώδεις παράμετροι που χρησιμοποιούνται με σκοπό να καθοριστεί

ποσοτικά η μετακίνηση των ατόμων. Αυτοί είναι η πυκνότητα, η ταχύτητα και η ροή (SFPE, 2002).

- Ως πυκνότητα ορίζεται ο αριθμός των ατόμων σε μία μονάδα επιφάνειας διάβασης πεζών (π.χ. 2 άτομα/m2). Συχνά, αυτή η παράμετρος αναφέρεται με τη χρήση του αντιστρόφου της πυκνότητας, δηλαδή, η επιφάνεια ανά άτομο ή μονάδα πεζών (π.χ. 0.5m2/άτομο).
- Ως ταχύτητα ορίζεται η απόσταση που καλύπτεται από ένα άτομο που κινείται στη μονάδα του χρόνου (π.χ. 1m/s).
- Ως ροή ορίζεται ο αριθμός των ατόμων που διέρχονται από ένα σημείο αναφοράς σε μία μονάδα του χρόνου (π.χ. 2 άτομα/s). Ο όρος ροή χρησιμοποιείται συχνά σε μια απλή, μη τεχνική προσέγγιση, όταν υπονοείται ο γενικός όρος της κίνησης ή όταν η ταχύτητα είναι αυτή που καθορίζεται στην πραγματικότητα.

Αυτές οι τρεις παράμετροι σχετίζονται, μαζί με το πλάτος της διατομής, στη παρακάτω θεμελιώδη εξίσωση (SFPE, 2002):

$$\text{ροή} = \text{ταχύτητα} \times \text{πυκνότητα} \times \text{πλάτος}$$

Η ταχύτητα εξαρτάται από την πυκνότητα, καθώς τα άτομα μπορούν να κινηθούν ταχύτερα αν υπάρχει μεγαλύτερος απόσταση ανάμεσα τους. Αντίθετα, όσο λιγότερος χώρος υπάρχει, τόσο πιο περιορισμένη είναι η κίνηση τους μέχρι το σημείο που θα βρεθούν πολύ κοντά με αποτέλεσμα να κινούνται ακανόνιστα, αργά και να ανακατεύονται.

Το παραπάνω μπορεί να εκφραστεί και με ποσοτικό τρόπο. Όταν η πυκνότητα των πεζών είναι μικρότερη από 0.5 άτομα/m2 , τα άτομα είναι σε θέση να κινηθούν κατά μήκος του διαδρόμου με ταχύτητα 1.25m/s, που αποτελεί μία μέση ταχύτητα ώστε να κινηθούν ανεμπόδιστα (SFPE, 2002). Με μεγαλύτερη πυκνότητα, η ταχύτητα μειώνεται και όταν φτάσει τα 4-5 άτομα/m2 οδηγεί σε κατάσταση στασιμότητας (SFPE, 2002).

Οι ταχύτητες της κίνησης μεταβάλλονται περισσότερο σε χαμηλές πυκνότητες. Όταν η πυκνότητα είναι χαμηλή, δεν είναι απαραίτητη η κίνηση με υψηλές ταχύτητες. Η ταχύτητα έχει να κάνει κυρίαρχα με τα χαρακτηριστικά των παρευρισκόμενων όπως η ηλικία, οι περιορισμοί και η ομαδοποίηση (π.χ. μία οικογένεια πρόκειται να κινηθεί με την ταχύτητα του πιο αργού μέλους της που μπορεί να είναι ένα παιδί ή ένας ηλικιωμένος) (SFPE, 2002). Στις σκάλες οι ταχύτητες κίνησης είναι ελαφρώς χαμηλότερες.

Μελέτες έχουν δείξει ότι οι βέλτιστες συνθήκες ροής σε μία ανεξέλεγκτη ολική/πλήρη εκκένωση για μια τυπική σκάλα εξόδου (1120mm) σε ένα γεμάτο κτήριο γραφείων είναι οι ακόλουθες (SFPE, 2002):

- κάθε άτομο θα καταλάβει χώρο ελαφρώς λιγότερο από δύο σκαλοπάτια
- θα υπάρχει κάθοδος του κάθε ορόφου κάθε 15 δευτερόλεπτα
- ένα άτομο/s θα διέρχεται από ένα σταθερό σημείο

Εκφρασμένες ποσοτικά, οι βέλτιστες συνθήκες ροής για εκκένωση σε κατώτερο όροφο είναι οι εξής (SFPE, 2002):

- πυκνότητα 2 άτομα/m2
- ταχύτητα 0.5 m/s κατά μήκος της κλίσης της σκάλας
- ροή 1.18 άτομα/(m*s) στο ενεργό πλάτος της σκάλας

3.7. Τύποι Ροής

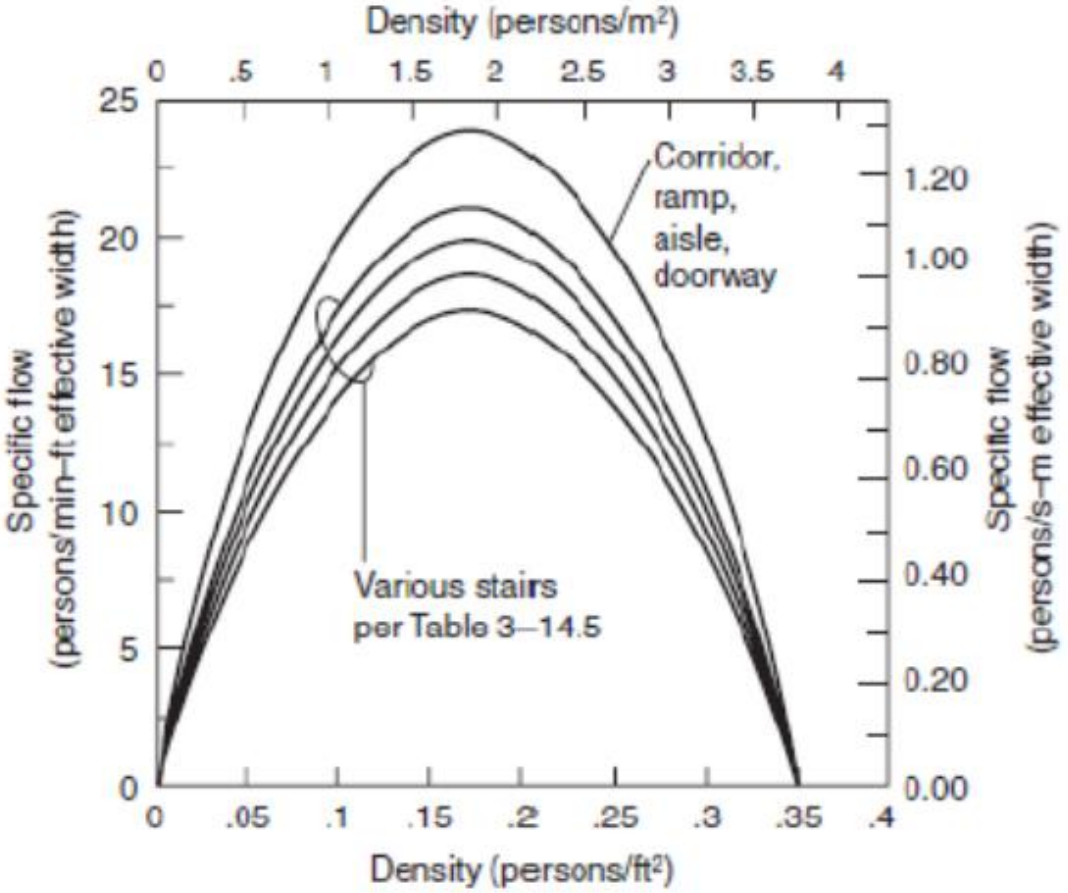
Υπάρχουν δύο τύποι ροής, η ειδική και η υπολογισθείσα ροή.

Ειδική Ροή (Fs) , είναι η ροή των ενοίκων που εκκενώνουν το χώρο χρησιμοποιώντας μια όδευση διαφυγής, ανά μονάδα ενεργού πλάτους, ανά μονάδα χρόνου (Nelson & Mowrer, Emergency Movement, 2002). Η ειδική ροή εκφράζεται σε άτομα/s/m ενεργού πλάτους. Η εξίσωση για την ειδική ροή είναι η εξής (SFPE, 2002):

$$Fs = S \times \mathrm{D}$$

όπου:
Fs: η ειδική ροή (άτομα/s/m)
S: η ταχύτητα κίνησης (m/s)
D: η πυκνότητα (άτομα/m^2)

Η σχέση μεταξύ της ειδικής ροής και της πυκνότητας παρουσιάζεται στο Γράφημα 3.1.. Σε κάθε περίπτωση η μέγιστη ειδική ροή εμφανίζεται για πυκνότητα 1.9 άτομα/m2 του χώρου της διαδρομής εξόδου.



Γράφημα 3.1. : Ειδική ροή συναρτήσει της πυκνότητας (Nelson & Mowrer, Emergency Movement, 2002)

Υπολογισθείσα Ροή (Fc), ορίζεται ως ο αριθμός των ανθρώπων που διέρχονται μέσα από μία διατομή όδευσης διαφυγής ανά δευτερόλεπτο και αποτελεί τον προβλεπόμενο ρυθμό ροής των ατόμων που διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο μίας διαδρομής διαφυγής. Προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την ειδική ροή Fs με το ενεργό πλάτος W_ε. Η εξίσωση για την πραγματική ροή είναι (SFPE, 2002):

$$Fc = Fs \times W_e$$

όπου:
Fc: η υπολογιζόμενη ροή
Fs: η ειδική ροή
W_e: το ενεργό πλάτος

3.8. Χρόνος Εκκένωσης σε περίπτωση πυρκαγιάς

Σε περιπτώσεις, όπως η πυρκαγιά, που χρειάζεται να γίνει εκκένωση κτηρίων ή εγκαταστάσεων, η πρόβλεψη της μετακίνησης των παρευρισκόμενων κατά τη διάρκεια της διαφυγής είναι μια σημαντική πτυχή των βασισμένων στην αποδοτικότητα μεθόδων ανάλυσης της πυρασφάλειας των κτηρίων. Η σχέση που δείχνει ότι η ασφάλεια της ζωής λόγω πυρκαγιάς επιτυγχάνεται είναι:

Απαιτούμενος χρόνος για ασφαλή έξοδο
Required Safe Egress Time (RSET)

$<$

Διαθέσιμο χρόνο για ασφαλή έξοδο
Available Safe Egress Time (ASET)

Με τον όρο ASET εννοείται ο χρόνος στον οποίο οι συνθήκες που αναπτύσσονται σε ένα χώρο λόγω πυρκαγιάς καθίστανται ανυπόφορες. Ο RSET ορίζεται σαν το άθροισμα διακριτών χρονικών διαστημάτων όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εξίσωση (SFPE, 2002):

$$RSET = t_d + t_a + t_o + t_i + t_e$$

Όπου:

t_d : ο χρόνος από την ανάφλεξη της πυρκαγιάς έως την ανίχνευση

t_a : ο χρόνος από τον εντοπισμό έως την ειδοποίηση των ατόμων για πυρκαγιά

t_o : ο χρόνος από τη γνωστοποίηση έως την απόφαση των ατόμων να λάβουν μέτρα

t_i : ο χρόνος από την απόφαση για δράση έως την έναρξη της διαδικασίας της εκκένωσης

t_e : ο χρόνος από την έναρξη της εκκένωσης έως την ολοκλήρωση της διαδικασίας της εκκένωσης

3.8.1. Στοιχεία της Κίνησης σε Επείγουσα Κατάσταση

Οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν για την πρόβλεψη της ροής ομάδων ανθρώπων σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης βασίζονται στη σχέση μεταξύ της ταχύτητας κίνησης και της πυκνότητας του πληθυσμού του ρεύματος εκκένωσης των ατόμων. Οι μέθοδοι αυτοί διέπνται στις περισσότερες περιπτώσεις από τις εξής παραδοχές (SFPE,2002):

- όλα τα άτομα θα αρχίσουν τη διαδικασία της εκκένωσης την ίδια χρονική στιγμή
- η ροή των ατόμων δεν συμπεριλαμβάνει διακοπές που προκαλούνται από αποφάσεις μεμονωμένων ατόμων
- όλα ή τα περισσότερα εμπλεκόμενα άτομα δεν παρουσιάζουν αναπηρία που θα παρεμπόδιζε σημαντικά την ικανότητά τους να συμβαδίζουν με την κίνηση των υπολοίπων

Η συγκεκριμένη προσέγγιση αναφέρεται συχνά ως ένα υδραυλικό μοντέλο διαφυγής σε περίπτωση επείγουσας κατάστασης. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος εκκένωσης, δηλαδή να γίνει μοντελοποίηση του χρόνου εκκένωσης. Δεδομένου ότι ο χρόνος εκκένωσης που προκύπτει από την ανάλυση είναι μία προσέγγιση που βασίζεται σε δεδομένα από ασκήσεις εκκένωσης και εμπειρία σε περιπτώσεις αντιμετώπισης πυρκαγιάς, ο χρόνος εκκένωσης που εκτιμάται με βάση την ανάλυση διαφέρει τον πραγματικό χρόνο εκκένωσης. Η διαφορά μεταξύ του υπολογισμένου με βάση την ανάλυση χρόνου εκκένωσης και του πραγματικού χρόνου εκκένωσης μπορεί να εκφραστεί με όρους φαινομενικής αποδοτικότητας της εκκένωσης χρησιμοποιώντας τη σχέση (SFPE, 2002):

$$t_e = t_{me} \times e$$

όπου:

t_{me}: χρόνος εκκένωσης όπως υπολογίζεται με βάση την ανάλυση

e: φαινομενική αποδοτικότητα εκκένωσης

Η φαινομενική αποδοτικότητα εκκένωσης, e, είναι μία συνάρτηση των στοιχείων που υπεισέρχονται στο μοντέλο της υδραυλικής ροής εκκένωσης. Είναι παράγοντες που μπορεί να μειώσουν την αποτελεσματικότητα της εκκένωσης. Τυπικά παραδείγματα των στοιχείων αποδοτικότητας είναι (SFPE, 2002):

- οι καθυστερήσεις που προκαλούνται από δραστηριότητες διαχείρισης της διαφυγής από φύλακες ή άλλους που κατευθύνουν την εκκένωση
- οι χρονικές καθυστερήσεις που συμπεριλαμβάνονται στη διακοπή και την επανεκκίνηση των ροών στα σημεία συγκέντρωσης
- οι καθυστερήσεις μεμονωμένων ατόμων τα οποία καθυστερούν το ξεκίνημά τους ή επιβραδύνουν το ρυθμό της κίνησής τους
- ανεπαρκής κατανομή στη χρήση των εγκαταστάσεων εξόδου, όπου κάποιες διαδρομές έκτακτης ανάγκης υπερφορτώνονται

Ο χρόνος εκκένωσης όπως εκτιμάται από την ανάλυση σπάνια επιτυγχάνεται στην πραγματικότητα. Η ακριβής εκτίμηση του αναμενόμενου χρόνου εκκένωσης απαιτεί τον υπολογισμό του χρόνου εκκένωσης μέσω ανάλυσης και την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της εκκένωσης (SFPE, 2002). Ο πραγματικός χρόνος από την έναρξη της πυρκαγιάς έως την εκκένωση περιλαμβάνει τον αναμενόμενο χρόνο κίνησης, te, και τα άλλα στοιχεία που συνθέτουν τον απαιτούμενο χρόνο RSET.

3.8.2. Χρόνοι Αντίδρασης σε Περίπτωση Πυρκαγιάς

Πολύ σημαντικό στοιχείο της διαδικασίας εκκένωσης είναι ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας (SFPE, 2002). Ο χρόνος ροής και ο χρόνος κίνησης είναι διακριτές έννοιες. Ο χρόνος ροής αφορά τον συνολικό χρόνο που απαιτείται

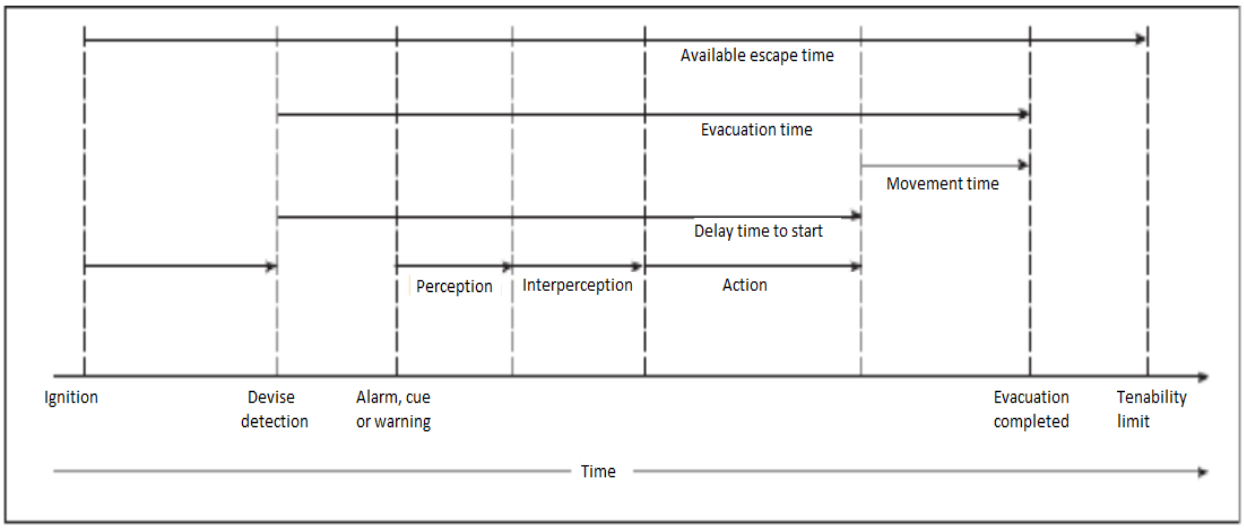
για τα άτομα για να μετακινηθούν πέρα από ή διαμέσου της τμήματος της κυκλοφορίας, ενώ ο χρόνος κίνησης είναι εκείνος που χρειάζεται για να κινηθεί από ένα σημείο προέλευσης σε ένα σημείο προορισμού το οποίο θα είναι ένα απομακρυσμένο και ασφαλές μέρος. Ο χρόνος ροής είναι μια συνάρτηση της ικανότητας ροής του πλήθους που αντιστοιχεί στο ωφέλιμο πλάτος του συγκεκριμένου στοιχείου της κυκλοφορίας και του πληθυσμού ή του αριθμού των ατόμων που πρόκειται να κινηθεί μέσα από αυτό. Ο πληθυσμός, η ικανότητα και ο χρόνος ροής σχετίζονται ως εξής (SFPE, 2002):

$$\textit{πληθυσμός} = \textit{ικανότητας ροής} \times \textit{χρόνος ροής}$$

Ο χρόνος εκκένωσης, από την άλλη, δεν αποτελεί μια απλή συνάρτηση αλλά είναι πιο περίπλοκο να ελεγχθεί και να εκτιμηθεί ή να προβλεφθεί σε σχέση με το χρόνο ροής. Ο χρόνος εκκένωσης περιλαμβάνει δύο κύριους παράγοντες:

- το χρόνο καθυστέρησης για να αρχίσει η διαδικασία της εκκένωσης
- τον χρόνο που χρειάζεται για τη μετάβαση σε ένα ασφαλές μέρος

Ο χρόνος για μία ασφαλή εκκένωση των παρευρισκόμενων σε περίπτωση πυρκαγιάς δεν είναι άλλος από τον χρόνο μέσα στον οποίο δεν προκύπτουν συμβάντα τα οποία δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν. Ένας τρόπος ώστε να απεικονιστεί ο χρόνος διαφυγής παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.1., στην οποία διαφαίνονται τα διαφορετικά στοιχεία του διαθέσιμου χρόνου.



Εικόνα 3.1. : Απεικόνιση του χρόνου αντίδρασης σε περίπτωση φωτιάς (SFPE, 2002)

Ο **χρόνος της ανάφλεξης** είναι ο χρόνος στον οποίο η πυρκαγιά εκδηλώνεται.
Στη συνέχεια υφίσταται ένα χρονικό διάστημα μέχρι να πραγματοποιηθεί η **ανίχνευση**. Το διάστημα αυτό μπορεί να διαρκέσει από μερικά δευτερόλεπτα έως μερικές ώρες, ανάλογα με τον τύπο της πυρκαγιάς και τις συσκευές ανίχνευσης που έχουν τοποθετηθεί στο χώρο.
Υπάρχει ακόμα ένας χρόνος που θεωρείται **μεταξύ της ανίχνευσης και της ενεργοποίησης του συναγερμού**. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτά τα δύο γεγονότα είναι σχεδόν ταυτόχρονα, αλλά θα μπορούσε να υπάρχει μία καθυστέρηση.
Ο **χρόνος έναρξης** να ξεκινά να υπολογίζεται όταν το σήμα του συναγερμού πυρκαγιάς γίνει αντιληπτό. Ο συναγερμός της πυρκαγιάς μπορεί να μην ενεργοποιηθεί ή να μη λειτουργεί κι επομένως οι παρευρισκόμενοι θα αντιληφθούν ενδείξεις πυρκαγιάς ή θα λάβουν προειδοποιήσεις από αυτή.

Ο **χρόνος καθυστέρησης** για την έναρξη περιλαμβάνει τρεις επιμέρους παραμέτρους: την **αντίληψη**, την **ερμηνεία** και τη **δράση**. Η αντίληψη είναι ο χρόνος που τα άτομα θα χρειαστούν, ώστε να αντιληφθούν το σήμα του συναγερμού πυρκαγιάς ή την ένδειξη της πυρκαγιάς ή την προειδοποίηση. Η ερμηνεία αυτών των πληροφοριών χρειάζεται κάποιο χρόνο και διαφορετικές ενέργειες που θα πρέπει να γίνουν για την έρευνα ή την αναζήτηση περισσότερων πληροφοριών πριν ληφθεί η απόφαση για εκκένωση. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της αντίληψης-ερμηνείας-δράσης τότε τα άτομα θα αρχίσουν να κινούνται.
Ο **χρόνος κίνησης** υπολογίζεται από το χρόνο της ροής μέσω διαφόρων στοιχείων του συστήματος εξόδου και του χρόνου μετακίνησης κατά μήκος των διαδρομών εξόδου.
Ο **χρόνος εκκένωσης** υπολογίζεται από τη στιγμή της ενεργοποίησης του συστήματος συναγερμού μέχρι τη στιγμή που το τελευταίο άτομο θα φτάσει σε ασφαλή περιοχή. (SFPE, 2002)

Ο διαθέσιμος χρόνος (ASET) για ασφαλή έφοδο και ολοκλήρωση της εκκένωσης για διαφορετικές επείγουσες καταστάσεις σε υπόγειους χώρους παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3. : Διαθέσιμος χρόνος εκκένωσης υπόγειου χώρου για διαφορετικές επείγουσες καταστάσεις (Κυρίτσης, 2010)

Επείγουσα Κατάσταση	**ASET** (min)	
Πυρκαγιά	Ύπαρξη ανιχνευτών, χωρίς ειδικά μέσα πρόληψης	15
	Με χρήση συστήματος αερισμού εκτροπής και περιορισμού της εξάπλωσης της πυρκαγιάς	30
	Με εσωτερικούς διαχωρισμούς πυροπροστασίας και πυροφραγμούς	45
Διαρροή τοξικών χημικών ουσιών	Ύπαρξη ανιχνευτών	15
	Με χρήση συστήματος αερισμού εκτροπής και περιορισμού της εξάπλωσης της διαρροής	30
Πλημμύρα, υδάτινες εισροές	45	
Διακοπή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας	60	
Σεισμική δόνηση	30	
Γενική απειλή: π.χ. απειλή για έκρηξη βόμβας	15 - 30	

Οι επιμέρους χρόνοι από τους οποίους αποτελείται ο απαιτούμενος χρόνος για την πραγματοποίηση της εκκένωσης επηρεάζονται και καθορίζονται από διάφορους παράγοντες (Κυρίτσης, 2010). Ενδεικτικά, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4. για την περίπτωση πυρκαγιάς οι παράγοντες επιρροής του **t_d που είναι ο χρόνος από την ανάφλεξη της πυρκαγιάς έως την ανίχνευση**, του **t_a που είναι ο χρόνος από τον εντοπισμό έως την ειδοποίηση των ατόμων για πυρκαγιά**, **του t_o που είναι ο χρόνος από τη γνωστοποίηση έως την απόφαση των ατόμων να λάβουν μέτρα**, του **t_i που είναι ο χρόνος από την απόφαση για δράση έως την έναρξη της διαδικασίας της εκκένωσης** και **του t_e που είναι ο χρόνος από την έναρξη της εκκένωσης έως την ολοκλήρωση της διαδικασίας της εκκένωσης**.

Πίνακας3.4.: Παράγοντες επιρροής των επιμέρους χρόνων στην περίπτωση πυρκαγιάς (Κυρίτσης, 2010)

Επιμέρους κατηγορία χρόνου	Παράγοντες Επιρροής
t_d, t_a	ανιχνευτές - αισθητήρες, θερμοκρασία ενεργοποίησης ανιχνευτών, εμβέλεια ανιχνευτών, πυκνότητα πληθυσμού, είδος δραστηριοτήτων του χώρου, χαρακτηριστικά πυρκαγιάς
t_o, t_i	εκπαίδευση πληθυσμού, βαθμός εξοικείωσης με διαδικασία εκκένωσης σύστημα συναγερμού
t_e	χώρος πυρκαγιάς, αριθμός εξόδων, μήκη διαδρόμων, πλάτη εξόδων, πληθυσμός, συμπεριφορά και απόκριση πληθυσμού, ταχύτητα πληθυσμού, διατάξεις διάσωσης, βάθος υπόγειου χώρου

Ο χρόνος ανίχνευσης της πυρκαγιάς td , όταν υπάρχει αυτόματος μηχανισμός ανίχνευσης λαμβάνεται 1 min, ενώ στην περίπτωση που δεν υπάρχει τέτοιο σύστημα τότε λαμβάνεται 2 min. Ο χρόνος ειδοποίησης του πληθυσμού ta έχει να κάνει με τον σχεδιασμό αντίδρασης του συστήματος και τον τρόπο που προβλέπεται η εκπομπή του σήματος της εκκένωσης (Κυρίτσης, 2010). Τα συστήματα συναγερμού διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους.

- Στην πρώτη κατηγορία το σύστημα ανιχνευτών αισθητήρων εντοπίζει καπνό, θερμότητα ή άλλες χημικές ενώσεις, τα στοιχεία μεταφέρονται σε κεντρικό υπολογιστικό κέντρο και μέσω ειδικού λογισμικού σημαίνει συναγερμός.

Κατηγορία 1:
$t_a = 0$

- Στην δεύτερη κατηγορία ο εντοπισμός γίνεται με τον ίδιο τρόπο, αλλά η σήμανση του συναγερμού γίνεται κατόπιν αξιολόγησης της επείγουσας κατάστασης με βάση τη στρατηγική αντιμετώπισης και διαχείρισης τέτοιων συμβάντων όπως αυτή έχει καθοριστεί.

Κατηγορία 2:
$t_a = 2 – 5$ min

- Στην τρίτη κατηγορία η σήμανση συναγερμού γίνεται με χειροκίνητο σύστημα από τοπικό χειριστήριο πλησίον του συμβάντος από άτομο του χώρου που αντιλαμβάνεται το συμβάν

Κατηγορία 3:
$t_a = 5 – 6$ min

Ο χρόνος από τη γνωστοποίηση έως την απόφαση των ατόμων να λάβουν μέτρα t_o και ο χρόνος από την απόφαση για δράση έως την έναρξη της διαδικασίας της εκκένωσης t_i διακρίνονται με βάση το σύστημα συναγερμού σε τρεις κατηγορίες (Κυρίτσης, 2010).

- Στην πρώτη κατηγορία οι οδηγίες παρέχονται σε πραγματικό χρόνο με φωνητικά μηνύματα από το κέντρο ελέγχου και διαχείρισης επειγουσών καταστάσεων ή

παρέχονται από μαγνητοφωνημένα μηνύματα σε συνδυασμό με προσωπικό που κατευθύνει τα άτομα.

- Στην δεύτερη κατηγορία οι οδηγίες παρέχονται μόνο από μαγνητοφωνημένα μηνύματα.
- Στην τρίτη κατηγορία οι οδηγίες παρέχονται από σύστημα συναγερμού και σειρήνες με προσωπικό το οποίο όμως δεν είναι ειδικά εκπαιδευμένο.

Οι τιμές των συγκεκριμένων χρόνων σε διάφορους τύπους χώρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5.: Χρόνοι t_o kai $t_ι$ σε min για διαφορετικές κατηγορίες συστήματος συναγερμού στην περίπτωση πυρκαγιάς (Κυρίτσης, 2010)

	Γραφεία σε υπόγειο χώρο	**Αποθήκες σε υπόγειο χώρο**	**Χώρος κοινοί επισκεπτών (αραιά)**	**Χώρος κοινού επισκεπτών (πυκνά)**
Κατηγορία 1 (min)	1	2	1	1
Κατηγορία 2 (min)	3	3	3	2
Κατηγορία 3 (min)	4 - 5	5 - 6	5	4 - 5

3.9. Κίνηση σε Καπνό λόγω Πυρκαγιάς

Βασικό στοιχείο για τη μελέτη της εκκένωσης λόγω πυρκαγιάς είναι ο καπνός που δημιουργεί και επηρεάζει την κίνηση των ατόμων. Ένας ισχυρισμός που λέει ότι κατά τη διάρκεια της εκκένωσης οι παρευρισκόμενοι που έρχονται αντιμέτωποι με καπνό, θα σταματήσουν και θα προσπαθήσουν να βρουν άλλη έξοδο φαίνεται ότι διαψεύδεται. Εκτιμάται ότι πάνω από το 60% των ατόμων που συμμετέχουν σε εκκένωση σε μικρά κτήρια κατοικιών διέρχονται μέσα από τον καπνό κατά την εκκένωση (SFPE, 2002). Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η κίνηση διαμέσου καπνού είναι επαναλαμβανόμενο γεγονός σε μία πυρκαγιά. Η εξήγηση της συμπεριφοράς αυτής ίσως οφείλεται στην ταυτόχρονη κίνηση ενός αριθμού των χρηστών που διαχέει τον καπνό από τον όροφο που εξελίσσεται η πυρκαγιά στους υπόλοιπους μέσα από το κλιμακοστάσιο κατά το άνοιγμα των θυρών για τη διαφυγή τους. Έτσι το κλιμακοστάσιο σε ένα πολυώροφο κτήριο μπορεί να μετατραπεί στο αμέσως πιο επικίνδυνο μέρος κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς για τους χρήστες, μετά το χώρο εκδήλωσης της πυρκαγιάς και τον όροφο εξέλιξης της πυρκαγιάς (SFPE, 2002).

Παρά το γεγονός ότι είναι γνωστό στο κοινό ότι ο καπνός προκαλεί το θάνατο των ανθρώπων, οι περισσότεροι φαίνεται να είναι προετοιμασμένοι να κινηθούν διαμέσου καπνού για να φτάσουν σε ασφάλεια. Η γνώση του κινδύνου που προκαλείται από τον καπνό, δε συνεπάγεται ότι το κοινό είναι καλός κριτής της πιθανής θανατηφόρας επιρροής του καπνού (SFPE, 2002). Όσοι έχουν βρεθεί σε τέτοιες καταστάσεις αναφέρουν ότι κατάφεραν να επιβιώσουν διαμέσου καπνού επειδή κινούνταν πολύ γρήγορα ή επειδή ανέπνεαν μέσω ενός πανιού ή κρατώντας την αναπνοή τους για να προστατευτούν. Στην πραγματικότητα τα εν λόγω άτομα στάθηκαν ιδιαίτερα τυχερά γιατί ο καπνός προκαλεί θάνατο και μάλιστα ταχύ, αφού ακόμα και δύο προσπάθειες αναπνοής μπορούν να προκαλέσουν απώλεια αισθήσεων. Το βασικό κριτήριο που οδηγεί τους ανθρώπους σε μία τέτοια επιλογή είναι η γνώση μίας περιοχής εξόδου και η ικανότητα εκτίμησης της απόστασης μέχρι την έξοδο (SFPE, 2002). Ακόμη σημαντικό ρόλο παίζει, ειδικά στα πολυώροφα κτίρια, η έντονη επιθυμία των χρηστών

να φτάσουν στο επίπεδο του εδάφους. Σημαντικό να αναφερθεί είναι το γεγονός ότι όταν οι ένοικοι αρχίζουν την εκκένωση είναι πιθανό να μην υπάρχει εμφανής καπνός, αλλά τελικά όσο κατεβαίνουν η κατάσταση να αλλάξει τελείως. Όταν συμβαίνει αυτό έχει παρατηρηθεί ότι δεν συμπεριφέρονται όλοι με τον ίδιο τρόπο, αλλά κάποιοι χρήστες μπορεί να επιμείνουν να κινηθούν με την ίδια κατεύθυνση, άλλοι θα γυρίσουν πίσω, ενώ κάποιοι άλλοι θα ψάξουν για καταφύγιο.

Εκτός από την κατεύθυνση της κίνησης που ενδέχεται να επηρεαστεί λόγω του καπνού, σημαντική είναι και η επίδραση που έχει στην ταχύτητα κίνησης των ατόμων. Από έρευνα του Jin (1997) προέκυψε ότι στο αρχικό στάδιο της πυρκαγιάς η ταχύτητα κίνησης των ατόμων ήταν πάνω από 1m/s, ενώ κατά την εξέλιξη της πυρκαγιάς μειώθηκε σημαντικά σε 0.5 m/s. Αυτό συμβαίνει διότι η ορατότητα μειώνεται κατά πολύ όσο εξελίσσεται η πυρκαγιά με τον καπνό να μετατρέπεται από λευκός σε μαύρο και πιο πυκνό. Ακόμη, μία έρευνα του Jensen (1993) που αφορούσε την επίδοση διαφορετικών συστημάτων καθοδήγησης διαμέσου καπνού, έδειξε ότι, ανεξάρτητα από το σύστημα πληροφοριών που χρησιμοποιείται, η ταχύτητα κίνησης κυμαίνεται σε 0,2 – 0,4 m/s. Όσοι έχουν επιβιώσει από καταστροφικές πυρκαγιές κινήθηκαν κατά μέσο όρο μόλις 10m σε βαρύ καπνό, γεγονός που σημαίνει ότι η έκθεσή τους στον καπνό ήταν μόλις 50 δευτερόλεπτα για ταχύτητα 0,2 m/s.

Μία ακόμη παράμετρος που επηρεάζει την κίνηση διαμέσου καπνού είναι η ταχεία κάλυψη των συστημάτων φωτισμού της οροφής που δημιουργεί την εντύπωση πλήρους συσκότισης (SFPE, 2002). Τα άτομα που έχουν βιώσει τη διαδικασία της εκκένωσης κτηρίων λόγω πυρκαγιάς και κινήθηκαν εντός του καπνού αναφέρουν στην πλειοψηφία τους ότι το ρεύμα ήταν εκτός λειτουργίας ακόμη και αν μετά την πυρκαγιά δεν εντοπίστηκε κάποιο σφάλμα στο σύστημα ηλεκτρισμού. Η εγκατάσταση συστημάτων καθοδήγησης από φωσφορίζον υλικό γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής για την αντιμετώπιση του προβλήματος της κίνησης σε συνθήκες συσκότισης. Στην έρευνα του Jensen (1993), φωσφορίζον υλικό τοποθετήθηκε ως μία συνεχής γραμμή στο επίπεδο του δαπέδου και σε απόσταση ενός μέτρου από το δάπεδο και λειτούργησε καλύτερα και πιο αποτελεσματικά από διατάξεις φωτισμού για να καθοδηγήσουν τα άτομα σε συνθήκες καπνού. Σε μία έρευνα πεδίου που πραγματοποιήθηκε από τον Poulx (2001), διαπιστώθηκε ότι οι ταχύτητες κίνησης σε ένα κλιμακοστάσιο, με φωσφορίζον σύστημα καθοδήγησης, σε συνθήκες συσκότισης, ήταν συγκρίσιμες με ταχύτητες για πλήρως φωτισμένο κλιμακοστάσιο.

Κεφάλαιο 4: Εκκένωση υπόγειων χώρων

4.1. Εισαγωγή

Οι υπόγειοι χώροι είναι ιδιαίτερη κατηγορία, αφού βρίσκονται κάτω από το έδαφος, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει φυσικός φωτισμός και αερισμός. Επιπρόσθετα στους υπόγειους χώρους, είναι πολύ εύκολο να χάσει κανείς τον προσανατολισμό του, και έτσι, με βάση όλα τα παραπάνω, οι συνθήκες εκκένωσης για τους ανθρώπους που βρίσκονται σε έναν υπόγειο χώρο είναι αρκετά διαφορετικές σε σχέση με τις συνθήκες που μπορεί να αναμένονται σε δημόσια κτίρια. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ο σχεδιασμός εκκένωσης σε έναν υπόγειο χώρο χρήζει διαφορετικής προσέγγισης. Ενδεικτικά αναφέρονται οι σημαντικότερες ιδιαιτερότητες οι οποίες επηρεάζουν την διαδικασία της εκκένωσης ενός υπόγειου χώρου (Κυρίτσης, 2010):

• η αίσθηση αποπροσανατολισμού των

• παρευρισκομένων η ανοδική κίνηση στα κλιμακοστάσια

• η ταχεία αύξηση της θερμότητας της καύσιμης ύλης

• ο καπνός που κινείται προς τις εξόδους διαφυγής

• καθυστέρηση στην έναρξη της εκκένωσης

• οι παρευρισκόμενοι τείνουν να βγουν από εκεί που μπήκαν

• το αίσθημα κούρασης κατά την κίνησή των παρευρισκομένων σε σκάλες και ράμπες

Όσα χρησιμοποιούνται γενικά για τον σχεδιασμό της εκκένωσης μιας υπέργειας κατασκευής ισχύουν και για τους υπόγειους χώρους, αλλά λόγω του ιδιαίτερου χαρακτήρα των υπογείων χωρών πρέπει να ληφθούν υπόψη οι προδιαγραφές και οι απαιτήσεις που περιέχονται σε αντίστοιχους κανονισμούς (NFPA 520, NFPA 130) και οδηγίες (Οδηγία 2001/16/ΕΚ, Οδηγία 2004/54/ΕΚ, Οδηγία 96/48/ΕΚ).

4.2. Υπόγειος χώρος

Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνει ο Αμερικάνικος Κανονισμός NFPA 520 (1999) ο υπόγειος χώρος είναι ένα κοίλωμα που έχει προκύψει από την εξαγωγή του υλικού κάτω από το έδαφος, με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η επιφάνεια δεν επηρεάζεται παρά μόνο στην περιοχή των εισόδων και των ανοιγμάτων των αεραγωγών. Οι χώροι αυτοί μπορεί να είναι μεταβλητού μεγέθους και για τη διαμόρφωση τους χρησιμοποιούνται κατάλληλοι πυλώνες στήριξης οι οποίοι περικλείονται περιμετρικά από τοίχωμα. Στους χώρους αυτούς επιτρέπεται η εγκατάσταση επιχειρήσεων, βιομηχανιών, κατοικιών καθώς και άλλων μορφών δραστηριοτήτων όπως επίσης και η αποθήκευση υλικών υψηλής επικινδυνότητας. Η περιοχή ενός τέτοιου αναπτυγμένου υπόγειου χώρου η οποία περιλαμβάνει αλλά δεν περιορίζεται σε αυτοκινητόδρομους, αποβάθρες φόρτωσης, σιδηροδρόμους και εισόδους ονομάζεται κοινός χώρος (common space). Είναι κρίσιμο να καθιερώνεται, να εφαρμόζεται και να διατηρείται ένα σχέδιο αντιμετώπισης μίας επείγουσας κατάστασης το οποίο θα είναι

ελεγμένο, ασφαλές και αποδεκτό από την αρμόδια αρχή. Σε έναν τέτοιο χώρο πρέπει τα κατάλληλα μέσα εξόδου, πρέπει να συμμορφώνονται με τις ακόλουθες απαιτήσεις (NFPA 520, 1999):

• οι έξοδοι πρέπει να είναι σε τέτοιες θέσεις έτσι ώστε να υπάρχουν τουλάχιστον δύο ξεχωριστά μέσα εξόδου προς το εξωτερικό του υπόγειου χώρου

• οι απαραίτητοι έξοδοι από τον υπόγειο χώρο θα πρέπει να διαχωρίζονται από μία απόσταση τουλάχιστον 300ft (91m)

• όταν οι χρήστες είναι περισσότεροι από 5000, τότε είναι απαραίτητη μία τρίτη έξοδος η οποία θα οδηγεί στο εξωτερικό του υπόγειου χώρου

Ο Αμερικάνικος Κανονισμός (NFPA 520) αποτελεί έναν σύγχρονο, και πλήρη κανονισμό για υπόγειους χώρους και περιέχει τις προδιαγραφές που θα πρέπει να καλύπτει ένας τέτοιος χώρος προκειμένου να είναι ασφαλής και λειτουργικός για τους χρήστες (Ανάλυση των διαδικασιών εκκένωσης σε υπόγειους σταθμούς του ΜΕΤΡΟ Θεσσαλονίκης, Αρβελάκη Βασιλική, 2014). Οι προδιαγραφές αυτές έχουν να κάνουν κυρίως με την σήμανση των μέσων εξόδου, με τις συνθήκες φωτισμού, με το φορτίο των χρηστών και με άλλα στοιχεία. Για παράδειγμα, το πλάτος εξόδου για επίπεδη μετακίνηση υπολογίζεται με βάση τα 0.5cm ανά άτομο ενώ για κίνηση σε σκάλες με βάση τα 0.3cm ανά άτομο, ενώ κάθε πόρτα, ως μέσο εξόδου εντός του κοινού χώρου πρέπει να ανοίγει από το εσωτερικό χωρίς τη χρήση κλειδιού ή ειδικών γνώσεων. Επιπλέον, τα μέσα εξόδου εντός του κοινού χώρου θα πρέπει να έχουν μία ελάχιστη ένταση φωτισμού, καθώς και φωτισμό έκτακτης ανάγκης, που τροφοδοτείται από μια εφεδρική πηγή ενέργειας ελάχιστης διάρκειας μιάμιση ώρας. Ακόμη, είναι απαραίτητο όλα τα μέσα εξόδου εντός του υπόγειου χώρου, τόσο για την γενική κατεύθυνση της κυκλοφορίας, όσο και για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης να προσδιορίζονται με την κατάλληλη αντανακλαστική σήμανση, η οποία θα δείχνει προς την πλησιέστερη έξοδο από τον υπόγειο χώρο. Η διαδρομή εξόδου εντός του υπόγειου χώρου πρέπει να αποτυπώνεται σε χάρτες οι οποίοι είναι διαθέσιμοι σε κομβικά σημεία, προς όλα τα άτομα που χρησιμοποιούν την εγκατάσταση. Αυτοί οι χάρτες μάλιστα πρέπει να επικαιροποιούνται τακτικά, βάσει του NFPA σε ετήσια βάση, προκειμένου να αντανακλούν τις αλλαγές που είναι κρίσιμες σε περίπτωση εκκένωσης.

Οι χρήστες του υπόγειου χώρου μπορούν να καταφύγουν για ασφάλεια σε μία συγκεκριμένη περιοχή του χώρου όταν η εκκένωση από τον υπόγειο χώρο δεν είναι εφικτή. Μία ή περισσότερες περιοχές που χρησιμεύουν ως καταφύγιο ή οι δίοδοι εξόδου θα πρέπει να παρέχονται όταν η απόσταση που πρέπει να διανύσουν οι χρήστες υπερβαίνει τα 610m. Οι συγκεκριμένες περιοχές μπορούν να χρησιμοποιούνται και για άλλους σκοπούς σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης, υπό την προϋπόθεση ότι θα είναι πάντα διαθέσιμες σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται, για τις περιοχές οι οποίες λειτουργούν σαν καταφύγια είναι οι παρακάτω (NFPA 520, 1999):

• η πίεση σε σχέση με τον παρακείμενο χώρο θα πρέπει να είναι 12.5 Pa

• πρέπει να διαθέτουν τρόφιμα, πόσιμο νερό, φωτισμό έκτακτης ανάγκης, εγκαταστάσεις υγιεινής, κουβέρτες και συσκευασίες πρώτων βοηθειών. Η επικοινωνία με το κέντρο αντιμετώπισης του περιστατικού πρέπει να γίνεται χωρίς περιορισμούς

• πρέπει να παρέχουν μία επιφάνεια 0.9m^2 για κάθε άτομο που πρόκειται να εξυπηρετήσει

• πρέπει να διαθέτουν κατάλληλο σύστημα εξαερισμού με γεώτρηση που θα προμηθεύει την περιοχή με φρέσκο αέρα από την επιφάνεια κατά την διάρκεια εκδήλωσης μίας πυρκαγιάς.

• οι περιοχές αυτές πρέπει να διαχωρίζονται από το υπόλοιπο του υπόγειου χώρου με τοιχώματα ανθεκτικά σε πυρκαγιά για τουλάχιστον δύο ώρες Η επιφανειακή γεώτρηση μπορεί να λειτουργήσει σαν ένα σύστημα εξαερισμού υπό την προϋπόθεση ότι η ροή του αέρα μπορεί να αναστραφεί κατά τη διάρκεια μίας επείγουσας κατάστασης με κατάλληλα χειριστήρια που βρίσκονται στην περιοχή που χαρακτηρίζεται ως καταφύγιο.

Μία δίοδος εξόδου ή μία περίκλειστη έξοδος πρέπει να διαχωρίζεται από το υπόλοιπο του χώρου με τοιχώματα ανθεκτικά σε πυρκαγιά για τουλάχιστον μία ώρα. Δεν επιτρέπονται άλλα ανοίγματα εκτός από τις απαιτούμενες εξόδους των κοινών χώρων. Το πλάτος της διόδου εξόδου πρέπει να είναι επαρκές για να φιλοξενήσει τη συνολική απαιτούμενη χωρητικότητα όλων των εξόδων εκκένωσης μέσα από αυτό και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 112cm.

4.3. Υπόγειοι Χώροι για τη Μεταφορά Επιβατών Μέσω Ηλεκτροκίνητων Σιδηροδρομικών Συστημάτων Σταθερής Τροχιάς Σύμφωνα με τις Προδιαγραφές του NFPA 130

4.3.1.Υπόγειοι Σταθμοί

Ο βασικός σκοπός ενός σταθμού είναι η εξυπηρέτηση των επιβατών οι οποίοι διαμένουν εντός του χώρου για ένα χρονικό διάστημα που απαιτείται προκειμένου να επιβιβαστούν ή να αποβιβαστούν στο μέσο μεταφοράς , να το περιμένουν ή να κοιμηθούν από την αποβάθρα προς την έξοδο και το αντίστροφο. Ακόμη, ο σταθμός χρησιμοποιείται και από τους εργαζόμενους, των οποίων τα καθήκοντα απαιτούν την παρουσία τους στον συγκεκριμένο χώρο. Είναι λοιπόν βασικό, να υπάρχει ο κατάλληλος σχεδιασμός προκειμένου να είναι σίγουρη η ασφάλεια επιβατών και εργαζομένων. Σύμφωνα με τον NFPA 130, 2000, από το στάδιο σχεδιασμού του σταθμού ακόμη, σε περίπτωση πυρκαγιάς περιλαμβάνονται οι παρακάτω ενέργειες:

• οι πόρτες και τα άλλα ανοίγματα θα πρέπει να είναι ανθεκτικές σε πυρκαγιά για τουλάχιστον μιάμιση ώρα

• Τα εκδοτήρια και τα γραφεία πληροφοριών πρέπει να είναι κατασκευασμένα από εγκεκριμένα μη εύφλεκτα υλικά

• όλοι οι δημόσιοι χώροι που χρησιμοποιούνται για την μετακίνηση των επιβατών πρέπει να έχουν αντοχή σε πυρκαγιά τουλάχιστον για τρεις ώρες

• πρέπει να υπάρχει εγκατεστημένο κατάλληλο σύστημα εξαερισμού έκτακτης ανάγκης

• οι βοηθητικοί χώροι ανάλογα με τη χρήση τους έχουν διαφορετική αντοχή σε πυρκαγιά

Είναι πολύ σημαντικό, όλοι οι σταθμοί να είναι εφοδιασμένοι με σύστημα φωτισμού έκτακτης ανάγκης. Στις σκάλες και στις κυλιόμενες ο φωτισμός αυτός πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να τονίζεται το πάνω και το κάτω σκαλί κατά την επιβίβαση και αποβίβαση από την σκάλα.

4.3.2. Μέσα Εξόδου

Ο σχεδιασμός των μέσων εξόδου για έναν σταθμό, πρέπει να εξασφαλίζει την πλήρη εκκένωση ενός ή περισσοτέρων συρμών, αλλά και των υπόλοιπων χώρων του σταθμού, και να οδηγεί επιβάτες και εργαζομένους σε μια έξοδο κινδύνου που θα κατευθύνει σε ασφαλές σημείο εκτός του σταθμού. Λαμβάνοντας υπόψη πως οι αποβάθρες έχουν ίδιες διαστάσεις, ανεξάρτητα από το πόσο κόσμο εξυπηρετούν, τα φορτία πληρότητας σε σταθμούς ταχείας διέλευσης, στην περίπτωση εκκένωσης του σταθμού είναι συνάρτηση της φέρουσας ικανότητας της αμαξοστοιχίας και όχι του αριθμού των χρηστών που βρίσκονται στην αποβάθρα. Προκειμένου να υπολογίσουμε τα φορτία των χρηστών, λαμβάνουμε υπόψη τα στοιχεία που προκύπτουν από την ώρα αιχμής. Για το φορτίο των χρηστών ισχύουν τα παρακάτω (NFPA 130, 2000):

•. Το φορτίο των επιβατών βασίζεται στο υπολογιζόμενο φορτίο όλων των συρμών που φτάνου την ίδια στιγμή στην αποβάθρα, σε φυσιολογικές συνθήκες κίνησης για το διάστημα αιχμής των 15 λεπτών προσθετικά με τους επιβάτες που περιμένουν για να επιβιβαστούν

• η απαιτούμενη χωρητικότητα εξόδου σε σταθμούς αναγκαστικά βασίζεται στην εκκένωση του φορτίου των επιβατών που υπολογίζεται ως εξής:

✓ το φορτίο της περιόδου αιχμής για κάθε πλατφόρμα θα βασίζεται στην ταυτόχρονη εκκένωση των επιβατών που περιμένουν στην πλατφόρμα και του φορτίου της αμαξοστοιχίας για την συγκεκριμένη πλατφόρμα κατά την περίοδο αιχμής

✓ το φορτίο των επιβατών κάθε πλατφόρμας θα είναι το μεγαλύτερο από τα φορτία της περιόδου αιχμής

✓ οι επιβάτες που περιμένουν στην πλατφόρμα ή αλλιώς το εισαγόμενο φορτίο, είναι το άθροισμα των εισερχόμενων επιβατών για κάθε γραμμή που εξυπηρετεί η εν λόγω πλατφόρμα.

✓ το φορτίο της αμαξοστοιχίας για κάθε πλατφόρμα θα είναι το άθροισμα των συρμών για κάθε γραμμή που εξυπηρετεί η εν λόγω πλατφόρμα.

✓ το μέγιστο φορτίο της αμαξοστοιχίας σε κάθε γραμμή πρέπει να είναι η μέγιστη χωρητικότητα της επιβατικής αμαξοστοιχίας

• σε σταθμούς με πολλά επίπεδα, είναι σημαντικό να αξιολογούνται όλα τα φορτία, από όλες τις λερίδες εξόδου.

• σε σταθμούς που έχουν πάνω από μια πλατφόρμα, κάθε πλατφόρμα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ξεχωριστά, όπως και η άφιξη των τρένων από κάθε κατεύθυνση κυκλοφορίας, καθώς και οι επιβάτες που αναμένουν.

• σε σταθμούς που κατά διαστήματα και λόγω συγκεκριμένων γεγονότων, μπορεί να προστεθούν επιβάτες πέραν του συνηθισμένου φορτίου του σταθμού, π.χ. συνεδριακά κέντρα, αθλητικά κέντρα και δημοτικά κέντρα

• οι έξοδοι κινδύνου από τις σήραγγες πρέπει να οδηγούν σε ασφαλή χώρο

•σε όλες τις σήραγγες πρέπει να υπάρχουν σκάλες εξόδου έκτακτης ανάγκης, σχεδιασμένες έτσι ώστε να μην απέχουν μεταξύ τους πάνω από 381m, εκτός αν το επιτρέπει η αρμόδια αρχή. Οι σκάλες αυτές πρέπει να είναι κλειστές, και να οδηγούν σε ασφαλή χώρο ή/και υπαίθριο

•οι πόρτες εξόδου, πρέπει να ανοίγουν με κατεύθυνση τη διαδρομή εξόδου, ενώ δεν είναι δόκιμο να χρειάζεται μεγάλη δύναμη ώστε να ανοίξει. Ωστόσο, πρέπει τόσο οι πόρτες οσο και ο μηχανισμός τους να αντέχουν στις θετικές και αρνητικές πιέσεις που ασκούνται κατά τη διέλευση των τρένων.

• αντίστοιχα πράγματα πρέπει να ισχύουν και για τις καταπακτές εξόδου, ενώ ακόμη οι καταπακτές πρέπει να φέρουν μηχανισμό που θα τις ασφαλίζει σε ανοιχτή θέση ώστε να αποκλείεται κλείσιμο κατά λάθος.

• όλες οι εγκαταστάσεις εξόδου έκτακτης ανάγκης πρέπει να αναγνωρίζονται και να συντηρούνται προκειμένου να είναι δυνατή η χρήση τους

• είναι απαραίτητο να υπάρχει σύστημα φωτισμού έκτακτης ανάγκης, το οποίο θα συντηρείται αντίστοιχα και θα τροφοδοτείται από μια ανεξάρτητη πηγή ενέργειας, σύμφωνα με τον NFPE 130.

4.4. Έξοδος για τους Επιβάτες

Είναι απαραίτητο στο εσωτερικό των συρμών να υπάρχει ένα σύστημα που να περιλαμβάνει όλα τα μέσα για να μπορούν να εκκενώσουν οι επιβάτες το τρένο, σε οποιοδήποτε σημείο της γραμμής. Στην πορεία, πρέπει να είναι εύκολο να ακολουθήσουν μια έξοδο κινδύνου που να οδηγεί σε ένα ασφαλές σημείο, και η οποία θα φωτίζεται επαρκώς. Οι επιφάνειες βαδίσματος πρέπει να είναι ομοιόμορφες και να έχουν αντιολισθητική σχεδίαση. Είναι σημαντικό όπου υπάρχει σήραγγα διαφυγής, να επιτυγχάνεται με κάθε τρόπο η απρόσκοπτη πρόσβαση και να μην εμποδίζει τίποτα την έξοδο από το τρένο, ούτε τη συνεχή ροή των επιβατών (ειδικά σε σημεία όπως διασταυρώσεις).

4.4.1. Διαδικασίες Έκτακτης Ανάγκης

Ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να λειτουργεί αποτελεσματικά και με ασφάλεια, ώστε να προβλέπονται και να αντιμετωπίζονται καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και να σχεδιάζονται πιθανοί τρόποι αντιμετώπισης μιας έκτακτης κατάστασης. Ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης προκύπτει από τη συνεργασία πολλών φορέων, και υπάρχουν συγκεκριμένες και προκαθορισμένες διαδικασίες λειτουργίας, οι οποίες πρέπει να καταγράφονται, να είναι άμεσα προσβάσιμες και να διαχειρίζονται αποκλειστικά από κάποιον που βρίσκεται στην κεντρική αίθουσα ελέγχου. Είναι όμως πολύ σημαντικό, να είναι και οι επιβάτες ενημερωμένοι, και να λαμβάνουν τις απαραίτητες πληροφορίες κατά τη διάρκεια της έκτακτης κατάστασης, προκειμένου να περιοριστούν όσο γίνεται συμπεριφορές πανικού και

τρόμου. Κομβικό είναι να μπορούν να ανταπεξέλθουν αντίστοιχα και οι εργαζόμενοι του χώρου και να είναι εκπαιδευμένοι μέσω τακτικών ασκήσεων. Υπάρχουν διάφορες καταστάσεις έκτακτης ανάγκης οι οποίες απαιτούν την ανάπτυξη και εφαρμογή σχεδίων αντιμετώπισης τους (NFPA 130, 2000):

• πυρκαγιά ή καπνός στο εσωτερικό των εγκαταστάσεων

• πλημμύρες στις σήραγγες που οφείλονται σε εσωτερικές και εξωτερικές πηγές

• σεισμός

• απώλεια ενέργειας με αποτέλεσμα την ακινητοποίηση των συρμών, απώλεια του φωτισμού και της διαθέσιμης βοηθητικής ενέργειας

• σύγκρουση ή εκτροχιασμός

• διαρροή επικίνδυνων χημικών

• αστοχία ή κατάρρευση γειτονικών εγκαταστάσεων που επηρεάζουν την ασφαλή λειτουργία του δικτύου

• αντιμετώπιση καταστάσεων πανικού

• διακοπή της λειτουργίας λόγω εκδήλωσης επικίνδυνων γεγονότων κοντά στις εγκαταστάσεις

• τρομοκρατικές ενέργειες

• ακραία καιρικά φαινόμενα

Μια διαδικασία έκτακτης ανάγκης πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής (NFPA 130, 2000):

• αναγνώριση του τύπου της έκτακτης ανάγκης

• ο σκοπός και το πεδίο εφαρμογής

• ο σκοπός και οι λειτουργίες του κεντρικού σταθμού

• συμμετέχοντες φορείς και η περιοχή ευθύνης συμπεριλαμβανομένων και των κυβερνητικών υπαλλήλων

• οι διαδικασίες ασφαλείας που πρέπει να εφαρμοστούν ανάλογα με τον τύπο της έκτακτης ανάγκης

• διαθέσιμες επικοινωνίες, διαδικασίες για την διατήρηση της ασφαλούς λειτουργίας και ο κατάλληλος εξοπλισμός για την επαφή με τους αρμόδιους φορείς

• χάρτες ή σχέδια περίπλοκων τμημάτων, γενικές χρήσιμες πληροφορίες

• διαδικασίες που εφαρμόζονται από τους φορείς ανάλογα με τον τύπο του κάθε περιστατικού

Πιο συγκεκριμένα, οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης εκδήλωσης πυρκαγιάς και καπνού, πρέπει να περιέχουν πληροφορίες και διαδικασίες που καθορίζουν τα εξής:

✓ εντοπισμός της θέσης εκδήλωσης της πυρκαγιάς στο σταθμό

✓ η θέση του τρένου στη σήραγγα και η θέση της φωτιάς μέσα στο τρένο

✓ τα συστήματα και οι ζώνες ανίχνευσης πυρκαγιάς

✓ τα συστήματα πυροπροστασίας και οι πυροσβεστήρες

✓ τα στοιχεία του συστήματος εξαερισμού έκτακτης ανάγκης, η θέση του εξοπλισμού και τα όργανα ελέγχου

✓ τις υπηρεσίες που πρέπει να ειδοποιηθούν και τα τηλέφωνα επικοινωνίας

✓ η υπηρεσία που έχει τον έλεγχο πριν και μετά την άφιξη του αρμόδιου προσωπικού διαχείρισης της επικίνδυνης κατάστασης

✓ ο προγραμματισμένος τρόπος λειτουργίας του ανεμιστήρα του συστήματος εξαερισμού
✓ η προσχεδιασμένη κατεύθυνση της εκκένωσης εναρμονιζόμενη με τον τρόπο λειτουργίας του ανεμιστήρα

✓ εκδήλωση πυρκαγιάς και επικίνδυνων περιστατικών σε παρακείμενες εγκαταστάσεις

4.5. Σιδηροδρομική Σήραγγα

Το σιδηροδρομικό δίκτυο αποτελείται α) από το σιδηροδρομικό δίκτυο υψηλής ταχύτητας και β) από το συμβατικό σιδηροδρομικό δίκτυο. Είναι απαραίτητο για τη μεταφορά τόσο επιβατών, όσο και για την κυκλοφορία εμπορευμάτων για μεγάλες αποστάσεις καθώς επιτρέπει την εκμετάλλευση των συνδυασμένων μεταφορών και τη διασύνδεση με διάφορα δίκτυα μεταφορικών μέσων. Το σιδηροδρομικό δίκτυο υψηλής ταχύτητας όπως περιγράφεται στο Σχέδιο Τεχνικής Προδιαγραφής για τη Διαλειτουργικότητα (ΟΔΗΓΙΑ 2001/16/ΕΚ) αποτελείται από:

• γραμμές κατασκευασμένες με νέα τεχνολογία, ειδικά για υψηλή ταχύτητα, ίση ή μεγαλύτερη των 250 km/h,

• γραμμές κατασκευασμένες ειδικά για υψηλή ταχύτητα, που παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες λόγω τοπογραφικών προβλημάτων, μορφολογίας του εδάφους ή αστικού περιβάλλοντος, και των οποίων η ταχύτητα πρέπει να προσαρμόζεται αναλόγως

Το συμβατικό σιδηροδρομικό δίκτυο αποτελείται από γραμμές για συμβατικές σιδηροδρομικές μεταφορές, συμπεριλαμβανομένων των σιδηροδρομικών συνδέσεων συνδυασμένης μεταφοράς που καθιστούν δυνατή τη μεταφορά εμπορευμάτων σε μεγάλες αποστάσεις. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφάλεια στις σήραγγες, ακολουθούνται τα παρακάτω τέσσερα διαδοχικά στάδια:

1. Πρόληψη
2. Μετριασμό
3. Εκκένωση
4. Διάσωση

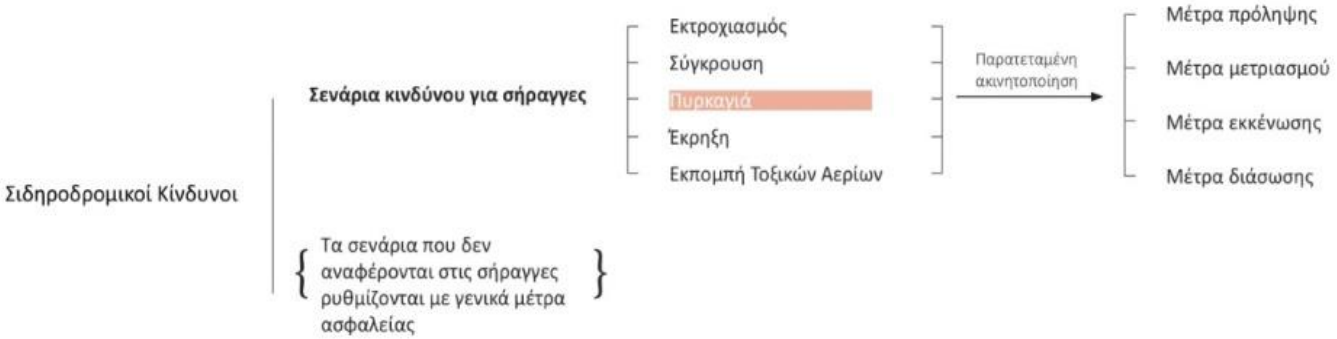
Από τα τέσσερα αυτά στάδια, για την ασφάλεια έχει περισσότερη σημασία το κομμάτι της πρόληψης, ακολούθως το στάδιο του μετριασμου, έπειτα αυτό της εκκένωσης και τέλος της διάσωσης. Αν τα πρώτα τρία στάδια είναι επαρκώς μελετημένα είναι θεμιτό να μην φτάσουμε στο τέταρτο, οπότε σε περίπτωση που συμβεί μια καταστροφή, είναι φανερό ότι πολλά πράγματα πήγαν στραβά ταυτόχρονα. Επομένως, είναι σημαντικό να διερευνούνται σε βάθος ακόμη και μικρά προβλήματα, ώστε να εντοπιστούν οι λόγοι και να βελτιωθεί η ασφάλεια. Παρόλα αυτά, οι σιδηρόδρομοι έχουν την ικανότητα να προλαμβάνουν τα ατυχήματα χάρη στην κίνηση των αμαξοστοιχιών πάνω σε τροχιές, καθώς και χάρη στον έλεγχο και τη ρύθμισή τους με τη χρήση του συστήματος σηματοδότησης. Σε μία σιδηροδρομική σήραγγα μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες συμβάντων, όπως περιγράφονται στην Εικόνα 4.1. Τα συμβάντα αυτά σύμφωνα με το Σχέδιο της Τεχνικής Προδιαγραφής για τη Διαλειτουργικότητα (2008) αναλύονται στη συνέχεια ως εξής:

• θερμά συμβάντα: Πυρκαγιά, έκρηξη με πυρκαγιά, εκπομπή τοξικών καπνών ή αερίων.

Ο βασικός κίνδυνος είναι η πυρκαγιά που εκδηλώνεται σε επιβατηγό αμαξοστοιχία ή μηχανή και εξαπλώνεται πλήρως σε 15 λεπτά μετά την εκδήλωσή της. Εντοπίζεται και σημαίνει συναγερμός εντός αυτών των 15 πρώτων λεπτών. Μόλις καταστεί δυνατόν, ο συρμός εγκαταλείπει τη σήραγγα. Όταν η αμαξοστοιχία ακινητοποιηθεί, οι επιβάτες απομακρύνονται, υπό τις οδηγίες του προσωπικού ή με δικής τους πρωτοβουλία, σε ασφαλή περιοχή

• ψυχρά συμβάντα: Σύγκρουση, εκτροχιασμός. Τα συγκεκριμένα για τις σήραγγες μέτρα εστιάζονται στις εγκαταστάσεις πρόσβασης/εξόδου για τις ανάγκες της εκκένωσης και της επέμβασης των σωστικών συνεργείων. Η διαφορά από τα θερμά συμβάντα έγκειται στο ότι δεν υπάρχει ο χρονικός περιορισμός που οφείλεται στην παρουσία επικίνδυνου περιβάλλοντος λόγω της πυρκαγιάς

• παρατεταμένη ακινητοποίηση: Η παρατεταμένη ακινητοποίηση (η απρόβλεπτη στάση σε μια σήραγγα, χωρίς να έχει εκδηλωθεί πυρκαγιά στην αμαξοστοιχία, για περισσότερο από 10 λεπτά) σαν διαδικασία δεν αποτελεί απειλή για τους επιβατες και το προσωπικό. Ωστόσο, είναι δυνατόν να προκαλέσει πανικό και αυθόρμητη και ανεξέλεγκτη εγκατάλειψη της αμαξοστοιχίας, πράγμα που εκθέτει τους ανθρώπους σε κινδύνους παρόντες μέσα στη σήραγγα. Υπάρχουν μέτρα για τη διατήρηση μιας τέτοιας κατάστασης υπό έλεγχο.



Εικόνα 4.1: Αποτύπωση σιδηροδρομικών κινδύνων (ΟΔΗΓΙΑ 96/48/ΕΚ)

4.5.1. Απειλές σε Σιδηροδρομικές Σήραγγες

Πιο σοβαρή περίπτωση ατυχήματος στη σήραγγα είναι η πυρκαγιά καθώς απελευθερώνεται θερμότητα και καπνός. Είναι πιθανό να εκδηλωθεί πυρκαγιά εξαιτίας ενός βραχυκυκλώματος ή μιας τρομοκρατικής επίθεσης. Σε περίπτωση πυρκαγιάς, το τρένο είναι μια κινούμενη εύφλεκτη μάζα στο εσωτερικό μίας σιδηροδρομικής σήραγγας. Ωστόσο, λόγω ενσωματωμένων συστημάτων πυρόσβεσης στο εσωτερικό του τρένου, υπάρχει περίπτωση να μην χρειάζεται να σταματήσει ο συρμός για την κατάσβεση, μιας και είναι αρκετά άμεση η αντίδραση. Αν, όμως, η φωτιά δεν μπορεί να σβήσει μέσα στο τρένο, τότε το τρένο πρέπει να σταματήσει και οι επιβάτες να απομακρυνθούν, κατά προτίμηση σε ειδικούς σταθμούς έκτακτης ανάγκης, όπου οι συνθήκες για την εκκένωση είναι πιο ευνοϊκές. Η πυρκαγιά σε σήραγγα εκδηλώνεται απότομα, αναπτύσσεται βίαια και γρήγορα φτάνει τη θερμοκρασία των 1000 ^{0}C (Salmensaari, 2010), γι'αυτό και αποτελεί προτεραιότητα η πρόβλεψη της πυρκαγιάς. Αν όμως εκδηλωθεί και αρχίσει να κλιμακώνεται, τότε η ταχεία απόκριση και η γρήγορη κατάσβεση είναι η καλύτερη επιλογή. Τα συστήματα ψεκασμού συνήθως δεν είναι ικανά να καταστείλουν μια πυρκαγιά εντελώς, αλλά μπορούν να περιορίσουν την έντασή της και να την εμποδίσουν από το να επεκταθεί περαιτέρω, μέχρι να φροντίσει η πυροσβεστική για την πραγματική και πλήρη κατάσβεση. Αφού σβήσει η φωτιά, είναι απαραίτητος ο εξαερισμός της σήραγγας με φρέσκο αέρα, και στη συνέχεια η καταμέτρηση των βλαβών και οι επισκευές που απαιτούνται. Ο εξαερισμός προηγείται, καθώς ο καπνός είναι πολύ τοξικός για τους ανθρώπους, ειδικά σε ένα περιβάλλον όπως το εσωτερικό της σήραγγας.

Όσον αφορά την περίπτωση εκτροχιασμού, η σταθερότητα της σήραγγας δεν επηρεάζεται, ενώ ο κίνδυνος συγκρούσεων σε σήραγγες μονής κατεύθυνσης είναι μικρός. Παρόλα αυτά, σε οποιαδήποτε τέτοια περίπτωση είναι αναγκαία η εκκένωση, μόλις το τρένο ακινητοποιηθεί.

4.5.2. Διαχείριση του Κινδύνου σε Σήραγγες κατά τον Κύκλο Ζωής της Σήραγγας

Οι κίνδυνοι είναι παρόντες σε κάθε μέρος του κύκλου ζωής μιας σήραγγας. Προκειμένου να διαχειριστεί ο κάθε κίνδυνος, πρέπει να αξιολογηθεί κάθε απειλή και να αποφευχθούν οι κίνδυνοι, ή να τους διαχειρηστούν κατάλληλα. Η πιθανολογική μέθοδος διαχείρισης των κινδύνων είναι αποτελεσματική στον εντοπισμό των σημαντικότερων σεναρίων κινδύνου. Κατά τη φάση κατασκευής οι κίνδυνοι μπορούν να διακριθούν σε (Salmensaari, 2010):

• προβλήματα λόγω ανακρίβειας και μικρών αποκλίσεων που λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό του έργου

• απρόβλεπτα γεγονότα, τα οποία δεν περιλαμβάνονται στο σχεδιασμό αλλά μπορούν να προσδιορισθούν και για τα οποία μπορούν να προβλεφθούν λύσεις εκ των προτέρων

• απρόβλεπτα γεγονότα που δεν μπορούν να προβλεφθούν στο σύνολο τους και μπορούν να αντιμετωπιστούν κυρίως με την εξασφάλιση οικονομικών πόρων

Ένα σημαντικό μέρος της διαχείρισης του κινδύνου αποτελούν τα λειτουργικά μοντέλα για σενάρια έκτακτης ανάγκης και πρακτικές που διασφαλίζουν σωστές ενέργειες στην πραγματική κατάσταση. Η λειτουργία και ο εξοπλισμός μιας σήραγγας πρέπει να είναι υπό

συνεχή επιτήρηση και συντήρηση, με στόχο την εξασφάλιση άψογης λειτουργίας (Salmensaari, 2010). Ο καταμερισμός των αρμοδιοτήτων που σχετίζονται με κάθε λειτουργία πρέπει να ορίζεται με σαφήνεια, και οι αρχές θα πρέπει να ορίσουν κάποιον υπεύθυνο για το έργο. Ένα υπόγειο έργο θα πρέπει να αξιολογείται προσεκτικά για την πλήρη εκτίμηση του κόστους και του οφέλους καθ όλη τη διάρκεια ζωής του. (Ανάλυση των διαδικασιών εκκένωσης σε υπόγειους σταθμούς του ΜΕΤΡΟ Θεσσαλονίκης, Αρβελάκη, 2014)

4.6. Η Ανθρώπινη Συμπεριφορά

Παρόλα αυτά, όσο προσεκτικά και αν προετοιμαστεί ένα σχέδιο ασφαλείας, η ανθρώπινη συμπεριφορά είναι αυτή που πρέπει να μελετηθεί σε βάθος, μιας και αρκετές φορές οι αντιδράσεις των ανθρώπων σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης εκπλήσσουν και μπορεί να δώσουν δυσάρεστη τροπή και να κρίνουν την επιτυχία της παρέμβασης. Είναι πιθανό να μην ακολουθούν τις σωστές οδηγίες, να μη χρησιμοποιούν τη συνδετήρια σήραγγα ή να μην ακολουθούν την επιθυμητή κατεύθυνση. Είναι σημαντικό να διαχωριστούν οι άνθρωποι σε αυτούς που ανήκουν στο εργατικό δυναμικό μιας τέτοιας εγκατάστασης και στους χρήστες. Το προσωπικό χωρίζεται σε αυτούς που βρίσκονται στην αίθουσα ελέγχου, σε αυτούς που βρίσκεται στην αμαξοστοιχία και σε αντίστοιχα πόστα και τέλος στο προσωπικό έκτακτης ανάγκης. Οι χρήστες με τη σειρά τους χωρίζονται σε αυτούς που είναι συχνοί και στους πιο σπάνιους. Η ανθρώπινη συμπεριφορά μπορεί να διακριθεί με βάση την κατάσταση σε (FIT, 2006):

- συνήθης συμπεριφορά πριν από το συμβάν και πρόληψη των ατυχημάτων
- συμπεριφορά που προκαλεί ανεπιθύμητα συμβάντα, ατυχήματα και πυρκαγιές
- ανθρώπινη αντίδραση στη φωτιά
- διάσωση και εκκένωση
- καταπολέμηση της πυρκαγιάς

4.6.1. Επιβάτες του Τρένου και του Μετρό Συμπεριφορά που Προκαλεί Ανεπιθύμητα Συμβάντα,

Ατυχήματα και Πυρκαγιές

Πυρκαγιές μπορούν να εκδηλωθούν από συμπεριφορές των επιβατών όπως απροσεξία, τόλμη ή δολιοφθορά. Παράδειγμα, το κάπνισμα και οι εμπρησμοί συμβάλλουν στον κίνδυνο, όμως σε σχέση με τις οδικές σήραγγες, η κατάσταση είναι πιο ελεγχόμενη. Σε αυτή την περίπτωση είναι σημαντικό οι επιβάτες να λάβουν αναλυτικές και ξεκάθαρες οδηγίες για την εκκένωση (π.χ. μέσω εντύπων). Κανονικά οι επιβάτες δεν θα πρέπει να είναι σε θέση να εγκαταλείψουν το τρένο στη σήραγγα πριν να δοθούν οδηγίες για την εκκένωση. Όταν οι οδηγίες δοθούν, είναι σημαντικό να μην υπάρχει κανένας δισταγμός να εγκαταλείψουν το τρένο. Μια συμπεριφορά τύπου ομάδας θα χαρακτηρίζει τους επιβάτες και ο χρόνος για να αφήσει η ομάδα το τρένο και να φτάσει στην έξοδο εξαρτάται από τις υποδομές (πόρτα, πεζοδρόμια, φωτισμό, κλπ.) καθώς και από την ικανότητα κίνησης των επιβατών (FIT, 2006).

4.7. Παραδείγματα για τον Υπολογισμό του Χρόνου Εκκένωσης σε Υπόγειους Σταθμούς

Στους υπόγειους σταθμούς, η κατάσταση μπορεί να είναι πολύ πιο πολύπλοκη, ακριβώς λόγω του κλειστού περιβάλλοντος, των τοξικών αερίων και του καπνού, του κακού προσανατολισμού και των περίπλοκων εγκαταστάσεων. Για αυτό το λόγο, πρέπει η εκκένωση να είναι έγκαιρη, προκειμένου να αποφευχθούν καταστροφικές συνέπειες, άρα πρέπει να υπάρχει ξεκάθαρος σχεδιασμός, ειδικός για το μέγεθος και την πολυπλοκότητα της κάθε εγκατάστασης. Όταν συμβεί ένα γεγονός έκτακτης ανάγκης, ένας μεγάλος αριθμός ανθρώπων που θα βρίσκονται στην αποβάθρα θα χρειαστεί να εκκενώσουν συγχρόνως το χώρο, με αποτέλεσμα πολλά άτομα να συγκεντρώνονται στις κάθετες διαδρομές εκκένωσης, όπως είναι η σκάλα και οι κυλιόμενες σκάλες, ενώ ο χρόνος εκκένωσης των χρηστών κατά την μετάβαση σε ένα ασφαλές σημείο δεν πρέπει να υπερβαίνει τον απαιτούμενο χρόνο ασφαλείας. Χρόνος εκκένωσης θεωρείται ο χρόνος που έχει παρέλθει από την έναρξη της εκκένωσης μέχρι το τελευταίο άτομο να εγκαταλείψει το χώρο. Υπάρχουν αρκετές έρευνες υπολογισμού των χρόνων εξόδων για διαφορετικούς τύπους σταθμών και διαφορετικές κατανομές χρηστών καθώς και για διαφορετικές συνθήκες έκτακτης ανάγκης οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με διάφορα λογισμικά πακέτα.

ΜΕΤΡΟ Ηπειρωτικής Κίνας

Στο ΜΕΤΡΟ της Ηπειρωτικής Κίνας, σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις που περιέχονται στον αντίστοιχο κανονισμό (Code for the Design of Metro of Mainland China 2003), τόσο οι επιβάτες, όσο και το προσωπικό στην πλατφόρμα, δηλαδή το σύνολο του φορτίου των χρηστών, θα πρέπει να εξέλθουν από την πλατφόρμα μέσα σε 6min (συμπεριλαμβανομένου και 1min ως χρόνο αντίδρασης) (Wang, Chen, Li, 2011). Οι κυλιόμενες σκάλες, θεωρούνται αυτόματα εκτός λειτουργίας και χρησιμοποιούνται ως διαδρομή διαφυγής, όπως οι σταθερές σκάλες, ενώ μία κυλιόμενη.

MRT (Mass Rapid Transit) Ταϊβάν

Στην Ταϊβάν, ακολουθούνται οι προδιαγραφές που θέτει το Αμερικάνικο Πρότυπο NFPA 130, ικανοποιώντας με αυτόν τον τρόπο κάθε σενάριο έκτακτης ανάγκης, Οι επιβάτες της αποβάθρας θα πρέπει να φτάσουν στην έξοδο κινδύνου μέσα σε 4min και σε ασφαλή χώρο σε 6min (SFPE 2002). Αν ο σταθμός περιλαμβάνει πολλά επίπεδα τότε για κάθε επίπεδο πρέπει να προστίθενται 2min στο χρόνο των 6min.

Τόκυο

Στο Τόκυο, ήδη από τον Απρίλιο του 2003, η Πυροσβεστική Υπηρεσία του Τόκιο (TFD) σχημάτισε μια ομάδα από εμπειρογνώμονες, για να αντιμετωπίσει τις πυρκαγιές σε μετρό, μιας και ως τότε δεν είχαμε πειραματικές γνώσεις πάνω στο θέμα. Η επιτροπή αυτή άρχισε να διεξάγει δοκιμές πυρκαγιάς σε σταθμούς του μετρό (SHUJI MORIYAMA, et al, 2005), οι οποίες προσομοίωναν εστίες πυρκαγιάς στην αποβάθρα σε τρεις σταθμούς μετρό. Κάθε αποβάθρα συνδέεται με το χώρο έκδοσης των εισιτηρίων με κλιμακοστάσια και κυλιόμενες σκάλες. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν το βράδυ προκειμένου να αποφευχθεί η διατάραξη της κυκλοφορίας. Τα αποτελέσματα από τις δοκιμές αναφέρονται στην κεντρική αποβάθρα

η οποία είναι η πλέον χαρακτηριστική αποβάθρα του σταθμού μετρό. Το φορτίο της αποβάθρας που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση είναι 1.800 άτομα. Σύμφωνα με την προσομοίωση, ο χρόνος μέχρι την έναρξη της εκκένωσης ισούται με 77s (1min :17s), και ο χρόνος για να εκκενωθεί η αποβάθρα προέκυψε 880s (περίπου 15min) μετά την εκδήλωση της πυρκαγιάς(Ανάλυση των διαδικασιών εκκένωσης σε υπόγειους σταθμούς του ΜΕΤΡΟ Θεσσαλονίκης, Αρβελάκη, 2014)

Σταθμός Μετρό στη Σαγκάη

Στη Σαγκάη, σύμφωνα με το χειρότερο σενάριο, εκδηλώνεται πυρκαγιά σε σταθμό, την ώρα αιχμής (200 άτομα περίμεναν στην αποβάθρα και 1321 ήταν στο τρένο που έφτανε στην αποβάθρα, δηλαδή συνολικά έπρεπε να απομακρυνθούν 1521 άτομα). Μέσω του Building Exodus V4.06 και του Smartfire V4.1, δύο λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη για να προσομοιώσουν την εκκένωση υπό διαφορετικούς κινδύνους, φάνηκε πως οι σκάλες, οι κυλιόμενες σκάλες και οι έξοδοι πρέπει να εξασφαλίζουν την εκκένωση των επιβατών του τρένου ή εκείνων που περιμένουν στην αποβάθρα καθώς και των εργαζομένων σε 6min στην περίπτωση που εκδηλωθεί πυρκαγιά κατά την ώρα αιχμής. Το αποτελεσματικό πλάτος της αποβάθρας είναι 186m.

Σε παρόμοιο, με αυτά, μοτίβο κινήθηκε και η δική μας πειραματική διαδικασία, εκμεταλλευόμενες ωστόσο τις τελευταίες τεχνολογίες (3DS Autodesk Max, Virtual Reality), όπως εξηγούμε διεξοδικά και στα επόμενα κεφάλαια.

Κεφάλαιο 5: Χρήση Προγράμματος 3ds Max για σχεδιασμό εγκαταστάσεων μετρό

5.1. Γενικά Στοιχεία για το 3ds Max

Το 3ds Max είναι ένα εμπορικό επαγγελματικό πρόγραμμα για γραφικά 3D και δημιουργία animations. Αναπτύσσεται από την Autodesk MDII and Entertainment. Είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα προγράμματα οπτικοποίησης σε τρεις διαστάσεις, το οποίο περιλαμβάνει δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, φωτορεαλιστική απεικόνιση φωτισμών και υλικών, animation και ειδικών εφέ. Οι δυνατότητές τους ξεπερνούν τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και επεκτείνονται ευρύτερα στον σχεδιασμό, όπως είναι το βιομηχανικό σχέδιο, το οργανικό σχέδιο. Βρίσκει εφαρμογές στην αρχιτεκτονική, στα παιχνίδια, στις ταινίες, στην οπτική απεικόνιση ιατρικών και επιστημονικών μοντέλων, στις καλές τέχνες, στην εικονική πραγματικότητα (virtual reality), στον σχεδιασμό γραφικών για το Web και αλλού.

Εικόνα 5.1. Autodesk 3ds Max

5.2. Βασικά Χαρακτηριστικά και Δυνατότητες του 3ds Max

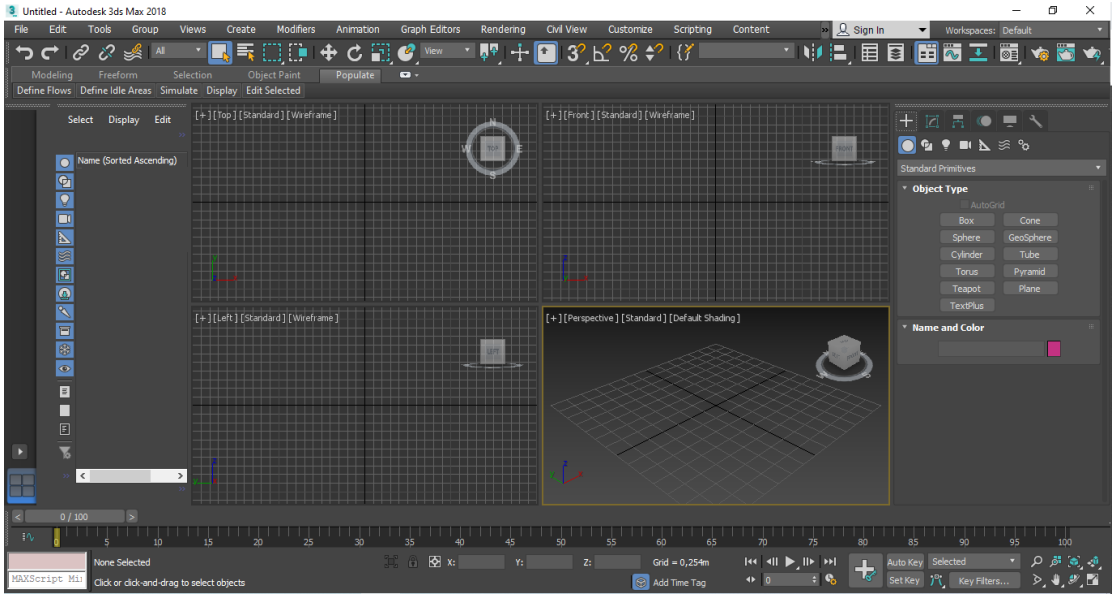
Το 3ds Max είναι ένα πρόγραμμα με αμέτρητες δυνατότητες. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι:

- Δημιουργία στερεότυπων σχημάτων και γεωμετριών (κύκλος, κώνος, πολύγωνο, κύβος, σφαίρα κλπ.)
- Δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων χρησιμοποιώντας κάποιο επίπεδο σχήμα με εξώθηση, περιστροφή κλπ.
- Δυνατότητα δημιουργίας NURBS (Non-Uniform Rational Basic Spline) αντικειμένων
- Εκχώρηση υλικών, ώστε τα αντικείμενα τα οποία κατασκευάζονται να είναι πιο ρεαλιστικά. Με αυτό τον τρόπο ένας απλός κύβος μπορεί να μετατραπεί σε τούβλο, δώρο γενεθλίων ή σε ένα ξύλινο έπιπλο.
- Δυνατότητα δημιουργίας κατάλληλου φωτισμού στη σκηνή, ώστε να επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα.

- Εκχώρηση μιας ή περισσότερων καμερών, στην επιθυμητή οπτική γωνία ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα της σκηνοθεσίας των παραγόμενων κινούμενων γραφικών.
- Δίνει τη δυνατότητα στο σχεδιαστή να προσδώσει κίνηση σε οτιδήποτε είναι τοποθετημένο στη σκηνή (αντικείμενα, φώτα, κάμερες, εφέ)

5.2.1. Το Περιβάλλον Εργασίας

Στην Εικόνα 5.2. εμφανίζεται το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος. Η βασική οθόνη χωρίζεται σε 4 τμήματα που ονομάζονται viewports και αποτελούν διαφορετικές όψεις του ίδιου αντικειμένου. Οι μπάρες εργαλείων στο πάνω και στο δεξί τμήμα της εικόνας είναι διάφορες ρυθμίσεις και επιλογές σχετικά με τα αντικείμενα σχεδίασης που έχουν τοποθετηθεί στη σκηνή. Στο κάτω μέρος βρίσκεται το διάγραμμα ροής χρόνου και οι επιλογές animation, ενώ στα αριστερά ταξινομούνται τα αντικείμενα.

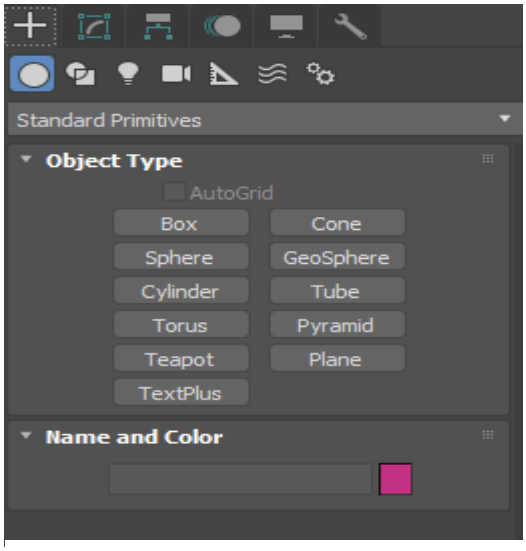


Εικόνα 5.2. Το περιβάλλον εργασίας του 3ds Max

Στην προεπιλεγμένη ρύθμιση (default setting) τα τρία viewports δείχνουν από τρεις διαφορετικές δισδιάστατες οπτικές, κάθετες μεταξύ τους (κάτοψη, πρόσοψη και πλάγια όψη), το σκελετό (wireframe) των σχημάτων που έχουν δημιουργηθεί. Το τέταρτο παράθυρο κάτω δεξιά δείχνει τα αντικείμενα κανονικά, δηλαδή από μια ενδιάμεση γωνία, με προοπτική (perspective).

5.2.2. Δημιουργία και επεξεργασία αντικειμένων

Το 3ds Max προσφέρει βασικά αντικείμενα και σχήματα, όπως φαίνονται και στην Εικόνα 5.3. Τα αντικείμενα αυτά σχεδιάζονται σε ένα από τα viewports και αντικατοπτρίζονται ταυτόχρονα και στα υπόλοιπα. Έπειτα αυτά μπορούν να επεξεργαστούν είτε το μέγεθός τους, είτε η θέση τους στο χώρο τόσο γραμμικά όσο και με περιστροφή. Εκτός από τα εικονιζόμενα αντικείμενα που αποτελούν μόνο τα βασικά σχήματα (Standard Primitives) υπάρχουν ακόμα πληθώρα αντικειμένων που χρησιμοποιούνται συχνά στον σχεδιασμό, όπως σκάλες, παράθυρα, πόρτες και πολλά ακόμα.



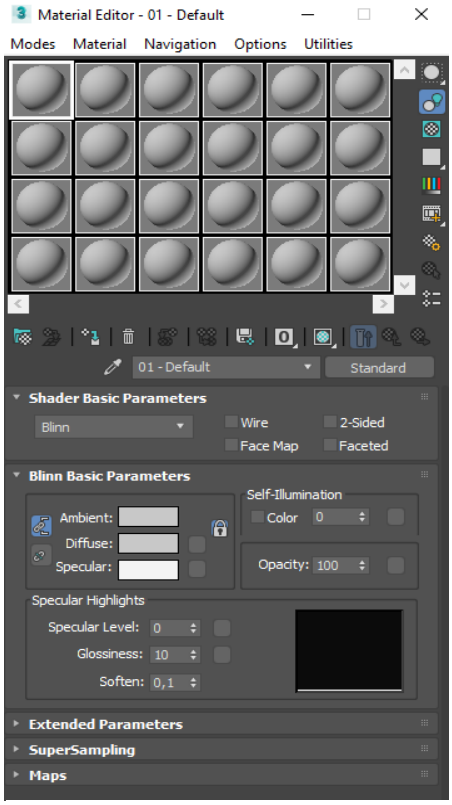
Εικόνα 5.3. Βασικά σχήματα του 3ds Max

Επιπρόσθετα το 3ds Max προσφέρει μια σειρά ακόμα εργαλείων για επεξεργασία των αντικειμένων (Modifiers) στην οποία δίνεται η δυνατότητα να αλλάξει το σχήμα του αντικειμένου που σχεδιάζεται. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το Edit Poly (επεξεργασία πολυγώνου) ή Edit Mesh (επεξεργασία πλέγματος) στα οποία μορφοποιείται το αρχικό σχήμα με απλή επιλογή σημείου, γωνίας, πλευράς ή ευθύγραμμου τμήματος και μετακίνησή του στη θέση που επιλέγεται ή οποιαδήποτε άλλη τροποποίηση του.

5.2.3. Προσθήκη Υφής

Όταν ένα γεωμετρικό αντικείμενο δημιουργείται στο 3ds Max, δεν έχει καθορισμένα υλικά. Το αντικείμενο διαθέτει ένα χρώμα πλέγματος που χρησιμοποιείται τόσο για real time απεικόνιση όσο και στην απόδοση της σκηνής. Αυτό το χρώμα επιλέγεται τυχαία από μια τυποποιημένη παλέτα. Κάθε γεωμετρικό αντικείμενο μπορεί να επιφορτιστεί με ένα υψηλής ποιότητας υλικό που θα καθορίζει ιδιότητες όπως διάχυση, χρώμα ανάκλασης, στιλπνότητα, αδιαφάνεια, ανάκλαση, διάθλαση κλπ. Αυτού του είδους τα υλικά περιέχουν δυο είδους υποαντικειμένων - τα υποϋλικά και τις αποτυπώσεις. Κάποια υλικά όπως τα Multi/Sub Object και τα Blend μπορούν να φιλοξενήσουν υποϋλικά και να τα συνδυάσουν με ξεχωριστούς τρόπους.

Η επεξεργασία των υφών γίνεται μέσω του Material Editor (Εικόνα 5.4.) όπου κάθε σφαίρα απεικονίζει και κάθε ξεχωριστή υφή. Στη συνέχεια, γίνεται η εφαρμογή της υφής στο αντικείμενο που επιλέγεται. Υπάρχει η δυνατότητα η υφή να είναι

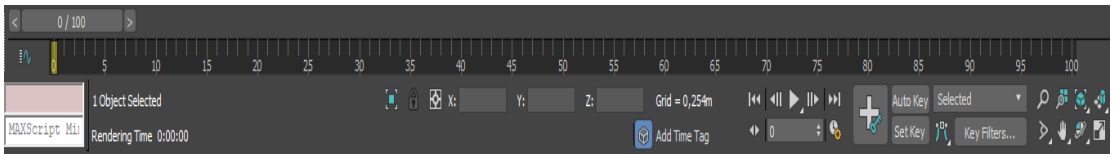


Εικόνα 5.4. Material Editor

μία επιθυμητή εικόνα που με την επιλογή bitmap και ύστερα να γίνει επεξεργασία αυτής ως προς τα χαρακτηριστικά και της ιδιότητές της.

5.2.4. Animation

Βασικό εργαλείο του 3ds Max είναι το animation, δηλαδή η αίσθηση της κίνησης ή της αλλαγής στα αντικείμενα μιας σκηνής με τον χρόνο. Για τη δημιουργία animation, χρησιμοποιούνται τα λεγόμενα πλαίσια κλειδιά (key frames), τα οποία είναι συγκεκριμένα πλαίσια (frames) στο διάγραμμα ροής χρόνου, όπου γίνονται αλλαγές στη θέση το μέγεθος ή και στην πορεία ενός αντικειμένου. Η θέση του κάθε αντικειμένου σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη εικόνα–στιγμή σχετίζεται με τη θέση του εν λόγω αντικειμένου στις προηγούμενες και τις επόμενες εικόνες-στιγμές, έτσι ώστε τα αντικείμενα να κινούνται ρευστά ανεξάρτητα το ένα του άλλου. Το animation μπορεί να θεωρηθεί ως μια σειρά από πολλές παρόμοιες εικόνες, όπου τα πλαίσια κλειδιά αντιπροσωπεύουν τα πιο σημαντικά σημεία (στάδια) σ' αυτή τη συνεχή ροή των εικόνων.



Εικόνα 5.5. Διάγραμμα ροής χρόνου

5.2.5. Φωτισμός

Οι διαδικασίες και οι τεχνικές που εμπλέκονται με το φωτισμό είναι αρκετά πολύπλοκες και προσεγγίζονται με προσοχή από το σχεδιαστή. Ο φωτισμός είναι το βασικότερο κομμάτι της ζωής μας, καθώς δίχως φως δε θα βλέπαμε τα αντικείμενα που μας περιτριγυρίζουν. Ο φωτισμός λοιπόν παίζει καθοριστικό ρόλο στην εικόνα και τα μηνύματα που περνάει μέσω της σκηνής.

Στο 3ds Max τα φώτα είναι αντικείμενα που προσομοιώνουν τα πραγματικά φώτα, όπως μια λάμπα γραφείου, τις εγκαταστάσεις φωτισμού που χρησιμοποιούνται σε κτήρια αλλά και τον ήλιο. Διαφορετικά είδη αντικειμένων φωτισμού διαχέουν φως με διαφορετικό τρόπο, μιμούμενα τους διαφορετικές πηγές φωτός του πραγματικού κόσμου. Κατά την απουσία φώτων σε μια σκηνή, η σκηνή σκιάζεται και αποδίδεται με προεπιλεγμένο φωτισμό. Προσθέτοντας φώτα στη σκηνή επιτυγχάνονται ρεαλιστικά αποτελέσματα. Ο φωτισμός ενισχύει τη διαύγεια και το τρισδιάστατη δυναμική της σκηνής.

Το 3ds Max παρέχει 3 τύπους φωτών: τα πρότυπα και τα φωτομετρικά. Όλοι οι τύποι απεικονίζονται ως αντικείμενα φωτισμού. Μοιράζονται πολλές ίδιες παραμέτρους, όπως διατάξεις παραγωγής σκιάσεως.

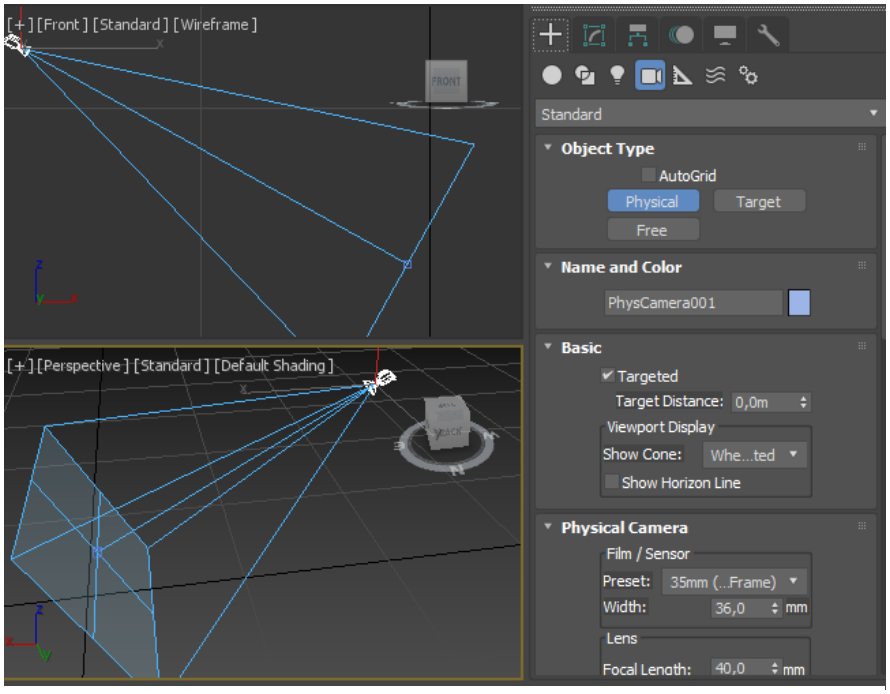
<u>Πρότυπα φώτα:</u> Πρόκειται για αντικείμενα βασισμένα στον υπολογιστή που εξομοιώνουν απλούς φωτισμούς. Μεταξύ αυτών τα φώτα ενός σπιτιού αλλά και το φως του ήλιου. <u>Φωτομετρικά φώτα:</u> Χρησιμοποιούν φωτομετρικές παραμέτρους που επιτρέπουν να οριστούν τα φώτα με μεγαλύτερη ακρίβεια. Μεταξύ των παραμέτρων που μπορούν να καθοριστούν βρίσκει κανείς τη διανομή φωτός, την ένταση, τη θερμοκρασία φωτός και άλλα χαρακτηριστικά του φωτισμού του πραγματικού κόσμου.

5.2.6. Κάμερα

Η κάμερα είναι ένα μέσο για τη σύλληψη μιας εικόνας ή ενός βίντεο. Οι σωστές ρυθμίσεις των λειτουργιών της παίζουν καταλυτικό ρόλο στην απεικόνιση των δρώμενων. Η οπτική γωνία και η τοποθέτησή της είναι από τα πιο βασικά. Η οπτική γωνία περιγράφει την γωνιακή έκταση μιας σκηνής που απεικονίζεται μέσω της κάμερας και εξαρτάται από τον τύπο φακού που χρησιμοποιείται.

Το 3ds Max διαθέτει τρία είδη κάμερας:

- Την Target Camera, η οποία εστιάζει σε μια περιοχή γύρω από ένα στόχο, ο οποίος στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελεί ένα αντικείμενο. Ο στόχος της κάμερας αναπαρίσταται από ένα τετράγωνο. Η κάμερα και ο στόχος μπορούν να κινούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.
- Την Free Camera, η οποία εστιάζει σε μια περιοχή ανάλογα με την κατεύθυνση στην οποία κοιτάει ο φακός. Προτιμάται στην περίπτωση που η κάμερα θα έχει τη δυνατότητα μετακίνησης κατά τη διαρκείας της εξέλιξης της σκηνής.
- Την Physical Camera, η οποία διευκολύνει τη χρήση πηγών φωτός με φωτισμό πραγματικού κόσμου, όπως το VRayLight με φυσικές μονάδες ή το VRaySun και το VRaySky.



Εικόνα 5.6. Εισαγωγή Κάμερας στο 3ds Max

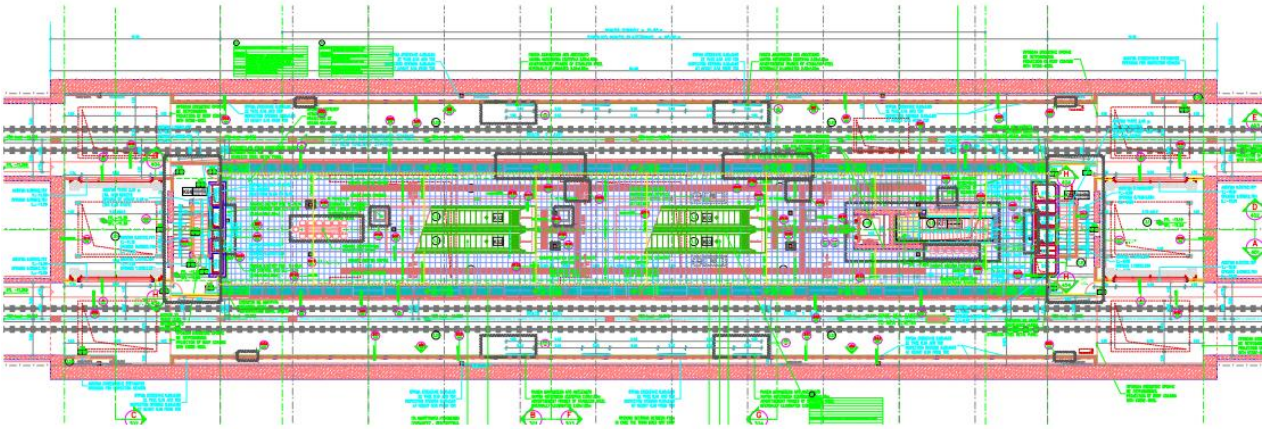
5.2.7. Rendering

Η διαδικασία της φωτογράφησης ενός αντικειμένου αποκαλείται φωτοαπόδοση (rendering) και δημιουργεί μια δισδιάστατη εικόνα από μια τρισδιάστατη σκηνή. Η επιλογή της διαδικασίας rendering αποτελεί μια από τις πλέον σημαντικές αποφάσεις για το χρήστη, αφού επηρεάζουν καταλυτικά το τελικό αποτέλεσμα. Πρόκειται για τη φάση όπου όλη η προετοιμασία και η κάθε εντολή μεταφράζεται σε κινούμενες η στατικές εικόνες.

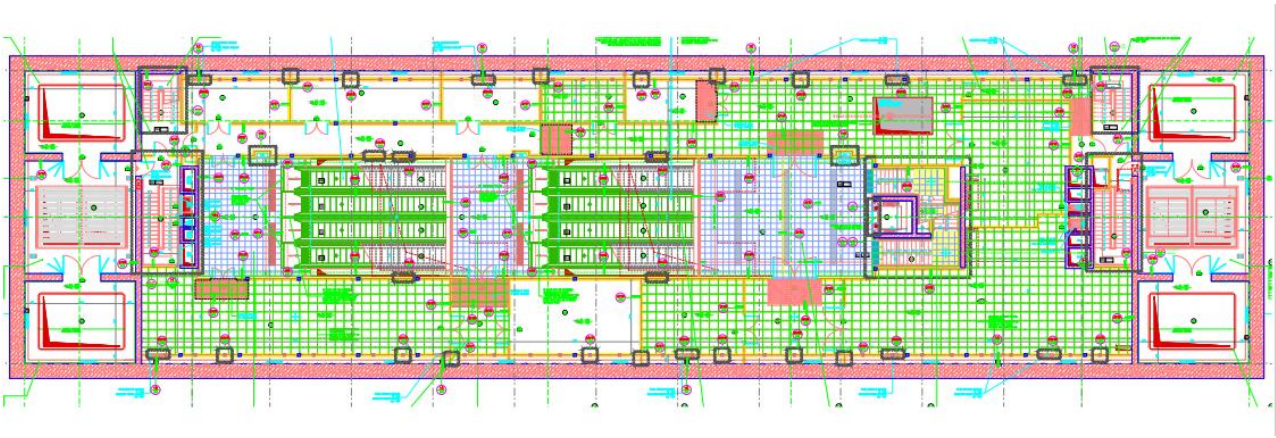
Η προεπιλεγμένη διαδικασία που εφαρμόζεται κατά το rendering, Default Scanline Renderer, αποδίδει τη σκηνή σαν μια σειρά οριζόντιων γραμμών. Το 3ds Max επιπρόσθετα παρέχει ένα διαδραστικό παράθυρο για γρήγορη και απλοποιημένη άποψη του αποτελέσματος. Επιπλέον άλλες διαδικασίες μπορούν να εφαρμοστούν για την απόδοση της σκηνής, μεταξύ αυτών η finalRender, η Brazil, η V-Ray και η mental ray.

5.3. Σχεδιασμός σταθμού Μετρό με τη χρήση 3ds Max

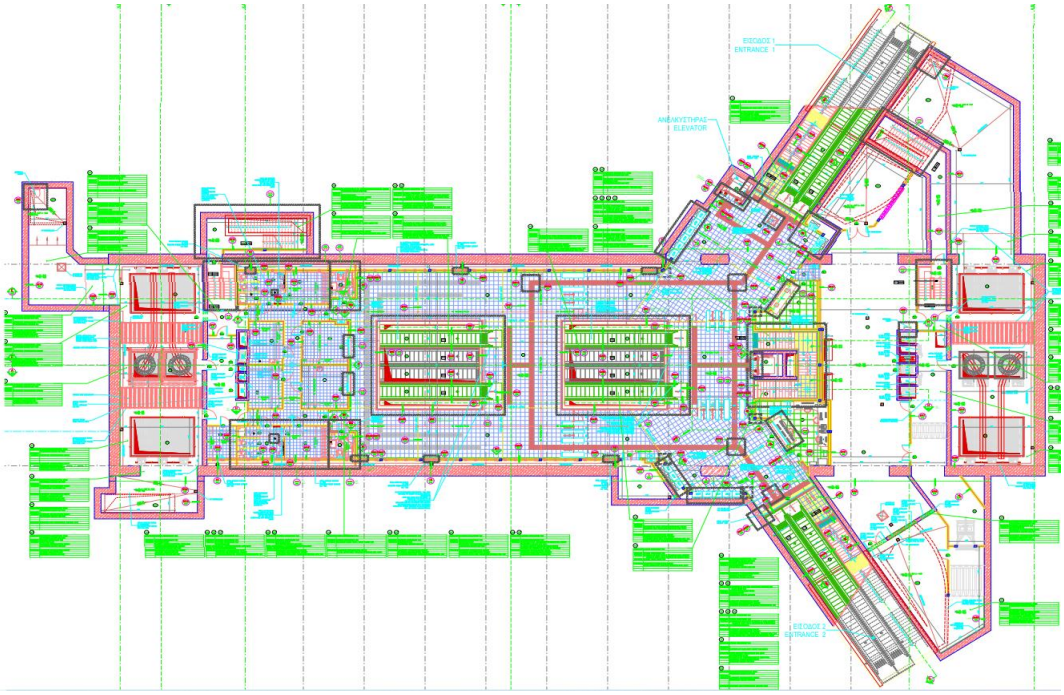
Η κατασκευή ενός ρεαλιστικού σταθμού μετρό σε τρεις διαστάσεις αποτέλεσε βασικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τα σχέδια που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του σταθμού ήταν σε δισδιάστατη μορφή όπως απεικονίζονται στο Autocad και όπως φαίνονται στις Εικόνες 5.7. , 5.8. , 5.9. , 5.10. Ο συγκεκριμένος σταθμός αποτελείται από τρεις ορόφους κάτω από τη γη, σε κάθε όροφο υπάρχουν δύο διαδρομές προς την έξοδο με σκάλες- κυλιόμενες και κανονικές- και προστέθηκε και ένα κλιμακοστάσιο στην εξωτερική πλευρά των εγκαταστάσεων που συνδέει όλους τους ορόφους μέχρι την έξοδο.



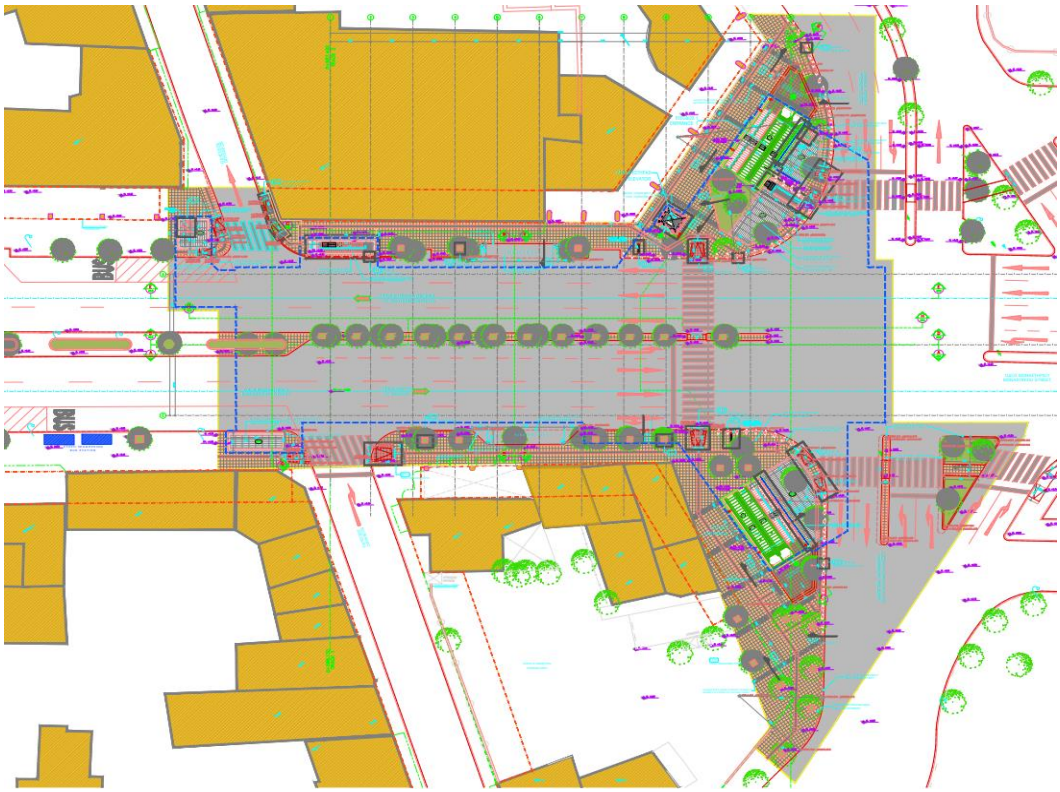
Εικόνα 5.7. Σταθμός Μετρό Επίπεδο -3



Εικόνα 5.8. Σταθμός Μετρό Επίπεδο -2



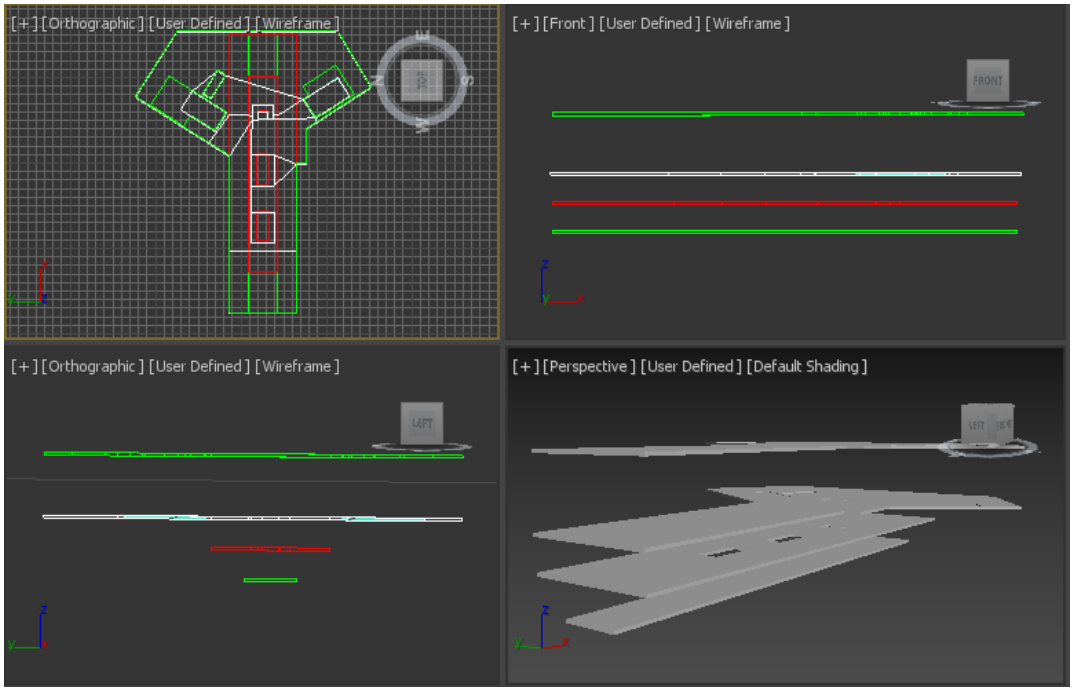
Εικόνα 5.9. Σταθμός Μετρό Επίπεδο -1



Εικόνα 5.10. Σταθμός Μετρό Επίπεδο 0

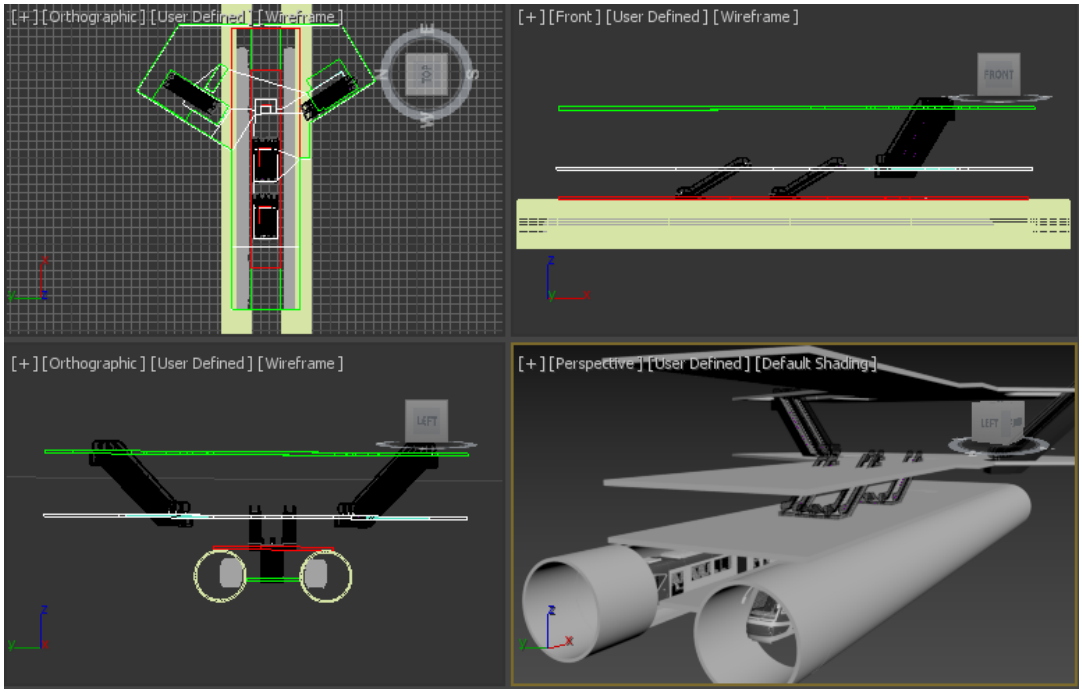
5.3.1. Απεικόνιση του σταθμού στο 3ds Max

Σε αυτό το σημείο θα παρουσιαστούν συνοπτικά τα στάδια σχεδιασμού του σταθμού στο πρόγραμμα 3ds Max με σκοπό να μελετηθεί στη συνέχεια η εκκένωσή του λόγω πυρκαγιάς. Αφού μελετήθηκαν από το αρχικό σχέδιο οι διαστάσεις τοποθετήθηκαν κατάλληλα στο 3ds Max, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.11.



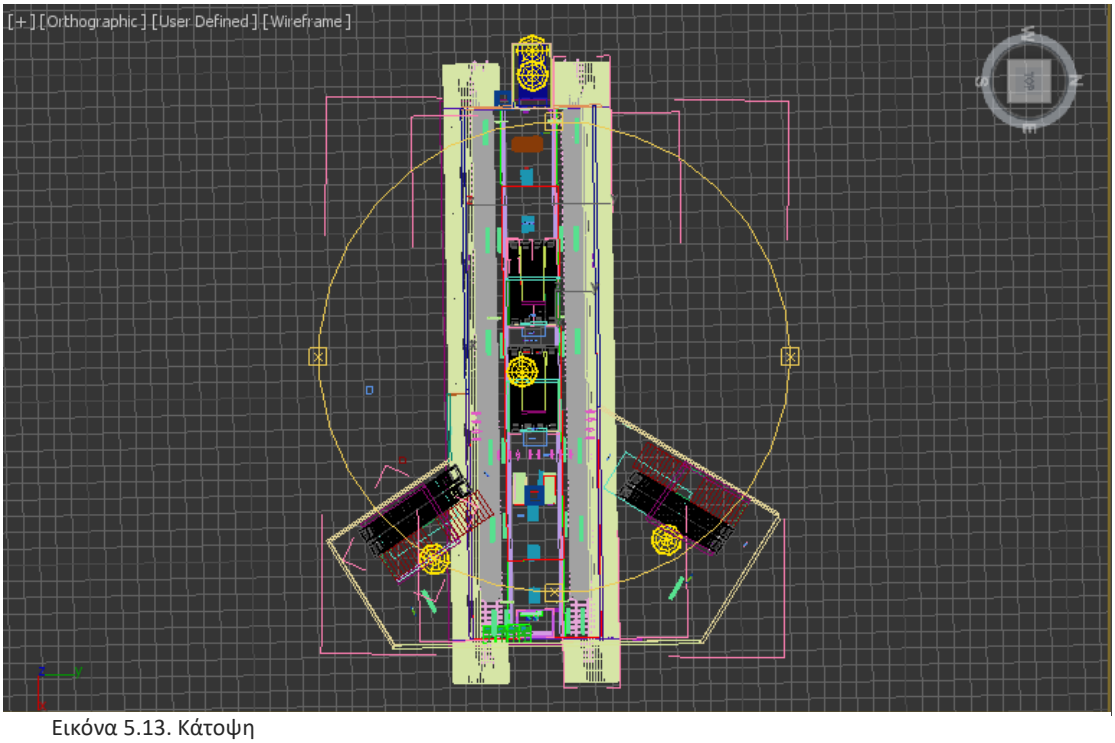
Εικόνα 5.11 Αρχικά σχέδια σταθμού στο 3ds Max

Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν και προστέθηκαν οι σήραγγες μέσα από τις οποίες διέρχονται οι συρμοί, όπως επίσης και τα δύο τρένα και οι κυλιόμενες σε κάθε όροφο. Το αποτέλεσμα αυτών των προσθηκών παρουσιάζεται στη Εικόνα 5.12.

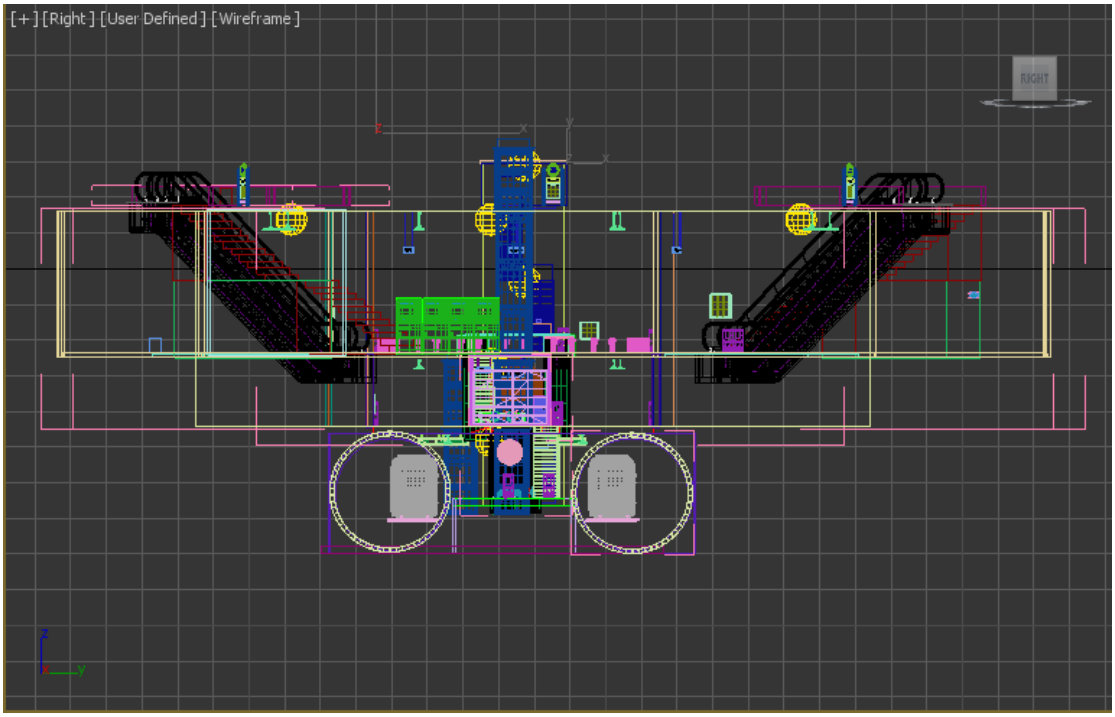


Εικόνα 5.12 Προσθήκη στοιχείων του μετρό στο σταθμό

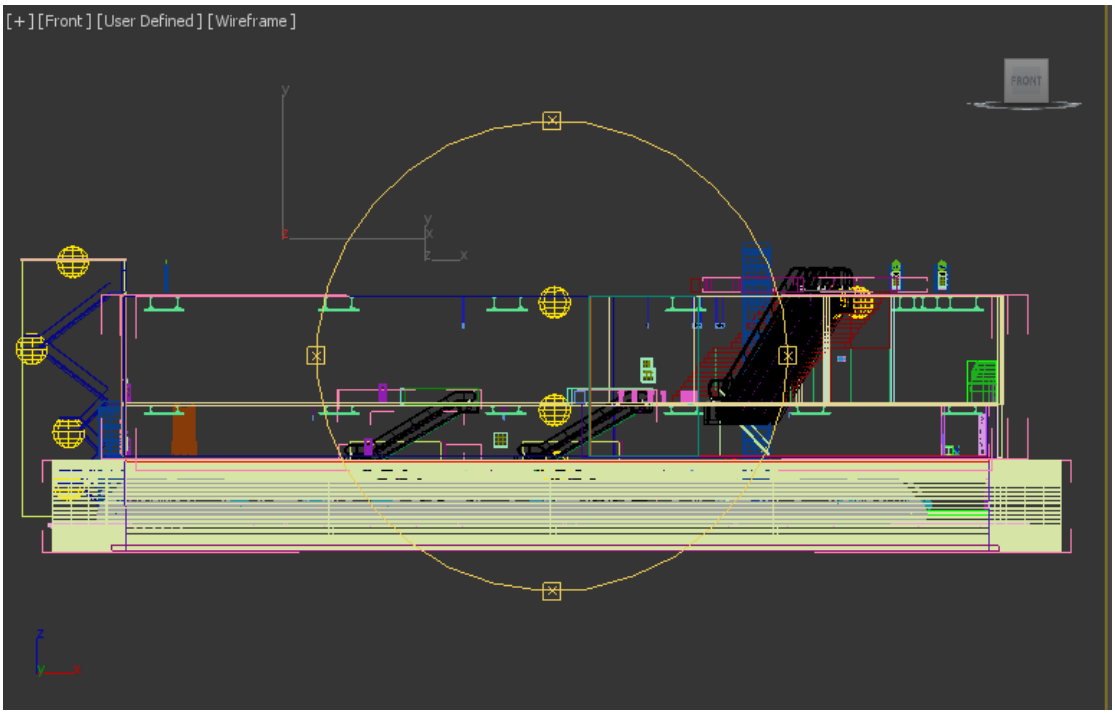
Κατόπιν, προστέθηκαν οι κατάλληλοι φωτισμοί και οι υφές για να είναι ρεαλιστική η σκηνή. Τοποθετήθηκαν, επίσης, όλα τα αντικείμενα που συναντώνται σε ένα σταθμό μετρό, ακυρωτικά μηχανήματα, μπάρες εισόδου, πινακίδες κίνησης, συστήματα πυρασφάλειας, παγκάκια και λοιπά αντικείμενα. Τα τελικά σχέδια που προέκυψαν μετά τον σχεδιασμό στο 3ds Max παρουσιάζονται παρακάτω στην κάτοψη, την μπροστινή όψη, την δεξιά όψη και τρισδιάστατα (pespective) (Εικόνες 5.13. , 5.14. , 5.15. , 5.16.).



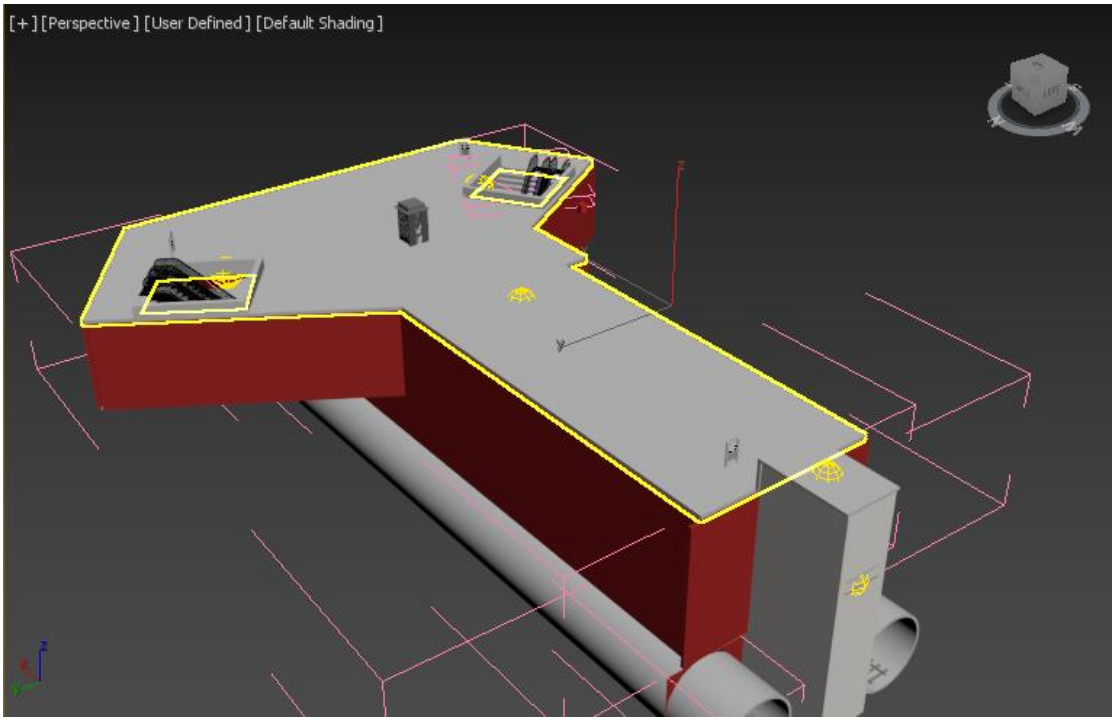
Εικόνα 5.13. Κάτοψη



Εικόνα 5.14.. Μπροστινή όψη

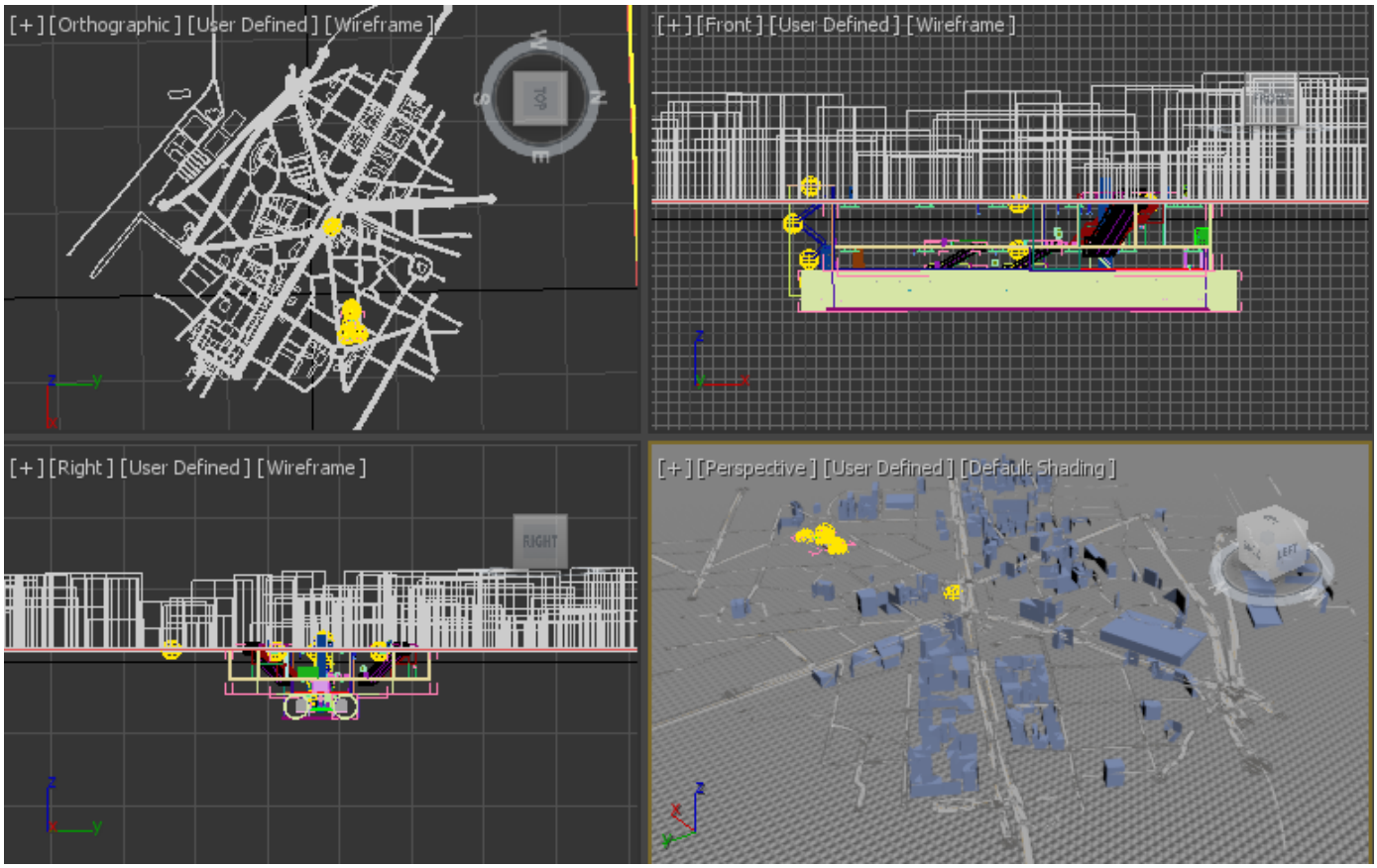


Εικόνα 5.15. Δεξιά όψη



Εικόνα 5.16. Prespective

Τέλος, στον εξωτερικό χώρο του σταθμού προστέθηκαν ακόμα κτήρια, δρόμοι καθώς και ουρανός και ήλιος για να δίνουν την αίσθηση του εξωτερικού χώρου.

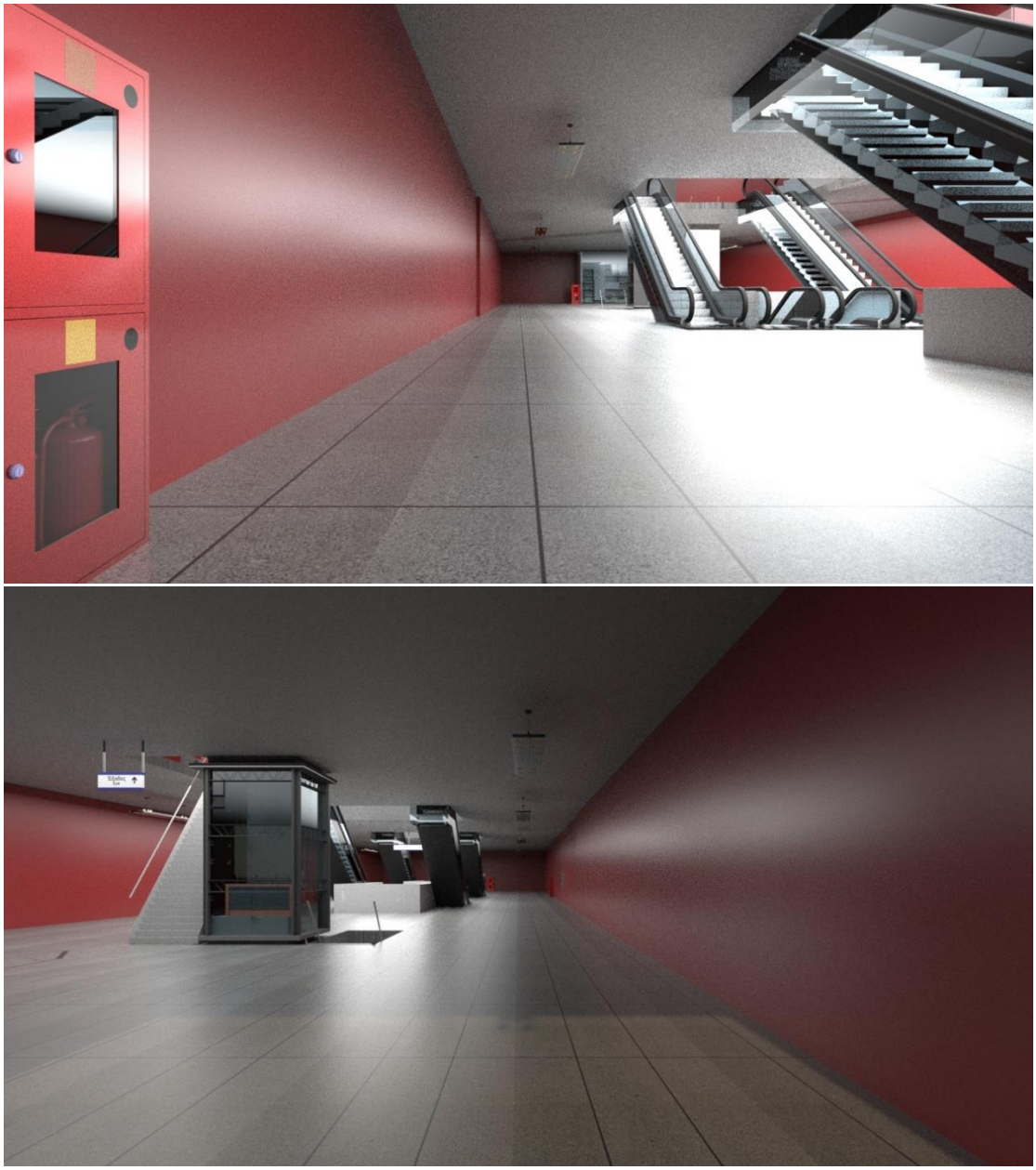


Εικόνα 5.17. Σχέδια στο 3ds Max με εξωτερικό χώρο

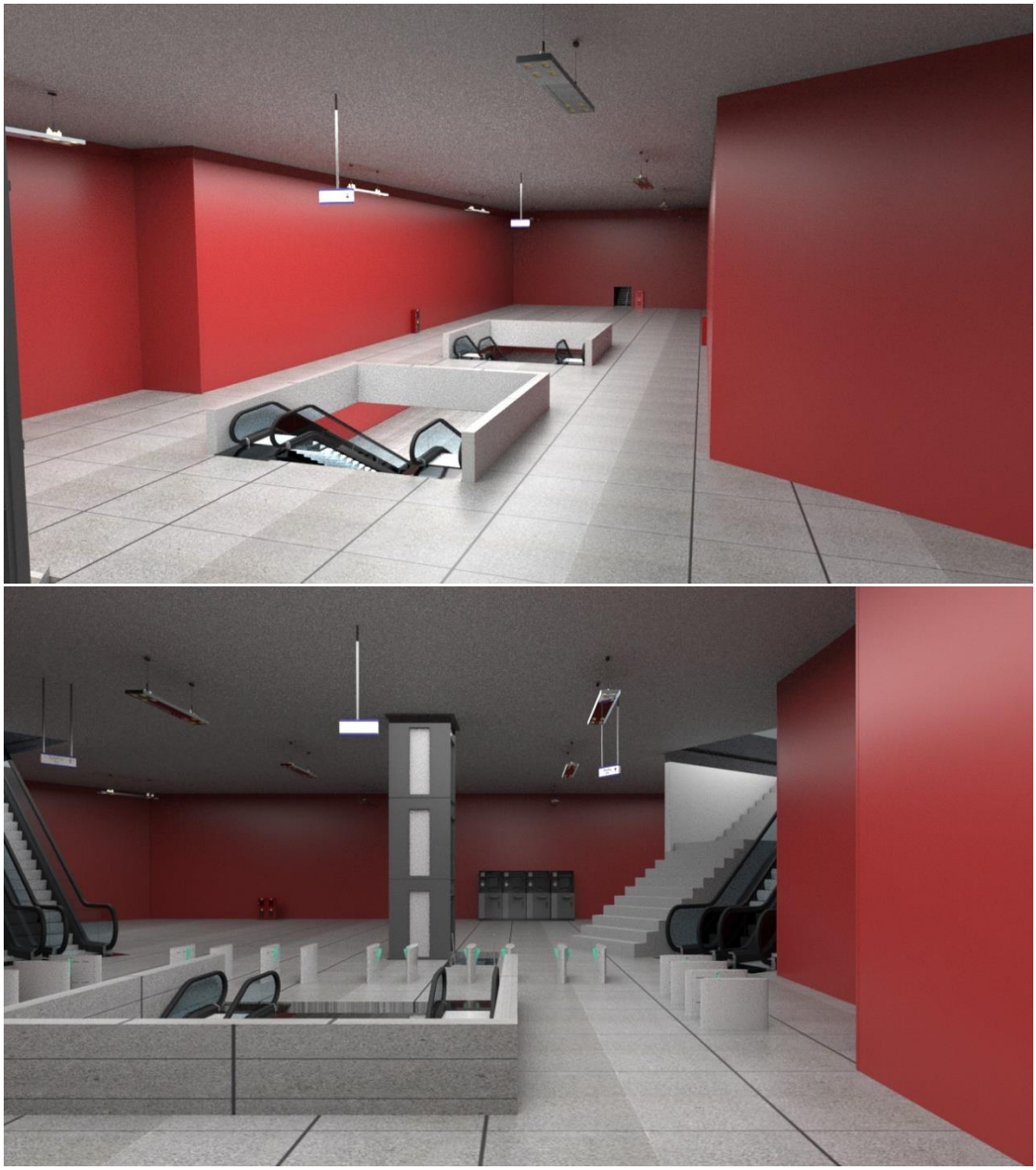
5.3.2. Φωτοαπόδοση Σταθμού

Στο 3ds Max η τελική απεικόνιση του σχεδιασμού που έχει γίνει, στην προκειμένη περίπτωση ο σταθμός του Μετρό, αποδίδεται με τη διαδικασία της φωτοαπόδοσης ή αλλιώς των renderings. Πρόκειται για μια πολύωρη διαδικασία, καθώς το πρόγραμμα «διαβάζει» όλες τις πληροφορίες που του δίνει ο χρήστης, με κυρίαρχο ρόλο να παίζει ο φωτισμός ο οποίες με τις κατάλληλες ρυθμίσεις μπορεί να κάνει τη σκηνή πολύ ρεαλιστική. Το αποτέλεσμα του σχεδιασμού του σταθμού μετρό στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνες 5.18. , 5.19. 5.20. , 5.21.).

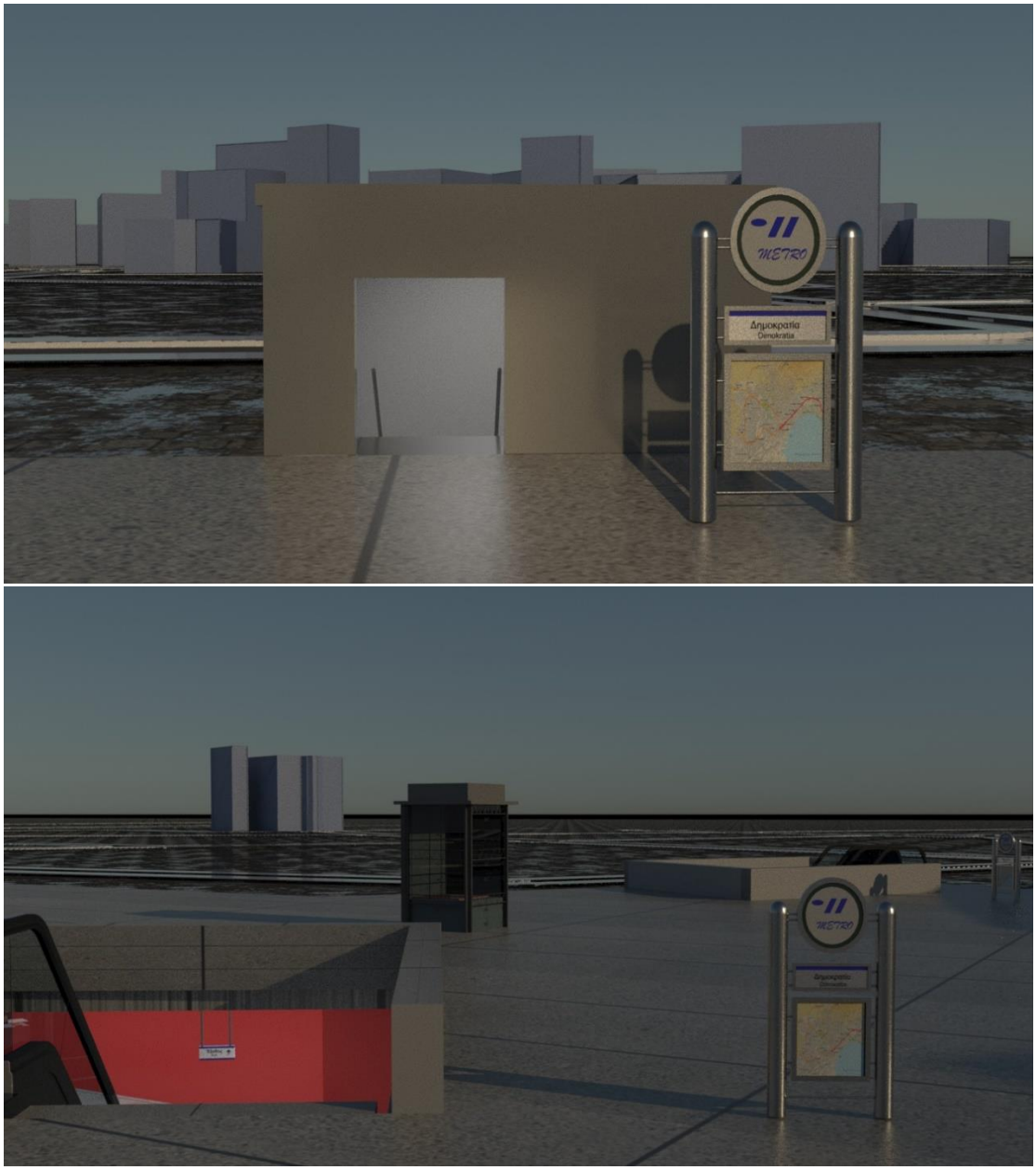
Εικόνα 5.18. Φωτοαπόδοση του σταθμού στο επίπεδο της πλατφόρμας



Εικόνα 5.19. Φωτοαπόδοση του σταθμού στο επίπεδο -2



Εικόνα 5.20. Φωτοαπόδοση του σταθμού στο επίπεδο -1



Εικόνα 5.21. Εξωτερικός χώρος σταθμού

Κεφάλαιο 6: Εικονική Πραγματικότητα

6.1. Εισαγωγή στην εικονική πραγματικότητα

Η εικονική πραγματικότητα αποτελεί «ένα αλληλεπιδραστικό, τρισδιάστατο περιβάλλον, παραγόμενο από υπολογιστή, στο οποίο μπορεί κάποιος να εμβυθιστεί» (Lanier et al., 1989). Αυτός είναι ένας από τους πρώτους ουσιαστικά ορισμούς που δόθηκε από τον Jaron Lanier τη δεκαετία του ’80, ωστόσο δεν υφίσταται ένας καθολικά αποδεκτός ορισμός για την εικονική πραγματικότητα, καθώς έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τρόποι υλοποίησης και πλαίσια χρήσης αυτής της τεχνολογίας χωρίς κατ’ ανάγκη να υπάρχουν κοινές αντιλήψεις. Όσον αφορά τη βασική έννοια Εμβύθιση (immersion) του VR (Virtual Reality) , είναι η ψευδαίσθηση πως ο χρήστης βρίσκεται μέσα στο εικονικό περιβάλλον [Slater et al., 1994]. Μέσα στα τελευταία χρόνια, ο εξειδικευμένος εξοπλισμός που χρειάζεται, προκειμένου να επιτευχθεί ένας ικανοποιητικός βαθμός εμβύθισης, έχει αλλάξει πολύ. Λίγα χρόνια πριν, χρησιμοποιούνταν συσκευές όπως κράνη με ακουστικά , γάντια και ολόσωμες φόρμες (Εικόνα 5.1), ενώ πλέον χρειαζόμαστε μόλις τα στερεοσκοπικά γυαλιά VR και δύο χειριστήρια (Εικόνα 5.2) προκειμένου να έχουμε λειτουργικό βαθμό απομόνωσης από τα ερεθίσματα του περιβάλλοντος.

Εικόνα 5.1

Εικόνα 5.2

Το 2003, δόθηκε ένας ακόμη όρος για την εικονική πραγματικότητα, από τον συγγραφέα W.Sherman και τον ερευνητή A.Craig, ως ένα μέσο το οποίο αποτελείται "από αλληλεπιδραστικές εξομοιώσεις με υπολογιστή, οι οποίες 'αισθάνονται' την θέση και τις ενέργειες του χρήστη, και αντικαθιστούν ή επαυξάνουν την ανάδραση σε μία ή παραπάνω αισθήσεις, δίνοντας το αίσθημα της πνευματικής εμβύθισης ή παρουσίας στην εξομοίωση (ένας εικονικός κόσμος)".

6.2 Ιστορική Αναδρομή

Ήδη από το 1960, ο Sutherland εκφώνησε μία ομιλία σε παγκόσμιο συνέδριο (IFIP), όπου ανέπτυξε την θεωρία του για το «ultimate display», ένα δωμάτιο όπου σύνθετα αντικείμενα θα έπρεπε να διεγείρουν τις ανθρώπινες αισθήσεις ως πραγματικά. Έτσι, δημιουργήθηκαν τα πρώτα συστήματα εξομοίωσης πτήσης, που αποτελούσαν συνδυασμό πραγματικών βίντεο από κάμερες κινούμενες από τους μοχλούς των αεροπλάνων και του ανάλογου περιβάλλοντος. Τα πρώτα παραδείγματα εικονικής πραγματικότητας δεν χρησιμοποιούσαν υπολογιστές, αλλά μία μηχανή που ονομάστηκε Sensorama (Morton Heiling,1962). Εκείνος που την χρησιμοποιούσε, έκανε μία «εικονική» βόλτα με μοτοσικλέτα στους δρόμους της Νέας Υόρκης ενώ χρησιμοποιούσε τόσο την όραση (κινούμενες εικόνες), όσο και την ακοή (στερεοφωνικός ήχος), αλλά και την αφή, την αίσθητικότητα (κραδασμοί και αέρας) και, τέλος, την οσμή. Ο Heiling ήταν μάλιστα αυτός που κατασκεύασε ένα σύστημα στερεοσκοπικής οθόνης HMD (Head Mounted Display). Το σύστημα αυτό ήταν ικανό να δείξει τρισδιάστατα διανυσματικά γραφικά σε μικρές οθόνες CRT, τοποθετημένες στο πλάι. Ο Sutherland, προχώρησε σε κατασκευή ανάλογου λογισμικού και στράφηκε προς το υλικό. Στη συνέχεια, μετά από τις στερεοσκοπικές οθόνες πειραματίστηκε και με υπερηχητικούς και μαγνητικούς αισθητήρες. Το 1970, στην αρχή της νέας δεκαετίας, και μετά από αρκετή έρευνα, ο Noll, παρουσίασε το «Incredible Helmet», που ήταν ένα πρωτότυπο σύστημα δυναμικής ανάδρασης. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιούσε ποτενσιόμετρα, βρίσκοντας έτσι τη θέση μιας μικρής λαβής, στην οποία ηλεκτροκινητήρες μετέφεραν ανάλογη ανάδραση. Η νέα τεχνολογία τα επόμενα χρόνια γινόταν ολοένα και πιο δημοφιλής, κυρίως στους επιστήμονες από το MIT και UNC. Στα μέσα της δεκαετίας του 80 η VPL Research σχεδίασε το Data Glove και έκανε γνωστές τις οθόνες HMD. Στα χρόνια που ακολούθησαν η εξάπλωση της εικονικής πραγματικότητας ήταν ραγδαία, δημιουργήθηκαν πολλές εταιρείες υλικού και λογισμικού και πολλά ερευνητικά κέντρα άρχισαν να ασχολούνται με αυτή. Ωστόσο, τα τελευταία μόλις χρόνια παρατηρείται ευρεία εξάπλωση της τεχνολογίας ,λόγω της επέκτασής της στους προσωπικούς υπολογιστές και στο διαδίκτυο 4, καθώς και του εξοπλισμού που έχει γίνει πολύ προσιτός.

6.3 Πεδία Εφαρμογής

Σιγά σιγά, οι εικονικές πραγματικότητες άρχισαν να ευδοκιμούν και στο χώρο της διασκέδασης (videogames), της εκπαίδευσης και της έρευνας. Εκτός από τις ψυχαγωγικές εφαρμογές, που είναι ευρέως γνωστές, το VR έχει καταφέρει να αναπαράγει ικανοποιητικά -και με φυσικό τρόπο- τη δράση και την αντίληψη του ανθρώπου δια μέσου της ενεργητικής εμπλοκής του σε εικονικούς κόσμους, και έτσι χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς .

Η εικονική πραγματικότητα λοιπόν, έχει παίξει σημαντικό ρόλο στην αρχιτεκτονική αλλά και σε πολεοδομικές εφαρμογές. Οι εφαρμογές αυτές αναφέρονται στον σχεδιασμό νέων αντικειμένων χρησιμοποιώντας ήδη υπάρχουσες τεχνικές σχεδιασμού. Έτσι, είναι δυνατό π.χ. κάποιος να χτίσει το σπίτι του, επιλέγοντας κάθε αντικείμενο από μία βιβλιοθήκη έτοιμων αντικειμένων και συγχρόνως να ελέγχει αυτό που κατασκεύασε. Οι εφαρμογές

αυτές αναφέρονται ως interactive CAD. Προς αυτήν την κατεύθυνση κινείται και η Google με τη γνωστή εφαρμογή StreetView, η οποία έχει εισαγάγει τη χρήση στερεοσκοπικής προβολής (stereoscopic 3D mode). Η αλήθεια είναι ότι τη δεδομένη στιγμή, σε φορητές συσκευές η έννοια της εμβύθισης δεν υφίσταται, αλλά παρόλα αυτά, η πλοήγηση σε 3D χάρτες διευκολύνει την πλοήγηση στον πραγματικό κόσμο.

Η εικονική πραγματικότητα έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα και στην ιατρική τα τελευταία χρόνια, με τους χειρουργούς και τους κλινικούς γιατρούς να χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτή ώστε να παρουσιαστεί εικονικά το ανθρώπινο σώμα και διαδικασίες προς όσο το δυνατόν περισσότερες ανθρώπινες αισθήσεις και κατά τρόπο ταυτόσημο με τα πραγματικά [Riva, 2003]. Σε παρόμοιες εφαρμογές μετά το 2005 (Viciana-Abad & Lecuona, 2005), το Virtual Reality προτείνεται σαν λύση για την εκπαίδευση των τραυματιοφορέων, και από το 2009 και μετά, και για των ειδικευομένων σε καρδιοπνευμονική ανάνηψη (Semeraro et al). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ενώ στις περισσότερες εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας ο σκοπός είναι ο έλεγχος του περιβάλλοντος, στην αντιμετώπιση φοβιών (Virtual Reality Exposure Therapies-VRET) ισχύει ο αντίστροφος κανόνας, καθώς η προσπάθεια επικεντρώνεται στην αλλαγή της συμπεριφοράς του ίδιου του ασθενούς μετά από ελεγχόμενη έκθεση στο στρεσογόνο παράγοντα. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών που επικεντρώνονται σε διάφορες φοβίες, όπως κοινωνικές φοβίες που είναι και οι πιο συνηθισμένες, αλλά και φοβίες σχετικές με διάφορα ζώα και έντομα. Σε ακόμη πιο πρόσφατες εφαρμογές, η εικονική πραγματικότητα χρησιμοποιείται προκειμένου να αντιμετωπιστεί ο πόνος , με τη μέθοδο περισπασμού. Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο, ο πόνος, η αντίληψη του οποίου είναι υποκειμενική, παρακωλύεται να φτάσει στο νευρικό σύστημα, επειδή οι εξωτερικές διεγέρσεις που προκαλούνται στον εικονικό χώρο μπορούν να τον καταστείλουν (Melzack & Wall, 1965).

Η εικονική πραγματικότητα εφαρμόζεται και σε διάφορα ερευνητικά κέντρα για την μοντελοποίηση των εξισώσεων της κβαντικής μηχανικής, αλλά και για την μοντελοποίηση γεωλογικών και οικονομικών βάσεων δεδομένων. Πλέον, έχουμε τα επιστημονικά δεδομένα σε τρισδιάστατη μορφή, και έτσι μας επιτρέπετε να αλληλοεπιδρούμε με τα δεδομένα ή τα φαινόμενα που ερευνούμε. Οι επιστήμονες πλέον, μπορούν να αλληλοεπιδράσουν ακόμη και μοριακά μοντέλα, μεταβάλλοντας τη δομή τους και παρατηρώντας τα αποτελέσματα, φορώντας μόνο το στερεοσκοπικό κράνος.

Η εικονική πραγματικότητα εφαρμόζεται και για εκπαιδευτικούς σκοπούς, παρέχοντας ικανοποιητική ποιότητα και κίνητρο για ενεργητική μάθηση (Παλιόκας & Κέκκερης, 2007) .Οι αρχές της παιχνιδοποίησης (gamification) στην εκπαίδευση εφαρμόστηκαν με επιτυχία, και παράλληλα εντοπίστηκε και η παιδαγωγική διάσταση των βιντεοπαιχνιδιών, κυρίως μέσα από τη συναισθηματική διάδραση που αυτά προκαλούν (Prensky, 2002).Τα 3D εικονικά περιβάλλοντα μάθησης ονομάζονται Virtual Reality Learning Environments-VRLE και δεν περιορίζονται μόνο στην τυπική εκπαίδευση, αλλά βρίσκει εφαρμογή και σε νέες μορφές εκπαίδευσης, όπως αυτές που προσφέρει η μουσειακή εμπειρία ή η κατάρτιση των αστροναυτών και των πιλότων. Τα συστήματα που προσομοιώνονται ειδικά στη δεύτερη περίπτωση είναι συνήθως αρκετά επικίνδυνα, πολύπλοκα και ακριβά (π.χ. οι αεροπορικές εταιρείες και οι εταιρείες αεροναυπηγικής ήταν από τις πρώτες που υιοθέτησαν την τεχνολογία VR με τα Flight Simulator).

Τα συστήματα προσομοίωσης εικονικής πραγματικότητας, έχουν φανεί ιδιαίτερα χρήσιμα και στη συμπεριφορική μελέτη του ανθρώπου σε περίπτωση κινδύνου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το γεγονός ότι σε πολλές εταιρίες, τα συστήματα VR, με την αρωγή μηχανικών ασφαλείας και ψυχολόγων, χρησιμοποιούνται ώστε να προβλεφθεί και να μελετηθεί κάποιο έκτακτο περιστατικό, καθώς και το πως αυτό μπορεί να επηρεάσει την ανθρώπινη συμπεριφορά. Η περίπτωση VR προσομοίωσης πυρκαγιάς σε έναν υπόγειο χώρο που χρησιμοποιείται καθημερινά από πλήθος κόσμου, όπως το μετρό, αποτελεί απόδειξη πως η εν λόγω τεχνολογία μπορεί να φανεί έως και σωτήρια.

Στον κλάδο της Μεταλλευτικής, ήδη από το 1996, είχαν υπολογιστεί τα πλεονεκτήματα της εικονικής πραγματικότητας, ενώ είχε λάβει χώρα Παγκόσμιο Συνέδριο για τη Μεταλλευτική Προσομοίωση. Μάλιστα, περιγράφονταν γλαφυρά τα οφέλη αυτής της τεχνολογίας, τόσο προς το ευρύ κοινό που δεν έχει σχέση με τον κλάδο αυτό, όσο και προς τους ίδιους τους μηχανικούς, που θα μπορούσαν να δουν τις συνέπειες των αποφάσεών τους, κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού εκμετάλλευσης (Mine Simulation, G.N. Panagiotou & J.R.Sturgul Editors,1996).

Κεφάλαιο 7: Πείραμα Προσομοίωσης Εκκένωσης Σταθμού Μετρό

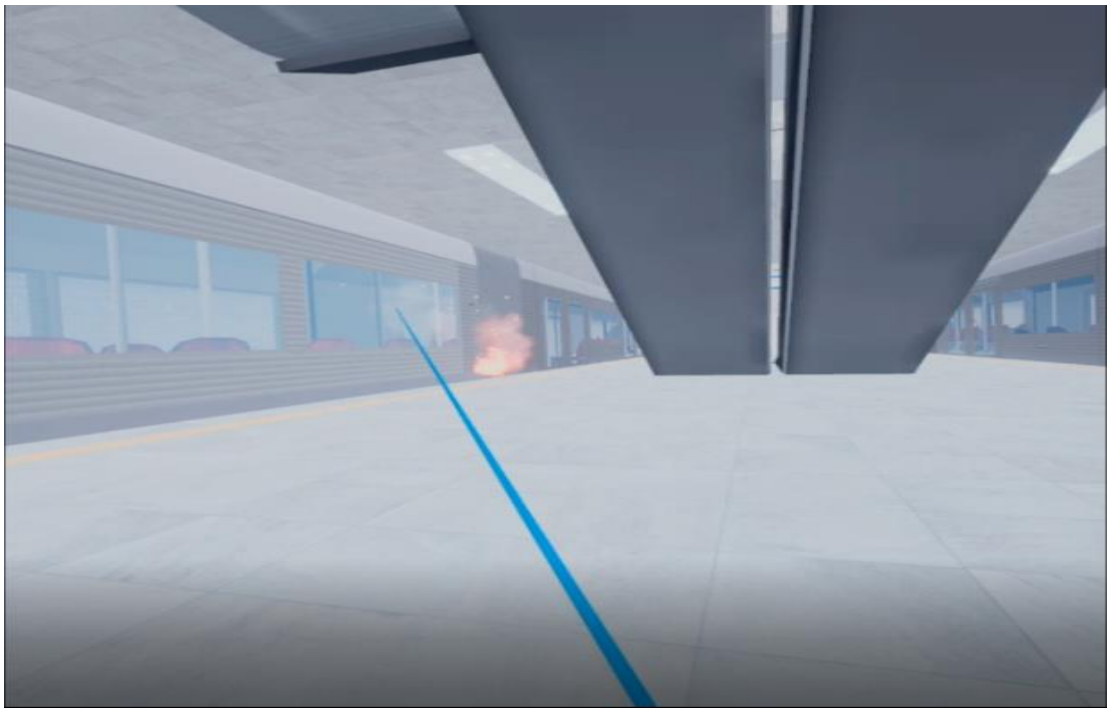
Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε πειραματική διαδικασία προσομοίωσης εκκένωσης σε περίπτωση πυρκαγιάς με σκοπό να μελετηθεί η συμπεριφορά των ανθρώπων κατά τη διάρκεια εκκένωσης ενός σταθμού Μετρό. Η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε για να γίνει η προσομοίωση της εκκένωσης είναι αυτή της εικονικής πραγματικότητας με τη βοήθεια της οποίας καταφέραμε, αφού πρώτα σχεδιάστηκε ο σταθμός μετρό από την αποβάθρα εώς και τον εξωτερικό του χώρο, να «εισέρχονται» οι χρήστες στον εικονικό αυτό χώρο και να μπορούν να περιηγηθούν σε αυτόν με τη χρήση εξοπλισμού (γυαλιών και τηλεχειριστηρίου) VR. Με αυτόν τον τρόπο μελετήθηκε τόσο ο χρόνος και η απόσταση που χρειάζεται να διανύσουν οι επιβάτες του σταθμού για να τον εκκενώσουν όσο και στοιχεία της συμπεριφοράς ανθρώπων όταν χρειάζεται να γίνει εκκένωση λόγω πυρκαγιάς.

7.1. Σχεδιασμός Πειράματος

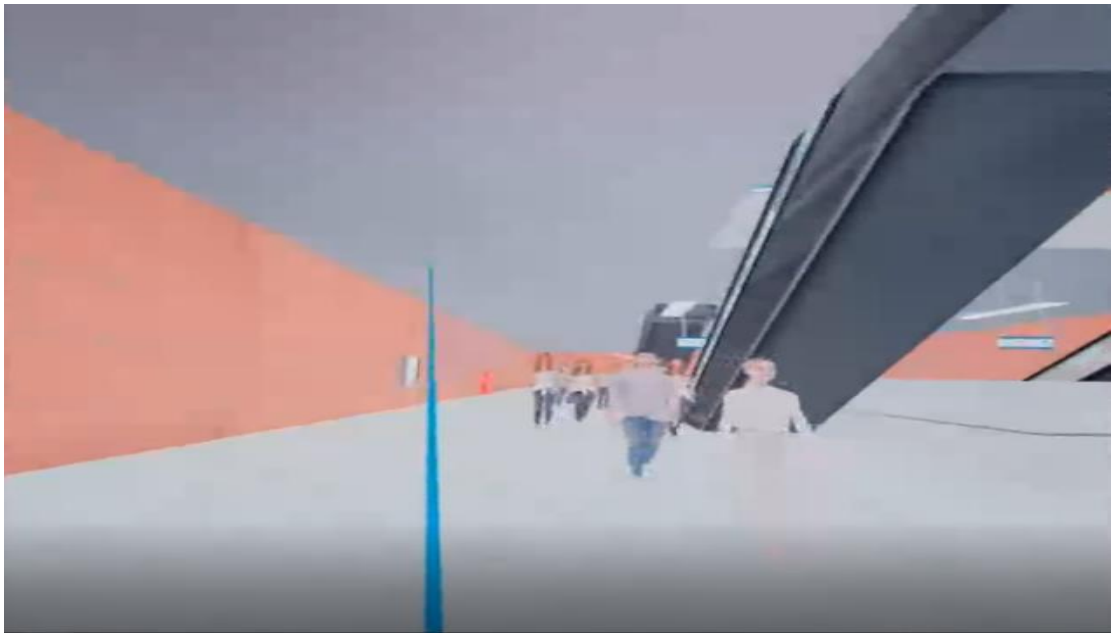
Για την εκτέλεση του πειράματος χρειάστηκε πρώτα να δημιουργηθεί μέσω του προγράμματος Unreal Engine η τρισδιάστατη αναπαράσταση του σταθμού σε μορφή τέτοια που να συνδέεται με τον εξοπλισμό VR που διαθέτουμε. Ουσιαστικά, έγινε εξαγωγή του σχεδιασμού που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο μέσω του 3ds Max, στο συγκεκριμένο πρόγραμμα που εξειδικεύεται στη δημιουργία εφαρμογών και παιχνιδιών με οπτική πρώτου προσώπου. Για το λόγο αυτό έγινε εξαγωγή των μοντέλων του σταθμού και μετατράπηκαν οι υφές που είχαν χρησιμοποιηθεί ώστε να είναι συμβατές με το πρόγραμμα. Επίσης, προστέθηκαν εικονικοί άνθρωποι που κινούνταν στο χώρο με τεχνητή νοημοσύνη καθώς και μία εστία φωτιάς στο επίπεδο της πλατφόρμας. Τέλος, δημιουργήθηκε και ο

τρόπος πλοήγησης (navigation) του χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε το περιβάλλον του σταθμού στον οποίο ο χρήστης – επιβάτης μπορεί να περιηγηθεί μέχρι να βρει την κοντινότερη για αυτόν έξοδο ενώ ταυτόχρονα καταγράφεται τόσο η απόσταση όσο και ο χρόνος που χρειάστηκε για να διαφύγει.

Το σενάριο το οποίο καλούνταν οι χρήστες να ακολουθήσουν ξεκινούσε για όλους από την αποβάθρα όπου έβλεπαν και την εστία της πυρκαγιάς και από εκεί είχαν το ελεύθερο να κινηθούν προς οποιαδήποτε κατεύθυνση για να διαφύγουν. Για λόγους ασφαλείας η πυρκαγιά περιοριζόταν μόνο σε ένα μικρό σημείο της αποβάθρας καθώς σε αντίθετη περίπτωση θα υπήρχαν μεγάλες πιθανότητες να δημιουργηθεί πανικός και ζάλη από τους χρήστες και να περιοριζόταν κατά πολύ ο αριθμός των ατόμων που θα είχαν τη δυνατότητα να συμμετέχουν στο πείραμα. Παρακάτω παρουσιάζονται και σε εικόνες - στιγμιότυπα από τον χώρο του σταθμού που έπρεπε να εκκενωθεί από τους χρήστες, καθώς και οι διάφοροι τρόποι διαφυγής (Εικόνες 7.1. , 7.2. , 7.3. , 7.4.)



Εικόνα 7.1. Η απεικόνιση της πυρκαγιάς στην αποβάθρα μέσω του VR



Εικόνα 7.2. Απεικόνιση του σταθμού και των εικονικών επιβατών στο VR

Στην αποβάθρα υπάρχουν τέσσερις κυλιόμενες σκάλες οι οποίες πάντα σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης δεν είναι σε λειτουργία, μία σταθερή σκάλα καθώς και η έξοδος κινδύνου που ξεκινάει από την αποβάθρα και συνεχίζει σε όλους τους ορόφους μέχρι την έξοδο.

Εικόνα 7.3. Κυλιόμενες σκάλες αποβάθρας στο VR

Εικόνα 7.4. Σταθερές σκάλες αποβάθρας στο VR

Ομοίως, και στον δεύτερο όροφο κάτω από την επιφάνεια της γης, υπάρχουν πάλι τέσσερις κυλιόμενες και μία σταθερή, ενώ στον μείον ένα υπάρχουν μία σταθερή σκάλα που βρίσκεται μαζί με δύο κυλιόμενες από τη δεξιά μεριά του σταθμού και ομοίως στα αριστερά.

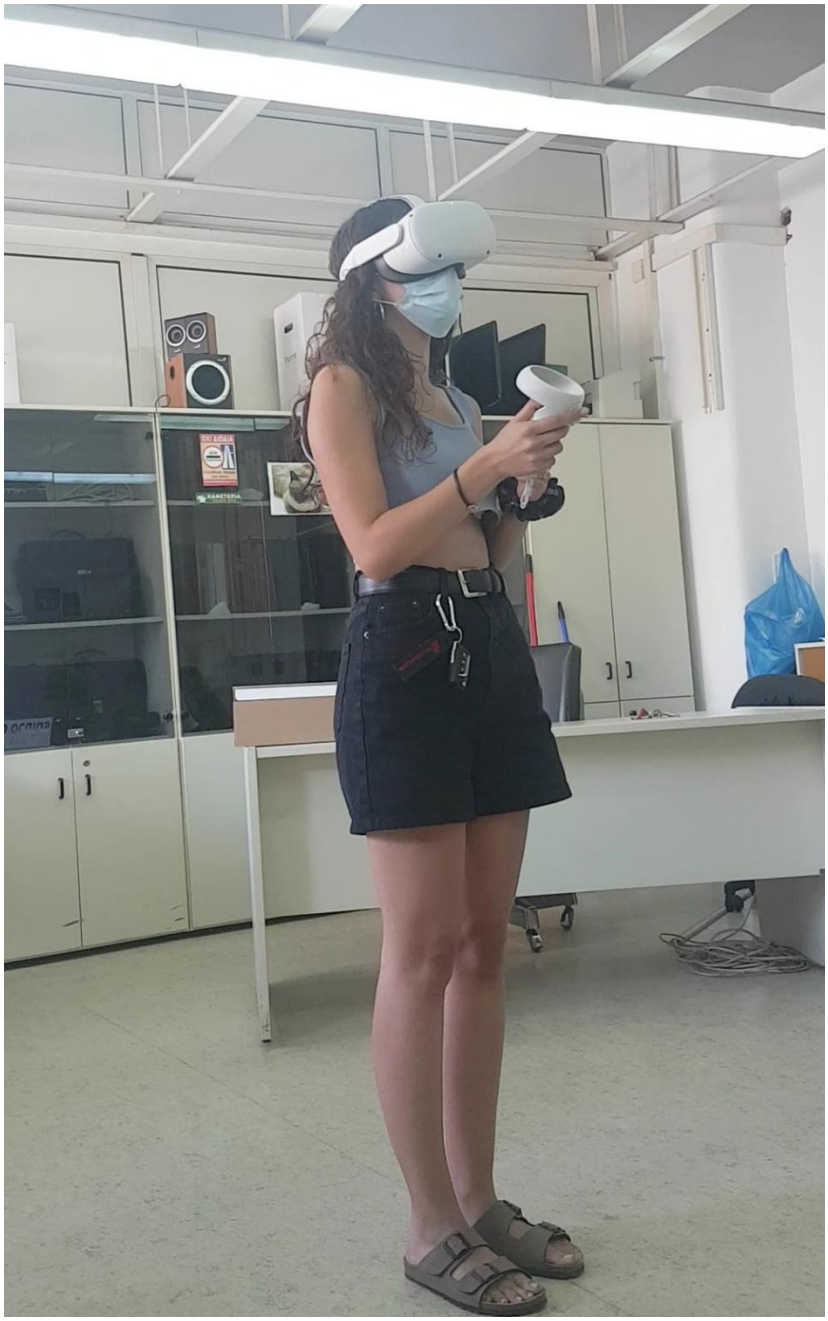
Εικόνα 7.5. Η έξοδος κινδύνου στο VR

Εικόνα 7.6. Τελική έξοδος από το σταθμό

7.2. Πειραματική Διαδικασία

Περνώντας στην διαδικασία του πειράματος, οι χρήστες έπρεπε να φορέσουν τα γυαλιά της εικονικής πραγματικότητας σε έναν ασφαλή χώρο και να εκτελέσουν τη διαδικασία της εκκένωσης. Ο χειρισμός ήταν σχετικά απλός. Για την μετακίνηση προς τα εμπρός ο χρήστης κρατούσε στο χέρι του ένα χειριστήριο όπως φαίνεται στην Εικόνες 7.7. και 7.8. , ενώ για να αλλάξει κατεύθυνση εκτελούσε στροφή γύρω από τον εαυτό του με το σώμα του.

Εικόνα 7.7. Συσκευή VR και χειριστήρια



Εικόνα 7.8. Στιγμιότυπο από την πειραματική διαδικασία

Πρωτόκολλο προστασίας από τον Covid ‘19

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως καθόλη τη διάρκεια εκτέλεσης της πειραματικής διαδικασίας τηρήθηκε αυστηρά πρωτόκολλο ασφαλείας και προστασίας από τον Covid ΄19. Κατά την είσοδο στον χώρο που λάμβανε χώρα το πείραμα υπήρχαν αντισηπτικά για την απολύμανση των χεριών ενώ παρείχαμε καινούργιες χειρουργικές μάσκες για κάθε έναν που έκανε το πείραμα. Ταυτόχρονα γινόταν απολύμανση των γυαλιών και του χειριστηρίου μετά το πέρας κάθε δοκιμής.

Αμέσως μετά δινόντουσαν οδηγίες για την προσομοίωση της εκκένωσης που αφορούσαν κυρίαρχα τον τρόπο χειρισμού των γυαλιών VR που διαθέταμε, καθώς αρκετοί χρήστες δεν ήταν εξοικειωμένοι με αυτή την τεχνολογία. Από το σημείο αυτό και έπειτα, ο χρήστης εκτελούσε μόνος του το πείραμα. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο ίδιος είχε την τρισδιάστατη αίσθηση, τόσο σε εικόνα όσο και σε ήχο, ότι βρίσκεται στην αποβάθρα ενός σταθμού μετρό από τον οποίο έπρεπε να βγει, καθώς η πρώτη εικόνα που έβλεπε φορώντας τη συσκευή VR ήταν η φωτιά που ξεκινούσε στην αποβάθρα.

Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της εκκένωσης μας δινόταν η δυνατότητα σύνδεσης της συσκευής VR με υπολογιστή ώστε να καταγράφουμε τη διαδρομή που ακολούθησε ο καθένας καθώς και τον χρόνο και την απόσταση που διάνυσε.

Μετά το πέρας της εκκένωσης κάθε χρήστης συμπλήρωνε ένα ερωτηματολόγιο με σκοπό να μελετηθούν επιμέρους παράμετροι όπως η συχνότητα της χρήσης του μετρό σε κανονικές συνθήκες, η αντιπροσωπευτικότητα της προσομοίωσης ή το τι θα διευκόλυνε περισσότερο την εκκένωση.

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΜΕΤΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ:

ΦΥΛΟ:

ΗΛΙΚΙΑΚΗ ΟΜΑΔΑ: 18-30 31-50 50+

ΕΡΩΤΗΣΗ 1Η: Έχετε χρησιμοποιήσει ποτέ το Μετρό;

☐ ΝΑΙ

☐ ΟΧΙ

ΕΡΩΤΗΣΗ 2Η: Αν ναι, πόσο συχνά μέσα στο μήνα χρησιμοποιείτε το Μετρό:

Α) Σε καθημερινή βάση

Β) 2-3 φορές την εβδομάδα

Γ) Κάποιες φορές τον μήνα

Δ) Κάποιες φορές το χρόνο

ΕΡΩΤΗΣΗ 3Η: Αναφέρετε τα δύο σημαντικότερα μέσα που κατά τη γνώμη σας, θα διευκόλυναν την εκκένωση του σταθμού:

Χρήση ανελκυστήρα	☐
Λειτουργία κυλιόμενων σκαλών	☐
Φωτεινή Σηματοδότηση	☐
Φωνητική καθοδήγηση σε πραγματικό χρόνο	☐
Μαγνητοφωνημένη φωνητική καθοδήγηση	☐

Άλλο (Προσδιορίστε)……

ΕΡΩΤΗΣΗ 4Η: Πόσο αντιπροσωπευτικό είναι το πείραμα, σε σχέση με την πραγματικότητα; (με κλίμακα 1-10 με το 10 να είναι άριστα)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Απόσταση που διανύθηκε:

Χρόνος εκκένωσης:

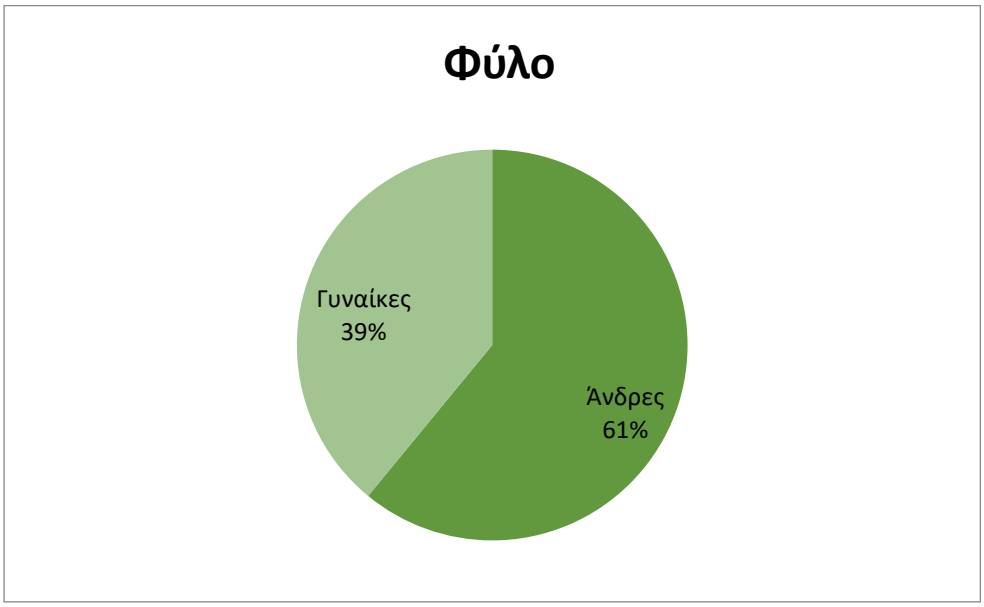
Εικόνα 7.9.. Ερωτηματολόγιο

Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα

8.1. Αποτελέσματα και Συμπεράσματα Πειραματικής Διαδικασίας

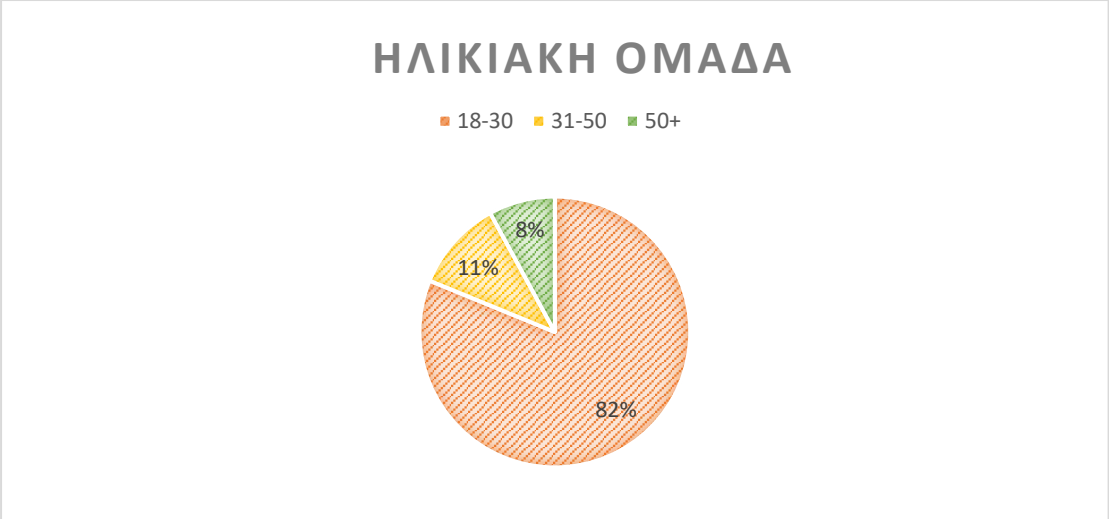
Αναλύοντας τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήσαμε, βγάζουμε κάποια ενδιαφέροντα συμπεράσματα, για το πώς κινήθηκαν οι «επιβάτες» στον VR περιβάλλοντα χώρο, βάσει της ηλικίας και της εμπειρίας στο χώρο του ΜΕΤΡΟ. Παράλληλα, μελετήθηκε αν κατάφεραν οι χρήστες να εκκενώσουν το σταθμό σε χρόνο που να καθιστά την εκκένωση ασφαλή κατά τον NFPA. Μέσα από την επεξεργασία των δεδομένων, προέκυψαν κάποια γραφήματα, τα οποία παρουσιάζουν τις διαφορετικές επιλογές και συμπεριφορές που είχε ο κάθε χρήστης, ανάλογα και με το προφίλ του. Τα δεδομένα αυτά σε συνδυασμό με την ανάλυση των αποτελεσμάτων του ερωτηματολογίου οδήγησαν σε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα τα οποία αναλύονται στη συνέχεια.

Στο πείραμα έλαβαν μέρος 104 άτομα, με την πλειονότητα αυτών να είναι μέλη της ακαδημαϊκής κοινότητας. Από τα 104 άτομα αυτά τα 63 ήταν άντρες και τα υπόλοιπα 41 ήταν γυναίκες (Γράφημα 8.1).



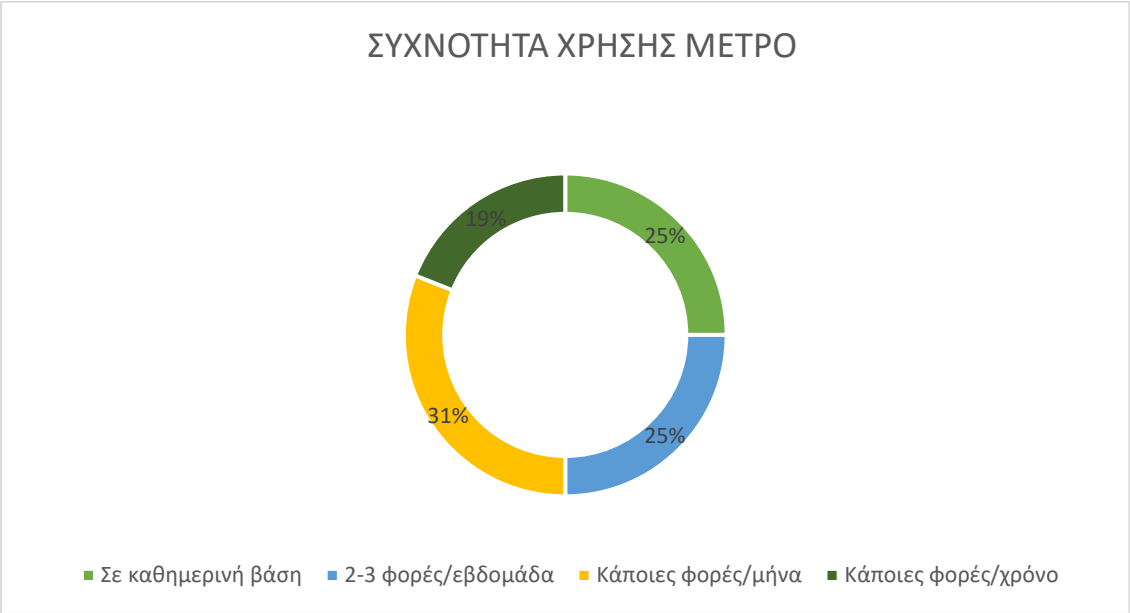
Γράφημα 8. 1 Φύλο

Οι «εικονικοί επιβάτες» κατατάχθηκαν σε τρείς ηλικιακές ομάδες. Τους 18-30, που αποτέλεσαν και το μεγαλύτερο μέρος του δείγματος, τους 31-50, που ακολούθησαν ποσοστιαία τους παραπάνω, και τέλος τους 50+, το μικρότερο μέρος του δείγματος (Γράφημα 8.2).



Γράφημα 8. 2 Ηλικιακή Ομάδα

Όλοι οι συμμετέχοντες έχουν υπάρξει στο παρελθόν έστω μια φορά επιβάτες στο ΜΕΤΡΟ, επιβεβαιώνοντας έτσι ότι γνώριζαν βασικούς κανόνες και θα μπορούσαν να προσανατολιστούν στον χώρο. Όσον αφορά τη συχνότητα χρήσης του ΜΕΤΡΟ, οι χρήστες χωρίστηκαν σχεδόν ισόποσα σε τέσσερις κατηγορίες (Σε καθημερινή βάση, 2-3 φορές/εβδομάδα, Κάποιες φορές/μήνα, Κάποιες φορές/χρόνο), όπως φαίνεται και στο γράφημα 8.3.

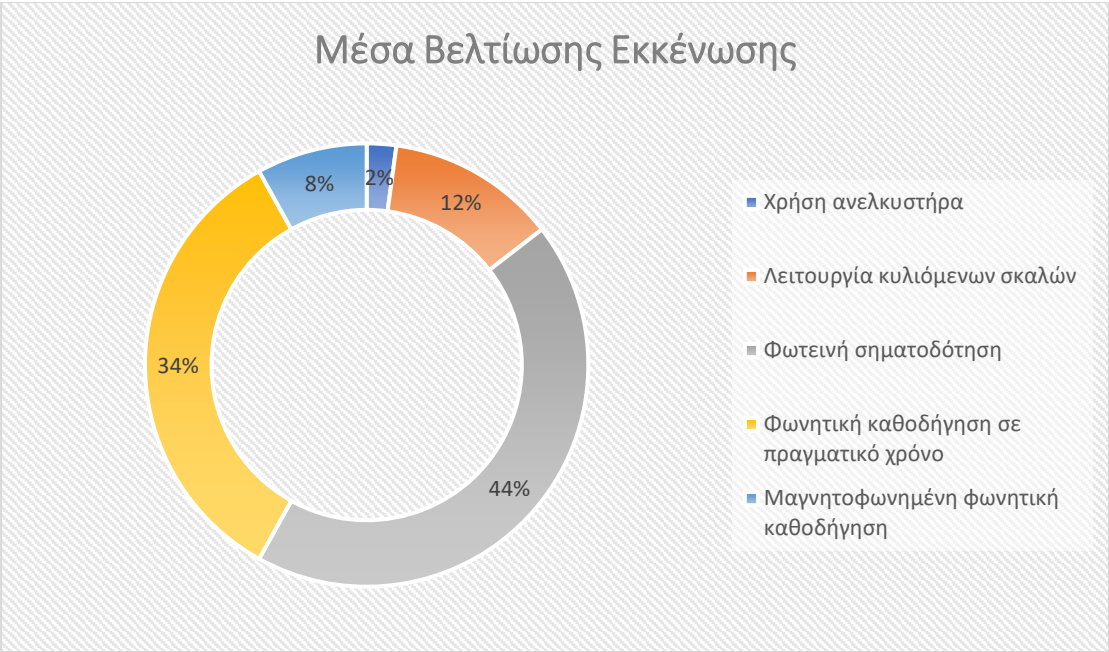


Γράφημα 8. 3 Συχνότητα Χρήσης Μετρό

Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, τα σχόλια των «εικονικών επιβατών» ποίκιλλαν αλλά παρουσίαζαν κάποια λογική ακολουθία. Για παράδειγμα, οι περισσότεροι χρήστες (ειδικά όσοι βρίσκονταν στην ηλικιακή ομάδα 18-30) σχολίασαν την ταχύτητα με την οποία το πρόγραμμα τους επέτρεπε να τρέξουν, η οποία δεν ήταν άλλη από τη μέση ταχύτητα εκκένωσης, δηλαδή τα 1,25 m/s,προκειμένου ακριβώς να μην υπάρχει πανικός ή τυχόν ατυχήματα κατά την εκκένωση. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι η κίνηση γινόταν με τηλεχειρηστήριο και όχι ελευθέρα στον χώρο. Επίσης, ένα μεγάλο μέρος των χρηστών, σχολίασαν το γεγονός ότι οι εικονικοί «συνεπιβάτες» τους φαίνονταν ατάραχοι από την εκδήλωση της φωτιάς και την έναρξη του συναγερμού. Μάλιστα, ιδιαίτερη εντύπωση μας προξένησε το γεγονός ότι κατά την έναρξη του πειράματος, και ενώ υπήρχε το απαραίτητο οπτικό ερέθισμα της πυρκαγιάς, ένα μικρό μέρος του δείγματος φάνηκε να μην το προσέχει καν , ενώ ένα μεγαλύτερο, προχώρησε δίπλα από την εστία της πυρκαγιάς προκειμένου να εξέλθει από την αποβάθρα, μια συμπεριφορά που ελπίζουμε να μην υιοθετήσουν σε πραγματικές συνθήκες.

Σε αυτό το σημείο, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι δε θεωρήσαμε σκόπιμο να προσομοιώσουμε με απόλυτη ακρίβεια τις συνθήκες πυρκαγιάς (δηλ. μεγάλης έκτασης φλόγες, δυσκολία όρασης λόγω καπνού), προκειμένου να μην δημιουργήσουμε ένα ασφυκτικό VR περιβάλλον για τους χρήστες. Άλλωστε η ίδια η συνθήκη του VR είναι πρωτόγνωρη για κάποιον κόσμο, και λόγω της ακριβούς αποτύπωσης της πραγματικότητας, μπορεί να είναι πολύ αγχωτική.
Αρκετοί ήταν αυτοί που κατά την έξοδο τους, ρώτησαν για το αν και προς τα πού λειτουργούν οι κυλιόμενες σκάλες, και κάποιοι στην ερώτηση για την βελτίωση των συνθηκών της εκκένωσης προσέθεσαν ότι θα βοηθούσε το να λειτουργούν (Γράφημα 8.4). Ένα μέρος του δείγματος, πλησιάζοντας την έξοδο του τελευταίου ορόφου, όταν δεν είχε ακόμα οπτική επαφή με τις μπάρες επικύρωσης εισιτηρίων, έδειξε να προβληματίζεται για το κατά πόσο θα τους δυσκόλευαν σε περίπτωση που έχουν παραμείνει κλειστές, μη γνωρίζοντας ότι σε περίπτωση έκτακτης οι μπάρες παραμένουν ανοικτές.

Προκειμένου να εξετασθεί η εμπειρία των χρηστών κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να δηλώσουν έως και δύο μέσα βελτίωσης της εκκένωσης του ΜΕΤΡΟ, δίνοντάς τους πέντε προκαθορισμένες επιλογές, ή τη δυνατότητα να προσθέσουν εκείνοι κάποια επιλογή. Οι πέντε επιλογές ήταν:
Α) Χρήση ανελκυστήρα
Β) Φωτεινή σηματοδότηση
Γ) Λειτουργία κυλιόμενων σκαλών
Δ) Φωνητική καθοδήγηση σε πραγματικό χρόνο
Ε) Μαγνητοφωνημένη φωνητική καθοδήγηση



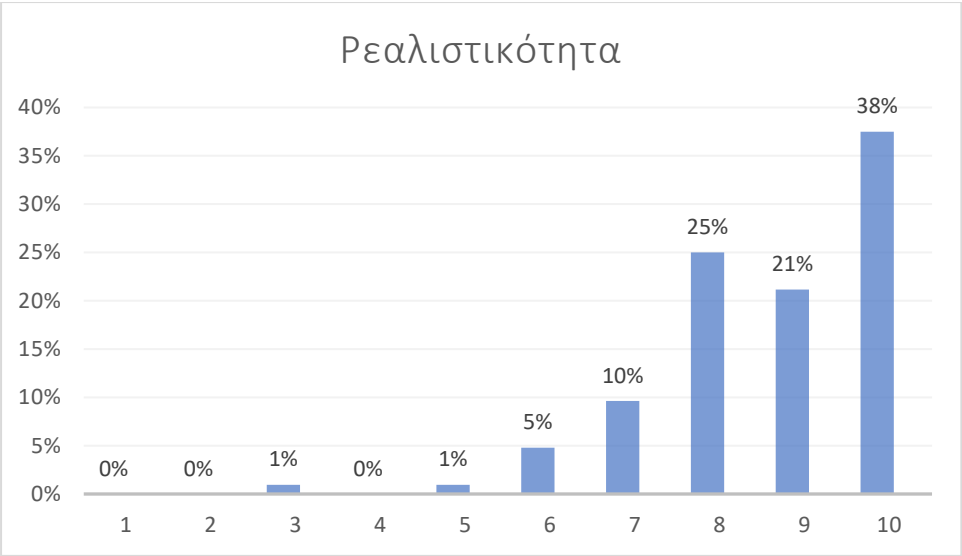
Γράφημα 8. 4 Μέσα Βελτίωσης Εκκένωσης

Όσον αφορά την έκτη επιλογή, οι απαντήσεις ήταν τελείως διαφορετικές μεταξύ τους αλλά περιστρέφονταν γύρω από τη μετάδοση της απαραίτητης οδηγίας σε κάθε πιθανό μέσο (π.χ. προβολή βίντεο οδηγιών στις οθόνες των συρμών, μετάδοση ηχογραφημένου μηνύματος σε φορητές συσκευές, προσωπικό που καθοδηγεί σε πραγματικό χρόνο) ή για την κατάλληλη μορφοποίηση της αποβάθρας (π.χ. τυφλός οδηγός δαπέδου, απουσία ακυρωτικών, περισσότερες σταθερές σκάλες).

Μετά τη διεξαγωγή του πειράματος, ζητήθηκε από τους χρήστες να βαθμολογήσουν την αντιπροσωπευτικότητα του πειράματος σε σχέση με την πραγματικότητα σε κλίμακα από το 1 έως το 10. Στον πίνακα 8.1. παρουσιάζεται αναλυτικά η βαθμολογία των χρηστών, , ενώ στο Γράφημα 8.5 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα ποσοστά.

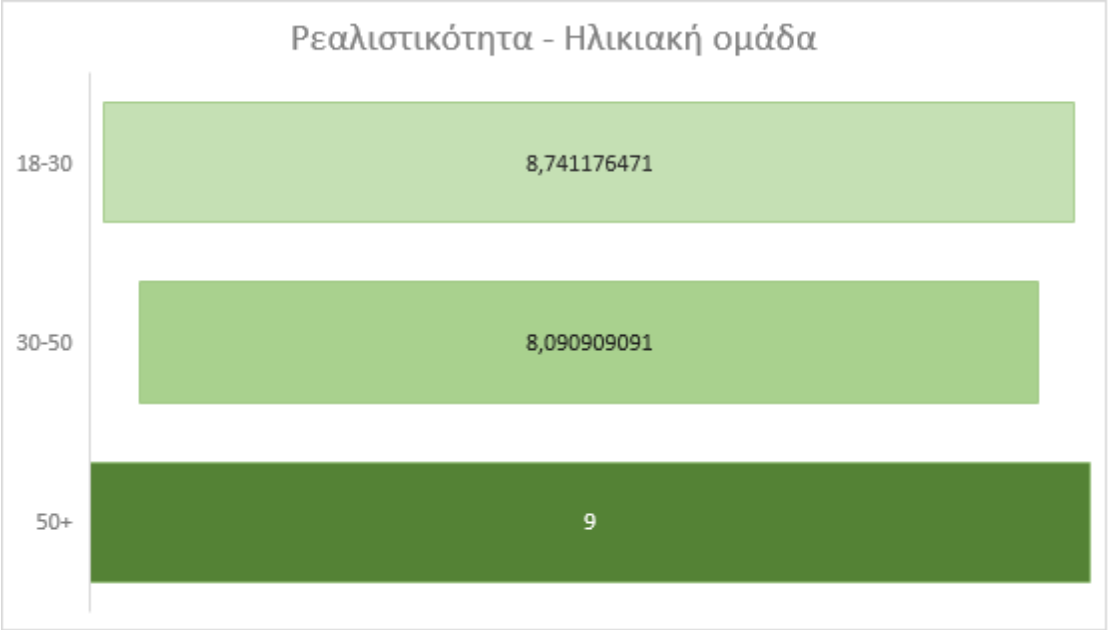
Πίνακας 8. 1. Ρεαλιστικότητα

1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
0	0	1	0	1	5	10	26	22	39
0%	**0%**	**1%**	**0%**	**1%**	**5%**	**10%**	**25%**	**21%**	**38%**



Γράφημα 8. 5 Ρεαλιστικότητα

Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι η μέση βαθμολογία των χρηστών είναι 8,69. Θα παρουσίαζε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να συγκριθούν οι βαθμολογίες με γνώμονα τις ηλικιακές ομάδες, μιας και η κάθε ηλικιακή ομάδα έχει και διαφορετικό βαθμό εξοικείωσης με τα ψηφιακά περιβάλλοντα, λόγω της πρόσφατης και ραγδαίας εξάπλωσής τους. Για παράδειγμα, είναι αρκετά ξεκάθαρο ότι οι μικρότερες ηλικίες είναι εμφανώς πιο συνηθισμένοι τόσο στο 3D όσο και στο VR, και έτσι είναι αναμενόμενο να έχουν πιο υψηλές προσδοκίες στο κομμάτι των γραφικών και της ρεαλιστικότητας.



Γράφημα 8.6. Ρεαλιστικότητα συγκριτικά με ηλικιακή ομάδα

Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να αναφερθεί μια δυσκολία κατά την διεξαγωγή του πειράματος. Παρουσιάστηκε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα σε μια σταθερή σκάλα που οδηγούσε από τον δεύτερο όροφο υπό τους εδάφους, προς τον πρώτο όροφο στην οποία πολλές φορές όταν ο χρήστης έφτανε στο συγκεκριμένο σημείο και προσπαθούσε να ανέβει τη σκάλα, εγκλωβιζόταν στον κόσμο και δεν γινόταν να φύγει, παρά μόνο μετά από δική μας επέμβαση. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τόσο χρονικές καθυστερήσεις όσο και μεγαλύτερες αποστάσεις, ενώ από ένα σημείο και μετά, οι χρήστες αποτρέπονταν από το να ανέβουν αυτή τη σκάλα, εξαιτίας του συνωστισμού. Παρόλα αυτά, σίγουρα η συγκεκριμένη δυσκολία επηρέασε τα αποτελέσματα του πειράματος, τόσο από άποψη χρόνων και αποστάσεων, όσο και της ίδιας της επιλογής διαδρομής.

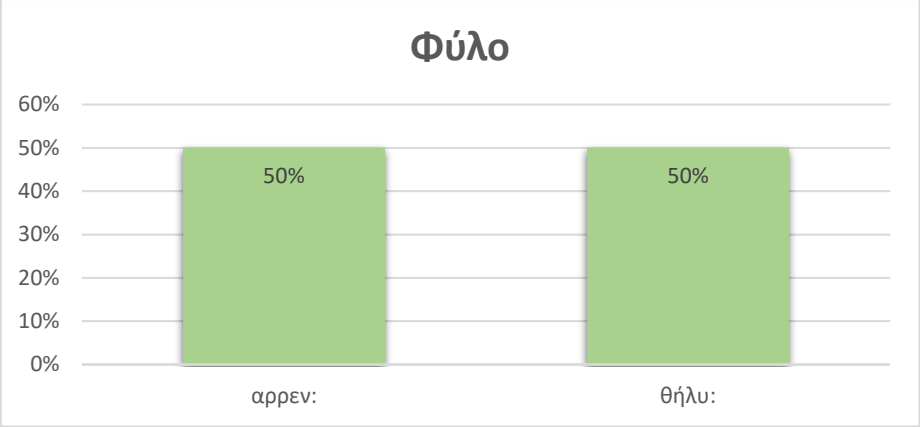
Στη συνέχεια, καταγράφεται η κάθε διαδρομή που επέλεξε ο κάθε χρήστης προκειμένου να βγει από τον σταθμό κωδικοποιώντας την κάθε σκάλα που επέλεγε. Μιας και η αποβάθρα βρίσκεται τρία επίπεδα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, οι χρήστες έπρεπε να ανέβουν τρεις διαφορετικές σκάλες προκειμένου να εκκενώσουν με επιτυχία το χώρο. Υπήρχαν οι σταθερές σκάλες, οι κυλιόμενες σκάλες και οι σκάλες κινδύνου. Επειδή σε κάθε επίπεδο υπήρχε πρόσβαση σε όλες τις σκάλες, οι πιθανοί συνδυασμοί-διαδρομές ήταν 27. Παρόλα αυτά, μόλις 11 από αυτές χρησιμοποιήθηκαν, με τις 3 από τις 11 να επιλέγονται από μόλις έναν άνθρωπο η κάθε μια, και μια 4η από δύο άτομα. Αναφορικά, καταγράφονται και οι έντεκα στον Πίνακα 8.2.

Πίνακας 8. 2. Διαδρομές που ακολουθήθηκαν

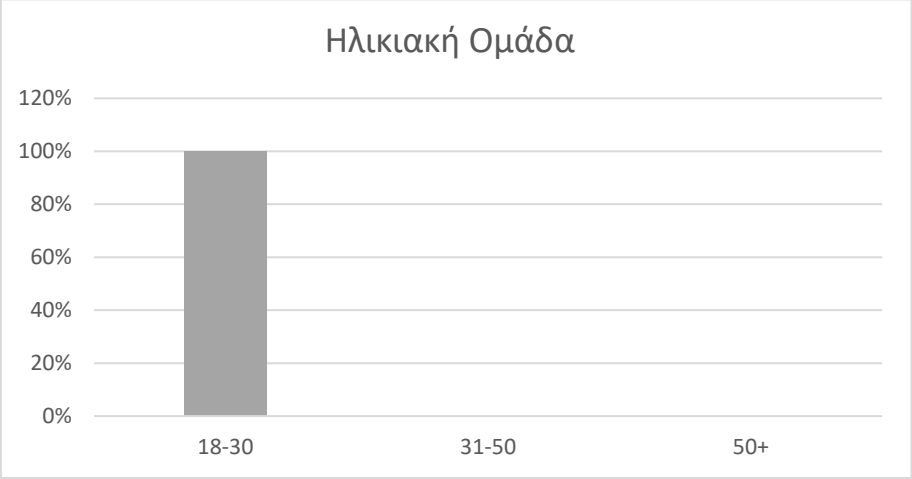
ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΑΝ	ΆΤΟΜΑ
Σταθερές σκάλες για τρεις ορόφους	4
Σταθερές σκάλες και κυλιόμενες σκάλες για τους δύο επόμενους ορόφους	25
Σταθερές σκάλες και έξοδος κινδύνου	7
Κυλιόμενες σκάλες για τρεις ορόφους	37
Κυλιόμενες σκάλες και έξοδος κινδύνου	15
Έξοδος κινδύνου	4
Κυλιόμενες σκάλες, έξοδο κινδύνου και σταθερές σκάλες	7
Κυλιόμενες σκάλες και σταθερές σκάλες για τους δύο επόμενους ορόφους	1
Έξοδος κινδύνου για δύο ορόφους και κυλιόμενες για τον τελευταίο	2
Σταθερές σκάλες, έξοδος κινδύνου και κυλιόμενες σκάλες	1
Κυλιόμενες σκάλες στους δύο πρώτους ορόφους και έξοδος κινδύνου στον τελευταίο	1

Διαδρομή 1η (Σταθερές σκάλες και για τους τρεις ορόφους):

Ερευνήσαμε ενδελεχώς τις 7 διαδρομές που είχαν την υψηλότερη προτίμηση, αναλύοντας τα δεδομένα, ξεκινώντας από την πρώτη περίπτωση, που χρησιμοποιήθηκαν σταθερές σκάλες για τρεις ορόφους. Την διαδρομή αυτή διάλεξαν 4 άτομα, 2 άντρες και 2 γυναίκες, όλοι στην ηλικιακή ομάδα 18-30:

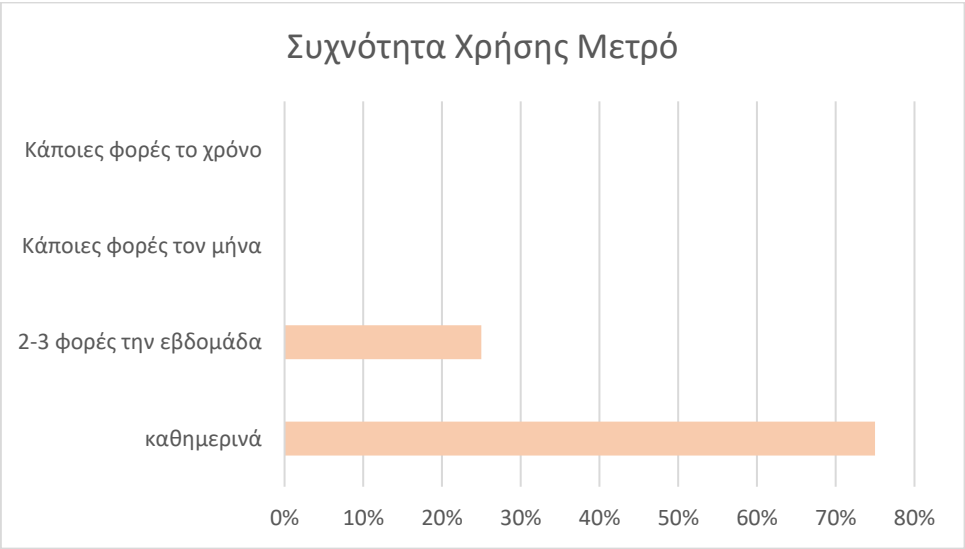


Γράφημα 8.7.1. Φύλο για πρώτη διαδρομή



Γράφημα 8.7.2. Ηλικιακή ομάδα για πρώτη διαδρομή

Από αυτούς, οι 3, δηλαδή το 75%, χρησιμοποιούν καθημερινά το ΜΕΤΡΟ, ενώ ο ένας 2-3 φορές τη βδομάδα.



Γράφημα 8.7.3. Συχνότητα Χρήσης του Μετρό για πρώτη διαδρομή

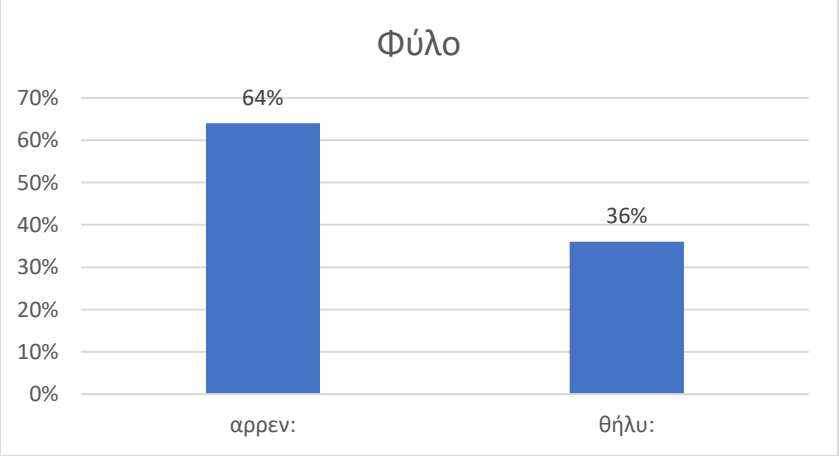
Συμπερασματικά, είναι μια διαδρομή που δεν επέλεξαν πολλοί, αλλά την επέλεξαν οι συχνοί, νεαρότεροι επιβάτες του ΜΕΤΡΟ. Στη συγκεκριμένη διαδρομή προέκυψε και το πρόβλημα που αναφέρεται πιο πάνω, δηλαδή ότι στις σταθερές σκάλες του δεύτερου ορόφου συναντιόνταν συνωστισμός, με αποτέλεσμα ο χρήστης να εγκλωβίζεται. Έτσι εξηγείται και ο μικρός αριθμός ατόμων που κατάφεραν να χρησιμοποιήσουν τη συγκεκριμένη διαδρομή, αλλά και η μεγάλη απόκλιση μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου χρόνου και απόστασης, καθώς όσοι χρήστες προλάβαιναν να φτάσουν στη σκάλα πριν δημιουργηθεί συνωστισμός έφταναν στην έξοδο πολύ γρήγορα, ενώ οι υπόλοιποι είχαν μεγάλη καθυστέρηση (Πίνακας 8.3.)

Πίνακας 8.3.Χρόνοι και Απόσταση πρώτης διαδρομής

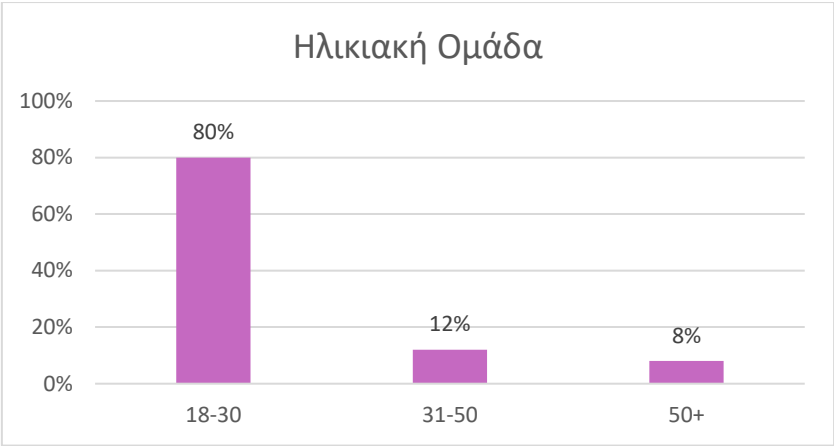
	Απόσταση(m)	Χρόνος(s)
MIN	84,7	84
MAX	176	223
AVERAGE	136,125	160

Διαδρομή 2η (Σταθερή σκάλα στην πλατφόρμα και Κυλιόμενες στη συνέχεια):

Η επόμενη διαδρομή ήταν στατιστικά η δεύτερη πιο συνηθισμένη διαδρομή που επέλεξαν οι χρήστες, και ήταν οι σταθερές σκάλες και στην πορεία οι κυλιόμενες σκάλες για τους δύο επόμενους ορόφους. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 8.3, τον επέλεξαν 25 άτομα, εκ των οποίων η πλειοψηφία ήταν άντρες, ανάμεσα στα 18-30 (Γράφημα 8.8.1 και 8.8.2)

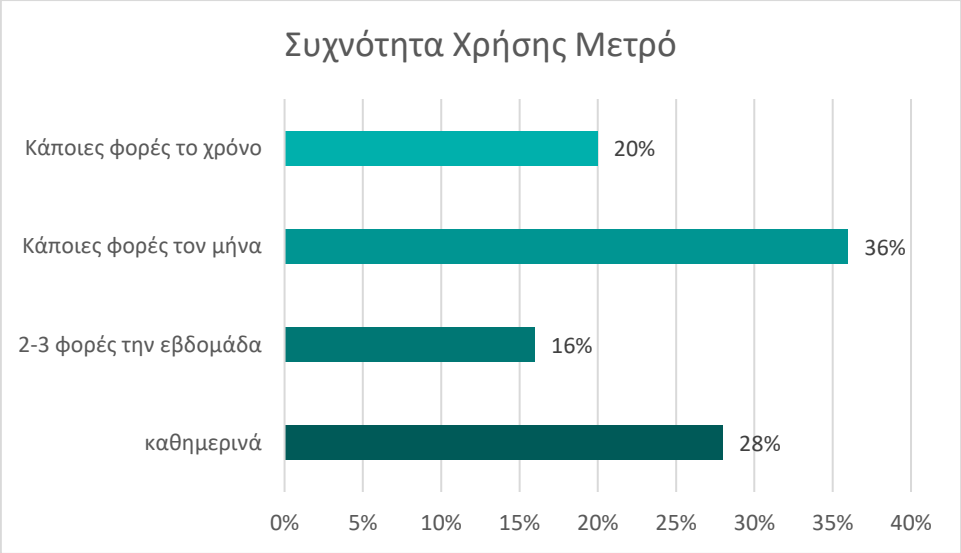


Γράφημα 8.8.1. Φύλο για δεύτερη διαδρομή



Γράφημα 8.8 2. Ηλικιακή Ομάδα για δεύτερη διαδρομή

Όσον αφορά τη συχνότητα χρήσης του ΜΕΤΡΟ, όσοι διάλεξαν τη συγκεκριμένη διαδρομή είναι αυτοί που μπαίνουν πιο σπάνια σε συρμό, σύμφωνα με το Γράφημα 8.8.3.



Γράφημα 8.8.3. Συχνότητα Χρήσης Μετρό για δεύτερη διαδρομή

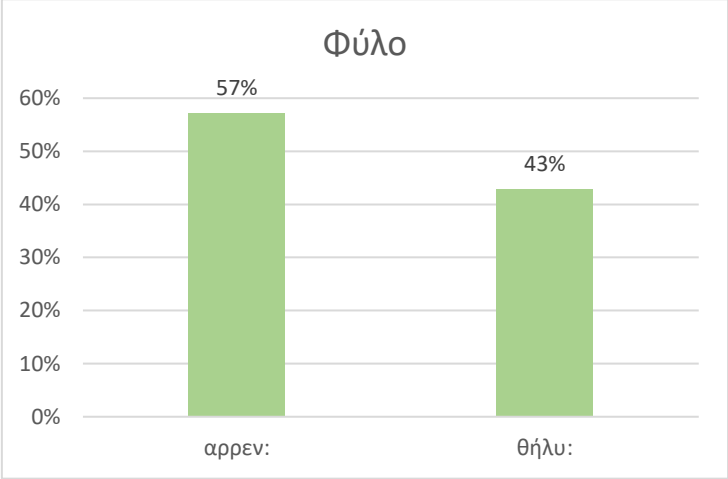
Συνεπώς, η συγκεκριμένη διαδρομή επιλέχθηκε από μεγάλο μέρος του δείγματος, κυρίως όχι τους καθημερινές χρήστες ΜΕΤΡΟ. Η μέση απόσταση που διένυσαν οι «επιβάτες» ήταν 137,936 μέτρα, ελαφρώς περισσότερα από την πρώτη διαδρομή, αλλά ο μέσος χρόνος είναι ελαφρώς μικρότερος.

Πίνακας 8. 4.Χρόνοι και απόσταση δεύτερης διαδρομής

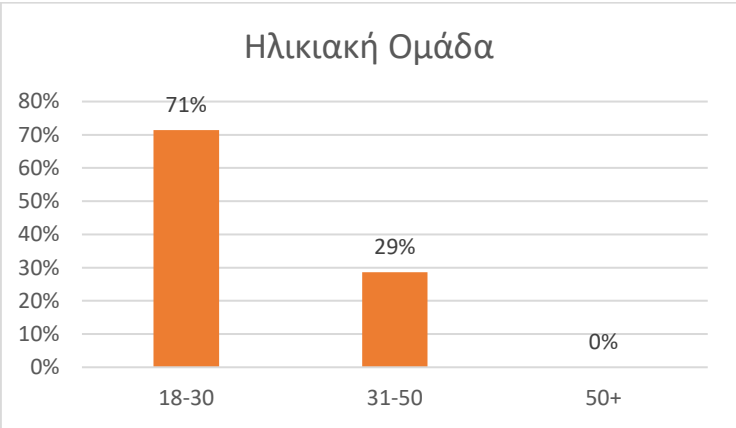
	Απόσταση(m)	**Χρόνος(s)**
MIN	110,3	110
MAX	221,2	238
AVERAGE	137,936	151,4

Διαδρομή 3η (Σταθερή σκάλα στην πλατφόρμα και Έξοδος Κινδύνου):

Η επόμενη διαδρομή επιλέχθηκε από 7 άτομα (4 άντρες και 3 γυναίκες) και δεν ήταν άλλη από τη σταθερή σκάλα και έπειτα την έξοδο κινδύνου. Τα Γραφήματα 8.9.1 και 8.9.2 δείχνουν πως αυτή τη διαδρομή την επέλεξαν ποσοστιαία πάλι περισσότεροι άντρες από ότι γυναίκες, και βασικά όσοι βρίσκονται στην ηλικιακή ομάδα 18-30. Έχει ενδιαφέρον ότι, αν και το δείγμα είναι μικρό σε αυτές τις ηλικίες, κανένας χρήστης 50+ δεν την επέλεξε.

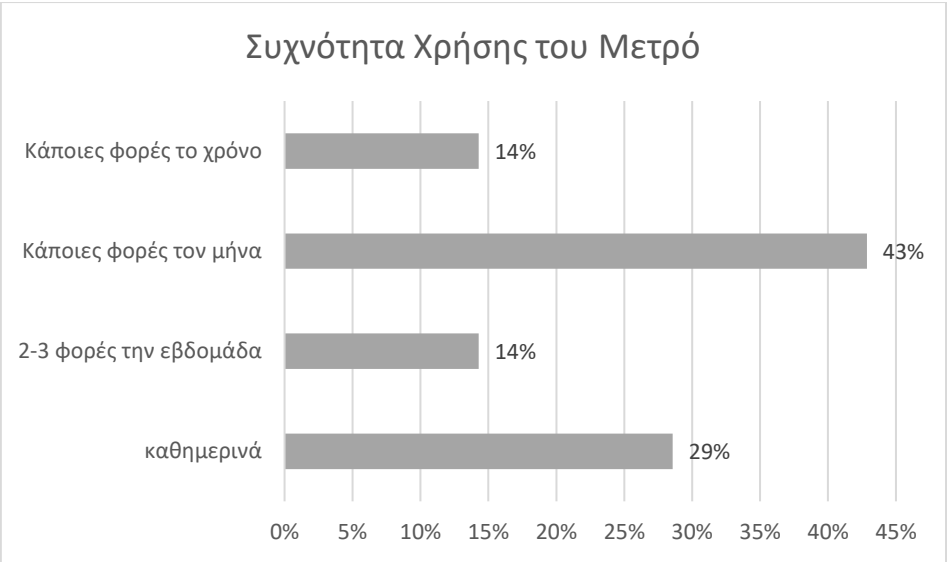


Γράφημα 8.9.1. Φύλλο για Τρίτη διαδρομή



Γράφημα 8.9.2. Ηλικιακή ομάδα για Τρίτη διαδρομή

Η συγκεκριμένη διαδρομή φαίνεται να επιλέχθηκε τόσο από συχνούς όσο και από περιστασιακούς χρήστες του μετρό, όπως παρουσιάζεται και στο παρακάτω γράφημα.



Γράφημα 8.9.3. Συχνότητα Χρήσης του Μετρό για Τρίτη διαδρομή

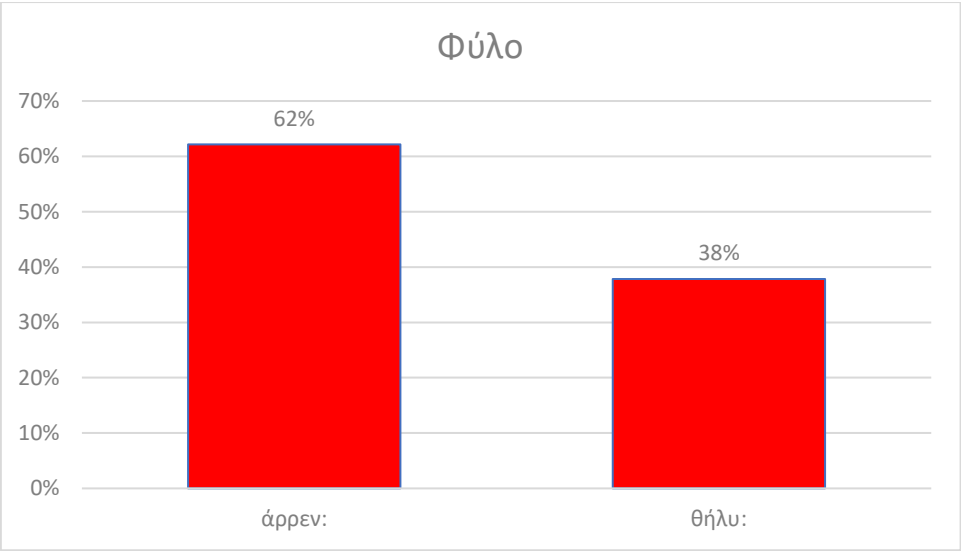
Συμπερασματικά, φαίνεται πως η χρήση της εξόδου κινδύνου, ακόμη και αν δεν χρησιμοποιείται από το επίπεδο της αποβάθρας, μπορεί να αποδειχθεί πολύ σωστή και γρήγορη επιλογή σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.6. τόσο η μέση απόσταση όσο και ο μέσος χρόνος εκκένωσης για αυτούς που επέλεξαν την σταθερή σκάλα στην αποβάθρα και την έξοδο κινδύνου στα δύο επόμενα επίπεδα, ήταν σε αρκετά χαμηλά επίπεδα. Ωστόσο ο αριθμός χρηστών που την επέλεξαν είναι σχετικά μικρός, γεγονός που ίσως οφείλεται σε ελλιπή σηματοδότηση για την έξοδο κινδύνου, αφού χρησιμοποιείται μόνο σε έκτακτες καταστάσεις, ενώ οι υπόλοιπες έξοδοι χρησιμοποιούνται καθημερινά από όλους τους επιβάτες του μετρό.

Πίνακας 8.5. Χρόνοι και απόσταση τρίτης διαδρομής

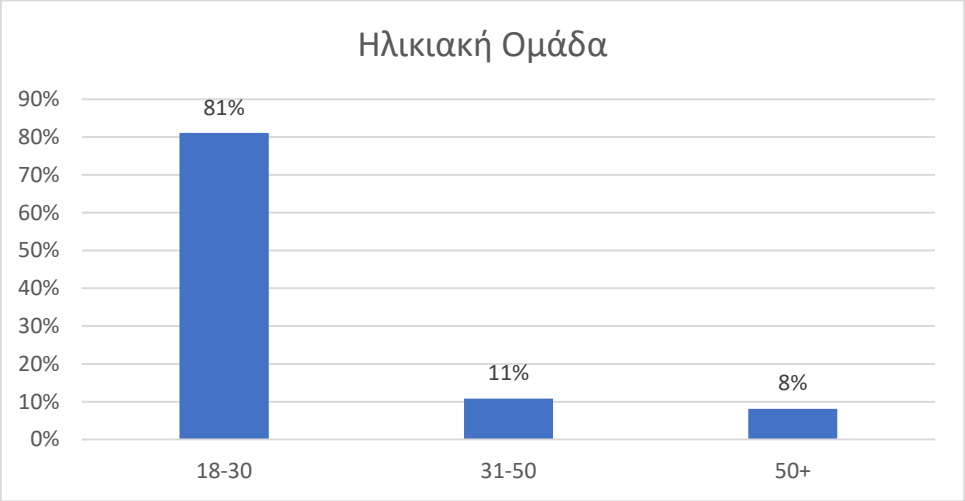
	Απόσταση(m)	**Χρόνος(s)**
MIN	96,9	109
MAX	170,3	170
AVERAGE	141,0571	142,5714

Διαδρομή 4η (Κυλιόμενες σκάλες μέχρι την έξοδο):

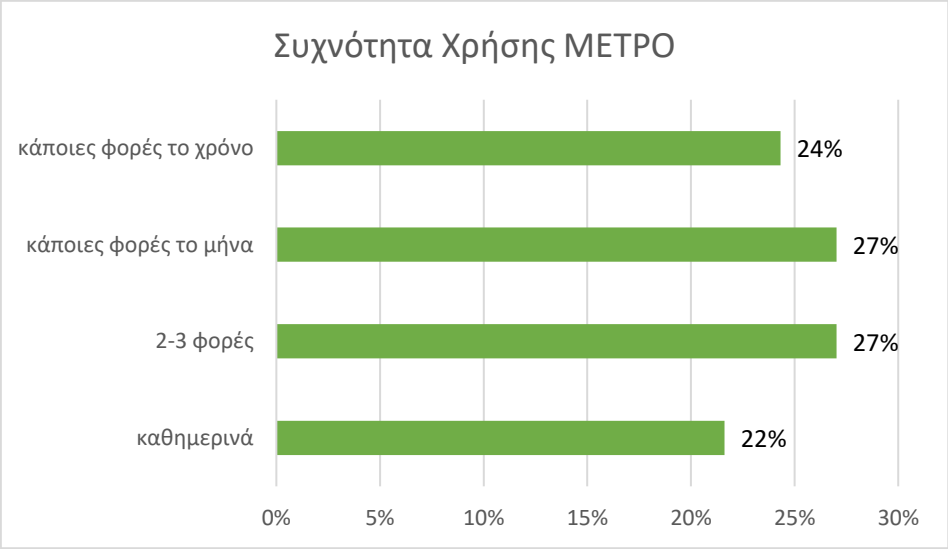
Η επόμενη διαδρομή, ήταν η δημοφιλέστερη προς τους χρήστες του VR (37 χρήστες) , που επέλεξαν να ανέβουν τις κυλιόμενες σκάλες μέχρι πάνω. Σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι το σημείο εκκίνησης του πειράματος ήταν τέτοιο, ώστε ο επιβάτης έβλεπε τη φωτιά να εκδηλώνεται στο συρμό μπροστά και ελαφρώς αριστερά του. Όσοι δεν πέρασαν δίπλα από τη φωτιά, και επέλεξαν την κυλιόμενη σκάλα ακριβώς από πίσω τους (δηλ. στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτή της φωτιάς) κατάφεραν να κάνουν τον λιγότερο δυνατό χρόνο από μεγάλο μέρος του δείγματος. Τα στατιστικά της συγκεκριμένης διαδρομής δεν ακολουθούν κάποιο ακριβές μοτίβο, καθώς επιλέχθηκε σχεδόν ισόποσα από γυναίκες και άντρες. Ακόμη, φαίνεται ότι επιλέχθηκε κυρίως από νεαρότερες ηλικίες και επιβάτες πάσας συχνότητας χρήσης του ΜΕΤΡΟ (Γραφήματα 8.10.1, 8.10.2 και 8.10.3).



Γράφημα 8.10.1. Φύλο για τέταρτη διαδρομή



Γράφημα 8.10.2. Ηλικιακή Ομάδα για τέταρτη διαδρομή



Γράφημα 8.10.3. Συχνότητα Χρήσης Μετρό για τέταρτη διαδρομή

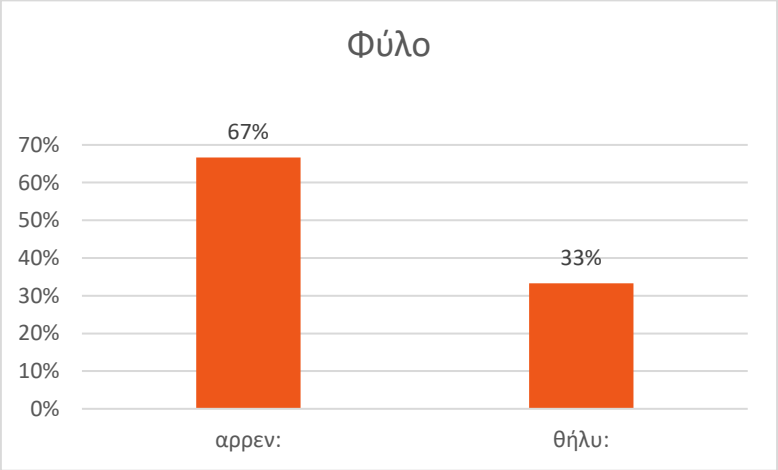
Από τον Πίνακα 8.7, και συγκρίνοντας τα στοιχεία του με τους Πίνακες 8.4, 8.5 και 8.6 είναι εύκολο να αντιληφθούμε ότι πρόκειται για την πιο σύντομη διαδρομή από όσες έχουμε ως τώρα αναλύσει, αλλά και η πιο συμφέρουσα από άποψη απόστασης. Πρόκειται για μια διαδρομή που εύκολα εντόπιζε κάποιος, μιας και οι κυλιόμενες είχαν όλες πινακίδες που έδειχναν την έξοδο και ήταν κοντά η μια στην άλλη.

Πίνακας 8.6. Χρόνοι και απόσταση τέταρτης διαδρομής

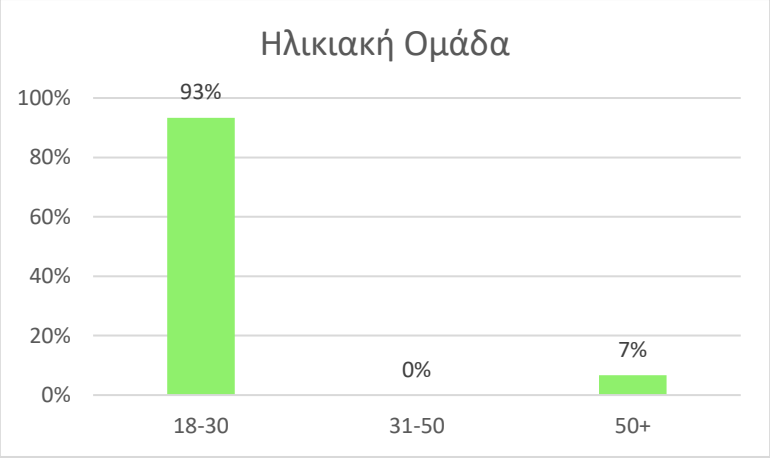
	Απόσταση(m)	Χρόνος(s)
MIN	80,7	81
MAX	214,5	212
AVERAGE	119,7324	125,973

Διαδρομή 5η (Κυλιόμενες σκάλες στην πλατφόρμα και Έξοδος Κινδύνου στη συνέχεια):

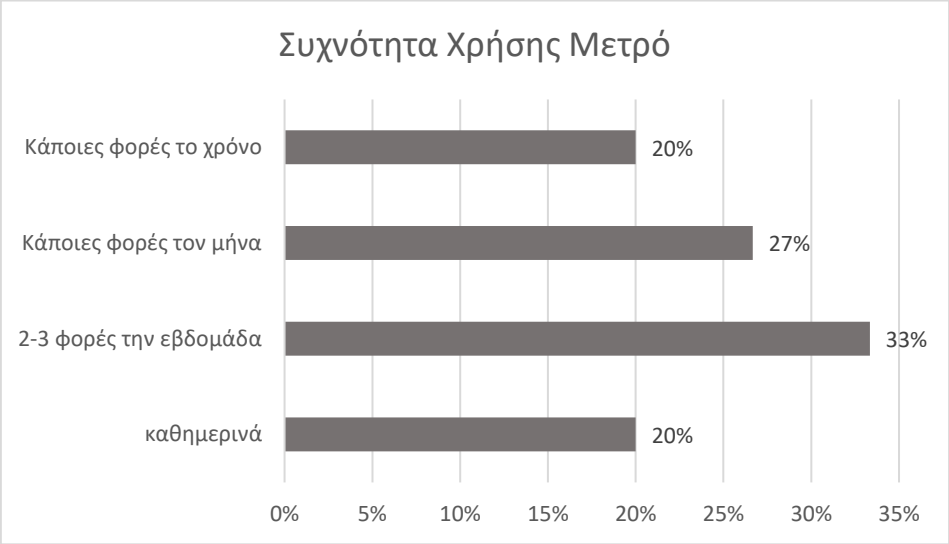
Η συγκεκριμένη διαδρομή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού επιλέχθηκε από 15 άτομα, κυρίως άντρες (Γράφημα 8.11.1) και, με εξαίρεση μόλις έναν χρήστη στην ηλικιακή ομάδα 50+, από όσους βρίσκονται μεταξύ των 18-30 (Γράφημα 8.11.2). Πρόκειται για τη διαδρομή από τις κυλιόμενες και μετά τις σκάλες κινδύνου, και την επέλεξαν τόσο όσοι προτιμούν συχνά το ΜΕΤΡΟ, όσο και όσοι το αποφεύγουν, όπως παρουσιάζεται και από το Γράφημα 8.11.3.



Γράφημα 8.11.1. Φύλο για Πέμπτη διαδρομή



Γράφημα 8.11.2. Ηλικιακή Ομάδα για Πέμπτη διαδρομή



Γράφημα 8.11.3. Συχνότητα Χρήσης Μετρό για Πέμπτη διαδρομή

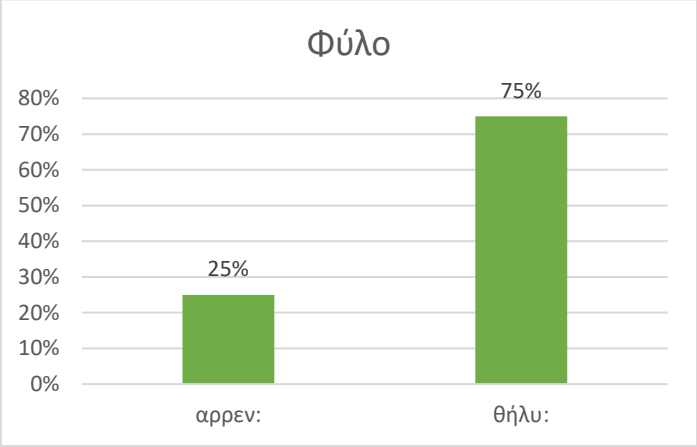
Είναι εμφανές από τον Πίνακα 8.7. που παρατίθεται παρακάτω, ότι η πιο γρήγορη εκκένωση, τόσο από άποψη χρόνου αλλά και απόστασης, που επιτεύχθηκε από χρήστη κατά τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν μέσω αυτής της διαδρομής. Έτσι και οι μέσες τιμές του συνόλου που την επέλεξε είναι ιδιαίτερα χαμηλές, κάνοντάς την τη μέχρι στιγμής αποτελεσματικότερη διέξοδο εκκένωσης.

Πίνακας 8.7. Χρόνοι και απόσταση για Πέμπτη διαδρομή

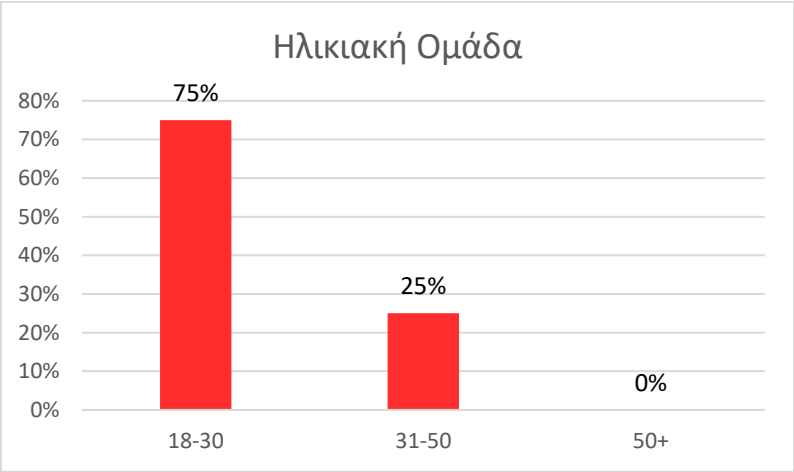
	Απόσταση(m)	**Χρόνος(s)**
MIN	73,5	73
MAX	142	222
AVERAGE	98,22	114,6667

Διαδρομή 6η (Έξοδος Κινδύνου):

Η συγκεκριμένη διαδρομή είναι μια από αυτές που παρουσιάζουν το περισσότερο ενδιαφέρον, καθώς πρόκειται για την έξοδο κινδύνου. Την επέλεξαν μόλις 4 άτομα, εκ των οποίων οι τρεις ήταν γυναίκες, ανάμεσα στις ηλικίες 18 με 30.

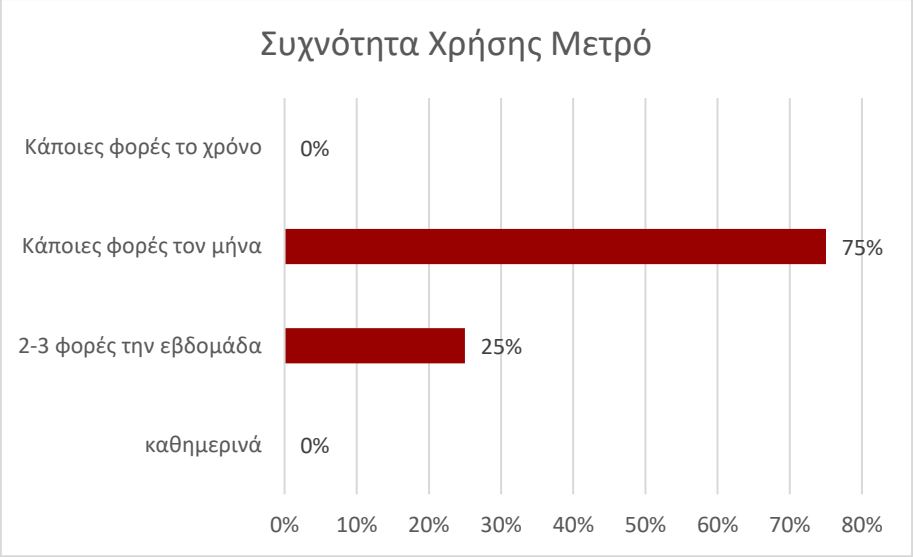


Γράφημα 8.12.1. Φύλο για έκτη διαδρομή



Γράφημα 8.12.2. Ηλικιακή Ομάδα για έκτη διαδρομή

Το επίσης αξιοσημείωτο είναι ότι την επέλεξαν οι λιγότερο συχνοί χρήστες του ΜΕΤΡΟ, μιας και όπως έχει φανεί από τα γραφήματα στις άλλες διαδρομές, οι συχνοί χρήστες επέλεξαν να εμπιστευτούν τις εξόδους που χρησιμοποιούν υπό κανονικές συνθήκες.



Γράφημα 8.12.3. Συχνότητα Χρήσης Μετρό για έκτη διαδρομή

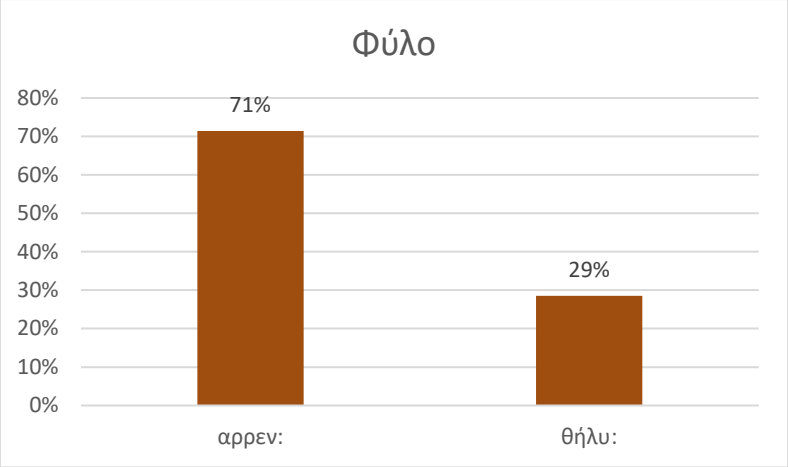
Όπως αναφέραμε και νωρίτερα, η έξοδος κινδύνου επιλέχθηκε από ένα πολύ μικρό ποσοστό των επιβατών. Αυτό έχει να κάνει από τη μια από την έλλειψη φωτεινής σηματοδότησης που να οδηγεί σε αυτή, και από την άλλη στην ευκολία και άμεση πρόσβαση που έχουν οι υπόλοιπες σκάλες, ειδικά για εκείνους που χρησιμοποιούν συχνά το ΜΕΤΡΟ.

Πίνακας 8.9 Χρόνοι και απόσταση για έκτη διαδρομή

	Απόσταση(m)	Χρόνος(s)
MIN	86,2	109
MAX	118,1	168
AVERAGE	100,6	133

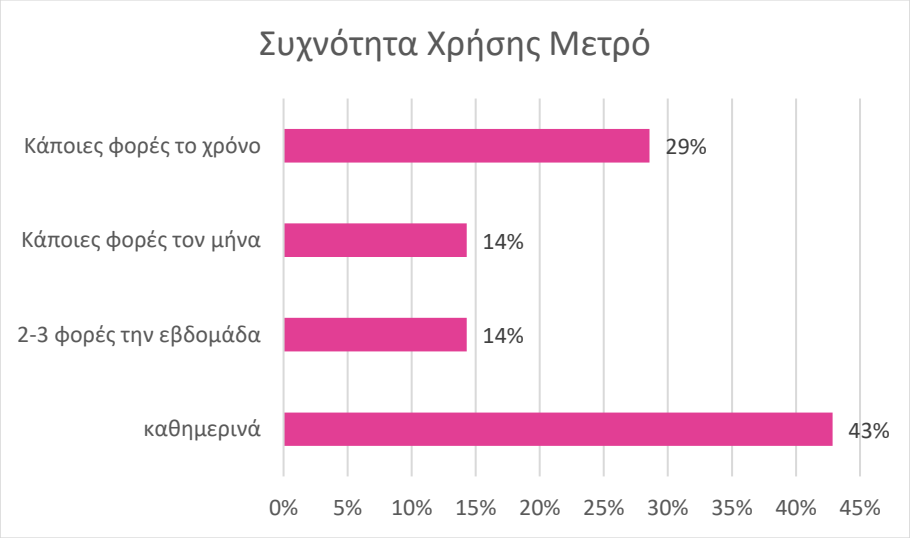
Διαδρομή 7η (Κυλιόμενες , Έξοδο Κινδύνου και Σταθερές σκάλες):

Η τελευταία διαδρομή που θα μελετήσουμε επιλέχθηκε από εφτά άτομα και είναι η πιο σύνθετη από αυτές που έχουμε αναφέρει. Στην αρχή έχουν επιλέξει τις κυλιόμενες, στην πορεία έχουν χρησιμοποιήσει την έξοδο κινδύνου και τέλος τις σταθερές σκάλες. Πρόκειται για μια ακόμη διαδρομή που προτίμησαν περισσότεροι άντρες από γυναίκες (Γράφημα 8.13.1) , ενώ την επέλεξαν εξ' ολοκλήρου οι νεαρότεροι σε ηλικία (Γράφημα 8.13.2). Αυτό μπορεί κάπως να εξηγεί το λόγο επιλογής αυτής της πολύπλοκης διαδρομής, μιας και απαιτεί και περιήγηση στο χώρο, δηλαδή άνεση με τον VR περιβάλλοντα χώρο. Τέλος, η διαδρομή αυτή επιλέχθηκε τόσο από συχνούς, όσο και από μη τακτικούς επιβάτες του ΜΕΤΡΟ, όπως αναφέρεται στο Γράφημα 8.13.3.



Γράφημα 8.13.1. Φύλο για έβδομη διαδρομή

Γράφημα 8.13.2. Ηλικιακή Ομάδα για έβδομη διαδρομή



Γράφημα 8.13.3. Συχνότητα Χρήσης του Μετρό για έβδομη διαδρομή

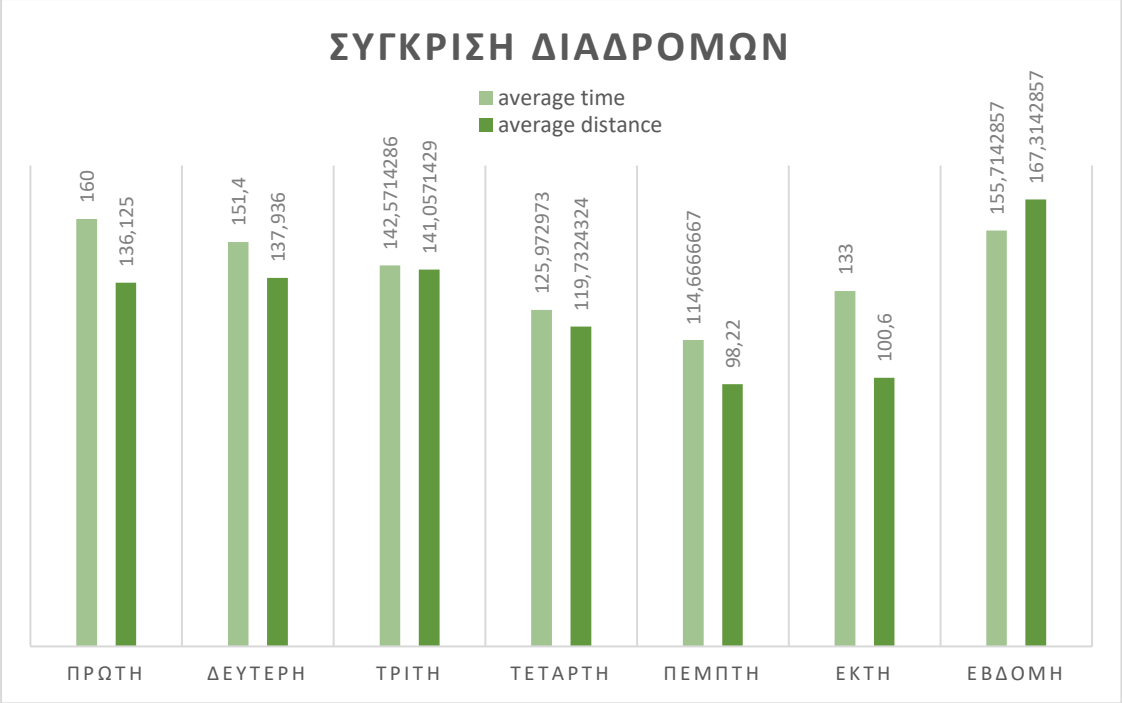
Όπως είναι πολύ εύκολο να συμπεράνουμε από τον πίνακα 8.10, και συγκρίνοντας τις τιμές με τους προηγούμενους αντίστοιχους πίνακες για τις υπόλοιπες διαδρομές, αυτή η διαδρομή είναι η εμφανώς πιο χρονοβόρα και μεγαλύτερη σε απόσταση. Αυτό συμβαίνει επειδή, όπως προαναφέραμε, περιλαμβάνει και περιήγηση στον χώρο. Παρόλα αυτά είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα επιλογή, καθώς σίγουρα σε μια τέτοια κατάσταση έκτακτης ανάγκης, θα βρεθούν επιβάτες που δεν θα καταφέρουν να διατηρήσουν τη ψυχραιμία τους, και πιθανά να χαθούν.

Πίνακας 8.9. Χρόνοι και απόσταση για έβδομη διαδρομή

	Απόσταση(m)	**Χρόνος(s)**
MIN	134,3	123
MAX	233,5	219
AVERAGE	167,3143	155,7143

8.2. Συμπεράσματα και συζήτηση επί αυτών

Στην πραγματικότητα, η παρούσα εργασία ήταν μια μελέτη για το κατά πόσο μπορεί να βοηθήσει η εικονική πραγματικότητα στην ασφάλεια στους υπόγειους χώρους. Το VR φαίνεται να είναι το μέλλον στην έρευνα για την κατάρτιση ενός άρτιου σχεδίου ασφαλείας, σε συνδυασμό με προηγούμενα και δοκιμασμένα λογισμικά. Σε αντίθεση με αυτά τα μοντέλα προσομοίωσης, που λαμβάνουν υπόψη τα δεδομένα του χώρου και τις συνθήκες της έκτακτης ανάγκης π.χ. εξέλιξη φωτιάς αλλά δεν μπορούν να λάβουν υπόψη ακριβώς τη συμπεριφορά, τα μοντέλα εικονικής πραγματικότητας προσφέρουν δυνατότητες περιήγησης στο χώρο. Έτσι, μέσα από το πείραμα, έγινε προσπάθεια εκτίμησης της πραγματικής συμπεριφοράς των ανθρώπων, διαμορφώνοντας ένα περιβάλλον σταθμού Μετρό, που βασίζεται σε διαστάσεις πραγματικού σταθμού. Η προσπάθεια εστίασε στο πως θα κινούνταν οι χρήστες στο χώρο ελεύθερα, αν λάμβαναν απλά την πληροφορία της πυρκαγιάς, χωρίς όμως πολλές σημάνσεις, πέρα των βασικών πινακίδων. Κατόπιν, και αφού καταγράφηκαν όλα τα σχόλια που έγιναν κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, τους ζητήθηκε να προτείνουν τι θα διευκόλυνε περισσότερο την εκκένωση. Ακόμη, τους ζητήθηκε να αξιολογήσουν την ρεαλιστικότητα της εκκένωσης, και δεν ήταν λίγοι αυτοί που σχολίασαν πως ένιωσαν άγχος, ακόμη και δυσφορία κατά τη διάρκεια του πειράματος, πράγμα που σημαίνει ότι προσεγγίστηκε η ψυχολογική κατάσταση που θα υπερίσχυε σε πραγματικές συνθήκες.



Γράφημα 8 14. Σύγκριση Διαδρομών

Το σπουδαιότερο συμπέρασμα που προκύπτει μετά το πέρας του πειράματος και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, είναι ότι η εκκένωση πραγματοποιείται στον απαιτούμενο χρόνο, και μάλιστα πολύ λιγότερο από αυτόν που χαρακτηρίζει ασφαλή ο NFPA 130. Κατά τον NFPA 130, οι επιβάτες του Μετρό σε περίπτωση πυρκαγιάς πρέπει να εκκενώσουν την αποβάθρα εντός τεσσάρων λεπτών και να φτάσουν σε ασφαλές σημείο (όπως ο προαύλιος χώρος του σταθμού) εντός έξι λεπτών. Όπως είναι φανερό και από τους παραπάνω πίνακες, ο μέσος χρόνος για κάθε διαδρομή ήταν σημαντικά μικρότερος από αυτόν που χαρακτηρίζεται ως ασφαλής.

Όπως προέκυψε από τα παραπάνω γραφήματα οι διαδρομές που ενείχαν τη σκάλα κινδύνου μπορούν να αποδειχθούν πολύ πιο αποτελεσματικές για την εκκένωση. Έτσι είναι σημαντικό να επενδύσουμε στην καλύτερη ενημέρωση των επιβατών και στην επαρκή μετάδοση της πληροφορίας για την ύπαρξη και την τοποθεσία της εξόδου κινδύνου, με ανάλογες εγκαταστάσεις (φωνητικές οδηγίες, επαρκή σήμανση). Από την άλλη μεριά, οι κυλιόμενες σκάλες, που είναι οι πιο πολλές σε αριθμό και οι πιο προσβάσιμες σε ένα σταθμό Μετρό, φαίνεται ότι επιλέγονται από τους περισσότερους επιβάτες ακόμα και σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Αν και η πειραματική διαδικασία έδωσε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα για το μέσο χρόνο και τη μέση απόσταση εκκένωσης του σταθμού για όσους τις χρησιμοποίησαν, το γεγονός αυτό είναι ανησυχητικό καθώς μπορεί να προκληθεί συνωστισμός και επομένως και παρακώληση της εκκένωσης. Τέλος, όπως φαίνεται και στο Γράφημα 8.14. η διαδρομή κατά την οποία σε κάθε όροφο χρησιμοποιείται διαφορετικό μέσο (έβδομη διαδρομή) είναι η πιο αναποτελεσματική για την εκκένωση ενός σταθμού.

Τα δύο βασικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν τη διαδικασία εκκένωσης φαίνεται να είναι η εξοικείωση με τον χώρο και η ύπαρξη κατάλληλης σήμανσης. Η εξοικείωση με το χώρο δεν λειτουργεί πάντα θετικά καθώς οι άνθρωποι τείνουν να ακολουθήσουν συνήθεις για αυτούς διαδρομές γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στα προβλήματα που προαναφέρθηκαν.

Πρακτικά, το επόμενο βήμα είναι να ερευνηθεί το πως μπορούν λογισμικά όπως το Pyrosim να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά με την τεχνολογία VR, προκειμένου να μελετηθούν ανθρώπινες συμπεριφορές κατά την ανάπτυξη της πυρκαγιάς. Άλλωστε, η εργασία αυτή είναι μια πρώτη προσπάθεια που φαίνεται να λειτουργεί και δίνει πολλά ενδιαφέροντα συμπεράσματα αλλά γεννά και αρκετά ερωτηματικά.

Τι θα γίνει αν επιτευχθεί ακόμη μεγαλύτερη ρεαλιστικότητα στην εικονική αποτύπωση του χώρου; Πώς θα αντιδρούσαν οι χρήστες αν κινούνταν ελεύθερα στο χώρο, και όχι με τηλεχειριστήριο; Μάλιστα θα είχε ακόμη περισσότερο ενδιαφέρον να μπορούσαν να συνυπάρξουν εικονικά στην αποβάθρα, ώστε να φανεί που θα παρουσιαζόταν συνωστισμός.

Βιβλιογραφία:

Bartie RR. (2003). Designing Virtual Worlds, Harlow: Pearson Education Ltd.

Casavant David A. 2007. Emergency Preparedness for Facilities. A Guide to Safety Planning and Business Continuity.

Coté Ron , Gregory E. Harrington 2009. Life Safety Code Handbook 11th Edition. NFPA 101.

Derakhshani, R. & Derakhshani, D. (2014). Autodesk 3ds Max 2015 Essentials: Autodesk Official Press. Hoboken. NJ: Sybex.

FEMA 141/October 1993. Emergency Management Guide for Business and Industry. A Step-by-Step Approach to Emergency Planning, Response and Recovery for Companies of All Sizes.

Gustin Joseph F. 2007. Disaster & Recovery Planning: A Guide for Facility Managers 4th Edition.

Kinateder, Max; Ronchi, Enrico; Nilsson, Daniel; Kobes, Margrethe; Müller, Mathias; Pauli, Paul; Mülberger, Andreas (2014): Virtual Reality for Fire Evacuation Research, Published in: Federated Conference on Computer Science and Information Systems.

Konnecke R,. Schneider V. Evacuation from underground railway stations – Available and required safe egress time for different station types and general evaluation criteria.

Murdock, K. (2013). Autodesk 3ds Max 2014 Bible. Hoboken, NJ: Wiley

NFPA 130 2000 Edition .Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems.

NFPA 520 1999. Standard on Subterranean Spaces. NFPA 130 2000 Edition .Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems.

OSHA, Occupational Safety and Health Administration U.S. Department of Labor 2001. How to Plan for Workplace Emergencies and Evacuations.

OSHA, Occupational Safety and Health Administration U.S. Department of Labor 2003. Emergency, Exit, Routes Factsheet.

Salmensaari Timo .Safety in Long Subsea Rail Tunnels, 2010 Aalto University.

SFPE 2002. Handbook of Fire Protection Engineering 3rd Edition, Chapter 13, 14.

SHUJI MORIYAMA, YUJI HASEMI, DON-GUN NAM, SATOSHI TANAKA, NAOMI OKAZAWA, and WENTING DING 2005. Smoke Movement Characteristics and Fire Safety in Subway Stations.

Thematic Network FIT – Fire in Tunnels. General report 2006.

Wang Z., Chen F., Li X. 2011. COMPARATIVE ANALYSIS AND PEDESTRIAN SIMULATION EVALUATION ON EMERGENCY EVACUATION TEST METHODS FOR URBAN RAIL TRANSIT STATIONS.

Y.F Ye, Q.F Hu, H.W. Huang. THE SIMULATION ANALYSIS OF PASSENGER EVACUATION IN ONE SUBWAY STATION BASED ON EXODUS.

https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview#3ds-max-intro

Αρβελάκη Βασιλική. Ανάλυση των διαδικασιών εκκένωσης σε υπόγειους σταθμούς του ΜΕΤΡΟ Θεσσαλονίκης: Η περίπτωση του σταθμού «Πλατεία Δημοκρατίας» , Ιανουάριος 2014.

ΖΩΓΡΑΦΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ. ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, Ανάλυση Της Επίδρασης Πυρκαγιάς Στη Διαδικασία Εκκένωσης Υπόγειου Σταθμού Μετρό, ΙΟΥΝΙΟΣ, 2018.

Καλλιανιώτης Αναστάσιος. Βελτιστοποίηση συνθηκών εκκένωσης υπογείων χώρων: αξιολόγηση και βελτιστοποίηση θέσεων εξόδων διαφυγής, Ιούλιος 2015.

Κυρίτσης, Φ.. Καθορισμός Διαδικασιών Εκπόνησης Σχεδίου Εκκένωσης Σε Υπόγειο Χώρο Με Εξέταση Ιδιαίτερων Χαρακτηριστικών. Παράδειγμα Εφαρμογής Στον Υπόγειο Χώρο Του Τεχνολογικού Πάρκου Λαυρίου. Αθήνα: ΕΜΠ, 2010.

Λαζαρίνης, Φ. 2015. Γραφικά 3Δ & Σχεδιοκίνηση με 3ds MAX & BLENDER. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Στο Λαζαρίνης, Φ. 2015. *Πολυμέσα*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 10.

Νικήτα, Μ. (2011). 3ds MAX 2012: Ο φωτορεαλισμός γρήγορα και απλά. Αθήνα: Κλειδάριθμος.

Π.Δ. 71/88 Κανονισμός πυροπροστασίας κτιρίων, ΦΕΚ 32/Α/17-2-88.