



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εξέταση της εκκένωσης επιβατηγού πλοίου με χρήση
κώδικα αριθμητικών προσομοιώσεων

ΠΑΥΛΟΥ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΘΕΜΕΛΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει αρχικά στην μοντελοποίηση της εκκένωσης ενός επιβατηγού πλοίου και κατόπιν στην αξιολόγηση της μέσω του υπολογισμού του χρόνου εκκένωσης και την εύρεση πιθανών δυσλειτουργιών. Κατόπιν, σκοπός της διπλωματικής αυτής είναι να προσομοιωθούν ρεαλιστικά σενάρια εκκένωσης ενός ή περισσότερων καταστρωμάτων και να ελεγχθεί η επίδραση ορισμένων διαφοροποιήσεων που υπάρχουν μεταξύ τους στο χρόνο εκκένωσης.

Συνοπτικά η τρέχουσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει αρχικά το κανονιστικό πλαίσιο του IMO για την εκκένωση επιβατηγών πλοίων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το λογισμικό (pathfinder) μέσω του οποίου πραγματοποιείται η αριθμητική προσομοίωση των σεναρίων εκκένωσης καθώς και τις βασικές του εντολές και λειτουργίες. Επίσης, προσομοιώνονται στο περιβάλλον του pathfinder τα τεστ εκκένωσης που έχει θέσει ο IMO για τον έλεγχο της αξιοπιστίας λογισμικών για την αριθμητική προσομοίωση της εκκένωσης πλοίων. Ακολούθως, η μελέτη επικεντρώνεται σε σενάρια εκκένωσης που αφορούν χώρους ενδιαίτησης των επιβατών, τα οποία αξιολογούνται βάση μεγεθών όπως ο συνολικός χρόνος εκκένωσης, η αθροιστική συχνότητα εκκένωσης και η ροή εισόδου - εξόδου από τα δωμάτια. Τέλος, παρατίθενται τα αποτελέσματα των σεναρίων αυτών και γίνεται σύγκριση τους μέσω στατιστικών πινάκων και διαγραμμάτων. Από τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει ότι παράμετροι όπως η ταχύτητα των επιβατών και ο χρόνος απόκρισης τους αποτελούν τις κυριότερες αιτίες επιβράδυνσης της εκκένωσης των καταστρωμάτων.

Τα αποτελέσματα αυτά συνεισφέρουν στην κατανόηση των παραμέτρων που επιδρούν στη διαδικασία της εκκένωσης καθώς και να αντιληφθεί τους χώρους που παρατηρείται συνωστισμός επιβατών με σκοπό να πραγματοποιηθεί ένα ασφαλέστερο πλάνο εκκένωσης.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to create a model for evacuating a passenger ship as well as evaluating this modelling through calculating the time that is required for evacuation and finding any potential malfunctions on it. A secondary aim is to simulate realistic evacuation scenarios on one or more decks and then check how some distinctions between them can affect the evacuation time.

In summary, this thesis firstly contains the IMO regulations behind the evacuation of passenger ships. It also describes the software (pathfinder) through which the evacuation scenarios can be modelled as well as its basic commands and functions. Furthermore, the thesis contains the simulation of the IMO evacuation tests in order to check the reliability of the softwares which are used to simulate the ship evacuation. Moreover, the evacuation scenarios regarding areas inhabited by passengers are being highlighted and evaluated by values like the total evacuation time, the cumulative evacuation frequency and door flow rates. Finally, the results of these scenarios are presented and compared between them through tables and graphs. From these results we can understand that parameters like the passengers' speed and their response time are the main slowdown evacuation causes.

These results will facilitate the reader to understand the values which affect the evacuation process. They will also help spot crowded areas so that a safer evacuation plan can be designed.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.1 ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	5
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	7
1.3 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	7
2. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ ΙΜΟ	8
2.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΙΜΟ ΚΑΙ ΤΗΣ MSC.....	8
2.2 ΟΔΗΓΙΕΣ ΙΜΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΣΕ ΕΠΙΒΑΤΗΓΑ ΠΛΟΙΑ.....	10
2.2.1. Απλή μέθοδος	12
2.2.2. Σύνθετη μέθοδος	14
3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΙΜΟ TESTS	16
ΙΜΟ TEST 1.....	17
ΙΜΟ TEST 2 & 3	18
ΙΜΟ TEST 4.....	21
ΙΜΟ TEST 5.....	24
ΙΜΟ TEST 6.....	25
ΙΜΟ TEST 7.....	29
ΙΜΟ TEST 8.....	30
ΙΜΟ TEST 9.....	34
ΙΜΟ TEST 10.....	36
ΙΜΟ TEST 11.....	38
4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ	41
4.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	41
4.1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	41
4.1.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΩΡΟΥ	42
4.1.3. ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ ΕΞΟΔΩΝ	44
4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ.....	45
4.2.1. ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΕΝΟΣ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ	45
4.2.2. ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΔΥΟ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΕΠΙΒΑΤΩΝ.....	51
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	75

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για αύξηση των επιβατών στα επιβατηγά πλοία η οποία οδηγεί σε ταυτόχρονη αύξηση του μεγέθους τους μέσω μεγαλύτερων και περισσότερων καταστρωμάτων. Δεδομένων όμως μερικών μεγάλων καταστροφών όπως οι πυρκαγιές στο Morro Castle και στο MS Norman Atlantic καθώς και η προσάραξη του Costa Concordia, κατέστη απαραίτητη η αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων που θα ενίσχυε την ασφάλεια των επιβατών στην θάλασσα. Ως αποτέλεσμα, άρχισε γρήγορα να αποκτά ενδιαφέρον η ανάπτυξη σεναρίων εκκένωσης επιβατηγών πλοίων και η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη βελτιστοποίηση τους μέσω μείωσης του χρόνου εκκένωσης με τη βοήθεια κατασκευαστικών καινοτομιών και τη συνεργασία πληρώματος και επιβατών.

Μία από τις πρώτες προσεγγίσεις που έγιναν προς αυτή την κατεύθυνση (Galea et al. 2003) χρησιμοποίησε το πρόγραμμα EXODUS για την προσομοίωση της εκκένωσης με τη βοήθεια του λογισμικού SMARTFIRE για την προσομοίωση της ανάπτυξης της φωτιάς. Στη συγκεκριμένη έρευνα εξετάστηκαν τέσσερα διαφορετικά σενάρια εκκένωσης, τα δύο κύρια (ημέρας και νύχτας) για εκκένωση χωρίς την παρουσία φωτιάς και δύο επιπλέον σενάρια με την παρουσία φωτιάς με στόχο τον υπολογισμό του χρόνου εκκένωσης ενός επιβατηγού από όλους τους επιβάτες και τη σύγκριση του με τις απαιτήσεις του IMO.

Μία πιο σύγχρονη έρευνα (Azzi et al. 2011) ανέφερε χαρακτηριστικά ότι τα ατυχήματα λόγω πυρκαγιάς είναι ο πιο συχνός κίνδυνος που αντιμετωπίζουν τα πλοία στη θάλασσα και συνεπώς είναι ανάγκη να δοθεί έμφαση σε σχεδιαστικές καινοτομίες που βασίζονται σε αξιολόγηση της απόδοσης των υπαρχόντων δομών. Αυτή η αξιολόγηση μπορεί να επιτευχθεί μέσω σεναρίων εκκένωσης. Η ενσωμάτωση μάλιστα μοντέλων πυρκαγιάς και εκκένωσης ταυτόχρονα επιτρέπει μία πιο ρεαλιστική προσέγγιση αφού λαμβάνει υπόψη και τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να δημιουργήσει η φωτιά στους επιβάτες. Η έρευνα αυτή εξετάζει δύο σενάρια εκκένωσης χρησιμοποιώντας το περιβάλλον FDS για να προσομοιώσει την πυρκαγιά και το λογισμικό EVI για την προσομοίωση της εκκένωσης του πλοίου, ακολουθώντας πιστά τις οδηγίες του IMO.

Στη συνέχεια, προτάθηκε ένα πιθανολογικό πλαίσιο για την αξιολόγηση της πυρασφάλειας των επιβατηγών πλοίων που βασίστηκε στη δημιουργία σχεδιασμένων πυρκαγιών (Themelis & Spyrou 2012). Στόχος ήταν να δημιουργηθεί ένα ορθολογικό και πρακτικό μέσο για την αξιολόγηση επιλογών σχεδιασμού (υλικά, γεωμετρία, αισθητήρες και κατασταλτικά) που επηρεάζουν την πυρασφάλεια, με αναφορά στους έμμεσους στόχους ασφαλείας που θέτουν οι ισχύοντες κανονισμοί. Επομένως, οι εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού θα μπορούσαν να αξιολογηθούν πιο περιεκτικά.

Σε μία ακόμη ερευνητική προσέγγιση (Koromila, Themelis & Spyrou 2020) αναφέρεται ότι η ισχύουσα νομοθεσία για την πυρασφάλεια επιβατηγών πλοίων ενθαρρύνει την ανάπτυξη εναλλακτικών σχεδίων χρησιμοποιώντας διαδικασίες αξιολόγησης που βασίζονται στην απόδοση. Στο πλαίσιο αυτό, για την προστασία της ανθρώπινης ζωής μετά από περιστατικό πυρκαγιάς επί του σκάφους, έχουν προδιαγραφεί κριτήρια ανθεκτικότητας τα οποία αφορούν κυρίως την ελάχιστη απαιτούμενη ορατότητα, και τη μέγιστη απαιτούμενη θερμοκρασία και συγκέντρωση τοξικών ουσιών, ώστε οι επιβάτες να είναι σε θέση να εκκενώσουν με ασφάλεια την περιοχή που επηρεάζεται από τα λύματα πυρκαγιάς. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να διερευνήσει πώς ο καθορισμός των διαφόρων ορίων ανθρώπινης ασφάλειας που αναφέρονται στα παραπάνω κριτήρια μπορούν να επηρεάσουν τον χαρακτηρισμό του επιπέδου πυρασφάλειας ενός σχεδίου.

Σε μία πρόσφατη δημοσίευση (Sotiralis et al. 2020) αναφέρεται πως η εκκένωση ενός δυναμικού και πολύπλοκου περιβάλλοντος, όπως ένα κρουαζιερόπλοιο, είναι μία κρίσιμη διαδικασία όσο αναφορά την ασφάλεια του ανθρώπου και την πίεση του χρόνου, η οποία συνήθως περιλαμβάνει χιλιάδες ανθρώπους που κινούνται σε όλα τα μέρη του πλοίου με τη βοήθεια του προσωπικού του πληρώματος. Είναι επίσης μία περίπλοκη διαδικασία απόφασης με βάση την εξελισσόμενη κατάσταση στο σκάφος και τις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στους φορείς λήψης αποφάσεων. Η έγκαιρη και ασφαλής συγκέντρωση των ανθρώπων και εγκατάλειψη απαιτούν ακριβή αξιολόγηση των συνθηκών του πλοίου καθώς και εκτίμηση του υπολειπόμενου χρόνου. Παρουσιάζεται μια κριτική ανασκόπηση της διαδικασίας εκκένωσης λόγω πυρκαγιάς ή πλημμύρας από τα κρουαζιερόπλοια και τα μεγάλα σκάφη RoPax όσον αφορά το υπάρχον κανονιστικό πλαίσιο και τα εγκατεστημένα μέσα ασφαλείας.

Τέλος, μέσω της διπλωματικής εργασίας του Δημήτριου Παπαδάκη το 2020, έγινε μια προσπάθεια προσέγγισης των αβέβαιων παραγόντων που επηρεάζουν τη διαδικασία της εκκένωσης. Αναπτύχθηκαν δύο βασικά απλοποιημένα μοντέλα διαφυγής με βάση τα σχέδια ενός πλασματικού κρουαζιερόπλοιο. Με την ανάπτυξη αυτών των πιθανοτικών μοντέλων χρησιμοποιώντας και τις υποδείξεις του IMO, για το συγκεκριμένο πρόβλημα, εισήχθησαν με κατανομές οι βασικοί παράγοντες στους οποίους κατά κύριο λόγο δόθηκε έμφαση: ο αρχικός χρόνος απόκρισης, η σύνθεση και κατ' επέκταση οι ταχύτητες κίνησης των επιβατών. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, με την εκτέλεση προσομοιώσεων σεναρίων εκκένωσης διαφοροποιώντας κάποιους από τους παραπάνω παράγοντες, δόθηκε η δυνατότητα να μελετηθεί η επίδραση των παραγόντων αυτών στη διαδικασία της εκκένωσης και πιο συγκεκριμένα την αναγνώριση του βαθμού επιρροής αυτών, στο συνολικό χρόνο εκκένωσης.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική εργασία αποτελεί μία προσπάθεια αξιολόγησης της εκκένωσης ενός επιβατηγού πλοίου μέσω της ανάλυσης παραγόντων οι οποίοι επιδρούν σε αυτή. Για την εξέταση της διαδικασίας της εκκένωσης χρησιμοποιήθηκε ο χώρος ενδιαίτησης των επιβατών ενός επιβατηγού πλοίου, ενώ το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί για την αριθμητική προσομοίωση της διαδικασίας της εκκένωσης είναι το Pathfinder (Thunderhead Pathfinder, 2022). Συγκεκριμένα, στόχοι αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτελούν:

- Η εξέταση των IMO tests στο περιβάλλον του pathfinder για να ελεγχθεί η αξιοπιστία του λογισμικού.
- Η προσομοίωση σεναρίων εκκένωσης στο περιβάλλον του Pathfinder με σκοπό την ανάλυση παραμέτρων όπως η ταχύτητα των επιβατών, ο χρόνος απόκρισης τους και οι ομάδες κίνησης. Η ανάλυση των παραμέτρων αυτών πραγματοποιείται μέσω των αρχείων αποτελεσμάτων του λογισμικού.
- Η αξιοποίηση των παραμέτρων αυτών και η διαφοροποίηση τους (εντός πλαισίων του IMO) μέσα σε συγκεκριμένα σενάρια εκκένωσης με σκοπό να ελεγχθεί ο βαθμός επίδρασης τους στον συνολικό χρόνο εκκένωσης.
- Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων σε πίνακες που δείχνουν την πορεία της εκκένωσης με βάση το ποσοστό των εξελθόντων επιβατών καθώς και σε διαγράμματα αθροιστικής συχνότητας εκκένωσης.

1.3 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά στη σημαντικότητα της εξέτασης της εκκένωσης επιβατηγών, στις μέχρι τώρα μελέτες για αυτήν και στους σκοπούς της τρέχουσας διπλωματικής εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο σημειώνονται οι κανονισμοί του IMO για την εκκένωση επιβατηγών καθώς και δύο σημαντικές μεθοδολογίες που προτείνονται για τον υπολογισμό του χρόνου εκκένωσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο προσομοιώνονται όλα τα IMO tests με στόχο να αποδειχθεί ότι το λογισμικό που χρησιμοποιείται είναι αξιόπιστο καθώς και μερικές παραλλαγές τους για αναδειχτούν περισσότερες λειτουργίες του λογισμικού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλα τα σενάρια εκκένωσης που προσομοιώθηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού μας καθώς και σημαντικές παρατηρήσεις μέσω πινάκων και διαγραμμάτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που πηγάζουν από το ερευνητικό μέρος της εργασίας.

Στο Παράρτημα παρουσιάζεται το λογισμικό με το οποίο προσομοιώνονται τα σενάρια που μελετήσαμε καθώς και οι βασικές του εντολές και λειτουργίες.

2. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ ΙΜΟ

2.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΙΜΟ ΚΑΙ ΤΗΣ MSC

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ) ανήκει στον Ο.Η.Ε, εδρεύει στο Λονδίνο και έχει αυτή τη στιγμή 174 χώρες μέλη και επίσης 3 συνδεδεμένα μέλη. Επιπλέον, πολλοί μη κυβερνητικοί οργανισμοί συμμετέχουν συμβουλευτικά στις εργασίες του, χωρίς όμως δικαίωμα ψήφου. Είναι επιφορτισμένος με τα ναυτιλιακά ζητήματα στο βαθμό που αυτά αφορούν την ασφάλεια και την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Προτεραιότητα του νέου Οργανισμού ήταν η υιοθέτηση νέας σύμβασης για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής στη Θάλασσα, αυτό που έχει καθιερωθεί σήμερα να ονομάζουμε S.O.L.A.S ("Safety of Life at Sea", 1960). Πολύ φυσιολογικά, ο ΙΜΟ ανέλαβε και τις μελλοντικές αναθεωρήσεις της σύμβασης SOLAS. Αναγνωρίζοντας ότι η ναυτιλία αποτελεί διεθνή δραστηριότητα, ο ΙΜΟ δίνει τη δυνατότητα στις 174 μέχρι στιγμής χώρες μέλη του να αναπτύσσουν από κοινού τους κανονισμούς αντί να διαθέτει η κάθε χώρα τους δικούς της ξεχωριστά, πράγμα που θα δημιουργούσε σύγχυση.

Ο ΙΜΟ διαθέτει την Ολομέλεια (Assembly) το Συμβούλιο (Council) και 5 κύριες Επιτροπές (Committees):

- **Ασφαλείας (Safety),**
- Προστασίας Θαλασσίου Περιβάλλοντος (Marine Environmental Protection),
- Νομικών Θεμάτων (Legal),
- Τεχνικής Συνεργασίας (Technical Cooperation),
- Διευκόλυνσης (Facilitation).

Η Επιτροπή Ασφαλείας (MSC) είναι ο θεσμός του ΙΜΟ με τη μεγαλύτερη βαρύτητα όσον αφορά τεχνικά ζητήματα. Σε αυτή την επιτροπή συμμετέχουν όλες οι χώρες μέλη. Τα θέματα επί των οποίων επιλαμβάνεται είναι:

- Η κατασκευή και ο εξοπλισμός των πλοίων,
- τα βοηθήματα ναυσιπλοΐας (aids to navigation),
- τα πληρώματα στο βαθμό που επηρεάζουν την ασφάλεια,
- οι κανόνες για την αποφυγή σύγκρουσης,
- η διαχείριση επικίνδυνων φορτίων,
- οι διαδικασίες θαλάσσιας ασφάλειας και απαιτήσεις,
- υδρογραφικές πληροφορίες,
- τρόπος καταγραφής επικίνδυνων συμβάντων,
- διερεύνηση ατυχημάτων,
- εντοπισμός και διάσωση, και τέλος
- οποιοδήποτε άλλο ζήτημα επηρεάζει την ασφάλεια.

Η Επιτροπή καλείται επίσης να παρέχει τους μηχανισμούς για την εκτέλεση οποιωνδήποτε καθηκόντων που της ανατίθενται από τη σύμβαση του ΙΜΟ ή οποιοδήποτε καθήκον, εντός των προαναφερθέντων θεμάτων, που ενδέχεται να της ανατεθεί από κάποιο διεθνές όργανο αφού γίνει πρώτα αποδεκτό από τον οργανισμό. Έχει, ακόμα, την ευθύνη για την εξέταση και την υποβολή συστάσεων και οδηγιών σχετικά με την ασφάλεια για πιθανή έγκριση από τη συνέλευση του οργανισμού.

Η MSC, έχοντας ήδη εγκρίνει τις κατευθυντήριες γραμμές μιας απλοποιημένης ανάλυσης εκκένωσης RO-RO (Roll On – Roll Off) πλοίων ως έναν οδηγό για την υλοποίηση του κανονισμού II-2/28-1.3 της SOLAS (Safety Of Life At Sea), ζήτησε τον Μάιο του 1999 απ' την υποεπιτροπή υπεύθυνη για την προστασία από φωτιά να αναπτύξει κανόνες για την ανάλυση της εκκένωσης σε επιβατηγά πλοία εν γένει αλλά και σε ταχύπλοα επιβατηγά.

Τον Ιούνιο του 2001, μετά από τις συστάσεις της υποεπιτροπής, ενέκρινε τις κατευθυντήριες γραμμές για την απλοποιημένη μέθοδο ανάλυσης εκκένωσης ταχύπλοων επιβατηγών. Τον Μάιο του 2005 εξέτασε μια πρόταση της υποεπιτροπής και τελικά ενέκρινε καινούργιες κατευθυντήριες γραμμές που αντικατέστησαν τις προηγούμενες.

Ενδιάμεσα, τον Μάιο του 2002, έκανε δεκτές τις κατευθυντήριες γραμμές της υποεπιτροπής για ανάλυση εκκένωσης για νέα και υπάρχοντα επιβατηγά πλοία. Επίσης, κάλεσε τα κράτη μέλη να συλλέξουν και να υποβάλλουν στην υποεπιτροπή οτιδήποτε δεδομένα ή πληροφορίες έχουν από έρευνα, ανάπτυξη ή δοκιμές, ευρήματα για την ανθρώπινη συμπεριφορά που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν τις παρούσες κατευθυντήριες γραμμές.

Την σημερινή μορφή των κατευθυντήριων γραμμών έδωσε η MSC τον Οκτώβριο του 2007. Αφορούν νέα και υπάρχοντα επιβατηγά πλοία, συμπεριλαμβανομένων και των RO-RO. Υπάρχουν δύο διαφορετικές μέθοδοι για την ανάλυση της εκκένωσης:

- Η απλοποιημένη
- Η προηγμένη

2.2 ΟΔΗΓΙΕΣ ΙΜΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΣΕ ΕΠΙΒΑΤΗΓΑ ΠΛΟΙΑ

Η Επιτροπή Ασφαλείας (MSC) κατά την 96^η συνεδρίασή της ενέκρινε τις αναθεωρημένες οδηγίες σχετικά με την ανάλυση εκκένωσης για νέα και υπάρχοντα επιβατηγά πλοία καθιστώντας τις οδηγό για την εφαρμογή των κανονισμών II-2/13.3.2.7 της SOLAS. Έτσι, η ανάλυση εκκένωσης γίνεται επιτακτική όχι μόνο για πλοία Ro-Ro, αλλά και στα υπόλοιπα είδη επιβατηγών που έχουν κατασκευαστεί μετά την 1^η Ιανουαρίου 2020.

Η οδηγία MSC.1/Circ.1533 αποτελείται από τρία κεφάλαια (annexes):

- Annex 1: Revised guidelines on evacuation analysis for new and existing passenger ships
- Annex 2: Guidelines for a simplified evacuation analysis of new and existing passenger ships
- Annex 3: Guidelines for an advanced evacuation analysis of new and existing passenger ships

Με βάση την παραπάνω οδηγία, η ανάλυση της εκκένωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο διαφορετικές μεθόδους μία απλοποιημένη και μία σύνθετη όπως έχει προαναφερθεί. Προτού όμως περιγράψουμε τις μεθόδους αυτές πρέπει να αναφέρουμε κάποια βασικά χαρακτηριστικά που συνδέονται με την εκκένωση του πλοίου όπως αυτά περιγράφονται στο Annex 1 της οδηγίας.

Ο σκοπός των οδηγιών που δίνει η Επιτροπή Ασφάλειας του ΙΜΟ (MSC) μέσω του “Guidelines for evacuation analysis” και ειδικότερα στο Annex 1, είναι κατά κύριο λόγο να παρουσιάσει την μέθοδο που πραγματοποιείται η ανάλυση μίας εκκένωσης επιβατηγού πλοίου και πιο συγκεκριμένα:

- Να επιβεβαιώσει ότι οι λειτουργικές προδιαγραφές που περιγράφονται στις οδηγίες αυτές είναι ρεαλιστικές,
- να εντοπίσει και να εξαλείψει (όσο το δυνατόν περισσότερο) οποιαδήποτε τυχόν συμφόρηση που ενδέχεται να εμφανιστεί κατά τη διάρκεια της εκκένωσης εξαιτίας της κίνησης των επιβατών αλλά και του πληρώματος στους διαδρόμους διαφυγής,
- να επιβεβαιώσει ότι οι κανονισμοί διαφυγής είναι λειτουργικά ευέλικτοι σε περίπτωση που κάποιοι διάδρομοι, σταθμοί συγκέντρωσης, σταθμοί επιβίβασης ή κάποια σωστικά μέσα είναι μη διαθέσιμα,
- να εντοπίσει περιοχές που παρατηρείται έντονη αντίθετη ροή κόσμου και τέλος
- να παρέχει όλες τις πληροφορίες αυτές στους αρμόδιους για την εκκένωση των πλοίων.

Συνολικός χρόνος εκκένωσης

Ο ολικός χρόνος εγκατάλειψης χωρίζεται σε τέσσερα χρονικά διαστήματα :

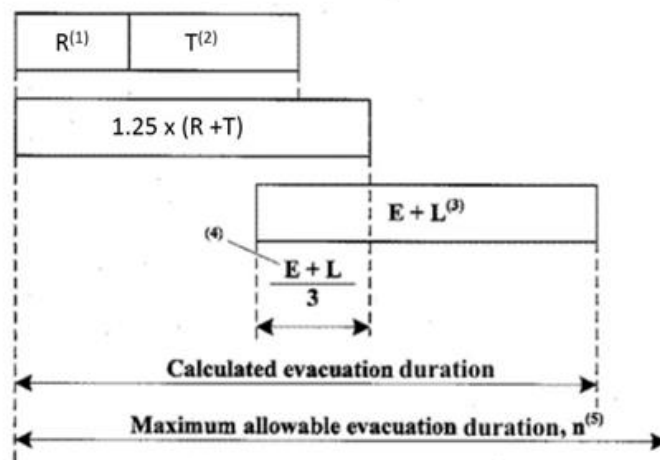
1. Response (R): το χρονικό διάστημα που απαιτείται από τη στιγμή της ειδοποίησης των επιβατών μέχρι την εκκίνησή τους προς τους σταθμούς συγκέντρωσης
2. Total travel (T): το χρονικό διάστημα διαμετακόμισης στους σταθμούς συγκέντρωσης
3. Embarkation (E): ο χρόνος επιβίβασης στις σωστικές λέμβους
4. Launching (L): ο χρόνος καθέλκυσης των λέμβων

Για τον υπολογισμό της συνολικής χρονικής διάρκειας εκκένωσης χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση : $1,25 (R+T) + 2/3 (E+L) \leq n$

Όπου n είναι ο μέγιστος επιτρεπτός χρόνος εκκένωσης και λαμβάνει τις τιμές :

- n=60 min για ro-ro επιβατηγά πλοία, ενώ
- για τα υπόλοιπα επιβατηγά, n=60 αν διαθέτουν όχι περισσότερες από τρεις κύριες κατακόρυφες ζώνες και 80 αν έχουν.

Ο αριθμός 1,25 αποτελεί συντελεστή ασφαλείας και το κλάσμα 2/3 εισέρχεται στην εξίσωση καθώς όπως διακρίνεται στο παρακάτω σχήμα, οι φάσεις (R+T) με (E+L) επικαλύπτονται.



Εικόνα 1 : Υπολογισμός συνολικού χρόνου εκκένωσης από τον IMO (MSC.1/Circ.1238, 2016)

- (1) Χρόνος απόκρισης επιβατών
- (2) Χρόνος διαμετακόμισης στους σταθμούς συγκέντρωσης
- (3) Χρόνος επιβίβασης στις λέμβους και καθέλκυσης τους (max 30 min)
σύμφωνα με τον κανονισμό SOLAS III 21.1.3
- (4) Χρόνος επικάλυψης μεταξύ της επιβίβασης των επιβατών και της καθέλκυσης των λέμβων
- (5) Μέγιστος επιτρεπτός χρόνος εκκένωσης

Σενάρια εκκένωσης

Όσον αφορά τα σενάρια, πρέπει να ληφθούν υπόψη τουλάχιστον τα παρακάτω τέσσερα:

- **case 1** (primary evacuation case, night) και **case 2** (primary evacuation case, day) δηλαδή τα βασικά σενάρια νύχτας και μέρας αντίστοιχα, όπως αυτά ορίζονται από τον κώδικα FSS.
- **case 3** (secondary evacuation cases, night) και **case 4** (secondary evacuation cases, day). Σε αυτές τις περιπτώσεις διερευνάται μόνο η κύρια κατακόρυφη ζώνη, στην οποία και παρατηρούνται οι μεγαλύτεροι χρόνοι κίνησης των επιβατών, ενώ ο αριθμός των επιβατών δε διαφοροποιείται από τα σενάρια 1 και 2. Ακόμη, δύο εναλλακτικά (alternatives) σενάρια μπορούν να εξεταστούν για κάθε μία από τις κατηγορίες 3 και 4 :
 - **alternative 1** : το κλιμακοστάσιο της παραπάνω κύριας κατακόρυφης ζώνης που παρατηρείται η μεγαλύτερη χρήση από τους επιβάτες αποκλείεται καθ'όλη την προσομοίωση, σενάριο που προτείνεται για το-το επιβατηγά πλοία.
 - **alternative 2** : το 50% των ατόμων γειτονικής κατακόρυφης ζώνης με τον μεγαλύτερο πληθυσμό, εισέρχεται στην κύρια κατακόρυφη ζώνη και από εκεί στον σταθμό συγκέντρωσης.

2.2.1. Απλή μέθοδος

Παραδοχές

Η απλή μέθοδος υπολογισμού του χρόνου εκκένωσης βασίζεται στις παρακάτω υποθέσεις :

- οι επιβάτες και το πλήρωμα θα ξεκινήσουν την ίδια χρονική στιγμή την κίνησή τους προς τις εξόδους διαφυγής και λαμβάνεται χρόνος απόκρισης (R) 10 min για σενάρια νύχτας και 5 min για ημέρας.
- τα άτομα κινούνται ανεμπόδιστα και δεν υπάρχει προσπέραση μεταξύ αυτών.
- η ταχύτητα βάρδισης εξαρτάται από την πυκνότητα των ατόμων,
- ροή ατόμων υπάρχει μόνο προς τις εξόδους κινδύνου ή τους σταθμούς συγκέντρωσης και η αντίστροφη ροή υπολογίζεται από έναν παράγοντα διόρθωσης.

Υπολογισμός χρόνου κίνησης T

Για τον υπολογισμό του χρόνου T χρειάζεται πρώτα να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός του μέγιστου χρόνου ταξιδιού t_i . Αρχικά το υπάρχον μοντέλο μπορεί να μεταφραστεί σαν ένα υδραυλικό δίκτυο, στο οποίο οι σωλήνες είναι οι σκάλες και οι διάδρομοι, οι βαλβίδες είναι οι πόρτες και οι δεξαμενές οι χώροι αφετηρίας των επιβατών. Αφού υπολογιστεί η πυκνότητα D (p/m^2) των ατόμων ανά μονάδα περιοχής του διαδρόμου, βρίσκεται η αρχική ειδική ροή F_s ($p/m/s$) (με γραμμική παρεμβολή από υπάρχον πίνακα) και η ροή F_c (p/s) για τις πόρτες, τους διαδρόμους, που αποτελεί το γινόμενο της ροής F_s επί το καθαρό πλάτος W_c (m) αυτών.

Στα σημεία της διαδρομής που το πλάτος αλλάζει ή οι διάδρομοι συγχωνεύονται ή διαχωρίζονται (transition points) λαμβάνεται ως αρχή ότι το σύνολο των ροών εισόδου ισούται με το σύνολο αυτών που εξέρχονται $\sum F_c(in)_i = \sum F_c(out)_j$. Για κάθε κλίμακα και διάδρομο υπολογίζεται ο χρόνος t_F ως το πηλίκο των ατόμων που εισέρχονται N προς τη ροή F_c και λαμβάνεται η μέγιστη τιμή σε κάθε μία διαδρομή διαφυγής. Ακόμη υπολογίζονται οι χρόνοι :

- t_{deck} , διάρκεια διαδρομής από το πιο απομακρυσμένο σημείο του καταστρώματος μέχρι τη σκάλα και,
- t_{stair} , διάρκεια διαδρομής στη σκάλα,
- $t_{assembly}$, χρόνος από την έξοδο της σκάλας μέχρι το σταθμό συγκέντρωσης.

Το συνολικό λοιπόν χρονικό διάστημα t_i λογίζεται ως :

$$t_i = t_F + t_{deck} + t_{stair} + t_{assembly} \quad (2.1)$$

Έτσι, το χρονικό διάστημα T (travel duration) σε δευτερόλεπτα υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$T = (\gamma + \delta) t_i \quad (2.2)$$

όπου :

- γ : διορθωτικός συντελεστής και ισούται με 2 για τα σενάρια 1 και 2 και με 1,3 για τα σενάρια 3 και 4,
- δ : συντελεστής διόρθωσης της αντίστροφης ροής και λαμβάνεται ίσος με 0,3
- t_i : ο υψηλότερος χρόνος ταξιδιού σε δευτερόλεπτα.

Τέλος κομμάτι της διαδικασίας αποτελεί και ο προσδιορισμός των σημείων συμφόρησης. Τέτοιου είδους σημεία θεωρούνται εκείνα σε χώρους όπου παρατηρείται η αρχική πυκνότητα D να γίνεται ίση ή μεγαλύτερη της τιμής 3,5 p/m^2 αλλά και περιοχές όπου η διαφορά μεταξύ ροής F_c εισόδου και εξόδου υπερβαίνει το όριο 1,5 p/s .

2.2.2. Σύνθετη μέθοδος

Η σύνθετη μέθοδος ανάλυσης εκκένωσης βασίζεται στην προσομοίωση του μοντέλου σε υπολογιστή με σκοπό, όπως και της απλής τον υπολογισμό του συνολικού χρόνου εκκένωσης. Η βασική όμως διαφορά της είναι ότι προσδίδει στα άτομα διαφορετικά χαρακτηριστικά και συμπεριφέρονται μεμονωμένα. Μερικά βασικά χαρακτηριστικά είναι :

- οι επιβάτες και το πλήρωμα αναπαρίστανται ως ξεχωριστά άτομα με διαφορετικές ικανότητες,
- η κατανομή και ο αριθμός των επιβατών καθορίζεται με βάση τον κώδικα FSS,
- οι χρόνοι αντίδρασης (R) των ατόμων διαφέρουν και ακολουθούν λογαριθμική κανονική κατανομή,
- τα άτομα διαθέτουν διαφορετικές ταχύτητες κίνησης που καθορίζονται ανάλογα με το φύλο, την ηλικία και τις ικανότητες κίνησης,
- χρησιμοποιείται ένας συντελεστής ασφαλείας 1,25 στους υπολογισμούς λόγω παραδοχών που γίνονται,
- η κίνηση κατά ομάδες δεν λαμβάνεται υπόψη,
- Η κίνηση και η κλίση του πλοίου δεν λαμβάνονται υπόψη.

Προδιαγραφές σεναρίων

Για την εκτέλεση της διαδικασίας της εκκένωσης με σύνθετη μέθοδο, οι κατανομές των επιβατών και του πληρώματος λαμβάνονται από το κεφάλαιο 13 του κώδικα FSS. Αν υπάρχουν στοιχεία για την κατανομή του πληρώματος, εξετάζονται τα τέσσερα σενάρια αναφοράς που έχουμε αναλύσει παραπάνω με τις εξής διαφοροποιήσεις :

case 1 - case 3 (night evacuation cases)

Οι επιβάτες βρίσκονται στις καμπίνες τους (οι οποίες θεωρείται ότι είναι πλήρεις) όπως και τα 2/3 του πληρώματος, ενώ το υπόλοιπο πλήρωμα είναι τοποθετημένο ως εξής :

- το 50% στους χώρους εξυπηρέτησης (service spaces),
- το 25% στους χώρους έκτακτης ανάγκης (emergency stations) και δεν μοντελοποιείται,
- το υπόλοιπο 25% στους σταθμούς συγκέντρωσης (assembly stations) και θα πρέπει να κατευθυνθεί αντίθετα από την κύρια ροή των επιβατών, προς την πιο απομακρυσμένη καμπίνα. Με το πέρας αυτής της διαδικασίας η συγκεκριμένη ομάδα του πληρώματος σταματά να λαμβάνεται υπόψη στη διαδικασία της προσομοίωσης, ενώ λαμβάνεται ίδια αναλογία του πληθυσμού αυτών σε κάθε κύρια κατακόρυφη ζώνη.

case 2 - case 4 (day evacuation cases)

Στα σενάρια μέρας, σύμφωνα με τον κανονισμό II-2/3.39 της SOLAS οι επιβάτες βρίσκονται στους κοινόχρηστους χώρους (public spaces) με πληρότητα 75% και το πλήρωμα είναι τοποθετημένο με βάση τα παρακάτω :

- το 1/3 στους κοινόχρηστους χώρους,
- το 1/3 στους χώρους στέγασης των πληρώματος (accommodation spaces),
- το υπόλοιπο 1/3 χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες με αναλογίες 50%, 25%, 25% και είναι τοποθετημένο όμοια με τις περιπτώσεις case 1 και 3, έχοντας την ίδια ακριβώς συμπεριφορά.

Υπολογισμός χρόνου κίνησης T

Ο χρόνος T όπως είναι φυσικό αποτελεί μία τυχαία ποσότητα λόγω των διαφόρων παραμέτρων που χρησιμοποιούνται κατά τη εκτέλεση της σύνθετης μεθόδου, παράμετροι που μπορούν να διαφέρουν σε κάθε μία προσομοίωση όπως για παράδειγμα ταχύτητες επιβατών, χρόνος απόκρισης κ.α.. Για το λόγο αυτό σύμφωνα με τον οδηγό πρέπει για κάθε σενάριο να πραγματοποιηθούν 500 προσομοιώσεις με τουλάχιστον 100 εναλλαγές στα χαρακτηριστικά του πληθυσμού, δηλαδή 5 προσομοιώσεις με ίδια χαρακτηριστικά. Στην περίπτωση που δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα μεταξύ των 5 προσομοιώσεων που έχουν ίδιες αρχικές παραμέτρους θα εκτελεστούν και οι 500 προσομοιώσεις με διαφορετικές αρχικές μεταβλητές.

Ως τιμή του χρόνου t_i για κάθε ένα από τα τέσσερα σενάρια που μελετώνται, λαμβάνει την τιμή που ανταποκρίνεται στο 95% των μεγαλύτερων τιμών t_i που πάρθηκαν από την κάθε προσομοίωση. Καταλήγουμε λοιπόν, σε τέσσερις τιμές, μία για κάθε σενάριο και ο χρόνος T λαμβάνεται ως η μεγαλύτερη τιμή εκ των τεσσάρων τιμών t_i .

Τέλος περιοχές συμφόρησης στη σύνθετη μέθοδο, θεωρούνται εκείνες που η πυκνότητα υπερβαίνει την τιμή 4 p/m^2 . Σε κάποιες περιπτώσεις τέτοια επίπεδα συμφόρησης μπορεί να μην είναι σημαντικά για τη διαδικασία της εκκένωσης, όμως εάν παρατηρείται η πυκνότητα να διατηρείται σε τέτοιες τιμές για χρόνο μεγαλύτερο από το 10% του συνολικού t_{assembly} , οι περιοχές αυτές θεωρούνται σημαντικές.

3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ IMO TESTS

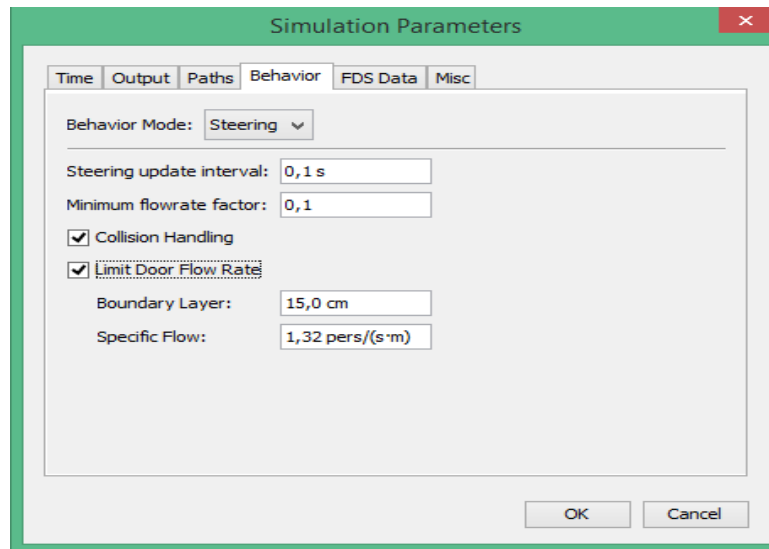
Ο IMO (MSC.1,Circ.1533,2016) έχει δημιουργήσει έντεκα τεστ τα οποία πρέπει να προσομοιωθούν στο μοντέλο που εργαζόμαστε με σκοπό να επιβεβαιωθούμε για τη σωστή του λειτουργία. Τα τεστ αυτά περιλαμβάνουν συνθήκες, όπως χρονικούς περιορισμούς και μέγιστες ταχύτητες, οι οποίες πρέπει κάθε φορά να επιτυγχάνονται στο μοντέλο μας προκειμένου το εκάστοτε τεστ να θεωρείται επιτυχημένο. Όλα τα χαρακτηριστικά των προσομοιώσεων (γεωμετρία χώρων, προφίλ ατόμων, συμπεριφορές) κατασκευάστηκαν στο πρόγραμμα thunderhead pathfinder και τα αποτελέσματα λαμβάνονται μέσω τις εφαρμογής pathfinder VR results.

Το Pathfinder υποστηρίζει δύο βασικούς τρόπους προσομοίωσης της κίνησης:

- τη λειτουργία διεύθυνσης, **Steering**
- και τη λειτουργία **SFPE**.

Στη λειτουργία Steering οι επιβάτες μετακινούνται μέσω ενός συστήματος διεύθυνσης που ορίζει τα άτομα να κινούνται ανεξάρτητα στο χώρο. Ουσιαστικά με τη λειτουργία αυτή ενεργοποιημένη τα άτομα προσπαθούν να μιμηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο την ανθρώπινη κίνηση και συμπεριφορά. Αντίθετα, η λειτουργία SFPE χρησιμοποιεί ένα σύνολο υποθέσεων για τη συμπεριφορά των ατόμων που προέρχονται από τον οδηγό Engineering Guide to Human Behavior in Fire (SFPE, 2003). Η ταχύτητα των ατόμων καθορίζεται από τα όρια ροής στις πόρτες (door flow rate). Ακόμη τα άτομα δεν αποφεύγουν ο ένας τον άλλο αλλά τους δίνεται η δυνατότητα να διεισδύσουν.

Ακόμη, υπάρχει και η συνδυαστική λειτουργία των δύο παραπάνω SFPE+Steering Mode που πραγματοποιείται με την επιλογή της λειτουργίας Steering στο Behavior Mode και την επιλογή Limit Door Flow Rate κατά την οποία ελέγχεται η ροή των ατόμων στις εξόδους με τον καθορισμό εκ των προτέρων της μέγιστης τιμής του ειδικού ρυθμού ροής των ατόμων (persons/s*m). Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα είναι απαραίτητο να ορίσουμε το Boundary Layer δηλαδή ένα μήκος που αφαιρείται και από τις δύο πλευρές της πόρτας προκειμένου να υπολογιστεί το πραγματικό πλάτος της πόρτας. Για παράδειγμα εάν η πόρτα έχει πλάτος 1m και το Boundary Layer είναι 15cm τότε το πραγματικό άνοιγμα της πόρτας θα είναι 0,7m με αποτέλεσμα το flow rate να είναι $Fs_max = (1,32 \text{ pers}/(s*m) * 0,7m) = 0,924 \text{ pers}/s$.

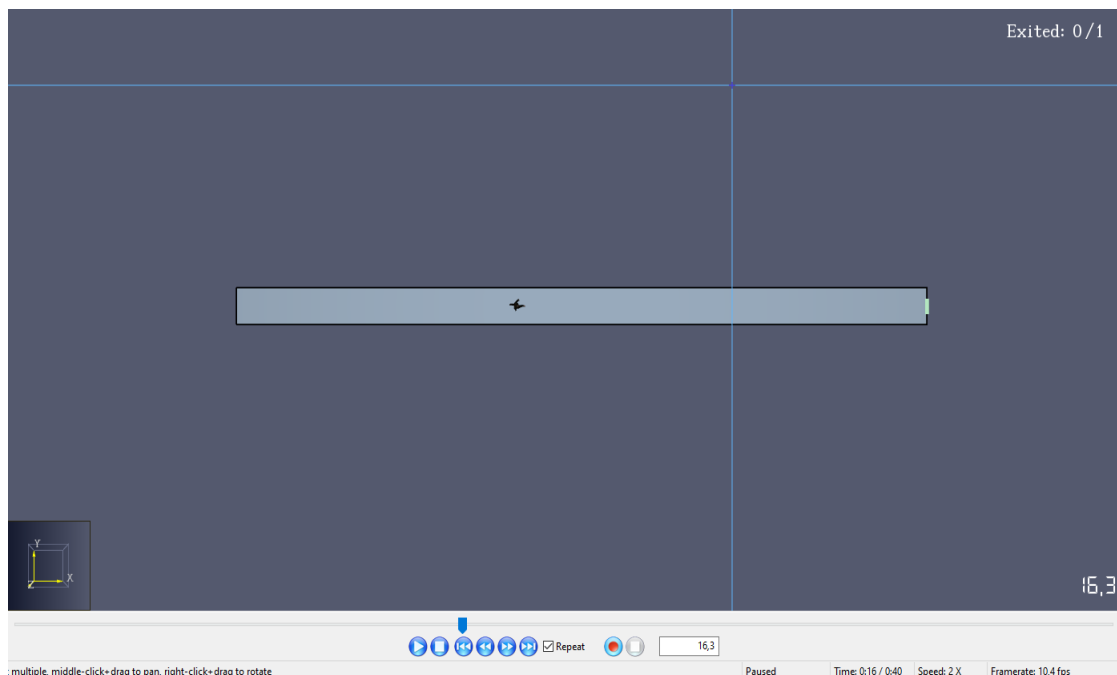


Εικόνα 2 : Λειτουργία SFPE + Steering

Περισσότερες λεπτομέρειες για τον λογισμικό Pathfinder παρατίθενται στο παράρτημα στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

IMO TEST 1 (Movement Speed):

Σκοπός του τεστ αποτελεί η διατήρηση της ταχύτητας βάδισης σε διάδρομο. Στο συγκεκριμένο τεστ πρέπει σύμφωνα με τον IMO ένα άτομο με ταχύτητα βάδισης 1m/s να διανύει έναν διάδρομο με μήκος 40m και πλάτος 2m σε 40 δευτερόλεπτα.

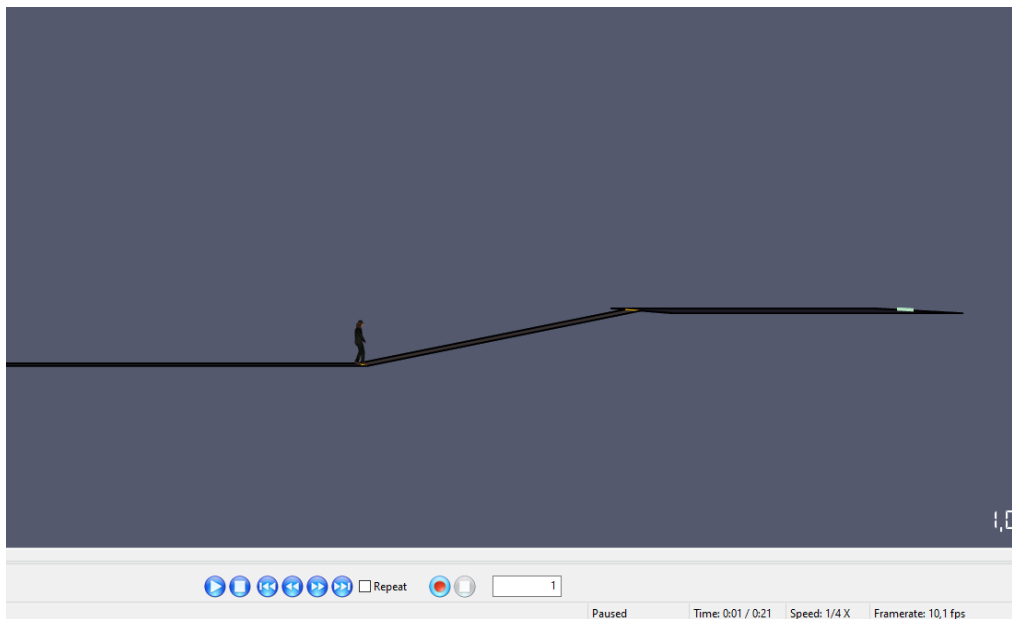


Εικόνα 3 : IMO test 1 στο Pathfinder VR Results

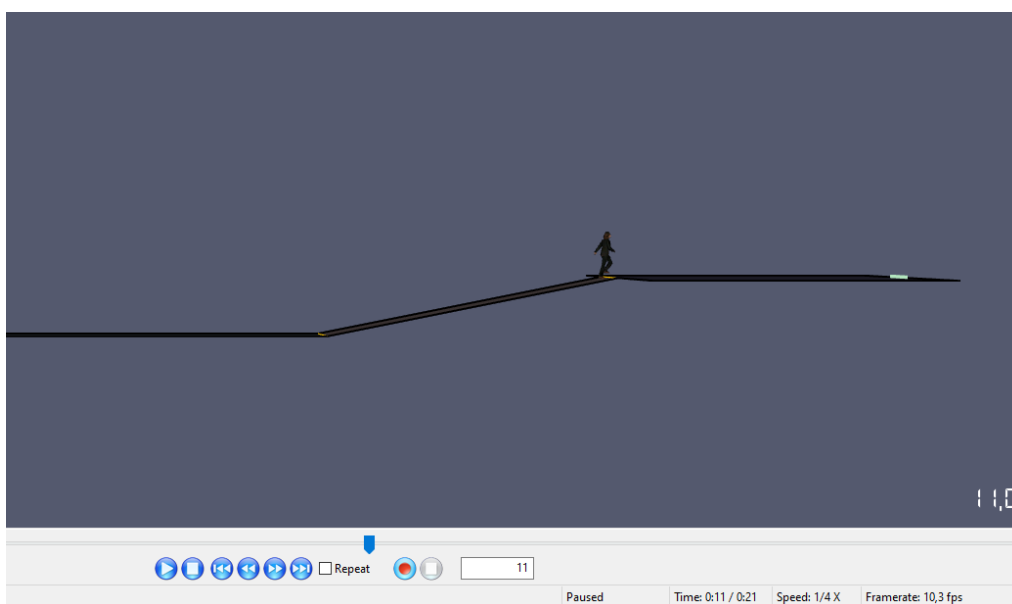
Κατασκευάστηκε λοιπόν στο pathfinder ο ζητούμενος διάδρομος και τοποθετήθηκε στην αρχή του ένα άτομο με ταχύτητα βάρδισης 1m/s. Χρησιμοποιώντας την λειτουργία Steering ο occupant διάνυσε τον διάδρομο σε ακριβώς 40 δευτερόλεπτα ενώ με τη λειτουργία SFPE χρειάστηκαν 39,8 δευτερόλεπτα οπότε το τεστ ολοκληρώθηκε με επιτυχία και στις δύο περιπτώσεις.

IMO TEST 2 & 3 (Stairway Speed):

Στο δεύτερο και τρίτο τεστ του IMO ζητείται από ένα άτομο με την ίδια ταχύτητα βάρδισης να διανύσει σε 10 δευτερόλεπτα μία σκάλα μήκους 10m και πλάτους 2m σε άνοδο και κάθοδο αντίστοιχα. Ο σκοπός τους είναι να διασφαλιστεί η διατήρηση της ταχύτητας βάρδισης των ατόμων όταν ανεβαίνουν και κατεβαίνουν τη σκάλα.



Εικόνα 4 : IMO test 2 στο Pathfinder VR Results (ο occupant στη βάση της σκάλας)

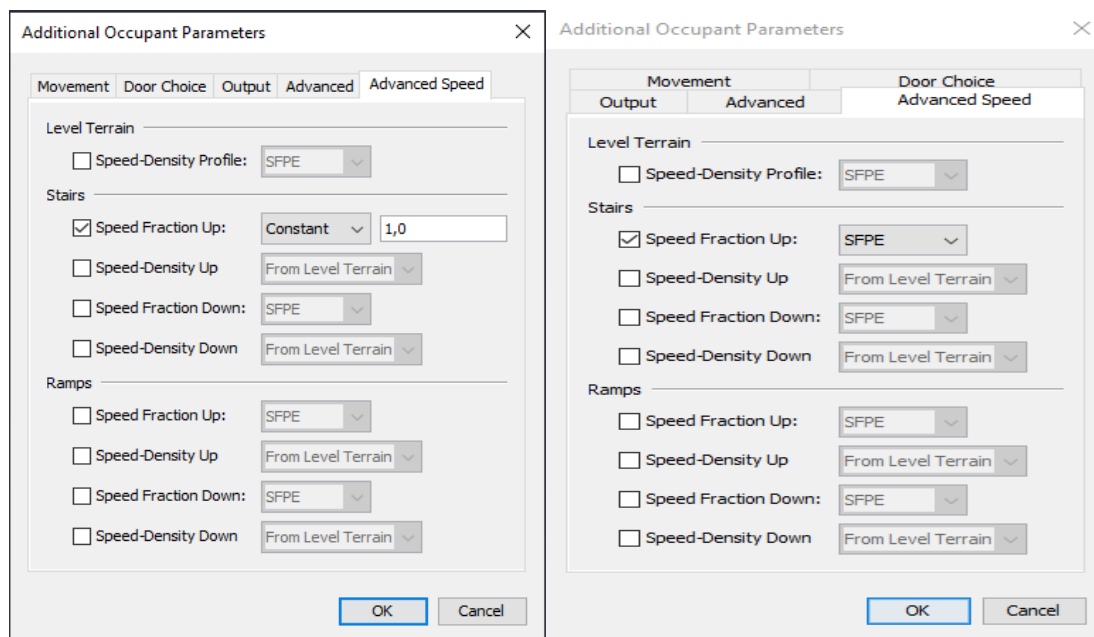


Εικόνα 5 : IMO test 2 στο Pathfinder VR Results (ο occupant στο τέλος της σκάλας)

Όπως προκύπτει και από τις παραπάνω εικόνες στο περιβάλλον του pathfinder και χρησιμοποιώντας αρχικά τη λειτουργία steering ο άνθρωπος εισέρχεται στην σκάλα στο δευτερόλεπτο 1 της προσομοίωσης και εξέρχεται στο δευτερόλεπτο 11. Αντίθετα στη λειτουργία SFPE ο άνθρωπος εισέρχεται στη σκάλα στο δευτερόλεπτο 1 και εξέρχεται στο δευτερόλεπτο 13,5. Το ίδιο ακριβώς αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και στο σενάριο της καθόδου. Επομένως τα τεστ θεωρούνται επιτυχημένα στην περίπτωση Steering ενώ στην περίπτωση SFPE εντοπίζεται ένα μικρό σφάλμα.

Παραλλαγή IMO test 2

Το παραπάνω αποτέλεσμα όμως μπορεί εύκολα να διαφοροποιηθεί εάν μεταβάλλουμε την ταχύτητα ανόδου του ανθρώπου στις σκάλες χρησιμοποιώντας κάποιες πρόσθετες ρυθμίσεις του προγράμματος. Πιο συγκεκριμένα, πηγαίνοντας στις ρυθμίσεις του κάθε occupant και στην καρτέλα advanced speed έχουμε την δυνατότητα να αλλάξουμε την ταχύτητα ανόδου επιλέγοντας έναν παράγοντα (% της μέγιστης ταχύτητας) με τους παρακάτω τρόπους:



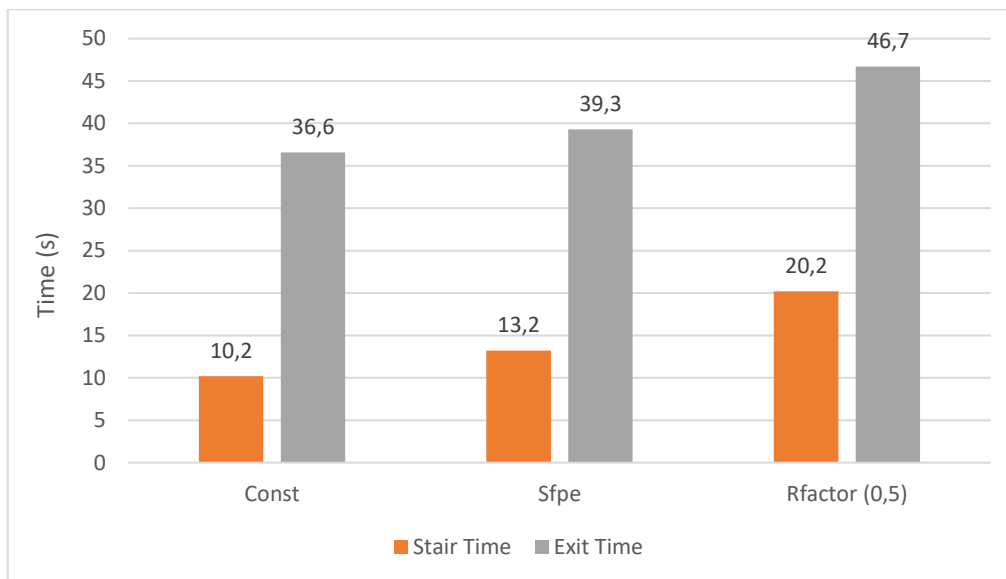
Εικόνες 6 & 7 : Μεταβολή ταχύτητας απόμων σε σκάλες/ράμπες

- Ο παράγοντας να είναι σταθερός και ίσος με ένα ποσοστό της μέγιστης ταχύτητας. Για παράδειγμα αν θέλουμε ο άνθρωπος να κινείται με την μέγιστη του ταχύτητα και στις σκάλες βάζουμε τον παράγοντα 1,0 ενώ αν θέλουμε να την μειώσουμε στο μισό χρησιμοποιούμε τον παράγοντα 0,5.
- Ο παράγοντας να εξαρτάται από τα συμπεράσματα του «SFPE Engineering Guide to Human Behavior in Fire (SFPE, 2003)» που λαμβάνονται αυτόματα

από το πρόγραμμα και χρησιμοποιούν την **κλίση της σκάλας** για να ορίσουν το ποσοστό της μείωσης της μέγιστης ταχύτητας στη σκάλα.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα του τρόπου που αυτός ο παράγοντας μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία της εκκένωσης.

Συγκεκριμένα εκτελέστηκε το IMO test 2 χρησιμοποιώντας την εντολή sfpe για την κίνηση στις σκάλες και κατόπιν χρησιμοποιώντας την εντολή constant με συντελεστή μείωσης 0,5 (Rfactor) και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με την αρχική υπόθεση στην οποία ο occupant δεν είχε μεταβολή ταχύτητας καθώς ανέβαινε τις σκάλες.

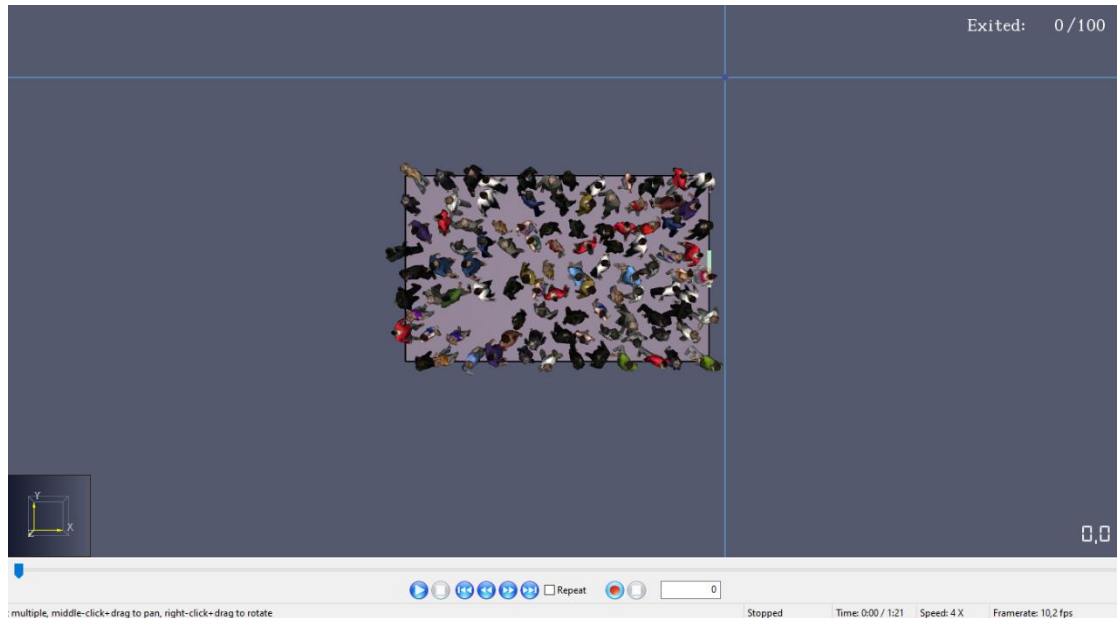


Διάγραμμα 1 : IMO test 2 σύγκριση σεναρίων λόγω μεταβολής ταχύτητας στην σκάλα

Παρατηρούμε ότι χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του SFPE ο χρόνος που έκανε ο άνθρωπος να διανύσει τις σκάλες είναι κατά 30% περίπου αυξημένος σε σχέση με την αρχική εκτίμηση με αποτέλεσμα η εκκένωση του δωματίου να γίνει με 3 δευτερόλεπτα καθυστέρηση. Η χρονική αυτή καθυστέρηση μπορεί να φαίνεται αρχικά ασήμαντη, όμως αν αναλογιστούμε ότι για την εκκένωση ενός καταστρώματος πιθανόν να χρειαστούν περισσότερες σκάλες και φυσικά περισσότεροι επιβάτες οι οποίοι θα τις χρησιμοποιήσουν σχηματίζοντας μάλιστα και συνωστισμό, τότε ο χρόνος εκκένωσης ενός καταστρώματος θα αυξηθεί αισθητά. Συμπερασματικά λοιπόν, αν θεωρήσουμε ότι η ταχύτητα των occupants δεν μεταβάλλεται ανεβαίνοντας ή κατεβαίνοντας μία σκάλα θα οδηγηθούμε σε «καλύτερα» αποτελέσματα αλλά πιθανότατα αυτά τα αποτελέσματα να μην είναι ρεαλιστικά.

IMO TEST 4 (Door Flow Rates):

Σκοπός του τέταρτου τεστ αποτελεί ο έλεγχος της ροής εξόδου (flow rate) από ένα δωμάτιο. Στο σενάριο αυτό ο IMO τοποθετεί 100 άτομα σε ένα δωμάτιο με διαστάσεις (8 x 5) το οποίο διαθέτει πόρτα ενός μέτρου στον τοίχο 5 μέτρων. Ο ρυθμός εξόδου δεν πρέπει να ξεπερνάει το 1,33 άτομα / δευτερόλεπτο.



Εικόνα 8 : IMO test 4 στο Pathfinder VR Results (στιγμή 0s)

Το τέταρτο τεστ του IMO εκτελέστηκε στο περιβάλλον του pathfinder όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα. Τα αποτελέσματα για της λειτουργίες steering, SFPE + steering και SFPE παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1 : Αποτελέσματα IMO test 4 για κάθε διαφορετική λειτουργία

Walking mode	Χρόνος εκκένωσης (s)	Ρυθμός εξόδου (pers/s)
Steering	81	1,24
SFPE + Steering	116	0,87
SFPE	110	0,91

Συνεπώς και στις τρεις λειτουργίες το τεστ θεωρείται επιτυχημένο. Ο χρόνος εκκένωσης κατά την λειτουργία SFPE + Steering είναι αυξημένος εξαιτίας του boundary layer στην πόρτα του δωματίου που μειώνει το flow rate της εξόδου όπως εξηγήσαμε και στην αρχή του κεφαλαίου.

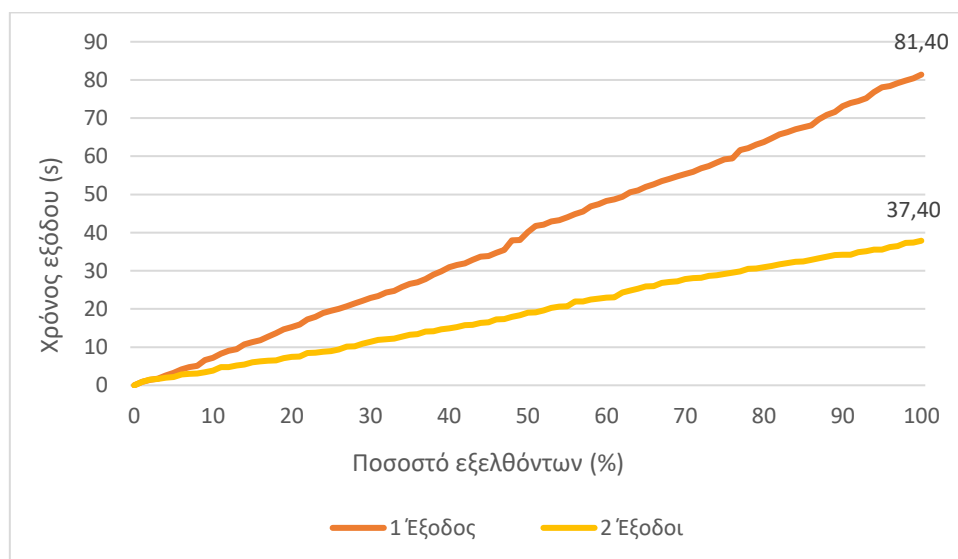
Παραλλαγή IMO test 4

Στη συνέχεια κρατώντας σταθερό το προφίλ των ατόμων και μεταβάλλοντας κάποια άλλα χαρακτηριστικά του IMO test επιχειρήθηκε να μειωθεί ο χρόνος εκκένωσης του δωματίου. Οι τρεις τρόποι που επιλέχθηκαν για να μειωθεί ο χρόνος εκκένωσης είναι:

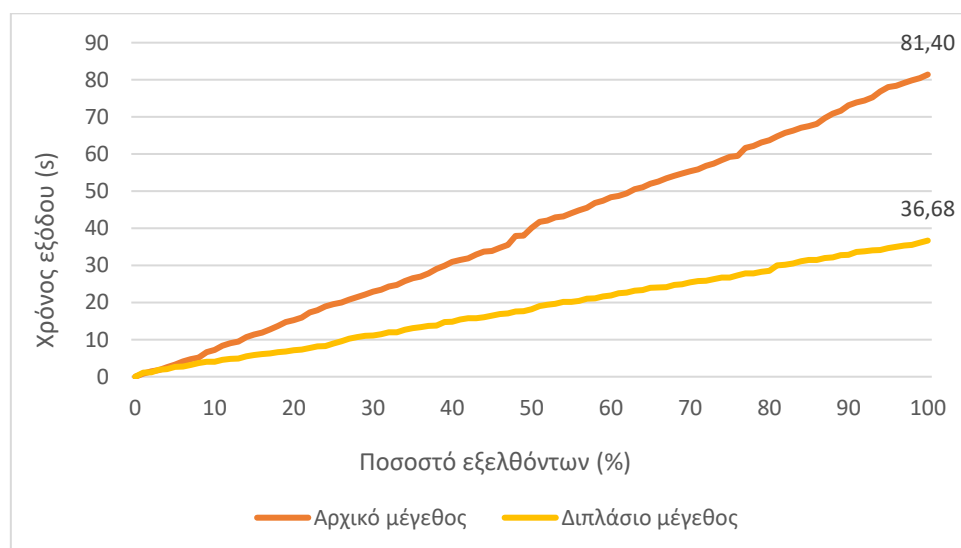
- Να αυξηθούν οι διαθέσιμες έξοδοι σε δύο αντί για μία
- Να διπλασιαστεί το μέγεθος του δωματίου
- Να μειωθούν στο μισό οι occupants

Φυσικά και για τους τρεις τρόπους το αναμενόμενο αποτέλεσμα είναι ο χρόνος εκκένωσης να μειωθεί στο μισό.

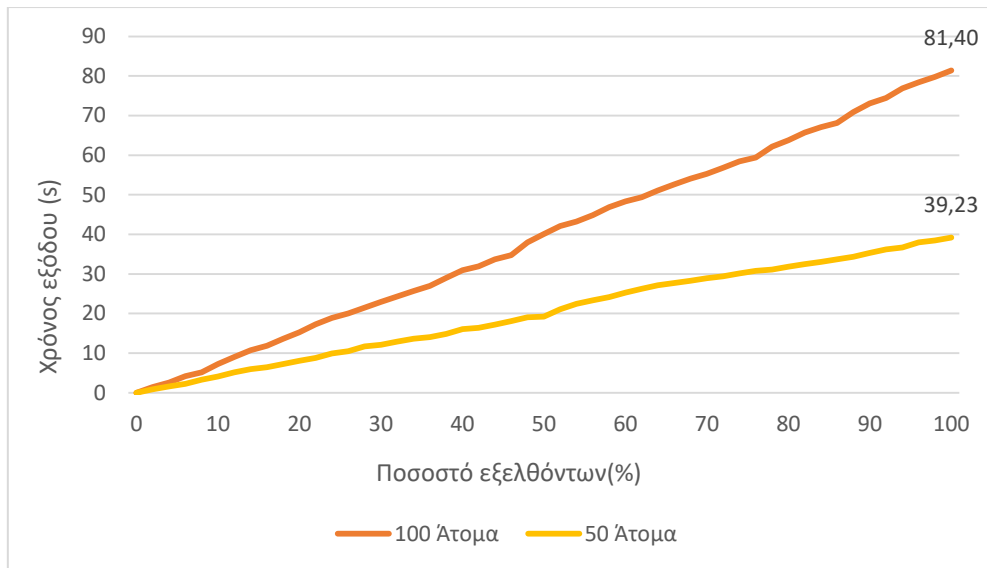
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η αθροιστική συχνότητα του χρόνου εκκένωσης σε σχέση με την αρχική υπόθεση για κάθε έναν από τους 3 τρόπους βελτίωσης που επιλέξαμε και η σύγκριση μεταξύ τους:



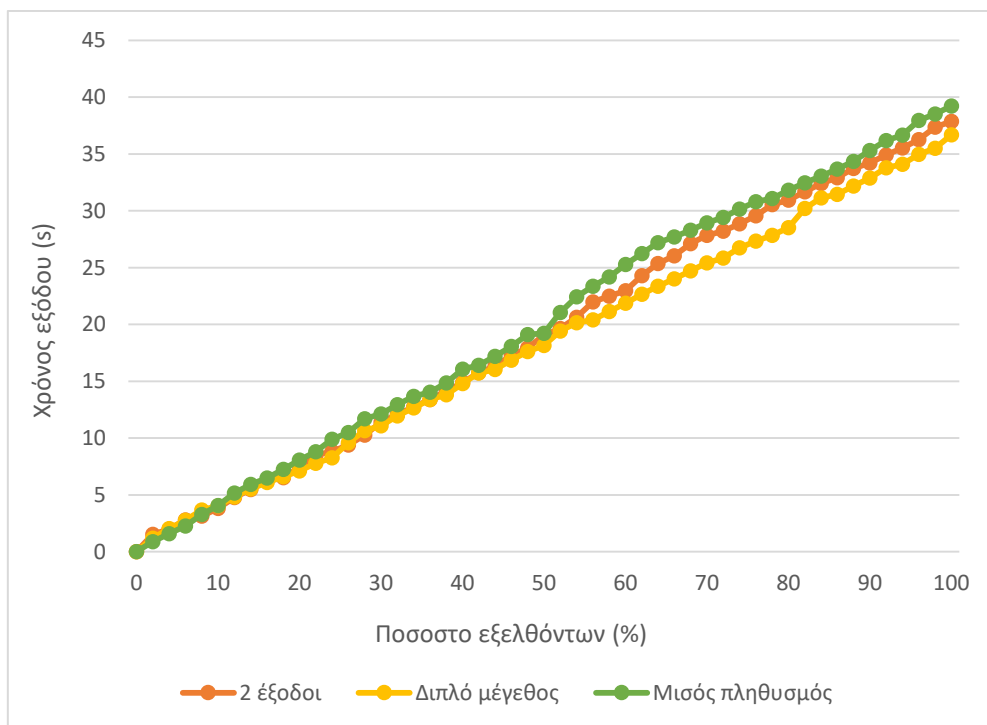
Διάγραμμα 2 : Σύγκριση αθροιστικής συχνότητας χρόνου εκκένωσης με μία και δύο εξόδους



Διάγραμμα 3 : Σύγκριση αθροιστικής συχνότητας χρόνου εκκένωσης αναλόγως το μέγεθος του χώρου



Διάγραμμα 4 : Σύγκριση αθροιστικής συχνότητας χρόνου εκκένωσης με μείωση πληθυσμού

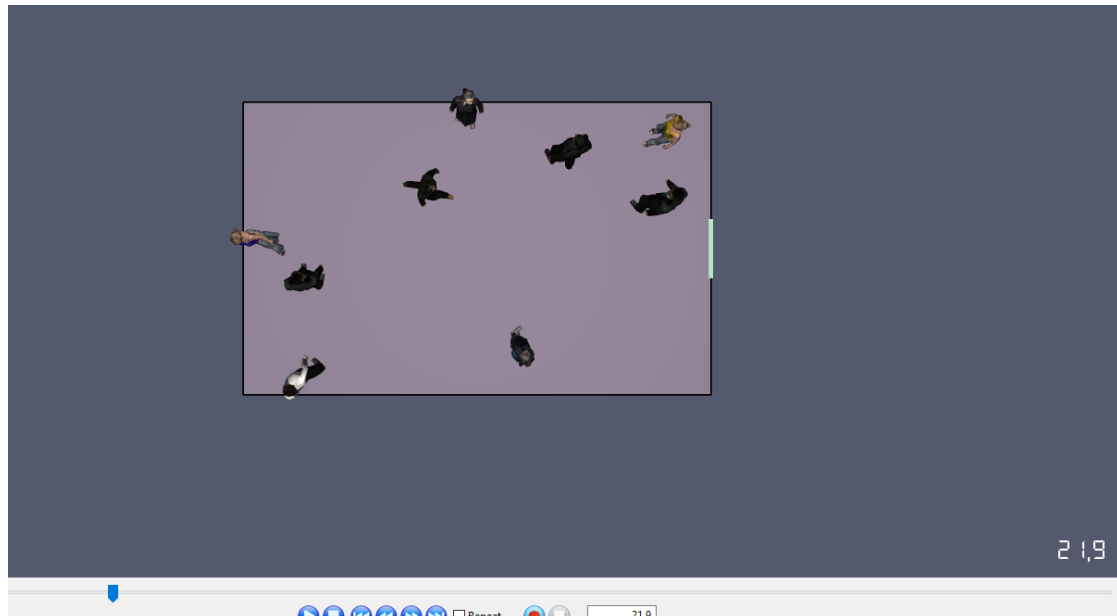


Διάγραμμα 5 : IMO test 4 σύγκριση μεθόδων βελτίωσης

Παρατηρούμε ότι και με τις τρεις μεθόδους το αποτέλεσμα ήταν πιο καλό από το αναμενόμενο καθώς σε όλες τις περιπτώσεις ο χρόνος εκκένωσης μειώθηκε παραπάνω από το μισό. Συγκρίνοντας τους τρόπους βελτίωσης προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο συνωστισμός των ατόμων μειώνεται πιο αποτελεσματικά αυξάνοντας το μέγεθος του δωματίου στο οποίο κινούνται. Φυσικά, ο τρόπος αυτός σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί καθώς χώροι όπως καμπίνες, διάδρομοι και σταθμοί συγκέντρωσης έχουν προκαθορισμένο μέγεθος, επομένως η αύξηση των διαθέσιμων εξόδων μπορεί να αποδειχθεί μία πιο χρήσιμη και ρεαλιστική μέθοδος μείωσης του χρόνου εκκένωσης ενός καταστρώματος.

IMO TEST 5 (Initial Delay):

Στο πέμπτο τεστ ο IMO τοποθετεί 10 άτομα σε ένα δωμάτιο ίδιων προδιαγραφών με το προηγούμενο τεστ με τη διαφορά ότι οι χρόνοι εκκίνησης του κάθε ατόμου πρέπει να κυμαίνονται ομοιόμορφα μεταξύ των 10 και των 100 δευτερολέπτων. Αυτή η κατανομή των χρόνων εκκίνησης πρέπει να αποτυπωθεί σωστά στο πρόγραμμα προσομοίωσης ώστε να ικανοποιηθεί ο σκοπός του συγκεκριμένου τεστ.



Εικόνα 9 : IMO test 5 στο Pathfinder VR Results (στιγμή 21,9s)

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, ο occupant στο κέντρο του δωματίου βρίσκεται σε κίνηση αφού έχει χρόνο εκκίνησης τα 20s, ενώ οι υπόλοιποι στέκονται ακίνητοι διότι ο χρόνος εκκίνησης έχει οριστεί σε μεταγενέστερη χρονική στιγμή. Το δωμάτιο τελικά εκκενώνεται στα 103s αφού ο χρόνος εκκίνησης του τελευταίου occupant είναι τα 100s. Επομένως και αυτό τεστ θεωρείται επιτυχημένο. Επίσης στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ταχύτητα του occupant 2 σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές στον οποίο είναι εμφανές ότι η κίνηση του ατόμου ξεκινά στα 20 δευτερόλεπτα και τελειώνει περίπου στα 25,5 όταν εξέρχεται από το δωμάτιο

Πίνακας 2 : Ταχύτητα occupant 2 στο χρονικό διάστημα 18-26s

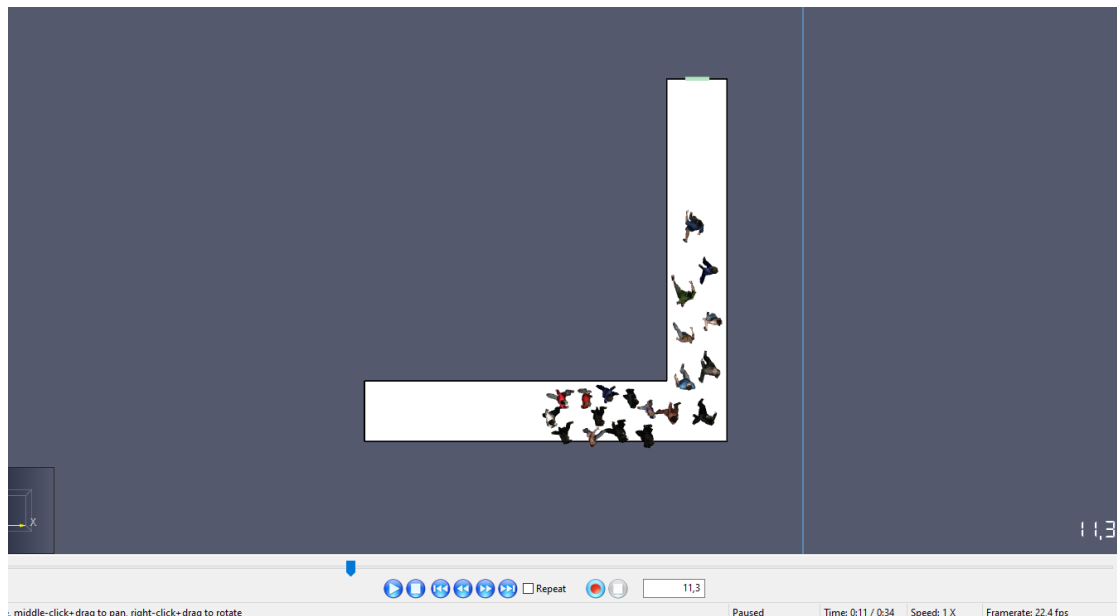
Time (s)	Name	Speed (m/s)
18	"00002"	0
19	"00002"	0
20	"00002"	0,12
21	"00002"	0,60
22	"00002"	0,76
23	"00002"	0,82
24	"00002"	0,80
25	"00002"	0,80
26	"00002"	-

IMO TEST 6 (Rounding Corners):

Στο test αυτό έχουν κατασκευαστεί δύο διάδρομοι οι οποίοι είναι κάθετοι μεταξύ τους με διαστάσεις 12x2 m και ενώνονται στις άκρες τους. Σε αυτή τη δοκιμή έχουμε τοποθετήσει 20 άτομα στην αριστερή πλευρά του δωματίου. Ο σκοπός της δοκιμής είναι να σιγουρευτούμε εάν μπορούν να κινηθούν από την μία άκρη της κατασκευής στην άλλη, που όπως φαίνεται από την παρακάτω εικόνα από το περιβάλλον του pathfinder έγινε με επιτυχία καθώς ο διάδρομος εκκενώθηκε σύμφωνα με τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα:

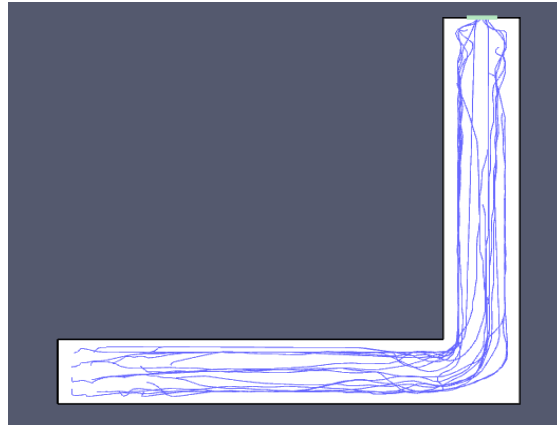
Πίνακας 3 : Χρόνος εκκένωσης για κάθε λειτουργία

Walking mode	Χρόνος εκκένωσης (s)
Steering	34
SFPE + Steering	45
SFPE	43

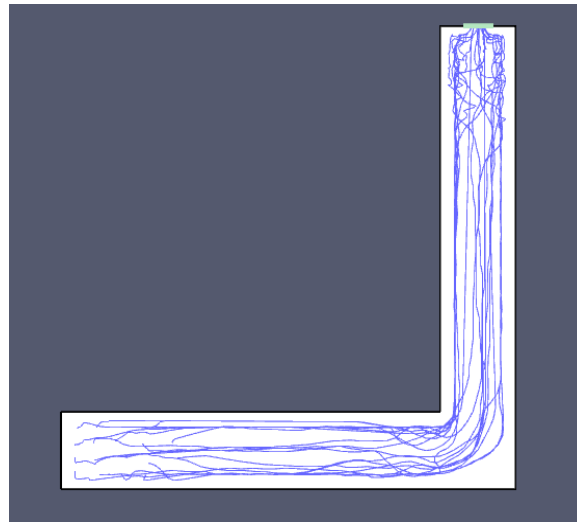


Εικόνα 10 : IMO test 6 στο Pathfinder VR Results (στιγμή 11,3s)

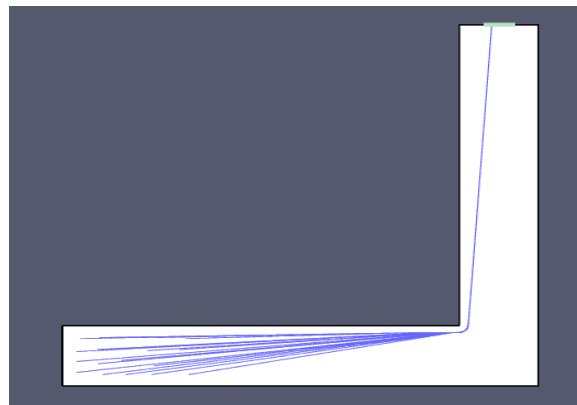
Σε αυτό το test έχει ενδιαφέρον να μελετήσουμε την τροχιά του κάθε ατόμου αν χρησιμοποιήσουμε την λειτουργία steering και τη λειτουργία SFPE. Οι τροχιές των ατόμων και στις δύο λειτουργίες αντλήθηκαν από το περιβάλλον του pathfinder VR results και φαίνονται στις παρακάτω φωτογραφίες. Παρατηρούμε εύκολα, ότι η τροχιά των ατόμων σε Steering Mode θυμίζει περισσότερο ανθρώπινη κίνηση ενώ σε SFPE Mode θυμίζει περισσότερο μία ιδανική τροχιά εξαιτίας της δυνατότητας διείσδυσης των ατόμων. Στον συνδυασμό Steering + SFPE mode παρατηρούμε μεγαλύτερο συνωστισμό κοντά στην έξοδο λόγω του boundary layer που εφαρμόζεται στην πόρτα το οποίο μειώνει την ροή εξόδου των ατόμων.



Εικόνα 11 : Τροχιά ατόμων σε *steering mode*



Εικόνα 12 : Τροχιά ατόμων σε *SFPE + Steering mode*



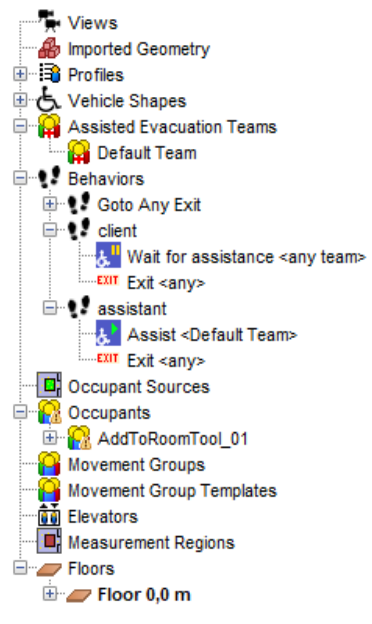
Εικόνα 13 : Τροχιά ατόμων σε *SFPE mode*

IMO test 6 με χρήση ομάδων υπο-βοήθειας

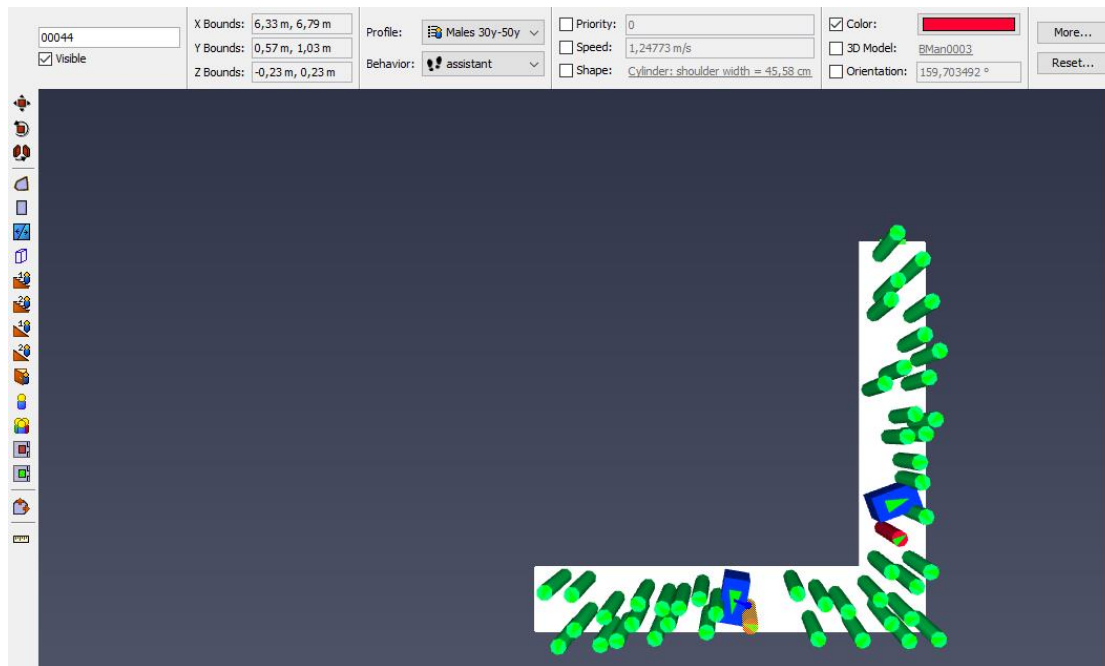
Στο συγκεκριμένο test θεωρήθηκε κατάλληλη ευκαιρία να χρησιμοποιήσουμε ένα πολύ σημαντικό εργαλείο του pathfinder που μας εξυπηρετεί σε περίπτωση που στην εκκένωση πρέπει να συμμετέχουν άτομα με ειδικές ανάγκες τα οποία χρειάζονται βοήθεια προκειμένου να μετακινηθούν. Συγκεκριμένα, τα άτομα αυτά παραμένουν στη θέση τους έως ότου φτάσει το άτομο υπο-βοήθειας και μόνο αφού γίνει αυτό δύνανται να μετακινηθούν. Το εργαλείο αυτό ονομάζεται assisted evacuation teams και για να λειτουργήσει πρέπει να καθορίσουμε δύο διαφορετικές ομάδες ατόμων οι οποίες είναι:

- Η ομάδα των ατόμων που χρίζουν βοήθειας (clients)
- Η ομάδα των ατόμων που προσφέρουν βοήθεια (assistants)

Οι ομάδες αυτές μπορούν εύκολα να καθοριστούν από την καρτέλα Behaviors κάνοντας δεξί κλικ, στη συνέχεια add a behavior και κατόπιν επιλέγοντας add action. Στη συνέχεια θα χρειαστεί να επιλέξουμε wait for assistance για να ορίσουμε την πρώτη συμπεριφορά και μετά να επαναλάβουμε την διαδικασία επιλέγοντας όμως το assist occupants για να καθορίσουμε και την δεύτερη απαιτούμενη συμπεριφορά. Το μόνο που απομένει είναι να επιλέξουμε τους occupants που θα έχουν τον ρόλο των clients και αυτούς που θα έχουν τον ρόλο των assistants δίνοντας τους το behavior που έχουμε ήδη φτιάξει. Η διαδικασία αυτή εκτελέστηκε σε λειτουργία Steering και φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες:



Εικόνα 14 : Pathfinder προσθήκη ατόμων σε ομάδες υπο-βοήθειας

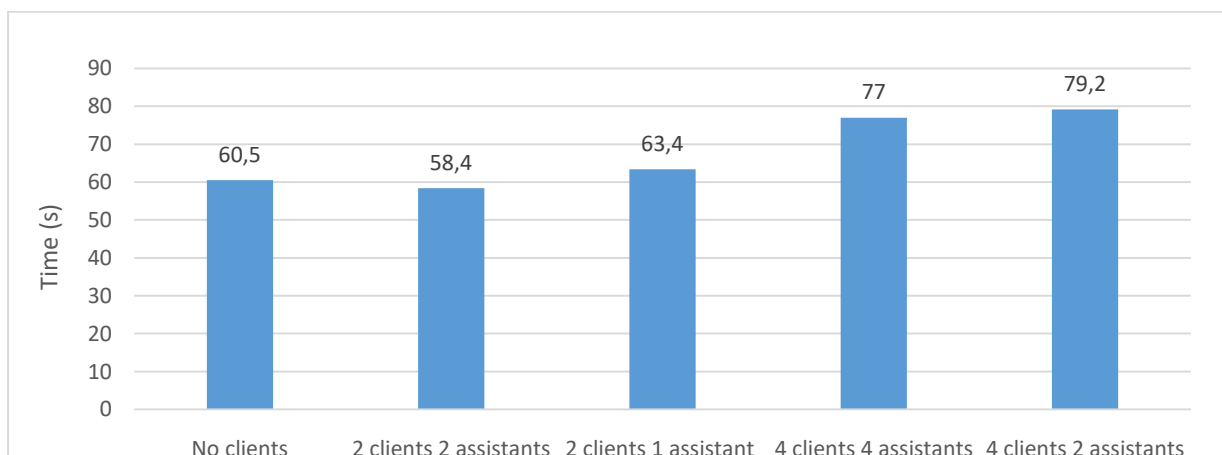


Εικόνα 15 : IMO test 6 με χρήση ομάδων υπο-βοήθειας στο Pathfinder VR Results

Στη συνέχεια εκτελέσαμε το IMO test 6 για τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις με ομάδες υπο-βοήθειας για να δούμε αν θα προκύψουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Οι εκκενώσεις που προσομοιώθηκαν είχαν όλες συνολικά 50 άτομα αλλά διέφεραν στις ομάδες υπο-βοήθειας ως εξής:

- A) 2 clients & 2 assistants
- B) 2 clients & 1 assistant
- Γ) 4 clients & 4 assistants
- Δ) 4 clients & 2 assistants

Ο χρόνος εκκένωσης στις τέσσερις προσομοιώσεις φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα μαζί με τον χρόνο εκκένωσης του IMO test 6 χωρίς ομάδες υπο-βοήθειας.

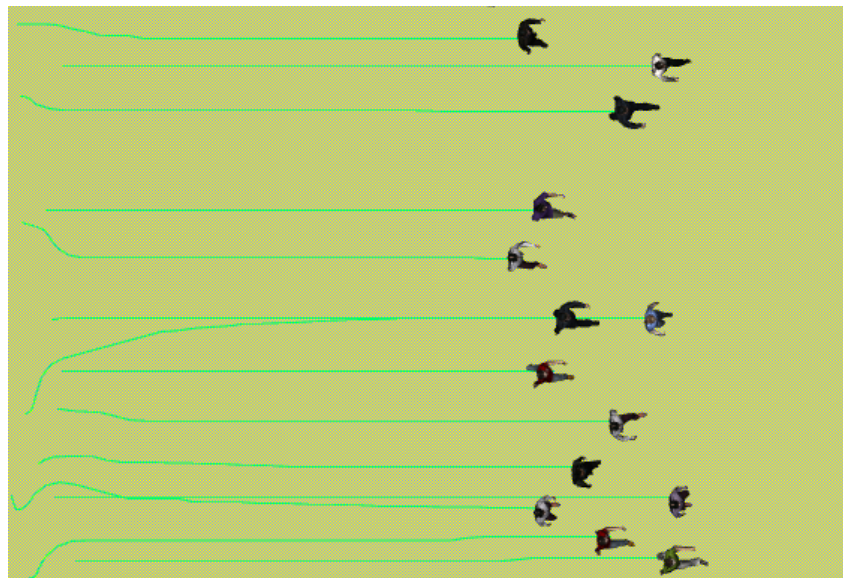


Διάγραμμα 6 : IMO test 6 σύγκριση περιπτώσεων ομάδων υπο-βοήθειας

Παρατηρούμε ότι όταν έχουμε μικρό αριθμό ατόμων στις ομάδες υποβοήθειας ο χρόνος εκκένωσης είναι πολύ κοντινός με τον αντίστοιχο χωρίς ομάδες υποβοήθειας. Όσο περισσότερο αυξάνουμε τα άτομα με κινητικά προβλήματα τόσο αυξάνεται ο χρόνος εκκένωσης λόγω του μεγάλου συνωστισμού που δημιουργείται γύρω από τα αναπηρικά αμαξίδια. Επίσης παρατηρούμε ότι μειώνοντας τους assistants αυξάνεται ο χρόνος εκκένωσης καθώς ο κάθε assistant χρειάζεται να κάνει την συγκεκριμένη διαδρομή παραπάνω από μία φορά προκειμένου να βοηθήσει όλους τους clients που του αναλογούν.

IMO TEST 7 (Multiple Movement Speeds):

Στην παρούσα δοκιμή έχουμε κατασκευάσει ένα δωμάτιο με διαστάσεις (40,5 x 51,0) έχοντας θεωρήσει την δεξιά πλευρά ως έξοδο. Επίσης, έχουμε τοποθετήσει 50 άτομα μέσα στο χώρο, τα οποία ανήκουν στην ηλικιακή κατηγορία άνδρες 30-50 ετών με ταχύτητα που ορίζεται από ομοιόμορφη κατανομή με ελάχιστη τιμή 0,97 m/s και μέγιστη τιμή 1,62 m/s. Ο σκοπός της δοκιμής είναι να διασφαλίσουμε ότι υπάρχει διαφορά ταχύτητας μεταξύ των ατόμων λόγω ομοιόμορφης κατανομής.



Εικόνα 16 : IMO test 7 στο Pathfinder VR Results

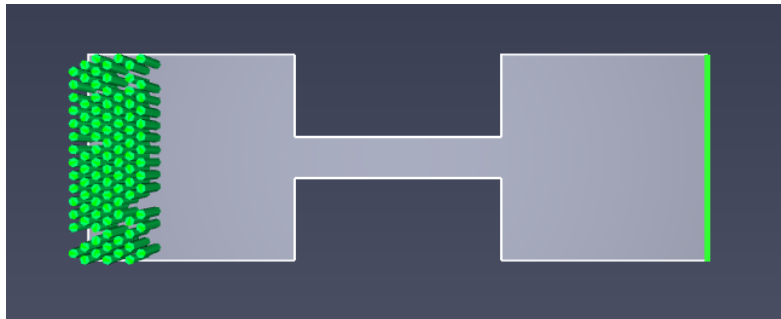
Τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου τεστ για τις λειτουργίες steering, SFPE + Steering αλλά και για την λειτουργία SFPE παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Τα δεδομένα του πίνακα αντλήθηκαν από τα αποτελέσματα (output) του pathfinder για την συγκεκριμένη προσομοίωση και οδηγούν στο συμπέρασμα ότι λόγω της ομοιόμορφης κατανομής των ταχυτήτων των ατόμων έχουμε σημαντική διαφορά μεταξύ πρώτης και τελευταίας άφιξης.

Πίνακας 4 : IMO test 7 αποτελέσματα χρόνων άφιξης για κάθε λειτουργία.

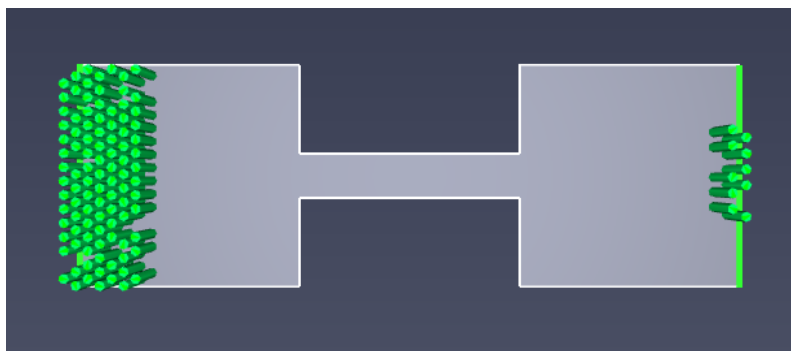
Mode	First Arrival	Last Arrival
Steering	31,2 s	52,9 s
SFPE + Steering	31,2 s	52,9 s
SFPE	30,7 s	51,7 s

IMO TEST 8 (Counterflow):

Σκοπός του τεστ αποτελεί η απόδειξη ότι η αντίθετη ροή ατόμων (counterflow) επιβραδύνει τη διαδικασία της εκκένωσης. Στο συγκεκριμένο τεστ ζητείται από τον IMO να κατασκευαστούν 2 δωμάτια με διαστάσεις 10x10 τα οποία συνδέονται μέσω ενός διαδρόμου μήκους 10 μέτρων και πλάτους 2 μέτρων και να τοποθετηθούν στο ένα δωμάτιο 100 άνδρες της ηλικιακής ομάδας 30-50 ετών. Αρχικά ζητείται να μετρηθεί ο χρόνος που το τελευταίο άτομο εξέρχεται από το δεύτερο δωμάτιο. Ακολούθως, σύμφωνα με τον IMO πρέπει να συγκρίνουμε το παραπάνω αποτέλεσμα με τον χρόνο που θα προκύψει αν στο δεύτερο δωμάτιο προσθέσουμε 10,50 και 100 άτομα τα οποία κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Το αποτέλεσμα που θεωρείται φυσιολογικό είναι ο χρόνος να αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση των ατόμων που κινούνται αντίθετα. Οι χώροι και τα σενάρια που κατασκευάστηκαν φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



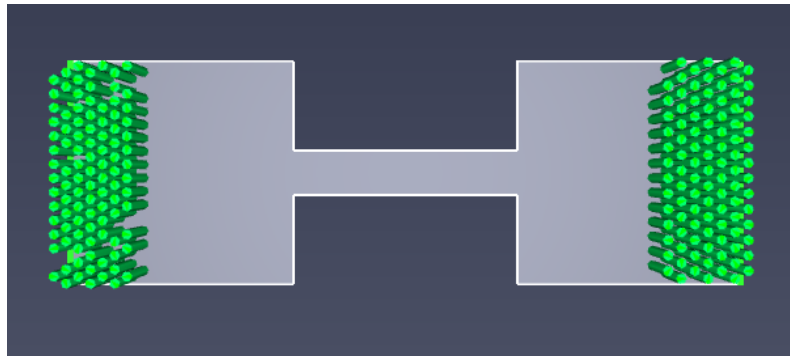
Εικόνα 17 : IMO test 8 χωρίς counterflow



Εικόνα 18 : IMO test 8 με αντίθετη κίνηση 10 ατόμων

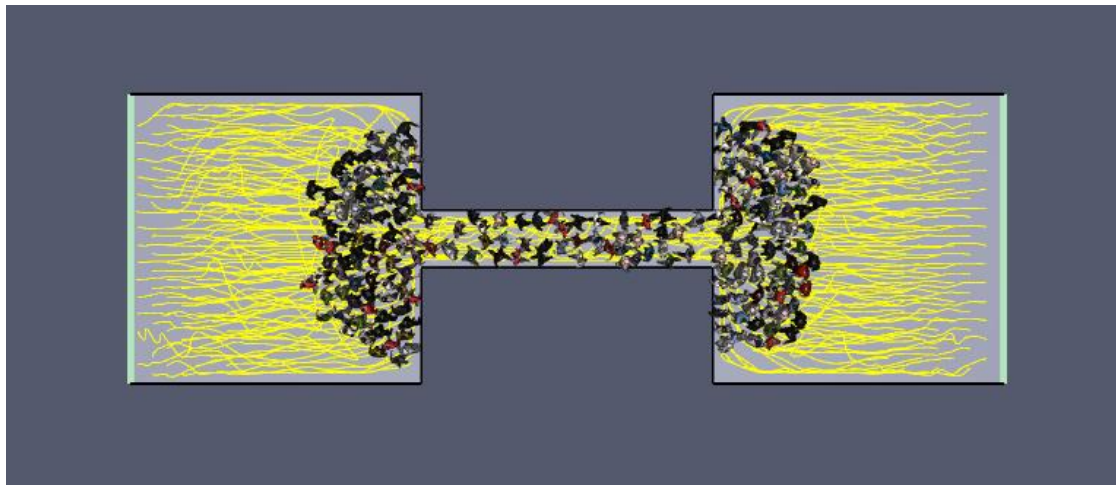


Εικόνα 19 : IMO test 8 με αντίθετη κίνηση 50 ατόμων

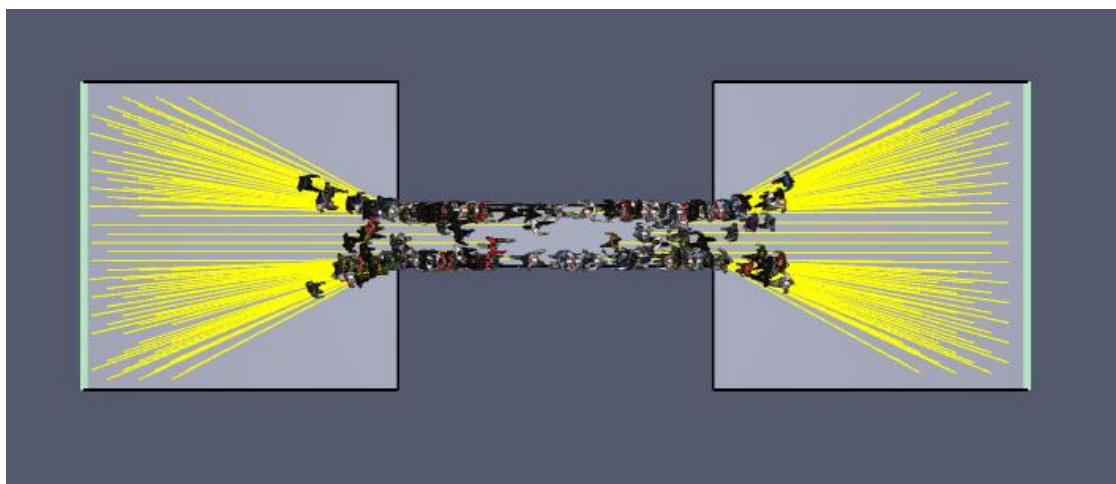


Εικόνα 20 : IMO test 8 με αντίθετη κίνηση 100 ατόμων

Ακολούθως είναι πολύ σημαντικό να αναδείξουμε τις πορείες των ατόμων ανάλογα με τη λειτουργία προσομοίωσης που χρησιμοποιούμε. Η διαφορά μπορεί να φανεί μέσω στιγμιότυπων από το Pathfinder VR Results.



Εικόνα 21 : Counterflow σε λειτουργία Steering



Εικόνα 22 : Counterflow σε λειτουργία SFPE

Παρατηρούμε ότι στη λειτουργία Steering (επάνω εικόνα) τα άτομα θα συνωστιστούν προκειμένου να διασχίσουν το διάδρομο, με τελικό χρόνο εξόδου όλων των ατόμων τα 258s. Αντίθετα με ενεργοποιημένη την SFPE παρατηρείται ότι τα άτομα θα

επιλέξουν την ελάχιστη διαδρομή κατά τη μετακίνησή τους, όπως φαίνεται και από το ίχνος που αφήνουν κατά την κίνησή τους (occupant path). Ακόμη, τα άτομα διεισδύουν μεταξύ τους για την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής προς την έξοδο και ο χρόνος εξόδου αυτών είναι 32s ,συγκριτικά μικρότερος από ότι στη λειτουργία Steering. Με βάση τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι η ρύθμιση Steering αποτελεί την πιο κατάλληλη για τη μελέτη της κίνησης των επιβατών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις εξέτασης πυκνότητας επιβατών στο χώρο.

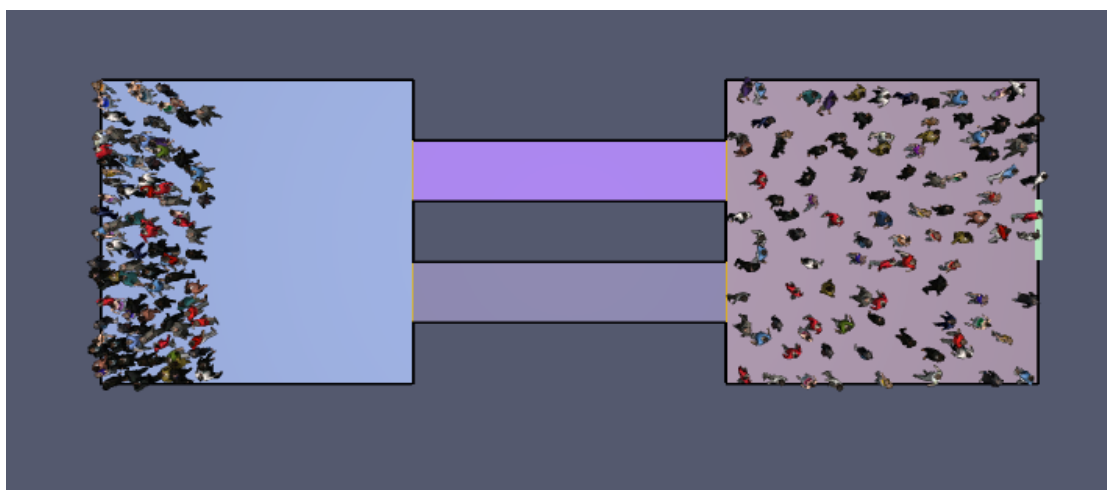
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο χρόνος που χρειάστηκαν οι occupants να εκκενώσουν το δωμάτιο αναλόγως την εξεταζόμενη περίπτωση αλλά και την λειτουργία που χρησιμοποιήθηκε. Στις στήλες «πρώτος» και «τελευταίος» σημειώνονται οι χρόνοι εκκένωσης του πρώτου και του τελευταίου ατόμου οι οποίοι ξεκίνησαν από το αριστερά δωμάτιο.

Πίνακας 5 : Χρόνος εκκένωσης πρώτου και τελευταίου ατόμου για κάθε σενάριο και λειτουργία

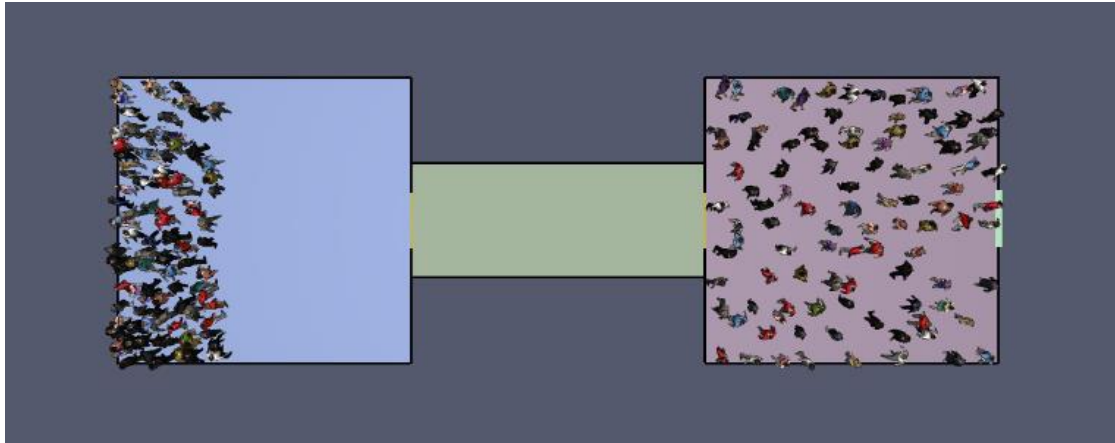
MODE	Αριθμός ατόμων στη δεξιά πλευρά							
	0		10		50		100	
	Πρώτος	Τελευταίος	Πρώτος	Τελευταίος	Πρώτος	Τελευταίος	Πρώτος	Τελευταίος
Steering	17,8 s	69,8 s	19,7 s	83,7 s	22,0 s	160,9 s	25,4 s	258,4 s
SFPE + Steering	17,8 s	69,8 s	19,7 s	83,7 s	22,0 s	160,9 s	25,4 s	258,4 s
SFPE	16,9 s	29,5 s	16,9 s	29,5 s	17,6 s	30,3 s	19,0 s	31,9 s

Παραλλαγή IMO test 8

Στη συνέχεια παρατηρήσαμε πως ο κυριότερος λόγος καθυστέρησης της μετάβασης των ατόμων στο δεξί δωμάτιο ήταν ο μεγάλος συνωστισμός που παρατηρείται στον διάδρομο που συνδέει τα δύο δωμάτια. Έτσι προκειμένου να βελτιωθεί το αποτέλεσμα του τεστ στην τρίτη περίπτωση (με 100 άτομα προς την αντίθετη κατεύθυνση) σκεφτήκαμε είτε να διπλασιάσουμε τους διαθέσιμους διαδρόμους, είτε να διπλασιάσουμε το πλάτος του υπάρχοντος διαδρόμου όπως φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες:

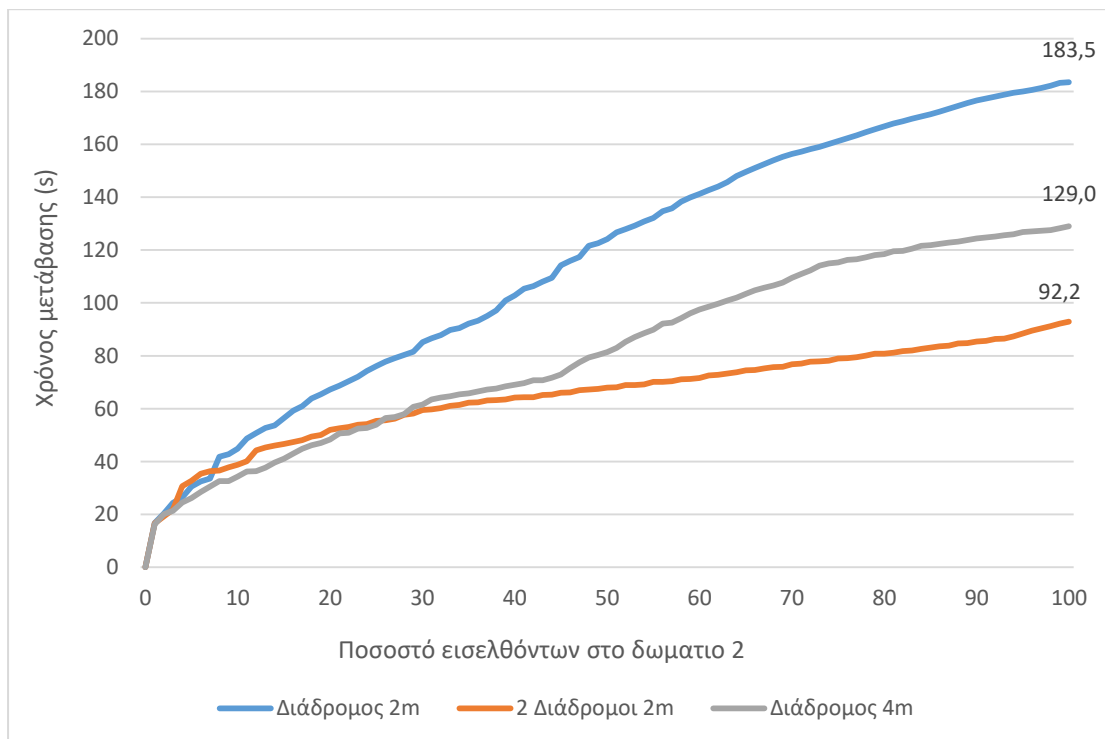


Εικόνα 23 : Παραλλαγή IMO test 8 με δύο διαθέσιμους διαδρόμους



Εικόνα 24 : Παραλλαγή IMO test 8 με διάδρομο διπλάσιου πλάτους

Στη συνέχεια εκτελέσαμε στο pathfinder τις δύο αυτές πιθανές βελτιώσεις και τις συγκρίναμε μεταξύ τους καθώς και με την Τρίτη περίπτωση του IMO test 8 μέσω της αθροιστικής συχνότητας μετάβασης των ατόμων του δωματίου 1 στο δωμάτιο 2. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:

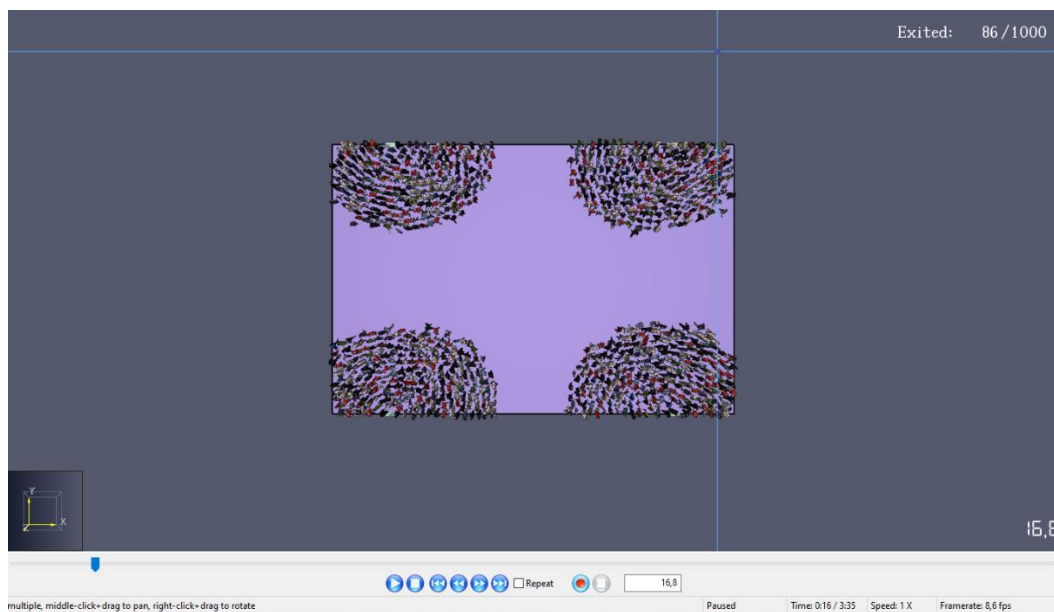


Διάγραμμα 7 : Αθροιστική συχνότητα χρόνου μετάβασης βελτιώσεων IMO test 8

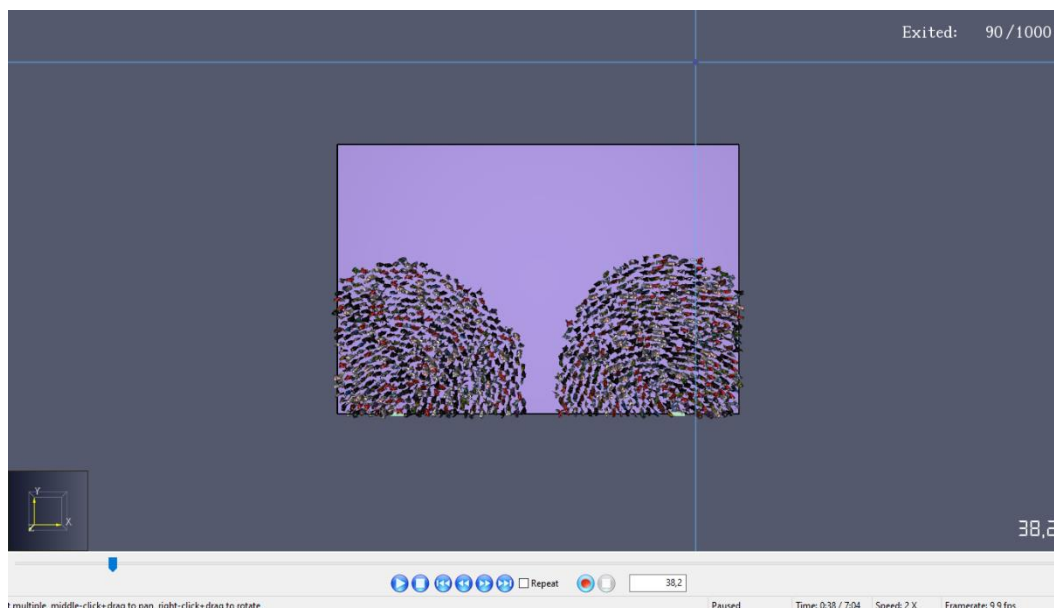
Παρατηρούμε λοιπόν ότι διπλασιάζοντας τους διαθέσιμους διαδρόμους μετάβασης από το ένα δωμάτιο στο άλλο επιτυγχάνουμε να μειώσουμε σχεδόν κατά 50% τον χρόνο εκκένωσης σε σχέση με την αρχική μας υπόθεση αποτέλεσμα αρκετά αναμενόμενο. Επιπρόσθετα, η μέθοδος αυτή οδηγεί σε περίπου 29% γρηγορότερη εκκένωση σε σχέση με την υπόθεση της ύπαρξης ενός και μόνο διαδρόμου αλλά με διπλάσιο πλάτος, καθώς παρατηρείται αισθητά μικρότερος συνωστισμός στις πόρτες εισόδου και εξόδου του διαδρόμου.

IMO TEST 9 (Sensitivity to Available Doors):

Στο ένατο τεστ του IMO έχουμε έναν μεγάλο χώρο διαστάσεων (30x20) και τον γεμίζουμε με 1000 άτομα της ηλικιακής ομάδας 30-50 ετών. Έπειτα συγκρίνουμε 2 περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση αφήνουμε ανοιχτές 4 πόρτες (2 στην πάνω και 2 στην κάτω πλευρά του δωματίου από τις οποίες μπορεί να εκκενωθεί ο χώρος και στην δεύτερη περίπτωση αφήνουμε μόνο 2 ανοιχτές εξόδους στην κάτω πλευρά. Κατόπιν μετράμε τον χρόνο εκκένωσης και στις 2 περιπτώσεις αναμένοντας πως στο πρώτο σενάριο ο χρόνος θα είναι μικρότερος αφού θα υπάρχει μικρότερος συνωστισμός λόγω των περισσότερων διαθέσιμων εξόδων. Αυτός είναι και ο σκοπός του ένατου τεστ.



Εικόνα 25 : IMO test 9 (1η περίπτωση) στο Pathfinder VR Results (στιγμή 16,8s)



Εικόνα 26 : IMO test 9 (2η περίπτωση) στο Pathfinder VR Results (στιγμή 38,2s)

Όπως φαίνεται στις παραπάνω εικόνες για την λειτουργία steering, λάβαμε το αναμενόμενο αποτέλεσμα αφού όταν έχουμε ανοιχτές 4 πόρτες ο χρόνος εκκένωσης μετρήθηκε στα 3 λεπτά και 35 δευτερόλεπτα, ενώ όταν έχουμε ανοιχτές μόλις 2 πόρτες ο χώρος εκκενώνεται σε λίγο περισσότερο από 7 λεπτά. Επομένως, και αυτή η δοκιμή είναι επιτυχής.

Το αποτέλεσμα αυτό δικαιολογείται και από τον δείκτη ροής εξόδου (exit flow rate) για κάθε πόρτα που μας δίνει το pathfinder όταν εκτελούμε τις προσομοιώσεις. Πιο συγκεκριμένα, τα στατιστικά για τον μέσο δείκτη ροής εξόδου (FR) και τον χρόνο εκκένωσης σε κάθε μία περίπτωση παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6 : IMO test 9 χρόνος εκκένωσης και μέσο flow rate για κάθε λειτουργία και περίπτωση

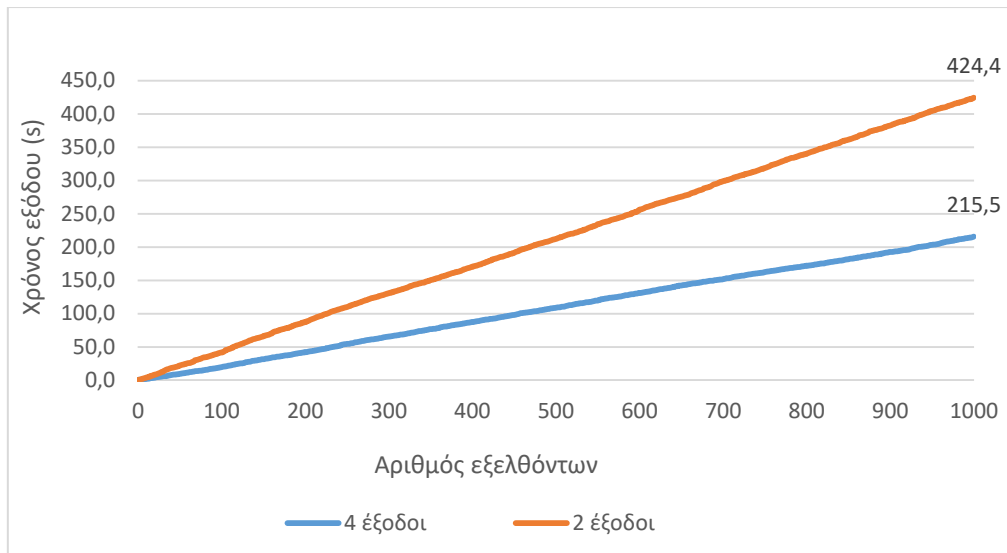
Mode	2 doors time (s)	2 doors FR (p/s)	4 doors time (s)	4 doors FR (p/s)
Steering	424,4	1,185	215,5	1,170
SFPE + Steering	602,6	0,84	307,2	0,828
SFPE	550,0	0,92	278,4	0,925

Επιπρόσθετα στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το exit flow rate για κάθε πόρτα ξεχωριστά για όλες τις περιπτώσεις:

Πίνακας 7: IMO test 9 χρόνος εκκένωσης και μέσο flow rate για κάθε λειτουργία και περίπτωση

Mode	Door 1	Door 2	Door 3	Door 4
Steering 2 doors	-	-	1,17	1,20
SFPE + Steering 2 doors	-	-	0,84	0,84
SFPE 2 doors	-	-	0,92	0,92
Steering 4 doors	1,18	1,17	1,17	1,16
SFPE + Steering 4 doors	0,82	0,84	0,82	0,83
SFPE 4 doors	0,92	0,92	0,92	0,94

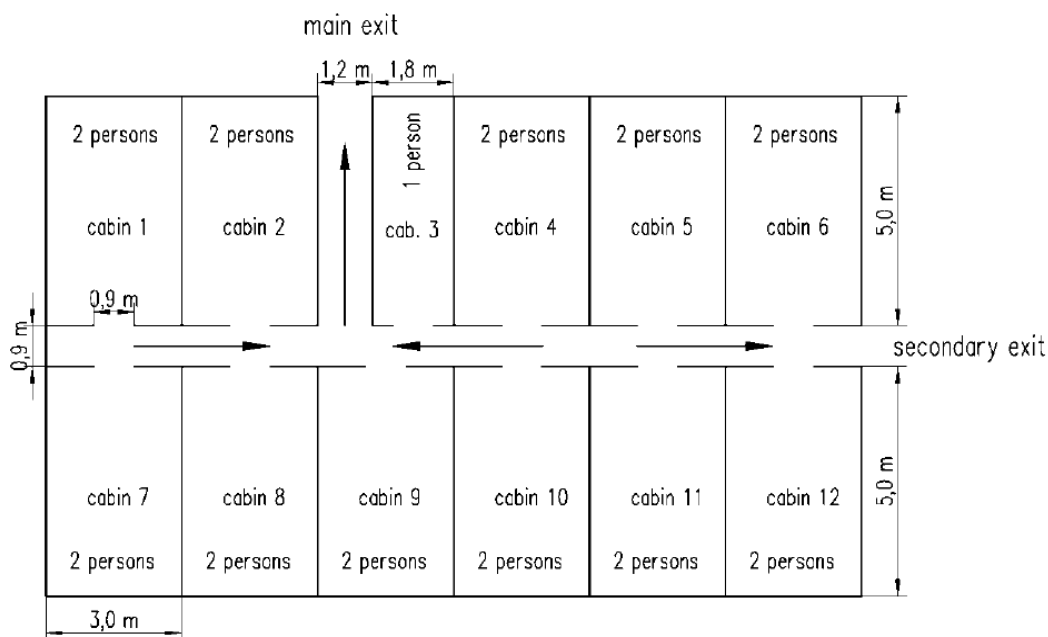
Το γεγονός ότι ο μέσος όρος του exit flow rate και στις δυο προσομοιώσεις είναι σχεδόν ίσος οδηγεί στο αποτέλεσμα ότι στην πρώτη περίπτωση (σε λειτουργία Steering) εξέρχονται από το δωμάτιο 4,68 άτομα ανά δευτερόλεπτο ενώ στην δεύτερη περίπτωση 2,37 άτομα ανά δευτερόλεπτο κάνοντας τον χρόνο εκκένωσης του χώρου σχεδόν διπλάσιο, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας που φτιάχτηκε με βάση τα στατιστικά του pathfinder.



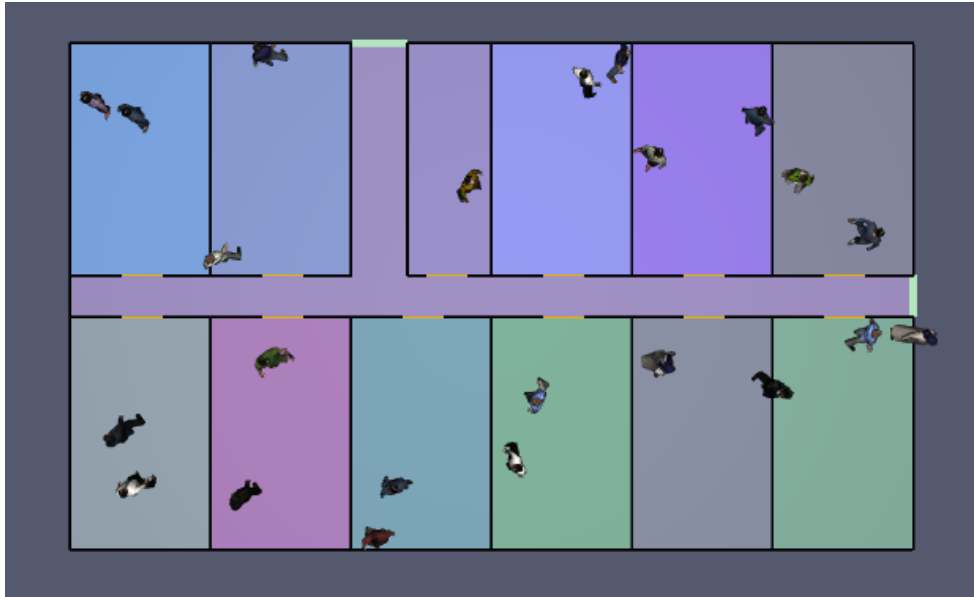
Διάγραμμα 8 : IMO test 9 αθροιστική συχνότητα χρόνου εκκένωσης

IMO TEST 10 (Exit Assignments):

Σκοπός του συγκεκριμένου τεστ αποτελεί η επιλογή της κοντινότερης εξόδου από όλα τα άτομα. Σύμφωνα με τον IMO ζητείται να κατασκευαστεί ένας διάδρομος με 12 καμπίνες και δύο εξόδους όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ο πληθυσμός σε αυτές τις καμπίνες είναι 23 άνδρες της ηλικιακής ομάδας 30-50 ετών με ταχύτητες που ορίζονται από ομοιόμορφη κατανομή και για να θεωρηθεί απολύτως επιτυχημένο το τεστ πρέπει οι άνθρωποι στις καμπίνες 1,2,3,4,7,8,9,10 να εξέλθουν από την κύρια έξοδο (main exit) ενώ οι υπόλοιποι από την δευτερεύουσα έξοδο (secondary exit).



Εικόνα 27 : IMO test 10 γεωμετρία χώρου

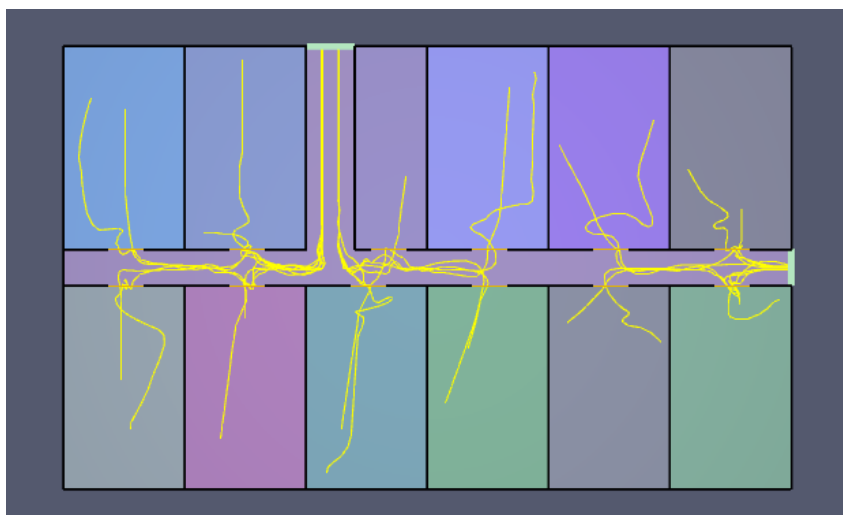


Εικόνα 28 : IMO test 10 στο Pathfinder VR Results

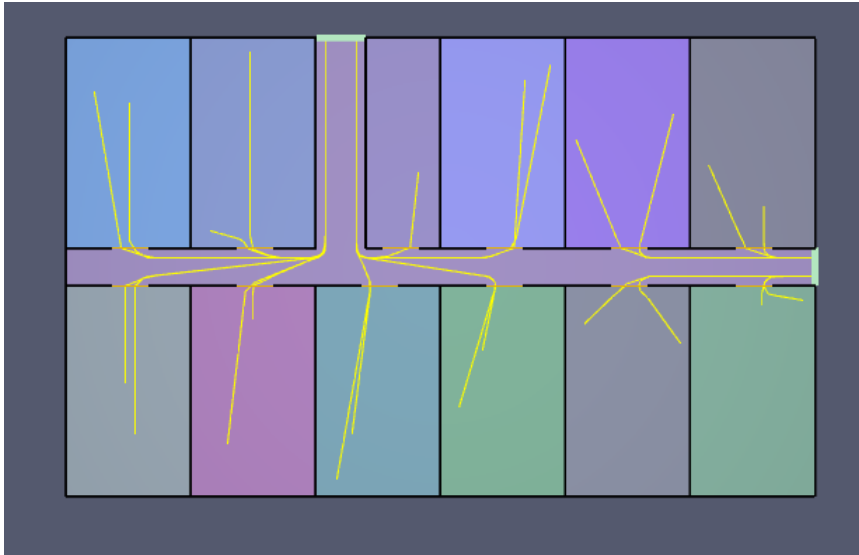
Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό από τα παρακάτω στιγμιότυπα από το περιβάλλον του pathfinder VR που απεικονίζουν τις τροχιές των ανθρώπων (occupant paths) σε λειτουργία steering (πάνω) και SFPE (κάτω), η δευτερεύουσα έξοδος επιλέχθηκε μόνο από τους άνδρες που βρίσκονται στις τέσσερις δεξιά καμπίνες ενώ όλοι οι υπόλοιποι εκκένωσαν τον χώρο μέσω της κύριας εξόδου. Συνεπώς το τεστ θεωρείται επιτυχημένο. Τα αποτελέσματα για τον χρόνο εκκένωσης του χώρου παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8 : Χρόνος εκκένωσης τελευταίου ατόμου για κάθε έξοδο και λειτουργία

Walking mode	Χρόνος Τελευταίου Main Exit (s)	Χρόνος Τελευταίου Secondary Exit (s)
Steering	19,6	12,4
SFPE	18,6	10,4



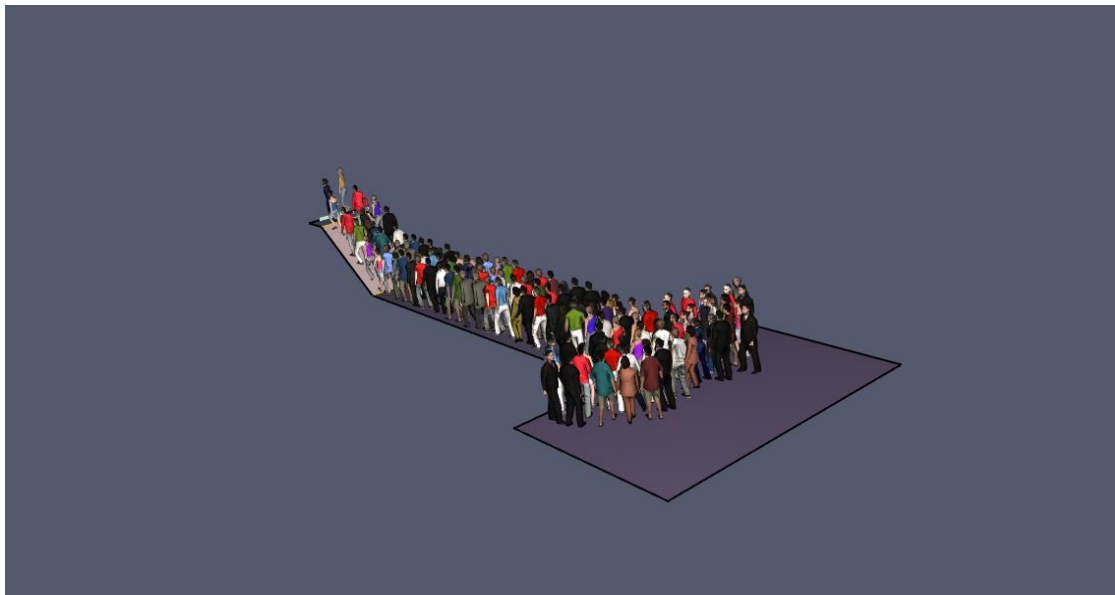
Εικόνα 29 : IMO test 10 τροχιές των ανθρώπων (occupant paths) σε λειτουργία steering



Εικόνα 30 : IMO test 10 τροχιές των ανθρώπων (occupant paths) σε λειτουργία SFPE

IMO TEST 11 (Congestion):

Σκοπός του συγκεκριμένου τεστ είναι να δείξουμε τη δημιουργία συνωστισμού στη βάση μίας σκάλας ενός πολυπληθούς δωματίου και πως αυτός επιβραδύνει την διαδικασία της εκκένωσης. Στο τεστ είναι απαραίτητο να κατασκευαστεί ένα δωμάτιο με διαστάσεις (8x5) το οποίο συνδέεται μέσω ενός διαδρόμου μήκους 12 μέτρων και πλάτους 2 μέτρων με μία σκάλα. Στο δωμάτιο τοποθετούνται 150 άτομα της ηλικιακής ομάδας 30-50 ετών και το αναμενόμενο αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθεί συνωστισμός στην έξοδο του δωματίου καθώς και στην βάση της σκάλας.



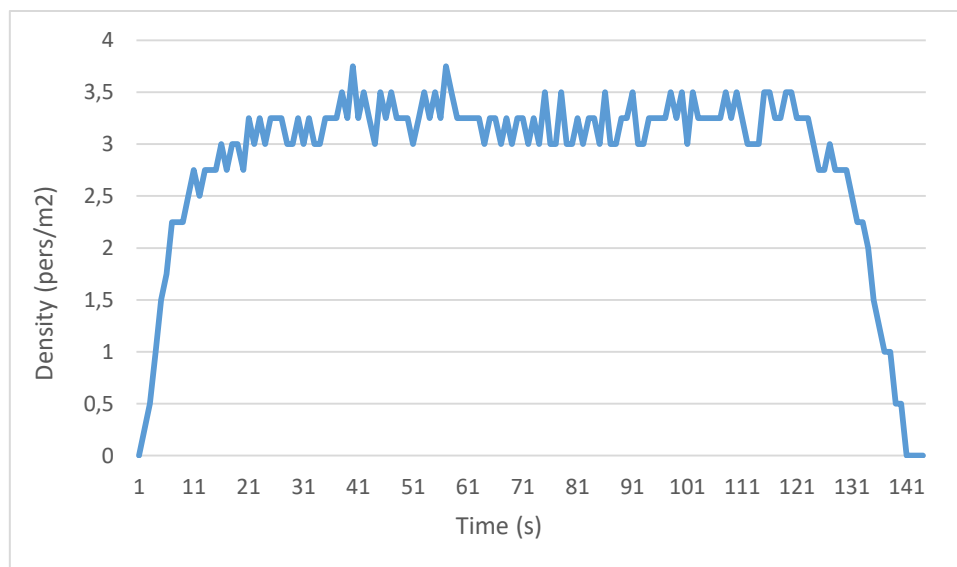
Εικόνα 31 : IMO test 11 στο Pathfinder VR Results

Ένας ακριβής ορισμός για τον συνωστισμό δίνεται στο κεφάλαιο 3.7 του “International Maritime Organization 2007”. Συνωστισμός λοιπόν υπάρχει είτε όταν

υπάρχει πυκνότητα ατόμων τουλάχιστον $3,5$ άτομα/ m^2 ή όταν υπάρχει δημιουργία ουράς με ρυθμό $1,5$ άτομα/δευτερόλεπτο.

Επομένως εφόσον τοποθετούμε στο αρχικό δωμάτιο 150 ανθρώπους και η επιφάνεια του είναι $40m^2$, τότε αυτό μπορεί να θεωρηθεί συνωστισμένο.

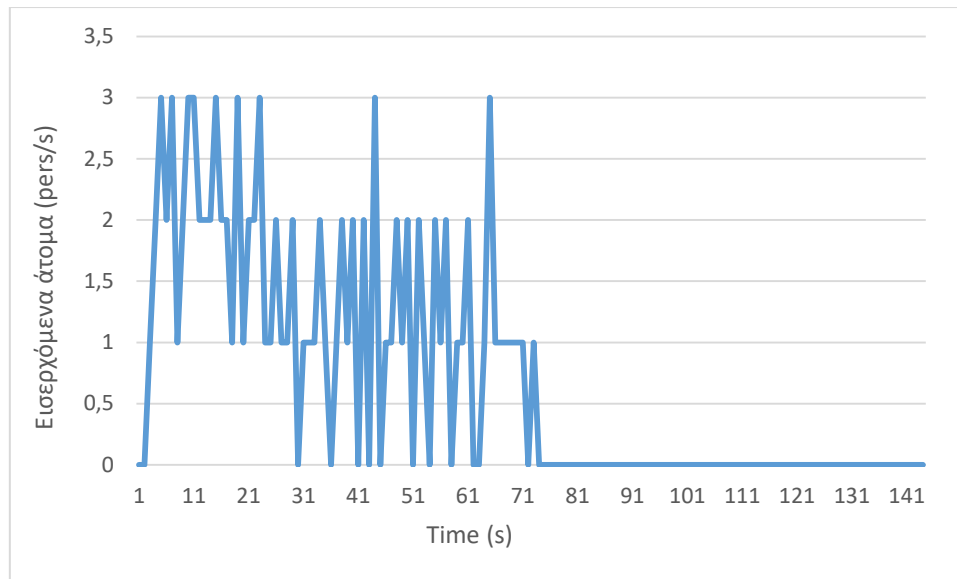
Για να ελέγξουμε αν υπάρχει συνωστισμός στη βάση της σκάλας θα θεωρήσουμε ένα τετράγωνο 2×2 ως τη βάση της σκάλας και μέσω των αποτελεσμάτων του pathfinder (doors.csv) θα υπολογίσουμε την πυκνότητα των ατόμων σε αυτό το τετράγωνο. Τα αποτελέσματα δίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 9 : IMO test 11 πυκνότητα ατόμων στη βάση της σκάλας

Παρατηρούμε ότι η πυκνότητα των ατόμων στη βάση της σκάλας είναι αρκετά μεγάλη στο μεγαλύτερο μέρος της προσομοίωσης ωστόσο μόνο σε 2 χρονικά σημεία μπορεί να θεωρηθεί συνωστισμένη όταν η τιμή της πυκνότητας ξεπερνά τα $3,5$ άτομα/ m^2 . Τα αποτελέσματα αυτά είναι παρόμοια για τις λειτουργίες steering και SFPE.

Αντίστοιχα για να ελέγξουμε τον συνωστισμό στην είσοδο του διαδρόμου χρησιμοποιήσαμε τα αποτελέσματα του προγράμματος και ειδικότερα μετρήσαμε το πόσα άτομα εισέρχονται στον διάδρομο κάθε δευτερόλεπτο με αποτέλεσμα την δημιουργία ουράς. Με βάση λοιπόν το παρακάτω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι η είσοδος του διαδρόμου είναι συνωστισμένη έως περίπου τα 60 πρώτα δευτερόλεπτα της προσομοίωσης αφού ο μέσος ρυθμός δημιουργίας ουράς στον διάδρομο είναι περίπου $1,5$ άτομο/δευτερόλεπτο.



Διάγραμμα 10 : IMO test 11 δημιουργία ουράς στην είσοδο του διαδρόμου

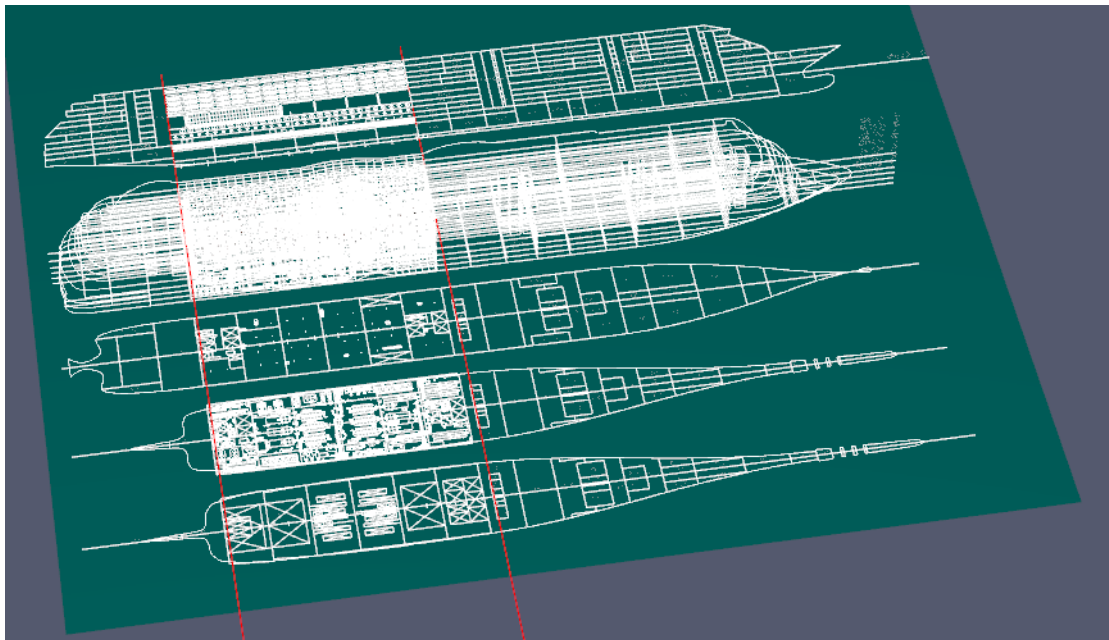
4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ

4.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

4.1.1. Εισαγωγή γεωμετρίας και επεξεργασία

Για τη δημιουργία του μοντέλου στο Pathfinder, ώστε να γίνουν οι προσομοιώσεις της εκκένωσης χρειάζεται πρώτα να εισάγουμε στο πρόγραμμα, το σχέδιο πάνω στο οποίο θα κατασκευάσουμε τα δωμάτια, τις εξόδους και γενικότερα όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που είναι αναγκαία για τη διαδικασία. Το Pathfinder δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής εικόνων και CAD. Τα εισαγόμενα αρχεία (κυρίως τα σχεδιαστικά) μπορούν να αποτελέσουν πολύ χρήσιμα εργαλεία για την κατασκευή της επιθυμητής γεωμετρίας για την μοντελοποίηση των σεναρίων εκκένωσης. Αυτό συμβαίνει διότι η κατασκευή πολύπλοκων γεωμετριών και στη συγκεκριμένη περίπτωση καταστρωμάτων είναι πολύ ευκολότερη και γρηγορότερη σε ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα (πχ AutoCAD) παρά σε ένα πρόγραμμα εκκένωσης όπως το pathfinder.

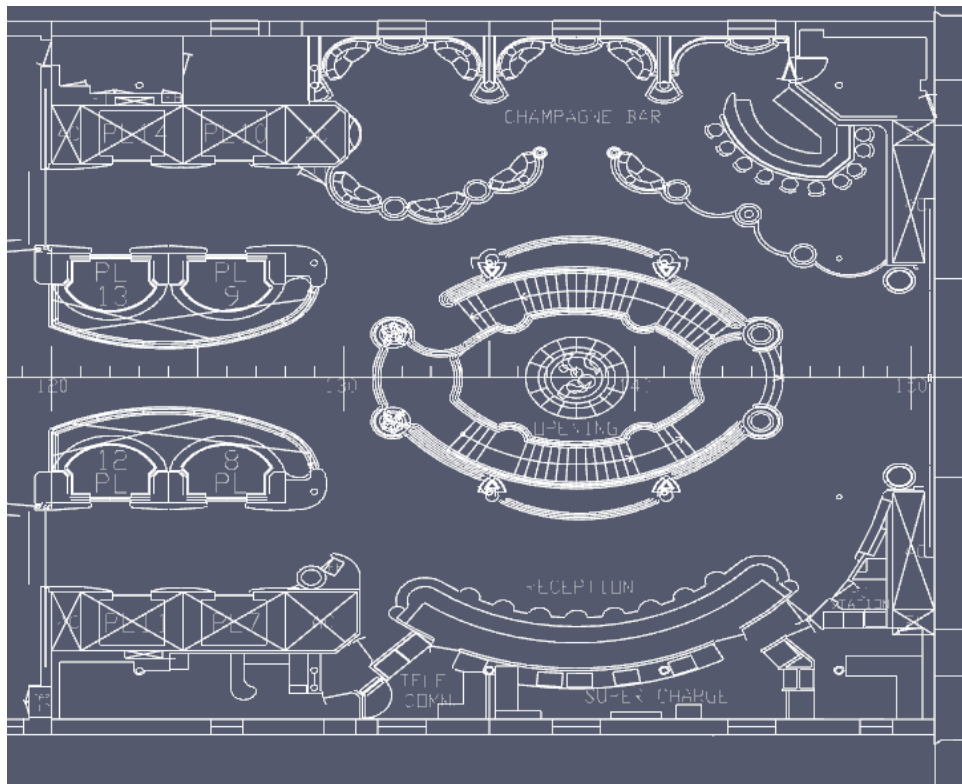
Το σχεδιαστικό αρχείο που εισήχθη στο pathfinder είναι μορφής .dwg και κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα AutoCAD της εταιρίας Autodesk. Αποτελείται από ένα σύνολο κατόψεων καταστρωμάτων σε δύο διαστάσεις και με την εισαγωγή του στο πρόγραμμα Pathfinder επιτυγχάνεται η μετατροπή του σε τρισδιάστατο μοντέλο μετακινώντας το κάθε κατάστρωμα με κατάλληλο τρόπο όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 32 : Εισαγωγή σχεδίου και επεξεργασία

Συνεχίζοντας και χρησιμοποιώντας το παραπάνω σχέδιο σαν «σκελετό» δημιουργούμε όλα τα δωμάτια των καταστρωμάτων με την εντολή «extract room from imported geometry». Η εντολή αυτή χρησιμοποιείται ώστε να κατασκευαστούν

τα δωμάτια όπως ακριβώς ήταν και στο σχέδιο του AutoCAD και να μην υπάρχει πρόβλημα σε όσα έχουν πολύπλοκη γεωμετρία.



Εικόνα 33 : Αποτελέσματα εξαγωγής Room από 2D γεωμετρία

4.1.2. Χαρακτηριστικά χώρου

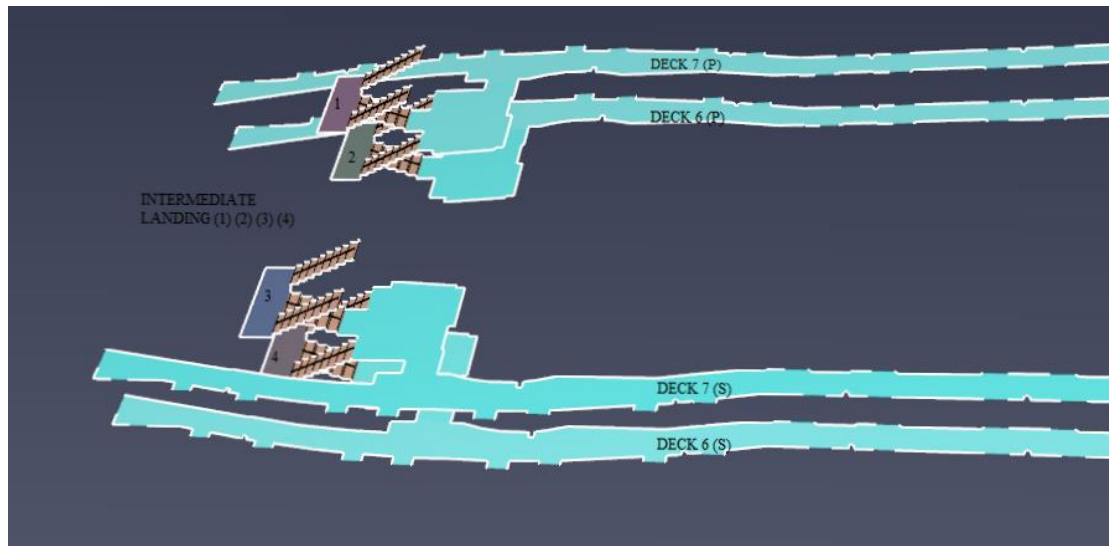
Έτσι λοιπόν έχουμε κατασκευάσει τη μορφή του επιβατηγού με βάση το οποίο θα μοντελοποιήσουμε τα σενάρια εκκένωσης που θα μελετηθούν. Όπως είναι αναμενόμενο τα καταστρώματα στα οποία θα δοθεί περισσότερη προσοχή είναι αυτά που περιλαμβάνουν επιβάτες και χώρους ενδιαίτησης. Τα καταστρώματα αυτά είναι τα 6,7,8,9 τα οποία έχουν τις εξής διαστάσεις:

- συνολικό μήκος 87 m ,
- πλάτος, 32 m και
- εμβαδόν 2872 m²

Ακόμη για όλες τις περιπτώσεις ανάλυσης, το καθαρό ύψος των καταστρωμάτων είναι :

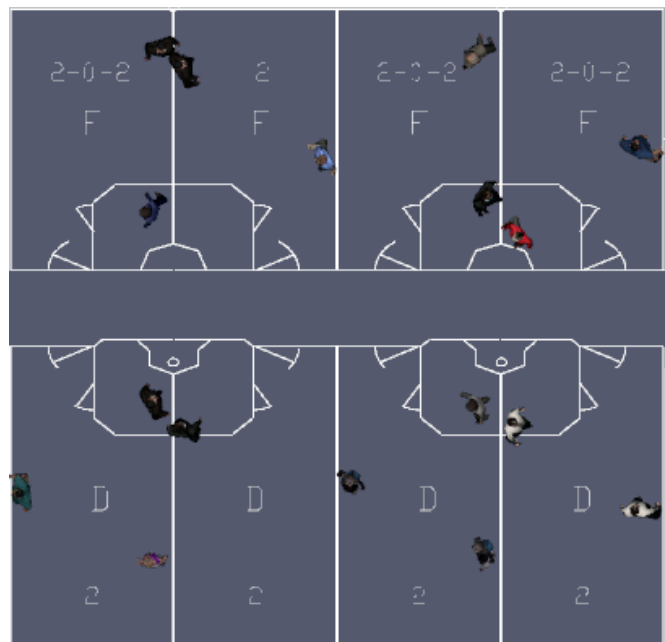
- 2,7 m για το Deck 6
- 2,7 m για το Deck 7
- 3.35 m για το Deck 8
- 2,7 m για το Deck 9

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η διάρθρωση των καταστρωμάτων ενδιαιτήσεων που μας ενδιαφέρουν. Κάθε ένα από αυτά περιλαμβάνει δύο μεγάλους διαδρόμους, έναν στην port (p) και έναν στην starboard (s) πλευρά οι οποίοι ικανοποιούν σε πλάτος τον διεθνή κώδικα πυρασφάλειας καθώς είναι λίγο μεγαλύτεροι από ένα μέτρο. Τα καταστρώματα αυτά συνδέονται μέσω ενός κλιμακοστασίου τύπου Υ που διαθέτει ενδιάμεσα έναν μικρό χώρο (intermediate landing).



Εικόνα 34 : Μορφή κλιμακοστασίου

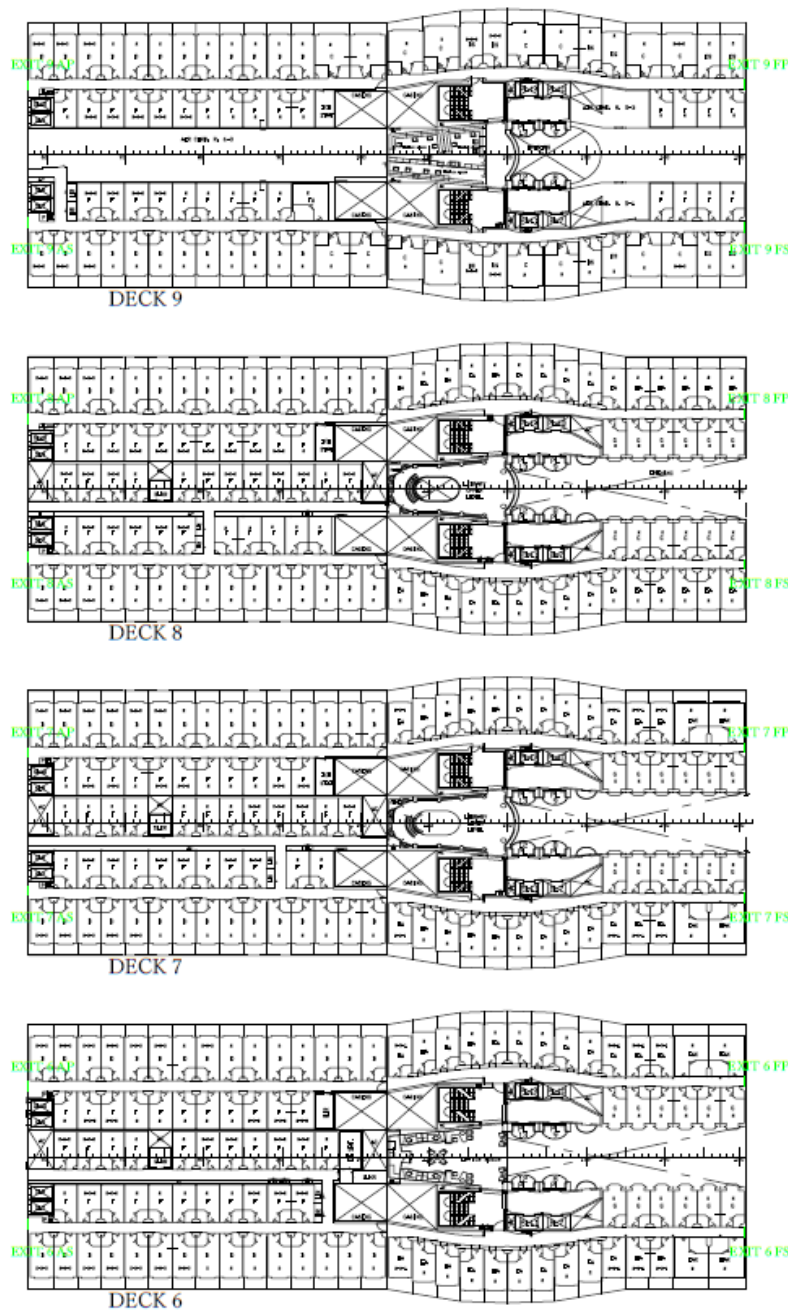
Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η μορφή των καμπινών που υπάρχουν στα παραπάνω καταστρώματα. Οι καμπίνες του σχεδίου μας είναι είτε δίκλινες ($12m^2$) είτε τετράκλινες ($20m^2$)



Εικόνα 35 : Τυπικές μορφές καμπινών

4.1.3. Τοποθεσίες εξόδων

Στις παρακάτω κατόψεις των καταστρωμάτων 6,7,8,9 αναγράφονται οι διαθέσιμες εξοδοί των επιβατών προς τα muster stations του επιβατηγού. Όπως είναι φανερό κάθε κατάστρωμα διαθέτει τέσσερις εξόδους, δύο στο μπροστινό (F) και δύο στο πίσω μέρος (A) εκ των οποίων η μία βρίσκεται στην port (P) και μία στην starboard (S) πλευρά. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι μόλις ένας επιβάτης εξέλθει από μία από τις διαθέσιμες εξόδους θεωρείται ασφαλής και η διαδικασία προσομοίωσης ολοκληρώνεται για αυτόν.



Εικόνα 36 : τοποθεσία εξόδων για κάθε κατάστρωμα

4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ

4.2.1. Εκκένωση ενός καταστρώματος επιβατών

Αρχικά χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Pathfinder, με βάση το οποίο έχουν μοντελοποιηθεί όλα τα IMO tests, και εφαρμόζοντας την λειτουργία Steering θα γίνει ανάλυση της εκκένωσης του καταστρώματος 6 (deck 6) σε δύο περιπτώσεις

- A) Με διαθέσιμες και τις 4 εξόδους
- B) Με διαθέσιμες 2 εξόδους

Τα βασικά χαρακτηριστικά του καταστρώματος 6 είναι τα εξής:

Καμπίνες δύο ατόμων : 99

Καμπίνες τεσσάρων ατόμων : 4

Σύνολο ατόμων : 214

Πληρότητα : 100%

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι πληθυσμιακές κατηγορίες των επιβατών που χρησιμοποιούνται από το pathfinder καθώς και η μέγιστη και ελάχιστη ταχύτητα του σε επίπεδο έδαφος. Εδώ αξίζει να σημειώσουμε ότι η κατανομή των ταχυτήτων των επιβατών είναι ομοιόμορφη (uniform distribution), που σημαίνει ότι οι ταχύτητες των επιβατών που ανήκουν σε κάποια από τις παρακάτω κατηγορίες κατανομούνται ομοιόμορφα μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης ταχύτητας κάθε κατηγορίας.

Πίνακας 9 : Πληθυσμιακές κατηγορίες και ταχύτητες με βάση τον IMO

Κατηγορίες επιβατών	Ποσοστό (%)	Ελάχιστη Ταχύτητα (m/s)	Μέγιστη Ταχύτητα (m/s)
Females younger than 30 years	7	0,93	1,55
Females 30-50 years old	7	0,71	1,19
Females older than 50 years	16	0,56	0,94
Females older than 50, mobility impaired (1)	10	0,43	0,71
Females older than 50, mobility impaired (2)	10	0,37	0,61
Males younger than 30 years	7	1,11	1,85
Males 30-50 years old	7	0,97	1,62
Males older than 50 years	16	0,84	1,40
Males older than 50, mobility impaired (1)	10	0,64	1,06
Males older than 50, mobility impaired (2)	10	0,55	0,91
Κατηγορίες προσωπικού	Ποσοστό (%)	Ελάχιστη Ταχύτητα (m/s)	Μέγιστη Ταχύτητα (m/s)
Crew females	50	0,93	1,55
Crew males	50	1,11	1,85

Για τον υπολογισμό του χρόνου απόκρισης χρησιμοποιήσαμε τις οδηγίες του IMO ο οποίος χρησιμοποιεί δυο κατανομές για τον χρόνο απόκρισης, μια για τα σενάρια νύχτας και μια για τα σενάρια ημέρας (βασικά και εναλλακτικά). Οι κατανομές αυτές έχουν βασιστεί σε στοιχεία που προέκυψαν στα πλαίσια της σύνταξης της οδηγίας MSC/Circ.1033.

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι κατανομές της διάρκειας απόκρισης ακολουθούν τις παρακάτω λογαριθμικές κανονικές κατανομές ως εξής :

Για σενάρια νύχτας (night case) :

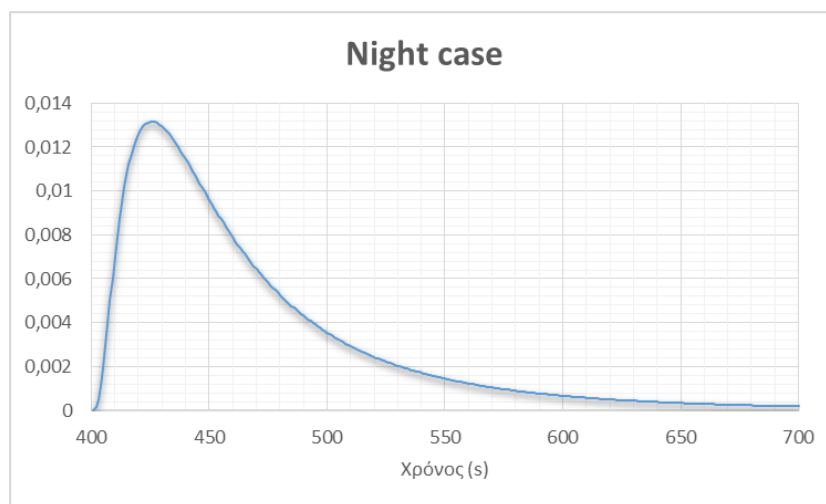
$$y = \frac{1.011875}{\sqrt{2\pi}0.84(x-400)} \exp\left[-\frac{(\ln(x-400)-3.95)^2}{2 \times 0.84^2}\right], \text{ με } 400 < x < 700 \quad (4.1)$$

Για σενάρια ημέρας :

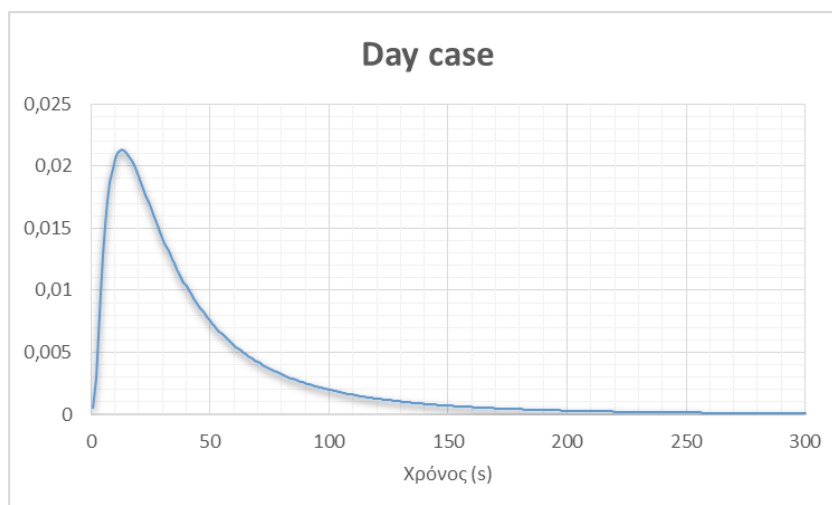
$$y = \frac{1.00808}{\sqrt{2\pi}0.94x} \exp\left[-\frac{(\ln(x)-3.44)^2}{2 \times 0.94^2}\right], \text{ με } 0 < x < 300 \quad (4.2)$$

όπου το x είναι η διάρκεια απόκρισης σε δευτερόλεπτα και το y είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της απόκρισης x .

Οι παραπάνω κατανομές απεικονίζονται σχηματικά στα παρακάτω γραφήματα:



Διάγραμμα 11 : Κατανομή της διάρκειας απόκρισης σε σενάρια νύχτας



Διάγραμμα 12 : Κατανομή της διάρκειας απόκρισης σε σενάρια ημέρας

A) Με διαθέσιμες 4 εξόδους

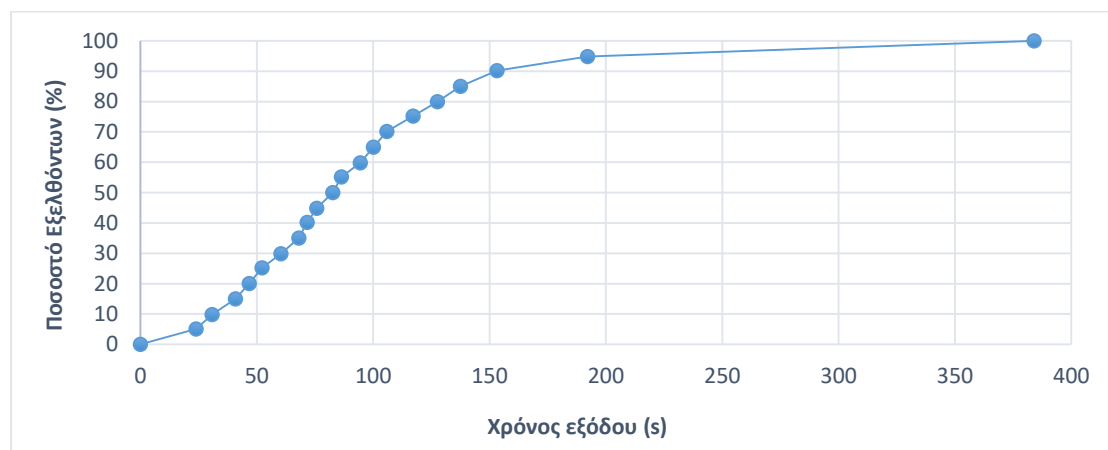
α) Σενάριο ημέρας

Τα αποτελέσματα του σεναρίου εκκένωσης ενός καταστρώματος επιβατών (deck 6) χρησιμοποιώντας τα παραπάνω πληθυσμιακά και κατασκευαστικά δεδομένα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 10 : Αποτελέσματα σεναρίου σε σενάριο ημέρας

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 6 AP	52	13,5	259,8	0,21
EXIT 6 AS	74	18,4	384,1	0,20
EXIT 6 FP	44	12,3	270,0	0,17
EXIT 6 FS	44	16,8	266,0	0,18

Το διάγραμμα της αθροιστικής συχνότητας εκκένωσης για την περίπτωση αυτή είναι:



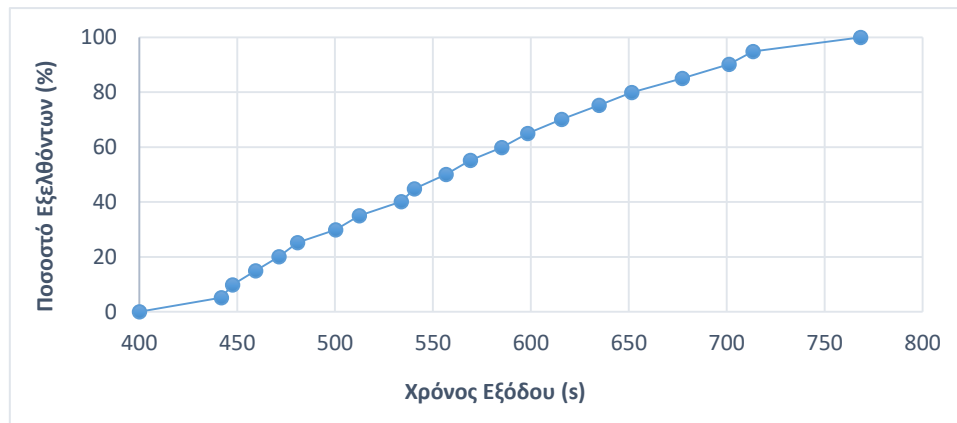
Διάγραμμα 13 : Αθροιστική Συχνότητα Εκκένωσης σε σενάριο ημέρας

β) Σενάριο νύχτας

Αντίστοιχα τα αποτελέσματα του σεναρίου εκκένωσης του ίδιου καταστρώματος επιβατών σε περίπτωση νύχτας και το διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας παρατίθενται παρακάτω:

Πίνακας 11 : Αποτελέσματα σεναρίου σε σενάριο νύχτας

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 6 AP	52	422,7	736,7	0,17
EXIT 6 AS	74	424,9	768,3	0,22
EXIT 6 FP	44	415,0	754,0	0,13
EXIT 6 FS	44	423,0	719,6	0,15



Διάγραμμα 14 : Αθροιστική Συχνότητα Εκκένωσης σε σενάριο νύχτας

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η καθυστέρηση η οποία παρατηρείται στο σενάριο νύχτας οφείλεται στην ταχύτητα απόκρισης των επιβατών σε συνθήκες νύχτας που κυμαίνεται ανάμεσα σε 400s και 700s και έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας που περιεγράφηκε παραπάνω.

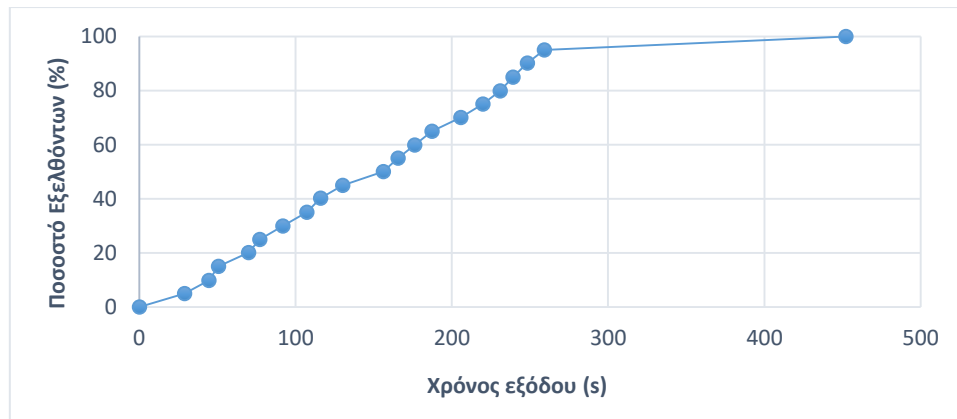
B) Με διαθέσιμες 2 εξόδους

α) Σενάριο ημέρας

Τα αποτελέσματα του σεναρίου εκκένωσης ενός καταστρώματος επιβατών (deck 6) χρησιμοποιώντας τα ίδια πληθυσμιακά και κατασκευαστικά δεδομένα αλλά μόνο 2 διαθέσιμες εξόδους (FP και FS) σε συνθήκες ημέρας και το διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας εκκένωσης είναι τα εξής:

Πίνακας 12 : Αποτελέσματα σεναρίου σε σενάριο ημέρας

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 6 AP	0	-	-	-
EXIT 6 AS	0	-	-	-
EXIT 6 FP	96	12,3	311,4	0,32
EXIT 6 FS	118	16,7	452,1	0,27



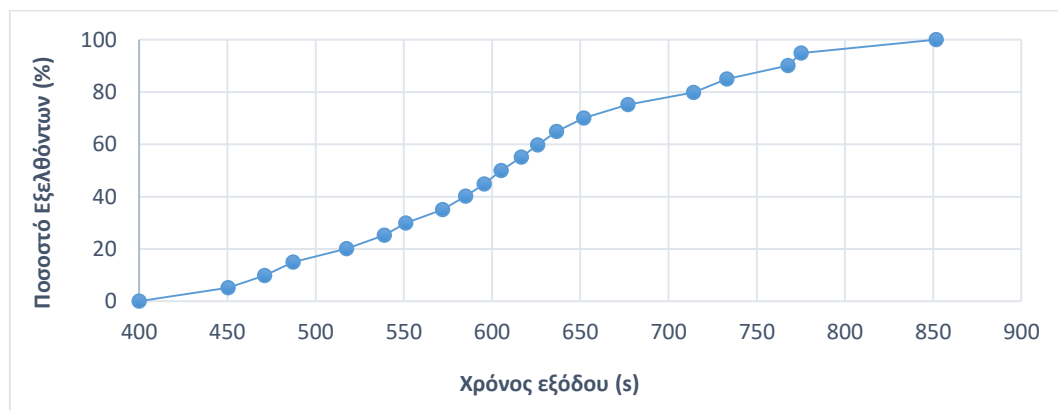
Διάγραμμα 15 : Αθροιστική Συχνότητα Εκκένωσης σε σενάριο ημέρας

β) Σενάριο νύχτας

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για την περίπτωση νύχτας είναι τα εξής:

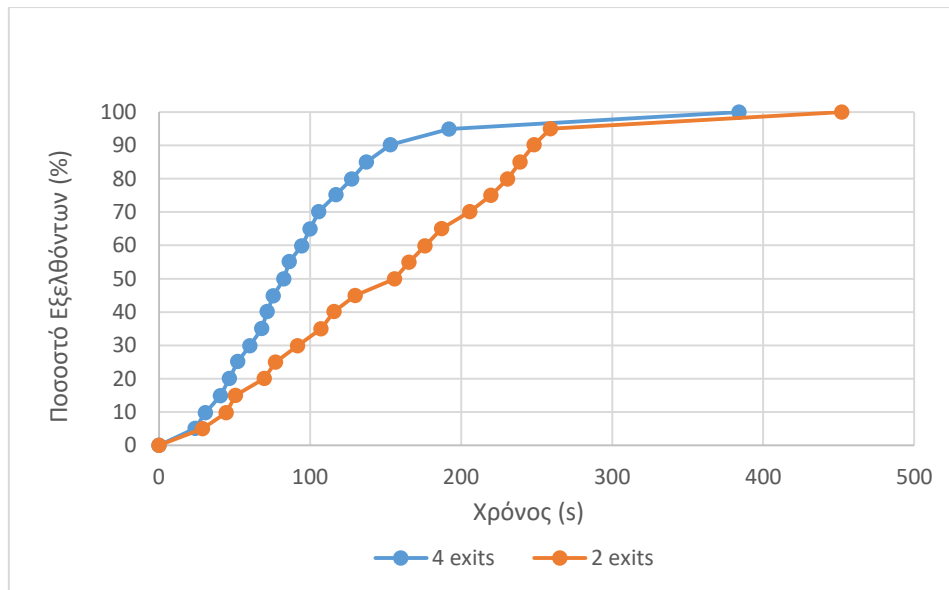
Πίνακας 13 : Αποτελέσματα σεναρίου σε σενάριο νύχτας

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 6 AP	0	-	-	-
EXIT 6 AS	0	-	-	-
EXIT 6 FP	96	417,3	851,7	0,22
EXIT 6 FS	118	423,0	839,1	0,28

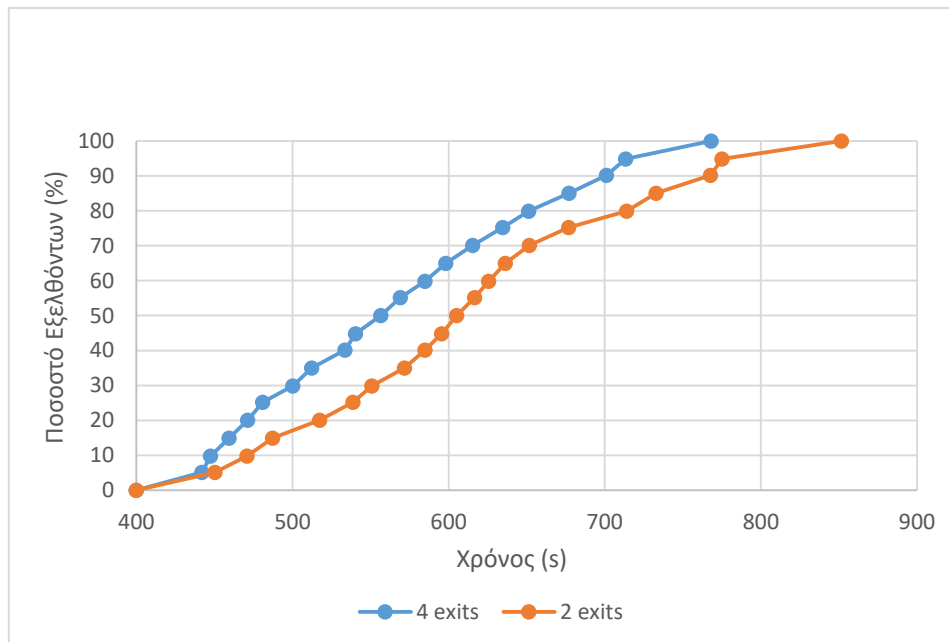


Διάγραμμα 16 : Αθροιστική Συχνότητα Εκκένωσης σε σενάριο νύχτας

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω πινάκων μπορούμε να συμπεράνουμε ότι για το σενάριο ημέρας η μείωση των διαθέσιμων εξόδων στο μισό αύξησε τον συνολικό χρόνο εκκένωσης από 384s σε 452s, ενώ για το σενάριο νύχτας ο αντίστοιχος χρόνος αυξήθηκε από 768s σε 852s. Αυτά μεταφράζονται σε μία ποσοστιαία αύξηση της τάξεως του 17,7% για το σενάριο της ημέρας και 10,9% για το σενάριο νύχτας.



Διάγραμμα 17 : Σύγκριση αποτελεσμάτων σε σενάριο ημέρας



Διάγραμμα 18 : Σύγκριση αποτελεσμάτων σε σενάριο νύχτας

Επιπλέον, συγκρίνοντας για παράδειγμα τα διαγράμματα αθροιστικής συχνότητας εκκένωσης για ένα από τα δύο σενάρια (στη συγκεκριμένη περίπτωση το σενάριο ημέρας) μπορούμε να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα για την πορεία της εκκένωσης στην περίπτωση που έχουμε διαθέσιμες 4 εξόδους συγκριτικά με την αντίστοιχη πορεία με διαθέσιμες 2 εξόδους. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα της πορείας των εκκενώσεων του καταστρώματος ανά ποσοστό εξελθόντων ατόμων.

Πίνακας 14 : Σύγκριση πορειών εκκένωσης σε σενάριο ημέρας

Ποσοστό Εξεληθόντων	Χρόνος Εκκένωσης (4 exits)	Χρόνος Εκκένωσης (2 exits)	Διαφορά	Ποσοστιαία Αύξηση Χρόνου
5 %	24s	29s	5s	24%
10 %	31s	45s	14s	45%
15 %	41s	51s	10s	24%
20 %	47s	70s	23s	49%
25 %	52s	77s	25s	48%
30 %	60s	92s	32s	53%
35 %	68s	107s	39s	57%
40 %	72s	116s	44s	61%
45 %	76s	130s	54s	71%
50 %	83s	156s	73s	88%
55 %	86s	166s	80s	93%
60 %	95s	176s	81s	85%
65 %	100s	187s	87s	87%
70 %	106s	206s	100s	94%
75 %	117s	220s	103s	88%
80 %	128s	231s	103s	80%
85 %	138s	239s	101s	73%
90 %	153s	248s	95s	62%
95 %	192s	259s	67s	35%
100%	384s	452s	68s	18%

4.2.2. Εκκένωση δύο καταστρωμάτων επιβατών

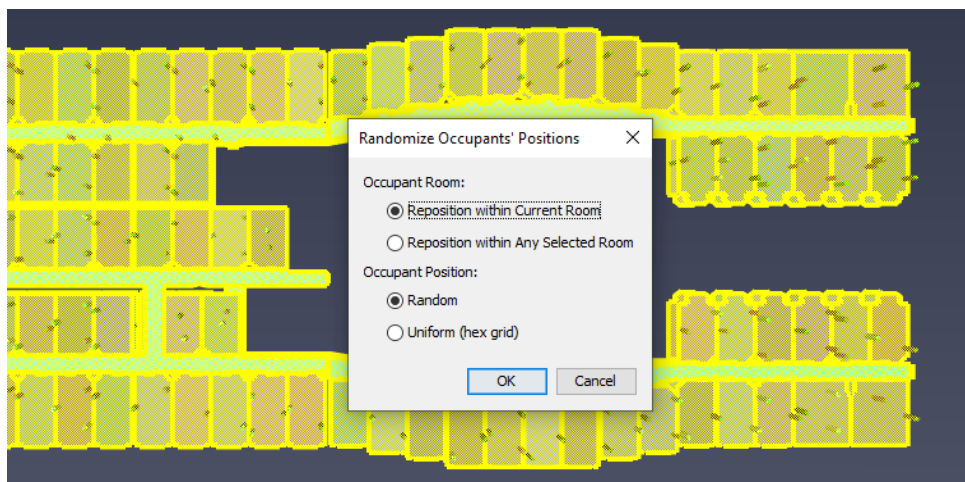
Στην συνέχεια θα μελετήσουμε την διαδικασία εκκένωσης δύο καταστρωμάτων ενός επιβατηγού πλοίου. Τα σενάρια που θα προσομοιώσουμε στο pathfinder αφορούν

- την επιρροή της τυχαίας θέσης των επιβατών και της ταξινόμησής τους σε καμπίνες
- την επιρροή της μείωσης της ταχύτητας των επιβατών
- το διαχωρισμό των επιβατών σε ομάδες κίνησης (οικογένειες, παρέες)
- την μη διαθεσιμότητα μίας ή περισσότερων εξόδων (προς τα muster stations) από ένα χρονικό σημείο
- την μεταβολή του χρόνου εκκένωσης των καταστρωμάτων αναλογικά με την τοποθέτηση των πιο ευπαθών ή των πιο ευέλικτων πληθυσμιακών ομάδων κοντά στις εξόδους.

A) Έλεγχος επιρροής της αρχικής τυχαίας θέσης των επιβατών

i) Steering Mode

Στην πρώτη ομάδα σεναρίων που εκτελέστηκαν στο pathfinder ο σκοπός της μελέτης ήταν να δείξουμε ότι η τυχειότητα της αρχικής θέσης των επιβατών επηρεάζει ως ένα βαθμό τον χρόνο εκκένωσης των καταστρωμάτων. Για το λόγο αυτό, εκτελέσαμε τρεις προσομοιώσεις εκκένωσης των καταστρωμάτων 6 και 7 με μοναδική μεταβολή την αρχική θέση των επιβατών και την κατανομή τους στις καμπίνες η οποία έγινε και στις τρεις περιπτώσεις τυχαία από το pathfinder. Το pathfinder δίνει τη δυνατότητα τυχαίας μεταβολής της θέσης των επιβατών με την εντολή “randomize occupants’ position” επιλέγοντας πρώτα τον χώρο στον οποίο επιθυμούμε να γίνει η μεταβολή.



Εικόνα 36 : Η εντολή “randomize”

Τα βασικά χαρακτηριστικά των καταστρωμάτων των προσομοιώσεων αυτών είναι τα εξής:

Πίνακας 15 : Χαρακτηριστικά καταστρωμάτων 6 και 7

	Κατάστρωμα 6	Κατάστρωμα 7	Σύνολο
Καμπίνες 2 ατόμων	99	100	199
Καμπίνες 4 ατόμων	4	4	8
Πληρότητα	100%	100%	100%
Αριθμός ατόμων	214	216	430

Να επισημανθεί εδώ ότι τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά των επιβατών είναι ίδια με την εκκένωση ενός καταστρώματος (Πίνακας) και η συμπεριφορά όλων ανεξαιρέτως των επιβατών είναι η “go to any exit” που σημαίνει ότι όλοι οι επιβάτες ξεκινούν άμεσα προς την κοντινότερη έξοδο ή προς αυτή που θα συναντήσουν λιγότερα εμπόδια. Οι διαθέσιμες έξοδοι που θα χρησιμοποιηθούν για τις προσομοιώσεις αυτές βρίσκονται όλες στο κατάστρωμα 7 και είναι δύο στο μπροστινό μέρος και δύο στο πίσω (7AP, 7AS, 7FP, 7FS).

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων εκκένωσης είναι τα εξής:

Πίνακας 16 : Αποτελέσματα εκκένωσης 1

EKKENΩΣΗ 1 (no.1)				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	57	3,5	103,6	0,57
EXIT 7 AS	75	5,0	126,5	0,62
EXIT 7 FP	135	4,0	291,2	0,47
EXIT 7 FS	163	4,5	323,8	0,51

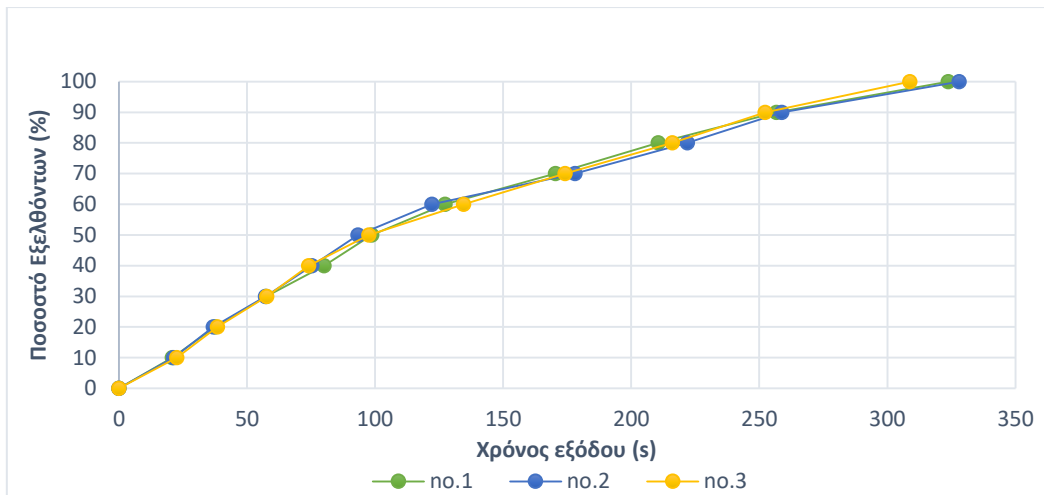
Πίνακας 17 : Αποτελέσματα εκκένωσης 2

EKKENΩΣΗ 2 (no.2)				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	64	1,8	91,8	0,71
EXIT 7 AS	73	6,8	132,9	0,58
EXIT 7 FP	128	4,5	277,4	0,47
EXIT 7 FS	165	4,7	328,1	0,51

Πίνακας 18 : Αποτελέσματα εκκένωσης 3

EKKENΩΣΗ 3 (no.3)				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	60	2,8	99,9	0,62
EXIT 7 AS	75	7,2	155,8	0,50
EXIT 7 FP	137	4,5	296,5	0,47
EXIT 7 FS	158	6,0	308,9	0,52

Παρατηρούμε λοιπόν ότι ο συνολικός χρόνος εκκένωσης μεταξύ των τριών προσομοιώσεων παρουσιάζει ένα εύρος από 308s έως και 328s με μέση τιμή 320s. Οπότε εάν θεωρήσουμε την μέση τιμή ως το πιο ασφαλές αποτέλεσμα, μεταβάλλοντας τυχαία μόνο την αρχική θέση των επιβατών η μεταβολή του χρόνου εκκένωσης δύσκολα θα υπερβαίνει τα 12 δευτερόλεπτα ή το 4% της πρόβλεψής μας. Ακολουθεί το διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας των τριών σεναρίων το οποίο μας δείχνει ότι η πορεία της εκκένωσης είναι αρκετά παρόμοια και στα τρία διαφορετικά σενάρια που προσομοιώσαμε και δεν επηρεάζεται δραστικά από την αρχική θέση των επιβατών.



Διάγραμμα 19 : Σύγκριση Αθροιστικής Συχνότητας Εκκένωσης σεναρίων 1,2 και 3

ii) SFPE + Steering Mode

Ακολουθως εκτελέσαμε ακόμα τρεις προσομιώσεις εκκένωσης των καταστρωμάτων 6 και 7 μεταβάλλοντας κάθε φορά την αρχική θέση των επιβατών με την εντολή “randomize” με μοναδική διαφοροποίηση τη χρήση του SFPE + Steering Mode που προσφέρει το pathfinder. Τα πληθυσμιακά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά των προσομιώσεων καθώς και οι διαθέσιμες έξοδοι παρέμειναν αμετάβλητα.

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, προκειμένου να εφαρμόσουμε την λειτουργία κίνησης SFPE + Steering είναι απαραίτητο να ορίσουμε το Boundary Layer (συνήθως 15cm) δηλαδή ένα μήκος που αφαιρείται και από τις δύο πλευρές της κάθε εξόδου, παράμετρος που επηρεάζει τον μέγιστο δείκτη ροής (flow rate) της κάθε εξόδου.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η κάθε έξοδος έχει πλάτος 1,1m με την ειδική ροή (specific flow) να είναι 1,32 p/sm. Όμως το Boundary Layer είναι 15cm με αποτέλεσμα το πραγματικό άνοιγμα της πόρτας να είναι 0,8m και το flow rate να είναι $Fr_{max} = (1,32 \text{ pers/sm} * 0,8\text{m}) = 1,06 \text{ pers/s}$.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω προσομιώσεων σε SFPE + Steering Mode είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 19 : Αποτελέσματα εκκένωσης 1

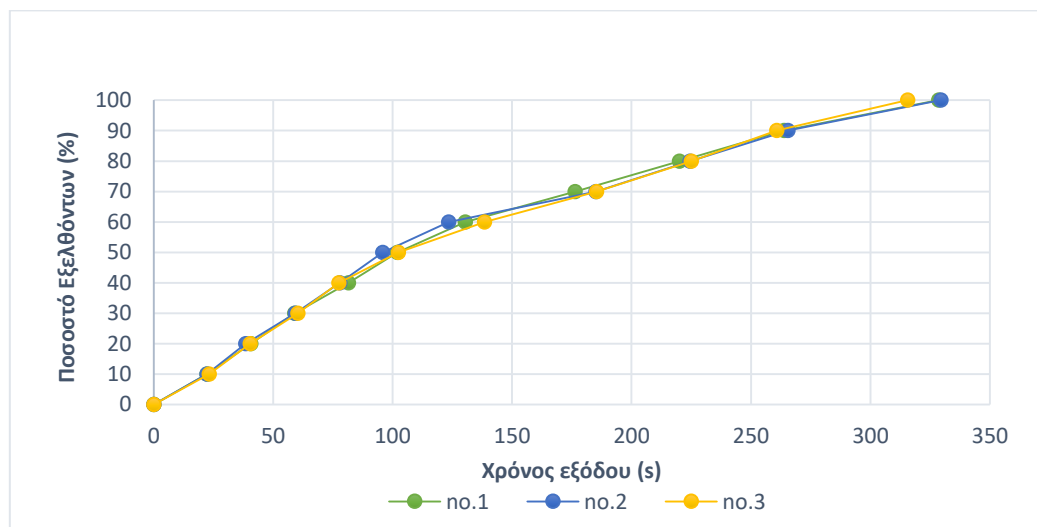
ΕΚΚΕΝΩΣΗ 1 (no.1)				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	55	3,9	104,9	0,54
EXIT 7 AS	77	5,0	272,8	0,29
EXIT 7 FP	137	4,1	294,8	0,47
EXIT 7 FS	161	4,6	328,6	0,50

Πίνακας 20 : Αποτελέσματα εκκένωσης 2

ΕΚΚΕΝΩΣΗ 2 (no.2)				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	67	1,8	244,7	0,28
EXIT 7 AS	74	6,7	279,1	0,27
EXIT 7 FP	125	4,6	286,2	0,44
EXIT 7 FS	164	4,7	329,5	0,50

Πίνακας 21 : Αποτελέσματα εκκένωσης 3

ΕΚΚΕΝΩΣΗ 3 (no.3)				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	61	2,8	198,6	0,31
EXIT 7 AS	75	7,2	248,6	0,31
EXIT 7 FP	136	4,4	297,5	0,46
EXIT 7 FS	158	6,8	315,6	0,51



Διάγραμμα 20 : Σύγκριση Αθροιστικής Συχνότητας Εκκένωσης σεναρίων 1,2 και 3

Παρατηρούμε λοιπόν ότι ο συνολικός χρόνος εκκένωσης μεταξύ των τριών προσομοιώσεων σε SFPE + Steering Mode παρουσιάζει ένα εύρος από 316s έως και 329s με μέση τιμή 324s. Η μέση τιμή του χρόνου εκκένωσης σε Steering Mode βρέθηκε νωρίτερα να είναι 320s. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η απόκλιση μεταξύ των δύο χρόνων είναι πολύ μικρή και αυτό συμβαίνει διότι η ουσιαστική διαφορά μεταξύ του Steering Mode και του SFPE + Steering Mode η οποία είναι το flow rate max των εξόδων δεν επηρεάζει άμεσα τα σενάρια εκκένωσης που πραγματοποιήσαμε καθώς οι απαιτήσεις σε ροή ατόμων από τις εξόδους όπως φαίνεται και από τους παραπάνω

πίνακες είναι κοντά στο 0,5 p/s, τιμή πολύ μικρότερη από την μέγιστη επιτρεπόμενη που υπολογίστηκε 1,06 p/s.

B) Εκκένωση με δυσμενέστερες ταχύτητες επιβατών

Όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο της προσομοίωσης των IMO tests, σε πολλές περιπτώσεις εκκένωσης επιβατηγών και λόγω μερικών απρόοπτων καταστάσεων (ύπαρξη καπνού, τοξικές ουσίες, διαγωγή πλοίου) οι επιβάτες του πλοίου αδυνατούν να κινηθούν με την μέγιστη δυνατή τους ταχύτητα (Koromila et al 2020). Αυτό το γεγονός, μας οδήγησε στην προσομοίωση μερικών ακόμα σεναρίων στα οποία επιβάλλαμε έναν παράγοντα μείωσης (reduction factor) στις ταχύτητες των επιβατών με απώτερο σκοπό να αναδείξουμε την επιρροή του παράγοντα μείωσης στον χρόνο εκκένωσης.

Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήσαμε την εκκένωση 1 σε Steering Mode και εκτελέσαμε ακόμα τέσσερις προσομοιώσεις μία στην οποία οι επιβάτες κινούνται μόνιμα με τη μέγιστη τους ταχύτητα (όπως προκύπτει από τον πίνακα του IMO) και ακόμα τρεις με κατά ποσοστό 10%, 20%, και 30% μειωμένες τις ταχύτητες των επιβατών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 22 : Αποτελέσματα εκκένωσης σε μέγιστη ταχύτητα επιβατών

ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	57	3,5	99,2	0,60
EXIT 7 AS	77	5,0	150,2	0,53
EXIT 7 FP	135	4,1	263,4	0,52
EXIT 7 FS	161	4,5	259,5	0,63

Πίνακας 23 : Αποτελέσματα εκκένωσης στο 90% της ταχύτητας των επιβατών

ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΣΤΟ 90% ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	57	3,8	110,1	0,54
EXIT 7 AS	77	5,4	171,0	0,46
EXIT 7 FP	135	4,4	291,6	0,47
EXIT 7 FS	161	4,8	288,0	0,57

Πίνακας 24 : Αποτελέσματα εκκένωσης στο 80% της ταχύτητας των επιβατών

ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΣΤΟ 80% ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	57	4,2	123,8	0,48
EXIT 7 AS	77	6,0	179,5	0,44
EXIT 7 FP	135	4,7	327,8	0,42
EXIT 7 FS	161	5,2	323,7	0,51

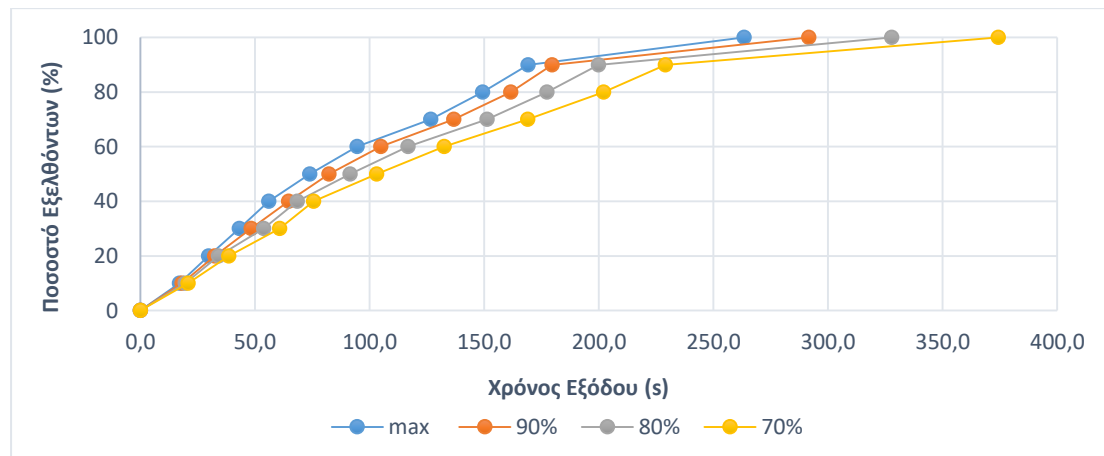
Πίνακας 25 : Αποτελέσματα εκκένωσης στο 70% της ταχύτητας των επιβατών

ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΣΤΟ 70% ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	57	4,6	141,4	0,42
EXIT 7 AS	76	6,7	185,4	0,43
EXIT 7 FP	135	5,3	374,3	0,37
EXIT 7 FS	162	5,9	369,5	0,45

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένας συγκριτικός πίνακας με τους χρόνους εκκένωσης σε κάθε προσομοίωση και την ποσοστιαία αύξηση του χρόνου σε σχέση με την πρώτη προσομοίωση (100%) λόγω μείωσης της ταχύτητας των επιβατών καθώς και το συγκριτικό διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας εκκένωσης.

Πίνακας 26 : Σύγκριση σεναρίων εκκένωσης με μεταβολή μέγιστης ταχύτητας

A/A	Χρόνος Εκκένωσης (s)	Ποσοστιαία Αύξηση
ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΣΤΟ 100%	263,4	-
ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΣΤΟ 90%	291,6	+11%
ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΣΤΟ 80%	327,8	+24%
ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΣΤΟ 70%	374,3	+42%



Διάγραμμα 21 : Σύγκριση Αθροιστικής Συχνότητας Εκκένωσης σεναρίων

Το συμπέρασμα που προκύπτει από την προσομοίωση αυτών των σεναρίων είναι η ταχύτητα κίνησης των επιβατών αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες στην εκκένωση επιβατηγών και αν για οποιονδήποτε λόγο αυτή μειώνεται, τότε ο συνολικός χρόνος εκκένωσης αυξάνεται με μεγαλύτερους ακόμα ρυθμούς (για παράδειγμα 30% σταθερή μείωση της ταχύτητας οδήγησε σε 42% αύξηση του χρόνου).

Γ) Εκκένωση με χρήση ομάδων κινήσεως (movement groups)

i) Σύγκριση χρόνου εκκένωσης με και χωρίς ομάδες κίνησης

Οι ομάδες κίνησης είναι ένα εργαλείο που προσφέρει το pathfinder το οποίο μας δίνει την δυνατότητα να «κρατάμε» μαζί τους επιβάτες κατά την διάρκεια της εκκένωσης. Τα άτομα που βρίσκονται σε μία ομάδα κίνησης παραμένουν εκεί καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης και δεν έχουν την δυνατότητα να συμμετέχουν σε άλλη. Επίσης, όλα τα άτομα μίας ομάδας πρέπει υποχρεωτικά να έχουν και την ίδια συμπεριφορά (behavior). Συνοψίζοντας, το εργαλείο αυτό χρησιμοποιείται ώστε να δημιουργήσουμε προσομοιώσεις οι οποίες να περιέχουν όσο το δυνατόν περισσότερο ρεαλιστικές συμπεριφορές, διότι στα επιβατηγά πλοία (που είναι το αντικείμενο μελέτης μας) οι επιβάτες κατά μεγάλο ποσοστό χωρίζονται σε οικογένειες ή παρέες τις οποίες εμείς μπορούμε να θεωρήσουμε σαν ομάδες κίνησης.

Έτσι λοιπόν, εκτελέσαμε τις προσομοιώσεις 1,2 και 3 με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά όπως παραπάνω (σε Steering Mode) θεωρώντας όμως τους **επιβάτες κάθε καμπίνας ως ένα movement group** με σκοπό να δούμε εάν και κατά πόσο επιβραδύνει την διαδικασία της εκκένωσης η ύπαρξη ομάδων κίνησης και των περιορισμών κίνησης που επιβάλλονται. Τα αποτελέσματα των τριών προσομοιώσεων με χρήση movement groups παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες και στο συνδυαστικό διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας εκκένωσης.

Πίνακας 27 : Αποτελέσματα εκκένωσης 1 με movement groups

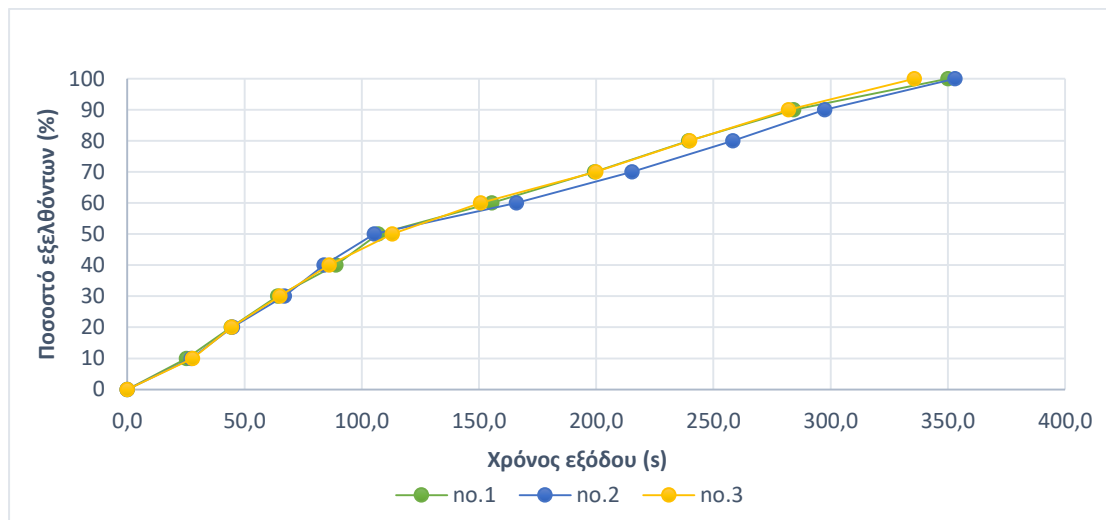
ΕΚΚΕΝΩΣΗ 1 (no.1)				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	57	7,8	114,7	0,53
EXIT 7 AS	75	5,0	132,7	0,59
EXIT 7 FP	135	5,1	316,8	0,43
EXIT 7 FS	163	5,3	350,0	0,47

Πίνακας 28 : Αποτελέσματα εκκένωσης 2 με movement groups

ΕΚΚΕΝΩΣΗ 2 (no.2)				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	64	7,3	107,9	0,64
EXIT 7 AS	73	7,3	150,6	0,51
EXIT 7 FP	128	6,0	320,9	0,41
EXIT 7 FS	165	4,7	353,1	0,47

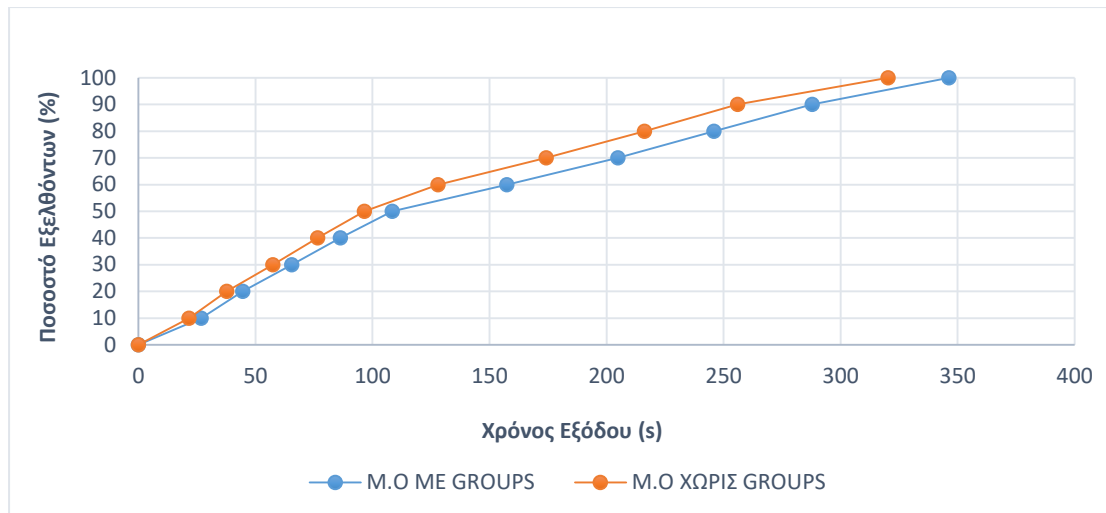
Πίνακας 29 : Αποτελέσματα εκκένωσης 3 με movement groups

ΕΚΚΕΝΩΣΗ 3 (no.3)				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	61	6,9	116,4	0,56
EXIT 7 AS	75	7,6	159,4	0,49
EXIT 7 FP	136	8,1	321,4	0,43
EXIT 7 FS	158	6,5	335,7	0,48



Διάγραμμα 22 : Αθροιστική Συχνότητα Εκκένωσης σεναρίων με movement groups

Στη συνέχεια παραθέτουμε ένα συνδυαστικό διάγραμμα που περιλαμβάνει τις μέσες τιμές των εκκενώσεων χωρίς movement groups και με τη χρήση movement groups ώστε να οπτικοποιήσουμε την μεταξύ τους διαφορά.



Διάγραμμα 23 : Σύγκριση Αθροιστικής Συχνότητας Εκκένωσης σεναρίων με και χωρίς movement groups

Συγκεκριμένα, η μέση τιμή του χρόνου εκκένωσης του 100% των επιβατών χωρίς movement groups βρέθηκε να είναι 320,2s ενώ με την χρήση των movement groups υπολογίστηκε από τα αποτελέσματα του pathfinder 346,2s παρουσιάζοντας δηλαδή μία αύξηση της τάξεως του 8,1%.

ii) Επιρροή επιπλέον παραμέτρων των ομάδων κίνησης

Το pathfinder δίνει επίσης στον χρήστη την δυνατότητα να επιλέξει εάν οι ομάδες κίνησης θα έχουν μεγαλύτερη ή μικρότερη συνοχή δηλαδή αν θα κινούνται προς την έξοδο με μεγαλύτερες ή μικρότερες αποστάσεις μεταξύ τους. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται με χρήση των δύο παρακάτω παραμέτρων

- **Maximum Distance** : Η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ δύο μελών μίας ομάδας κίνησης.
- **Slowdown Time** : Αυτή η παράμετρος χρησιμοποιείται όταν η ομάδα για οποιονδήποτε λόγο αποσυνδέεται. Τότε ο αρχηγός της ομάδας (ορισμένος από τον χρήστη ή το πρόγραμμα) σταδιακά μειώνει την ταχύτητα του μέχρι να σταματήσει και να συνδέσει ξανά τα μέλη της ομάδας. Η παράμετρος λοιπόν «slowdown time» είναι ο χρόνος επιβράδυνσης μέχρι να σταματήσει να κινείται μία ομάδα κίνησης.

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο του προγράμματος (Pathfinder User Manual 2019) μικρότερες τιμές των παραμέτρων αυτών συντελούν σε ομάδες κίνησης με μεγαλύτερη συνοχή, ενώ μεγαλύτερες τιμές σε ομάδες κίνησης με μικρότερη συνοχή και συνεπώς σε μικρότερους χρόνους εκκένωσης.

Συγκεκριμένα για να ελέγξουμε την επιρροή των δύο αυτών παραμέτρων στο χρόνο εκκένωσης χρησιμοποιήσαμε την εκκένωση (no.1) της προηγούμενης παραγράφου η οποία προσομοιώθηκε με

- Maximum Distance : 2m
- Slowdown Time : 3s

και με βάση αυτή εκτελέσαμε άλλες δύο προσομοιώσεις διπλασιάζοντας διαδοχικά το καθένα μέγεθος. Συνεπώς τα στοιχεία των τριών συνολικά προσομοιώσεων είναι τα εξής:

Πίνακας 30 : Στοιχεία Προσομοιώσεων 1,2 και 3

A/A	Maximum Distance	Slowdown Time
Προσομοίωση 1	2m	3s
Προσομοίωση 2	4m	3s
Προσομοίωση 3	2m	6s

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες και στο διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας εκκένωσης.

Πίνακας 31 : Αποτελέσματα προσομοίωσης 1

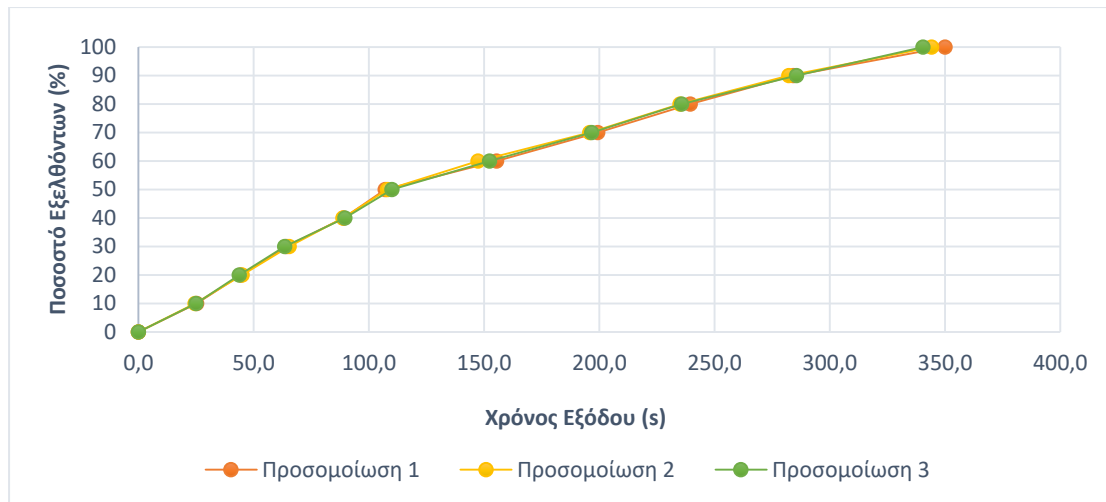
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ 1				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	57	7,8	114,7	0,53
EXIT 7 AS	75	5,0	132,7	0,59
EXIT 7 FP	135	5,1	316,8	0,43
EXIT 7 FS	163	5,3	350,0	0,47

Πίνακας 32 : Αποτελέσματα προσομοίωσης 2

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ 2				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	57	6,8	113,9	0,53
EXIT 7 AS	75	5,0	132,6	0,59
EXIT 7 FP	135	5,0	309,1	0,44
EXIT 7 FS	163	5,2	344,2	0,48

Πίνακας 33 : Αποτελέσματα προσομοίωσης 3

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ 3				
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	57	7,4	120,8	0,50
EXIT 7 AS	75	5,0	135,6	0,57
EXIT 7 FP	135	5,1	317,4	0,43
EXIT 7 FS	163	5,2	340,4	0,49



Διάγραμμα 24 : Σύγκριση Αθροιστικής Συχνότητας Εκκένωσης προσομοιώσεων 1,2 και 3

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι πράγματι αυξάνοντας τις τιμές των maximum distance και slowdown time ο χρόνος εκκένωσης μειώνεται λόγω της μικρότερης συνοχής των ομάδων κίνησης αλλά όχι σημαντικά. Επιπλέον, ο διπλασιασμός του slowdown time αποδείχθηκε περισσότερο αποτελεσματικός από αυτόν του maximum distance καθώς οδήγησε σε περίπου 4 δευτερόλεπτα γρηγορότερη εκκένωση των καταστρωμάτων.

Δ) Έλεγχος επιρροής μη διαθεσιμότητας εξόδων

Κατά την διάρκεια της εκκένωσης ενός επιβατηγού είναι πιθανόν να εμφανιστούν δυσμενείς παράγοντες που δυσκολεύουν την πορεία των επιβατών προς τα muster stations με αποτέλεσμα αυτοί να χρειαστεί να αλλάξουν διαδρομή ώστε να καταφέρουν να εκκενώσουν το πλοίο. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η ύπαρξη μίας πυρκαγιάς ή βλαβερών αερίων που απαγορεύουν την διέλευση από ένα ή περισσότερα μέρη ενός καταστρώματος, με αποτέλεσμα να αδρανοποιούνται και μερικές έξοδοι διαφυγής. Το σενάριο αυτό, επιχειρήθηκε να προσομοιωθεί στο pathfinder με τρεις διαφορετικούς τρόπους, οι οποίοι θα συγκριθούν μεταξύ τους ώστε να δοθεί ένα ασφαλές συμπέρασμα για τέτοιου είδους προβλήματα κατά τη διάρκεια μίας εκκένωσης.

Οι τρεις διαφορετικές προσομοιώσεις εκτελέστηκαν στα καταστρώματα 6 και 7 του σχεδίου μας και τα χαρακτηριστικά των επιβατών (πληθυσμιακά και συμπεριφορά) είναι ίδια με τα παραπάνω σενάρια. Όλες οι έξοδοι διαφυγής στα καταστρώματα 6 και 7 είναι διαθέσιμες για τους επιβάτες στην αρχή του κάθε σεναρίου.

Αρχικά, εκτελέστηκε η εκκένωση των δύο καταστρωμάτων χωρίς τον αποκλεισμό διαθέσιμων εξόδων ώστε να χρησιμοποιηθεί ως ιδανικό σενάριο και μέτρο συγκρίσεις για τις υπόλοιπες τρεις προσομοιώσεις.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

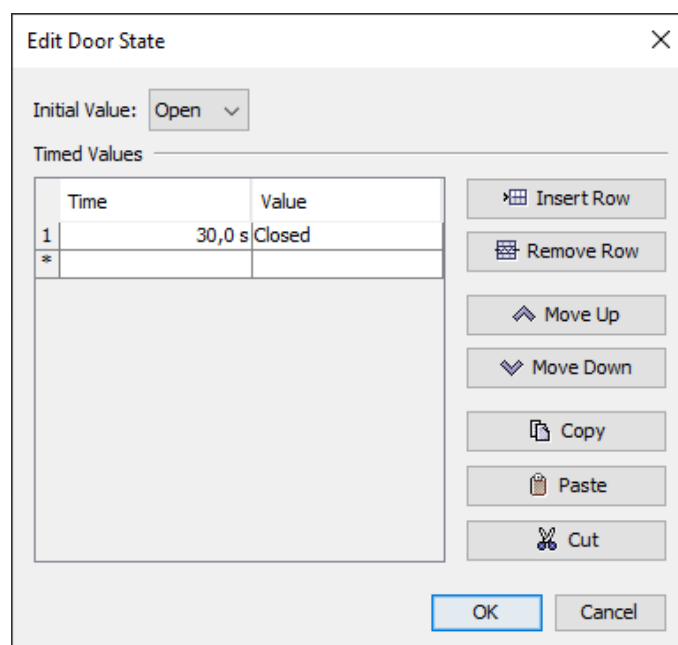
Πίνακας 34 : Αποτελέσματα Εκκένωσης χωρίς αποκλεισμό εξόδων

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 6 AP	52	5,6	89,2	0,62
EXIT 6 AS	74	5,0	155,0	0,49
EXIT 6 FP	44	3,4	82,4	0,56
EXIT 6 FS	44	3,7	79,8	0,58
EXIT 7 AP	52	5,1	107,7	0,51
EXIT 7 AS	76	4,9	138,0	0,57
EXIT 7 FP	44	8,7	88,0	0,55
EXIT 7 FS	44	6,7	87,4	0,55

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό στην προσομοίωση αυτή η εκκένωση των δύο καταστρώματων έχει επιτευχθεί σε 155s ή 2min και 35s.

i) Κλείσιμο εξόδων καταστρώματος 6 στα 30 sec

Στην συνέχεια θεωρούμε ότι αφού παρέλθουν 30 δευτερόλεπτα από την εκκίνηση της εκκένωσης οι εξοδοί του καταστρώματος 6 παύουν λόγω δυσμενών συνθηκών να είναι διαθέσιμες, με αποτέλεσμα οι επιβάτες που θα τις χρησιμοποιούσαν να επιλέξουν την επόμενη πιο σύντομη επιλογή. Αυτό μπορεί να γίνει στο pathfinder από τις ρυθμίσεις της κάθε εξόδου επιλέγοντας την ρύθμιση “door state” και τη επιλογή “timed values” όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.



Εικόνα 37 : Απενεργοποίηση εξόδου σε συγκεκριμένο χρονικό σημείο

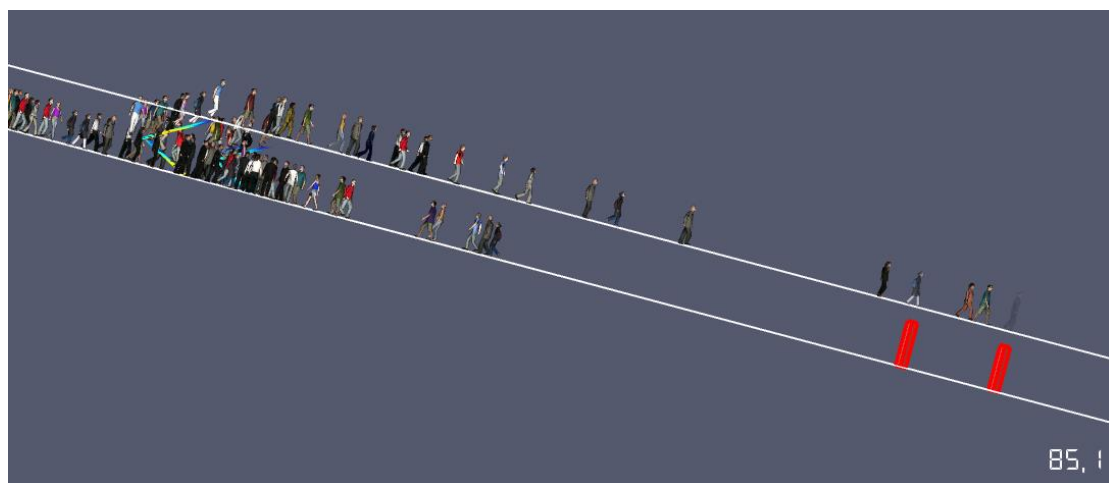
Τα αποτελέσματα του σεναρίου εκκένωσης αυτού είναι τα εξής:

Πίνακας 35 : Αποτελέσματα Εκκένωσης με κλείσιμο εξόδων καταστρώματος 6 στα 30s

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 6 AP	15	5,6	28,2	0,66
EXIT 6 AS	12	5,0	22,3	0,69
EXIT 6 FP	16	3,4	28,6	0,63
EXIT 6 FS	17	3,7	29,1	0,67
EXIT 7 AP	52	5,1	107,8	0,51
EXIT 7 AS	76	4,9	137,6	0,57
EXIT 7 FP	109	8,7	265,6	0,42
EXIT 7 FS	133	6,7	319,0	0,43

Παρατηρούμε ότι ο συνολικός χρόνος εκκένωσης σε σχέση με την προηγούμενη προσομοίωση σχεδόν διπλασιάστηκε καθώς αυξήθηκε από 155s σε 319s. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο η χρήση των εξόδων 7FP και 7FS αυξήθηκε διότι βρίσκονται κοντινότερα στις κλίμακες που χρησιμοποιήθηκαν ώστε οι επιβάτες να εγκαταλείψουν το κατάστρωμα 6 και να μεταβούν στο κατάστρωμα 7 μετά τα 30 πρώτα δευτερόλεπτα.

Ακολουθεί ένα στιγμιότυπο που τραβήχτηκε από το pathfinder VR Results (τη χρονική στιγμή 85,1s) στο οποίο φαίνεται καθαρά ο συνωστισμός των επιβατών στην κλίμακα μεταξύ των καταστρωμάτων 6 και 7 που προκαλεί την αύξηση του συνολικού χρόνου εκκένωσης καθώς και η προτίμηση όλων των επιβατών του καταστρώματος 6 να εξέλθουν από την δεξιά μεριά της φωτογραφίας που βρίσκονται οι έξοδοι 7FP και 7FS.

**Εικόνα 38 :** Στιγμιότυπο από pathfinder VR results

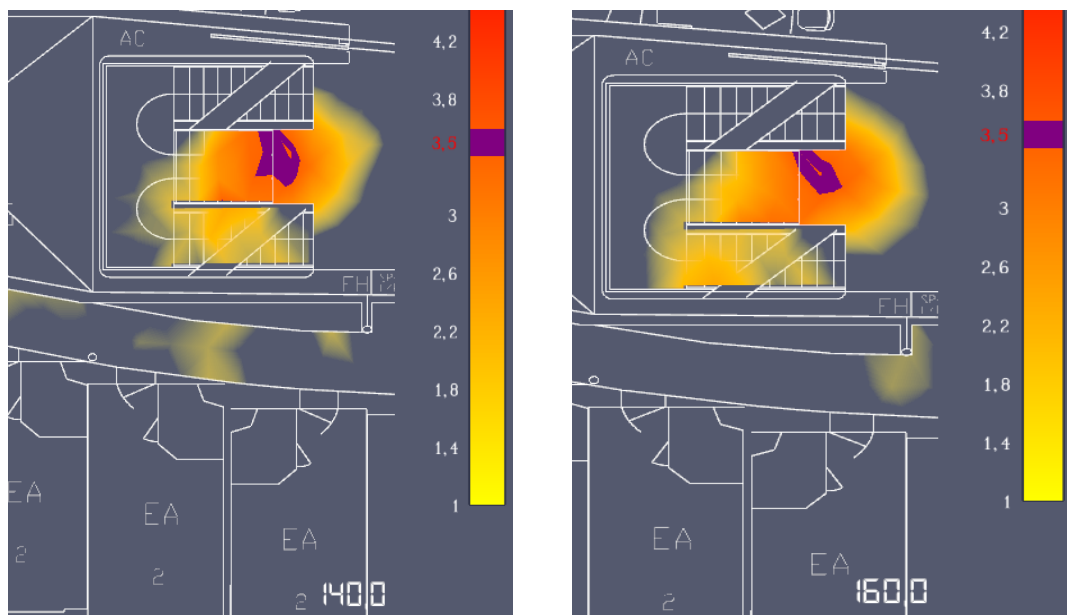
Σε αυτό το σενάριο αξίζει να δοθεί έμφαση στην αυξημένη χρήση που παρατηρείται στις κλίμακες μεταξύ των δύο καταστρωμάτων. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο IMO θεωρεί συνωστισμένο έναν χώρο όταν αυτός

ξεπερνάει τα 3,5 άτομα/m². Εμείς με τη χρήση του pathfinder VR results βρήκαμε ότι η κλίμακα η οποία εμφανίζει μεγαλύτερη κίνηση κατά την εκκένωση των καταστρωμάτων είναι η κλίμακα στην starboard πλευρά του καταστρώματος 6 (stair01s) τόσο στη βάση της όσο και στο κυρίως της σώμα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η πυκνότητα των επιβατών στην βάση της σκάλας από την χρονική στιγμή 110s ως και την χρονική στιγμή 190s διάστημα στο οποίο παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη συγκέντρωση επιβατών.

Πίνακας 39 : Πυκνότητα κλίμακας (stair01s)

Χρόνος (s)	Πυκνότητα (pers/m ²)
110	2,7
120	2,6
130	3,0
140	3,6
150	3,5
160	3,6
170	3,1
180	3,2
190	2,4

Συνεπώς, την χρονική περίοδο από 140s έως 160s της προσομοίωσης δημιουργείται συνωστισμός στη βάση της σκάλας σύμφωνα με τους κανόνες του IMO. Επιπλέον, στα παρακάτω στιγμιότυπα από το pathfinder VR results έχουμε σημειώσει με μοβ χρώμα την περιοχή της σκάλας στην οποία δημιουργείται συνωστισμός τις χρονικές στιγμές 140s και 160s και από το density tool bar στα δεξιά μπορεί να γίνει αντιληπτή η πυκνότητα στους υπόλοιπους χώρους κοντά στη σκάλα.



Εικόνες 40 & 41 : Στιγμιότυπα από pathfinder VR results στα 140 s (αριστερά) και 160s (δεξιά)

ii) Κλείσιμο μπροστινών εξόδων στα 30 sec

Έπειτα προκύπτει εύλογα το ερώτημα του πως θα επηρεαστεί η εκκένωση των καταστροφμάτων εάν λόγω δυσμενών συνθηκών από ένα χρονικό σημείο και μετά δεν είναι διαθέσιμες οι μπροστινές εξοδοί των δύο καταστροφμάτων οι οποίες μάλιστα είναι και αυτές που, βάσει των παραπάνω πινάκων, χρησιμοποιούνται περισσότερο από τους επιβάτες.

Συνεπώς, εκτελέσαμε το συγκεκριμένο σενάριο απενεργοποιώντας στα 30s τις εξόδους 6FP, 6FS, 7FP, 7FS και πήραμε τα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 36 : Αποτελέσματα Εκκένωσης με κλείσιμο μπροστινών εξόδων στα 30s

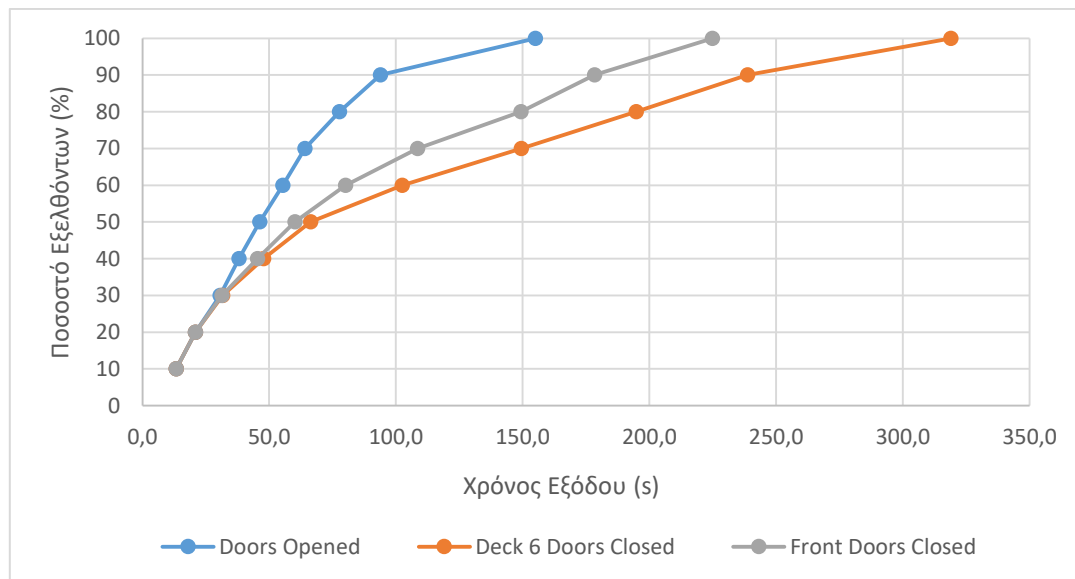
DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 6 AP	80	5,6	224,9	0,36
EXIT 6 AS	101	5,0	201,7	0,51
EXIT 6 FP	16	3,4	28,6	0,63
EXIT 6 FS	17	3,7	29,1	0,67
EXIT 7 AP	78	5,1	218,8	0,37
EXIT 7 AS	103	4,9	219,9	0,48
EXIT 7 FP	18	29,3	29,3	0,87
EXIT 7 FS	17	28,8	28,8	0,77

Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι παρόλο που οι τέσσερις μπροστινές εξοδοί απενεργοποιήθηκαν μετά τα πρώτα 30 δευτερόλεπτα η εκκένωση των δύο καταστροφμάτων έγινε γρηγορότερα από το προηγούμενο σενάριο (225s έναντι 319s). Αυτό συνέβη διότι οι επιβάτες που δεν μπόρεσαν να χρησιμοποιήσουν τις μπροστινές εξόδους κατέφυγαν στις «ενεργές» εξόδους του ίδιου καταστροφματος αποφεύγοντας τον συνωστισμό που δημιουργείται στην κλίμακα μεταξύ των καταστροφμάτων. Το γεγονός αυτό απεικονίζεται και στο παρακάτω στιγμιότυπο από το pathfinder VR results όπου βλέπουμε τους επιβάτες τη χρονική στιγμή 54,2s να κατευθύνονται προς την αριστερή μεριά των καταστροφμάτων όπου βρίσκονται οι εξοδοί 6AP, 6AS, 7AP και 7AS.



Εικόνα 42 : Στιγμιότυπο από pathfinder VR results

Στη συνέχεια αποτυπώσαμε τα τρία αυτά σενάρια σε ένα διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας εκκένωσης ώστε να μπορούν να οπτικοποιηθούν ευκολότερα τα αποτελέσματα που αναφέραμε παραπάνω.



Διάγραμμα 25 : Σύγκριση Αθροιστικής Συχνότητας Εκκένωσης σεναρίων

Συγκεκριμένα η πορεία της διαδικασίας της εκκένωσης ανά ποσοστό εξελθόντων ατόμων αναλύεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 37 : Σύγκριση πορείας εκκένωσης σεναρίων

Ποσοστό Εξελθόντων	Χρόνος Εκκένωσης		
	Doors Opened	Deck 6 Doors Closed (30s)	Front Doors Closed (30s)
10 %	13,3s	13,3s	13,3s
20 %	20,9s	20,9s	20,9s
30 %	30,7s	31,6s	31,4s
40 %	38,0s	47,8s	45,4s
50 %	46,3s	66,3s	60,2s
60 %	55,4s	102,5s	80,1s
70 %	64,0s	149,4s	108,6s
80 %	77,8s	194,8s	149,3s
90 %	93,9s	238,8s	178,5s
100%	155,0s	319,0s	224,9s

Παρατηρούμε ότι και στις τρεις περιπτώσεις το 30% των επιβαινόντων έχει εκκενώσει τα καταστρώματα σε περίπου ίσο χρόνο ενώ από το 40% και πάνω αρχίζει μία σταδιακή διαφορά μεταξύ των τριών σεναρίων που οφείλεται στη μείωση των διαθέσιμων εξόδων μετά τα πρώτα 30 δευτερόλεπτα καθώς και σε συνωστισμό που παρατηρείται στις κλίμακες και στους διαδρόμους των καταστρωμάτων.

Ε) Τοποθέτηση πληθυσμιακών ομάδων κοντά σε εξόδους

Στη συνέχεια της ανάλυσης της εκκένωσης των δύο καταστρωμάτων και της προσπάθειας βελτιστοποίησης της εξετάστηκε το ενδεχόμενο τοποθέτησης συγκεκριμένων ηλικιακών ομάδων εγγύτερα στις εξόδους και να μετρήσουμε σε κάθε περίπτωση τον συνολικό χρόνο εκκένωσης για να βγάλουμε το πόρισμα μας.

Συγκεκριμένα, σε αυτά τα σενάρια οι διαθέσιμες εξοδοί βρίσκονται όλες στο κατάστρωμα 7 και τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά των επιβατών είναι τα εξής:

Πίνακας 38 : Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά σεναρίων

Κατηγορίες επιβατών	Ποσοστό (%)	Ελάχιστη Ταχύτητα (m/s)	Μέγιστη Ταχύτητα (m/s)
Females younger than 30 years	16,66	0,93	1,55
Females 30-50 years old	16,66	0,71	1,19
Females older than 50 years	16,66	0,56	0,94
Males younger than 30 years	16,66	1,11	1,85
Males 30-50 years old	16,66	0,97	1,62
Males older than 50 years	16,66	0,84	1,40

Φυσικά ο συνολικός αριθμός των επιβατών είναι ο ίδιος με τα προηγούμενα σενάρια (430 άτομα) και η συμπεριφορά τους η “go to any exit”.

i) Τυχαία κατανομή θέσεων των επιβατών

Αρχικά, εκτελέσαμε στο pathfinder την εκκένωση των δύο καταστρωμάτων τοποθετώντας όλες τις πληθυσμιακές ομάδες τυχαία και στα δύο καταστρώματα, ώστε να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης για τις επόμενες προσομοιώσεις. Τα αποτελέσματα του σεναρίου αυτού φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 39 : Αποτελέσματα τυχαίας κατανομής επιβατών

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	62	1,8	76,1	0,83
EXIT 7 AS	79	5,4	97,7	0,86
EXIT 7 FP	134	1,0	214,6	0,63
EXIT 7 FS	155	6,4	250,3	0,64

Η πλήρης εκκένωση των καταστρωμάτων έγινε σε 250 δευτερόλεπτα.

ii) Τοποθέτηση μεγαλύτερων ηλικιακών ομάδων στο deck 7

Κατόπιν σε μία προσπάθεια βελτιστοποίησης της παραπάνω διαδικασίας εκκένωσης διερευνήσαμε την πιθανότητα μείωσης του χρόνου εκκένωσης τοποθετώντας τις πιο αργές ηλικιακές ομάδες (male O50, female O50) εγγύτερα στις διαθέσιμες εξόδους δηλαδή στο κατάστρωμα 7.

Συνεπώς, τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά στο συγκεκριμένο σενάριο είναι τα εξής:

Πίνακας 40 : Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά σεναρίου

Κατηγορίες επιβατών	Ποσοστό (%)	Αριθμός στο Κατάστρωμα 6	Αριθμός στο Κατάστρωμα 7
Females younger than 30 years	16,66	53	18
Females 30-50 years old	16,66	54	18
Females older than 50 years	16,66	0	71
Males younger than 30 years	16,66	54	19
Males 30-50 years old	16,66	53	18
Males older than 50 years	16,66	0	72

Τα αποτελέσματα του σεναρίου που δόθηκαν από το πρόγραμμα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 41 : Αποτελέσματα τοποθέτησης μεγαλύτερων ηλικιακών ομάδων στο deck 7

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	46	1,9	71,9	0,66
EXIT 7 AS	72	5,4	121,1	0,62
EXIT 7 FP	142	7,8	194,0	0,76
EXIT 7 FS	170	4,1	229,7	0,75

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι τοποθετώντας τις μεγαλύτερες (και πιο αργές) ηλικιακές ομάδες στο πάνω κατάστρωμα δηλαδή σαφώς πιο κοντά στις εξόδους πετυχαίνουμε την μείωση του χρόνου εκκένωσης από 250s σε 230s, δηλαδή μία μείωση της τάξεως του 8%.

iii) Τοποθέτηση μικρότερων ηλικιακών ομάδων στο deck 7

Τέλος, εκτελέστηκε το ακριβώς αντίθετο σενάριο, δηλαδή η διαδικασία της εκκένωσης με την τοποθέτηση των μικρότερων ηλικιακά και ταχύτερων ομάδων (male Y30, female Y30) στο κατάστρωμα 7. Τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά του σεναρίου αυτού παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 42 : Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά σεναρίου

Κατηγορίες επιβατών	Ποσοστό (%)	Αριθμός στο Κατάστρωμα 6	Αριθμός στο Κατάστρωμα 7
Females younger than 30 years	16,66	0	71
Females 30-50 years old	16,66	54	18
Females older than 50 years	16,66	53	18
Males younger than 30 years	16,66	0	72
Males 30-50 years old	16,66	53	18
Males older than 50 years	16,66	54	19

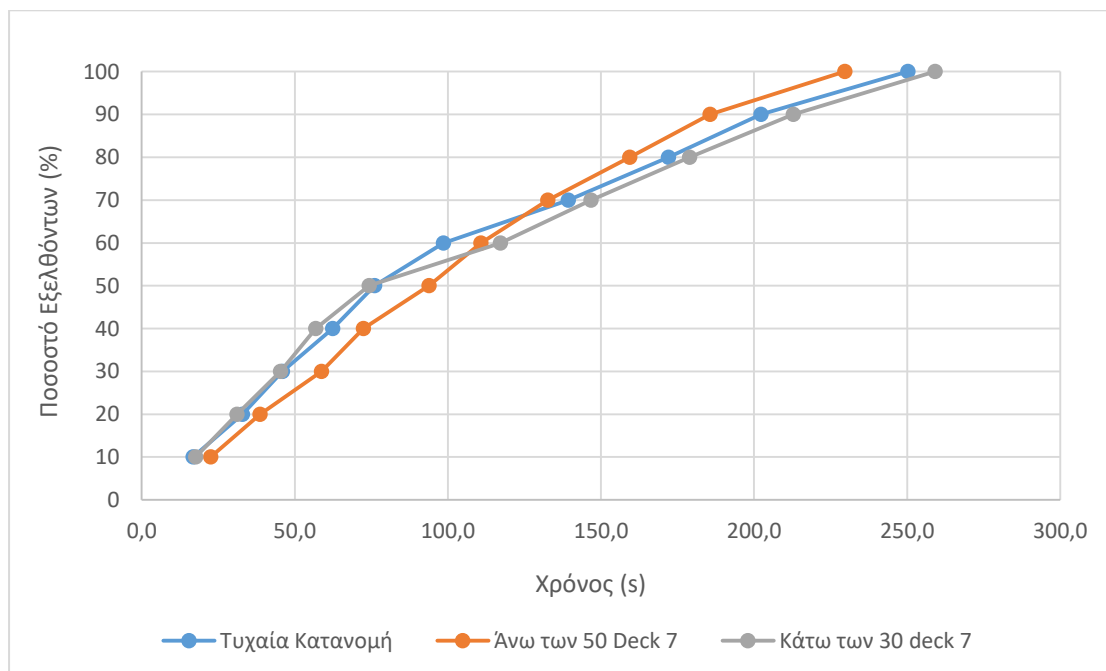
Τα αποτελέσματα του σεναρίου που δόθηκαν από το pathfinder φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 43 : Αποτελέσματα τοποθέτησης μικρότερων ηλικιακών ομάδων στο deck 7

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	Average flow rate (p/s)
EXIT 7 AP	46	1,5	63,7	0,74
EXIT 7 AS	64	4,6	93,9	0,72
EXIT 7 FP	152	2,1	232,3	0,66
EXIT 7 FS	168	1,6	259,2	0,65

Στο συγκεκριμένο σενάριο, οι ηλικιακές ομάδες με τις χαμηλότερες ταχύτητες είναι τοποθετημένες σε μεγάλο βαθμό στο κατάστρωμα 6 με αποτέλεσμα η διαδικασία της εκκένωσης να ολοκληρώνεται σε 259s δηλαδή 30 δευτερόλεπτα αργότερα από το προηγούμενο σενάριο, αποτέλεσμα που φαίνεται αρκετά αναμενόμενο.

Ακολουθεί το διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας εκκένωσης και για τα τρία παραπάνω σενάρια:

**Διάγραμμα 26 :** Σύγκριση Αθροιστικής Συχνότητας Εκκένωσης σεναρίων

Συγκεκριμένα η πορεία της διαδικασίας της εκκένωσης ανά ποσοστό εξελθόντων ατόμων και στα τρία σενάρια αναλύεται στον παρακάτω πίνακα στον οποίο αναγράφεται ο ακριβής χρόνος εκκένωσης συγκεκριμένων ποσοστών επιβατών, καθώς και η ποσοστιαία μεταβολή του στα τελευταία δύο σενάρια σε σχέση με το πρώτο.

Πίνακας 44 : Πορεία εκκένωσης σεναρίων

Ποσοστό Εξεληθόντων	Χρόνος Εκκένωσης		
	Τυχαία Κατανομή	Άνω των 50 στο deck 7	Κάτω των 30 στο deck 7
10 %	16,8s	22,6s (+35%)	17,6s (+5%)
20 %	32,9s	38,7s (+18%)	31,1s (-5%)
30 %	46,0s	58,7s (+28%)	45,3s (-2%)
40 %	62,4s	72,5s (+16%)	56,8s (-9%)
50 %	76,1s	93,9s (+23%)	74,3s (-2%)
60 %	98,5s	110,8s (+12%)	117,2s (+19%)
70 %	139,3s	132,7s (-5%)	146,7s (+5%)
80 %	172,0s	159,4s (-7%)	179,0s (+4%)
90 %	202,3s	185,6s (-8%)	212,8s (+5%)
100%	250,3s	229,7s (-8%)	259,2s (+4%)

Παρατηρούμε από το διάγραμμα και τον πίνακα ότι σε χαμηλά ποσοστά εκκένωσης και συγκεκριμένα έως το 50% γρηγορότερη διαδικασία εκκένωσης είναι η τελευταία καθώς οι ταχύτερες ηλικιακές ομάδες βρίσκονται στο κατάστρωμα 7 και το εκκενώνουν συντομότερα. Αντίθετα περίπου στο 70% της εκκένωσης, ταχύτερη διαδικασία είναι η δεύτερη η οποία παραμένει ταχύτερη μέχρι το τέλος της προσομοίωσης. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι για μεγαλύτερη ασφάλεια είναι προτιμότερο να τοποθετούμε τις πιο αργές πληθυσμιακές ομάδες εγγύτερα στις διαθέσιμες εξόδους.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από το ερευνητικό κομμάτι της παρούσας διπλωματικής εργασίας προέκυψαν συνοπτικά τα εξής ασφαλή συμπεράσματα :

- Με την προσομοίωση των τεστ εκκένωσης του IMO στο περιβάλλον του προγράμματος pathfinder και τα επιτυχή τους αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι το πρόγραμμα αυτό είναι αξιόπιστο περιβάλλον για να πραγματοποιηθεί η μελέτη σεναρίων εκκένωσης ενός επιβατηγού.
- Σε κάθε σενάριο εκκένωσης που μελετήθηκε δόθηκε πολύ μεγάλη έμφαση στα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά των επιβατών όπως ηλικιακή ομάδα, φύλο, ταχύτητα αλλά και στην συμπεριφορά τους καθώς παρατηρήθηκε ότι μικρές διαφορές στα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να αποφέρουν μεγάλες διαφορές στα αποτελέσματα των σεναρίων.
- Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων σε σενάρια ημέρας διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από εκείνα σε σενάρια νύχτας κυρίως εξαιτίας της διαφοράς του χρόνου απόκρισης των επιβατών μεταξύ των δύο σεναρίων.
- Η μείωση των διαθέσιμων εξόδων για τους επιβάτες αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την αύξηση του χρόνου εκκένωσης καθώς μία μείωση τους κατά 50% μπορεί να αποφέρει καθυστέρηση της εκκένωσης ενός καταστρώματος κατά 18%.
- Η πορεία της εκκένωσης ενός ή περισσότερων καταστρωμάτων δεν επηρεάζεται δραστικά από την αρχική θέση των επιβατών παρά μόνο κατά ένα μικρό ποσοστό.
- Η κίνηση των ατόμων με δυσμενέστερη ταχύτητα η οποία μπορεί να οφείλεται στην ύπαρξη καπνού σε περίπτωση πυρκαγιάς ή σε τυχόν διαγωγή του πλοίου αποτελεί ίσως την σημαντικότερη αιτία αύξησης του χρόνου εκκένωσης.
- Η συμμετοχή μεγάλου ποσοστού των επιβατών σε ομάδες κίνησης (οικογένειες, παρέες) κάνει περισσότερο πολύπλοκη τη διαδικασία της εκκένωσης και μπορεί να αυξήσει το χρόνο εκκένωσης έως και κατά 10%
- Τοποθετώντας τις πιο ευπαθείς ομάδες πληθυσμού εγγύτερα στις διαθέσιμες εξόδους μπορούμε να πετύχουμε πιο ασφαλείς και γρήγορες διαδικασίες εκκένωσης καταστρωμάτων επιβατών.

Φυσικά, οι χρόνοι εκκένωσης των καταστρωμάτων που υπολογίστηκαν αφορούν τον χρόνο μέχρι τη μετάβαση των επιβατών στους χώρους συγκέντρωσης (muster stations) αφού αυτή είναι και η δυνατότητα του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε. Για να είναι περισσότερο αποτελεσματική η μελέτη κρίνεται αναγκαίος και ο υπολογισμός του χρόνου μετάβασης στις σωστικές λέμβους καθώς και ο χρόνος καθέλκυσής τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

IMO Regulations .<http://www.imo.org>

Thunderhead Engineering (2015) Pathfinder Verification and Validation.

Thunderhead Engineering (2019) Pathfinder User Manual.

Thunderhead Pathfinder (2022)

Pathfinder Features. <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features>

IMO. (2016). MSC.1/Circ.1238, Guidelines for evacuation analysis for new and existing passenger ships. London: International Maritime Organization.

IMO. (2016). MSC.1/Circ.1533, Revised guidelines on evacuation analysis for new and existing passenger ships. London: International Maritime Organization.

IMO. (2016). MSC.1/Circ.1552, Amendments to the guidelines on alternative design and arrangements for fire safety (MSC/Circ.1002). London: International Maritime Organization.

Sharp G., Gwynne S., Galea, E. R. (2003). The effects of ship motion on the evacuation process, Maritime and Coastguard Agency Research project 490.

Azzi C., Pennycott A., Mermiris G., Vassalos D. (2011). Evacuation Simulation of Shipboard Fire Scenarios, Fire and Evacuation Modeling Technical Conference, Baltimore, MD., United States.

Henriques A., Dias C.,(2011). Societal Consequence Model (D2.3). Probabilistic Framework for Onboard Fire Safety. FIREPROOF project.

Breillard A., Bureau Veritas (2012). Enhanced Evacuation Scenarios – Background and Recommendations. Safeguard Passenger Evacuation Seminar, London, UK

Themelis N., Niotis, S., & Spyrou, K. J. (2012). Managing uncertainty in performance-based fire safety assessments of ships, Conference: XIV Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean, Genoa, Italy

Koromila I., Themelis N., Spyrou K.J. (2020), “The use of IMO life safety criteria in alternative cruise ship design”, Proceedings, Sustainable and Safe Passenger Ships, organized by Royal Institution of Naval Architects and the Hellenic Institute of Marine Technology.

Sotiralis P., Rammos A., Trifonopoulos L., Karaseitanidis G., Amditis A., & Karagiannidis L. (2020), “A critical review of the evacuation process due to fire or flooding from cruise vessels and large ROPAX vessels and the future challenges and developments”, Proceedings, Sustainable and Safe Passenger Ships, organized by Royal Institution of Naval Architects and the Hellenic Institute of Marine Technology.

Stefanidis F., Boulougouris E., & Vassalos D. (2020). “Modern Trends in Ship Evacuation”, Proceedings, Sustainable and Safe Passenger Ships, organized by Royal Institution of Naval Architects and the Hellenic Institute of Marine Technology.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ

Για τη μοντελοποίηση ενός φαινομένου που σε αυτή την περίπτωση είναι η εκκένωση, όπου η ανάλυσή της είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη, είναι απαραίτητη η χρήση υπολογιστικών εργαλείων προσομοίωσης. Τα εργαλεία αυτά βασίζονται σε ένα σύνολο μαθηματικών τύπων και αποτελούν ουσιαστικά προγράμματα που επιτρέπουν στον εκάστοτε μελετητή να παρατηρήσει το συγκεκριμένο φαινόμενο χωρίς να εκτελείται στην πραγματικότητα αυτό. Τα προγράμματα αυτά καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ανάλυσης διάφορων φαινομένων, αφού θεωρητικά κάθε φαινόμενο που μπορεί να εκφραστεί με εξισώσεις και μαθηματικά δεδομένα μπορεί να προσομοιωθεί. Το πρόγραμμα που εμείς θα χρησιμοποιήσουμε για να μοντελοποιήσουμε ένα επιβατηγό πλοίο και να προσομοιώσουμε την εκκένωση των καταστρωμάτων του θα είναι το Pathfinder της εταιρείας Thunderhead.

Pathfinder

Το Pathfinder (Thunderhead, 2022) που έχει αναπτυχθεί από την εταιρία thunderhead είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης εκκένωσης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης το οποίο περιλαμβάνει ταυτόχρονα επιφάνεια εργασίας φιλική προς τον χρήστη, ώστε να είναι δυνατόν να πραγματοποιούνται τα σενάρια εκκένωσης μέσα σε ρεαλιστικά μοντέλα καθώς και τη δυνατότητα να προσομοιώνονται τα σενάρια και να δίνουν ασφαλή αποτελέσματα μέσω της εφαρμογής Pathfinder VR Results. Συνεπώς, μέσω του λογισμικού αυτού ο χρήστης μπορεί να αξιολογεί τα σενάρια εκκένωσης πολύ γρήγορα, ρεαλιστικά και αποτελεσματικά.

Το Pathfinder περιέχει τρεις βασικές οπτικές για να κατασκευάσουμε και να δουλέψουμε τα μοντέλα εκκένωσης. Αυτές είναι:

- **Navigation View:** Περιέχει σε λίστα και με σειρά ιεραρχίας όλα τα βασικά στοιχεία του μοντέλου και χρησιμοποιείται για να τα εντοπίζουμε και να τα τροποποιούμε. Είναι και η οπτική που χρησιμοποιούμε περισσότερο για να πετύχουμε τη σωστή μοντελοποίηση.
- **3D View:** Η οπτική αυτή μας δείχνει μία αναπαράσταση του μοντέλου μας σε τρεις διαστάσεις.
- **2D View:** Είναι παρόμοια με την 3D View με τη διαφορά ότι έχουμε τη δυνατότητα να βλέπουμε το μοντέλο από όποια όψη επιθυμούμε επιλέγοντας μία από της οπτικές που είναι διαθέσιμες (orthographic cameras).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω για να κατασκευάσουμε και να μοντελοποιήσουμε επακριβώς τα σενάρια εκκένωσης στο λογισμικό, χρησιμοποιήσαμε το Navigation View και αυτό διότι μας βοηθάει να εντοπίζουμε με ευκολία αντικείμενα (πόρτες, διαδρόμους, σκάλες) αλλά και συγκεκριμένους occupants τα οποία είναι δυσκολότερα προσβάσιμα στα 3D και 2D views.

Το navigation view περιέχει τις επιλογές (groups) που αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

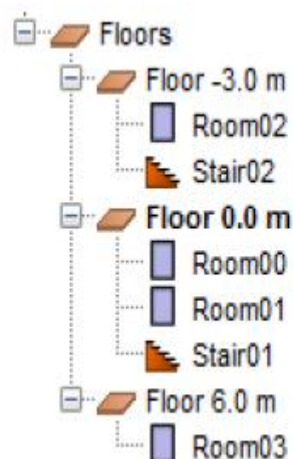
Πίνακας 45 : Pathfinder navigation view

Group	Περιγραφή
Views	Περιέχει τις όψεις που έχουν καθοριστεί από τον χρήστη
Imported Geometry	Αποθηκεύει τη γεωμετρία που μπορεί να έχουμε εισάγει από άλλο πρόγραμμα όπως το autoCAD ή το PyroSim.
Profiles	Περιέχει το προφίλ των ατόμων που έχουμε δημιουργήσει από την καρτέλα Edit Profiles.
Vehicle Shapes	Περιέχει το προφίλ των ατόμων με ειδικές ανάγκες.
Assisted Evacuation Teams	Περιλαμβάνει τις ομάδες βοηθών και τα άτομα στα οποία απευθύνονται σε περίπτωση εκκένωσης με ομάδες υποβοήθειας.
Behaviors	Σε αυτή την καρτέλα κατασκευάζονται οι συμπεριφορές που έχουν τα άτομα κατά τη διάρκεια της εκκένωσης.
Occupant Sources	Περιλαμβάνει πηγές ατόμων ανάλογα με την περιοχή, το δωμάτιο, ή την κάθε πόρτα και έχει την δυνατότητα να δημιουργεί άτομα κατά την διάρκεια της προσομοίωσης
Occupants	Περιέχει όλα τα άτομα που έχουν δημιουργηθεί.
Movement Groups	Περιλαμβάνει τις ομάδες εκκένωσης (πχ οικογένειες) που παραμένουν μαζί καθ' όλη τη διάρκεια της εκκένωσης.
Movement Group Templates	Σε αυτή την καρτέλα μπορεί να δημιουργηθεί αυτόματα μεγάλος αριθμός ομάδων εκκένωσης.
Elevators	Περιλαμβάνει τους ανελκυστήρες που τυχόν έχουμε δημιουργήσει.
Measurement Regions	Περιέχει τις περιοχές όπου θα πραγματοποιηθούν τυχόν μετρήσεις όπως μετρήσεις ταχύτητας ή πυκνότητας.
Floors	Η καρτέλα αυτή χωρίζει όλη τη γεωμετρία μας σε ορόφους και σε κάθε όροφο τοποθετεί τα δωμάτια και τους διαδρόμους που αντιστοιχούν.

Δημιουργία χώρων κίνησης

Επίπεδα (floors)

Τα επίπεδα είναι η πρωταρχική μέθοδος οργάνωσης μίας γεωμετρίας στο pathfinder. Το βασικότερο χαρακτηριστικό τους είναι ότι αποτελούνται από δωμάτια, σκάλες, ράμπες, εξόδους και δίνουν την δυνατότητα στους χρήστες να «φιλτράρουν» την γεωμετρία του χώρου για να βρίσκουν πιο εύκολα το εργαλείο που αναζητούν όπως φαίνεται και στην παρακάτω φωτογραφία.



Εικόνα 43 : Δημιουργία επιπέδων στο pathfinder

Σε κάθε γεωμετρία του pathfinder πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένα επίπεδο οποιαδήποτε στιγμή. Όταν αρχίζουμε να σχεδιάζουμε ένα καινούριο μοντέλο, τότε αυτόματα υπάρχει εξ αρχής ένα επίπεδο με $Z=0$ και τα υπόλοιπα επίπεδα δημιουργούνται είτε αυτομάτως στο οριζόντιο επίπεδο που σχεδιάζεται μία οποιαδήποτε γεωμετρία (πχ ένας διάδρομος, ένα δωμάτιο κλπ), είτε μπορούν να οριστούν χειροκίνητα από τον χρήστη. Όταν σχεδιάζεται οποιοδήποτε αντικείμενο τότε αυτό τοποθετείται από το πρόγραμμα σε ένα ενεργό επίπεδο ή σε μια υποομάδα αυτού του επιπέδου όπως περιεγράφηκε παραπάνω.

Δωμάτια (rooms)

Στο pathfinder δωμάτια ορίζονται οι χώροι στους οποίους οι άνθρωποι (occupants) μπορούν ελεύθερα να μετακινηθούν. Κάθε ένα από αυτά πρέπει να είναι περικλειστο από τοίχους και μπορούν να σχεδιαστούν διαδοχικά ακολουθώντας μεταξύ τους. Επίσης το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ενώσει ή να χωρίσει δυο δωμάτια καθώς και να δημιουργήσει εσωτερικά όρια εντός ενός δωματίου. Οι άνθρωποι μπορούν να μετακινηθούν από δωμάτιο σε δωμάτιο μόνο αν αυτά συνδέονται μεταξύ τους με πόρτα.

Το pathfinder παρέχει δύο τρόπους με τους οποίους μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα δωμάτιο:

- **Polygonal room tool.** Επιτρέπει τη δημιουργία σύνθετων σχημάτων ανεξαρτήτου πλήθους πλευρών είτε επιλέγοντας τα σημεία που επιθυμούμε πάνω στο μοντέλο είτε ορίζοντας με το πληκτρολόγιο τις ακριβείς συντεταγμένες (x,y,z) των σημείων χρησιμοποιώντας τις επιλογές “add point” και “close polygon” που βρίσκονται στο παράθυρο που εμφανίζεται.
- **Rectangular room tool.** Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μόνο ορθογώνιων δωματίων επιλέγοντας δύο μόλις σημεία πάνω στην επιφάνεια ή ορίζοντας με το πληκτρολόγιο τις συντεταγμένες τους στο παράθυρο που εμφανίζεται στο πάνω μέρος της οθόνης και επιλέγοντας κατόπιν το “create”

Ιδιότητες δωματίων (Room Properties)

Επιλέγοντας στην συνέχεια το δωμάτιο που κατασκευάσαμε έχουμε την δυνατότητα να καθορίσουμε τις ιδιότητες του από τις εντολές που εμφανίζονται στο πάνω μέρος της επιφάνειας εργασίας όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία:



Εικόνα 44 : Ιδιότητες δωματίων στο pathfinder

Οι ιδιότητες αυτές είναι:

- **Name:** Το όνομα που έχουμε δώσει στο δωμάτιο
- **Visible:** Επιλογή με την οποία μπορούμε να κάνουμε το δωμάτιο ορατό ή κρυφό
- **Color:** Με αυτή την επιλογή ορίζουμε το χρώμα του δωματίου στο σχέδιο
- **Opacity:** Αν είναι μικρότερο του 100% το δωμάτιο γίνεται διαφανές με αποτέλεσμα οποιοδήποτε αντικείμενο είναι πίσω από αυτό να είναι ορατό.
- **(X,Y,Z) Bounds:** Οι γεωμετρικές συντεταγμένες του δωματίου
- **Area:** Η επιφάνεια που καλύπτει το δωμάτιο σε m²
- **Pers:** Ο αριθμός των ατόμων που τη συγκεκριμένη στιγμή είναι μέσα στο δωμάτιο
- **Density:** Είναι ο λόγος pers/area
- **Refuge Area:** Όταν αυτή η επιλογή είναι ενεργοποιημένη μετατρέπει το δωμάτιο σε ‘καταφύγιο’ και τα άτομα που βρίσκονται εκεί λαμβάνονται από το πρόγραμμα ως ασφαλή
- **Speed Modifier:** Επιτρέπει τη μείωση της μέγιστης ταχύτητας με την οποία μπορούν να κινηθούν οι occupants στο συγκεκριμένο δωμάτιο
- **Capacity:** Η χωρητικότητα του δωματίου η οποία μπορεί να καθοριστεί είτε μέσω ενός μέγιστου αριθμού ατόμων που μπορούν να εισέλθουν, είτε μέσω μίας μέγιστης πυκνότητας δωματίου. Όταν η χωρητικότητα φτάσει το μέγιστο όριο της τότε κανένας άλλος occupant δεν μπορεί να εισέλθει στο δωμάτιο.

- **Accepted profiles:** Η λίστα των αποδεκτών προφίλ ατόμων που μπορούν να εισέλθουν στο δωμάτιο. Εάν δεν χρησιμοποιήσουμε αυτή την επιλογή τότε όλα τα προφίλ θεωρούνται αποδεκτά.

Πόρτες (doors)

Στο pathfinder οι άνθρωποι (occupants) μπορούν να περάσουν από ένα δωμάτιο σε ένα άλλο μόνο εάν αναμεσά τους έχουμε κατασκευάσει μία πόρτα. Επίσης, η εκτέλεση της προσομοίωσης έχει ως βασική προϋπόθεση να υπάρχει τουλάχιστον μία πόρτα εξόδου στη γεωμετρία μας. Οι πόρτες επιπλέον παρέχουν χρήσιμες μετρήσεις ροής της εκκένωσης στα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Μπορούμε να τις προσθέσουμε στο σχέδιο μας χρησιμοποιώντας την εντολή “Add a New Door”. Όταν προσθέτουμε πόρτες πρέπει να ορίσουμε κάποιες παραμέτρους ώστε το pathfinder να έχει στοιχεία για να την κατασκευάσει σωστά όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα:

X:	<input type="text" value="2.0 m"/>	Min Width:	<input type="text" value="45.58 cm"/>	<input type="button" value="Create Door"/>
Y:	<input type="text" value="1.5 m"/>	Max Width:	<input type="text" value="81.28 cm"/>	
Z:	<input type="text" value="0.0 m"/>	Max Depth:	<input type="text" value="25.4 cm"/>	

Εικόνα 45 : Κατασκευή πόρτας στο pathfinder

Αρχικά πρέπει να ορίσουμε τις συντεταγμένες του πρώτου σημείου από το οποίο το πρόγραμμα θα ξεκινήσει να κατασκευάζει την πόρτα. Η εντολές “Min Width” και “Max Width” ορίζουν το ελάχιστο και το μέγιστο μήκος που θέλουμε να έχουν οι πόρτες. Εάν για γεωμετρικούς λόγους είναι αδύνατο οι πόρτες να έχουν το μέγιστο μήκος που καθορίζουμε, τότε το πρόγραμμα αυτόματα κατασκευάζει την πόρτα με το μεγαλύτερο δυνατό μήκος. Η εντολή “Max Depth” εκπροσωπεί το μέγιστο βάθος της πόρτας και χρησιμοποιείται για να αποφασίσουμε πόσο απομακρυσμένα μπορεί να είναι δύο δωμάτια που ενώνονται από μία πόρτα.

Ιδιότητες πορτών (Door Properties)

Προκειμένου να ορίσουμε και να επεξεργαστούμε τις ιδιότητες μίας πόρτας πρέπει μόνο να την επιλέξουμε και στο πάνω μέρος της επιφάνειας εργασίας θα εμφανιστούν οι επιλογές που φαίνονται στην παρακάτω φωτογραφία:

Door00	<input type="checkbox"/> Color: <input type="text"/>	X Bounds: -5.82 m, -5.82 m	Width: <input type="text" value="81.28 cm"/>	<input type="checkbox"/> Flow Rate: <unlimited>	Wait Time: <input type="text" value="0.0 s"/>	Accepted Profiles: Default
<input checked="" type="checkbox"/> Visible	Opacity: <input type="text" value="100.0 %"/>	Y Bounds: 4.62 m, 5.43 m	State: Always Open			
		Z Bounds: 0.00 m, 0.00 m				

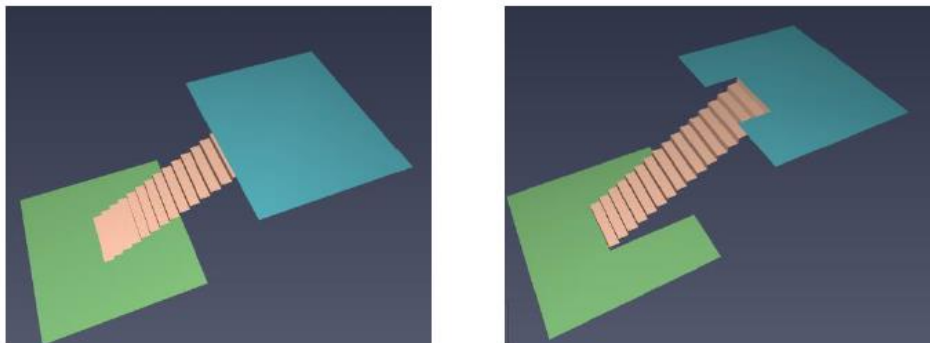
Εικόνα 46 : Ιδιότητες πορτών στο pathfinder

- **Width:** Πρόκειται για το μήκος της πόρτας που δεν μπορεί να υπερβαίνει το μήκος της εκάστοτε πλευράς του δωματίου που αντιστοιχεί.

- **Flow Rate:** Εάν ορίσουμε αυτή την παράμετρο μπορούμε να ελέγξουμε τον μέγιστο δείκτη ροής ατόμων από την πόρτα σε άτομα/δευτερόλεπτο (pers/s). Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν θέλουμε να κατασκευάσουμε ένα μηχανισμό όπως για παράδειγμα ένα τουρνικέ. Εάν για παράδειγμα ορίσουμε το flow rate στο 0.8 αυτό θα σημαίνει ότι ένα άτομο θα μπορεί να περνάει αυτή την πόρτα κάθε 1,25 δευτερόλεπτα ($1/0.8$).
- **State:** Μέσω αυτής της εντολής μπορούμε να καθορίσουμε πότε θα είναι ανοιχτή μία πόρτα και συνεπώς προσβάσιμη, πότε μία πόρτα δεν θα είναι διαθέσιμη καθώς και την επιτρεπόμενη κατεύθυνση της ροής των ατόμων (μπορούμε να την μετατρέψουμε σε πόρτα μονής κατεύθυνσης). Όταν ξεκινάμε μία προσομοίωση, το πρόγραμμα έχει όλες τις πόρτες είναι ανοιχτές και προσβάσιμες προς οποιαδήποτε κατεύθυνση.
- **Wait Time:** Ο χρόνος που απαιτείται να περιμένει ένα άτομο πριν διασχίσει μία πόρτα. Χρησιμοποιείται μόνο για ειδικές περιπτώσεις.
- **Accepted Profiles:** Η λίστα των αποδεκτών προφίλ ατόμων που μπορούν να διασχίσουν την πόρτα. Εάν δεν χρησιμοποιήσουμε αυτή την επιλογή τότε όλα τα προφίλ θεωρούνται αποδεκτά.

Σκάλες (stairs)

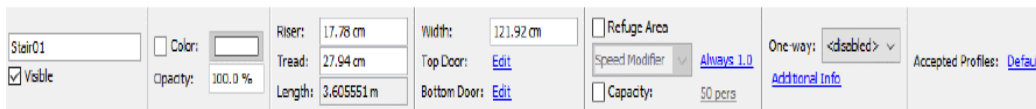
Στο pathfinder οι σκάλες παρουσιάζονται ως μια ευθεία ακολουθία σκαλοπατιών-βημάτων. Μπορούν να κατασκευαστούν από το χρήστη με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι με τη δημιουργία μίας σκάλας ανάμεσα σε δύο ημι-παράλληλες πλευρές δύο δωματίων και ο δεύτερος τρόπος είναι με τη δημιουργία μίας σκάλας που ξεκινά από ένα συγκεκριμένο σημείο ενός δωματίου έως ότου εκπληρωθεί ένα κριτήριο όπως ο μέγιστος αριθμός βημάτων ή το μέγιστο ύψος σκάλας. Μία απαραίτητη προϋπόθεση για κάθε σκάλα είναι ότι και οι δύο της πλευρές πρέπει να συνδέονται με ακριανές πλευρές δωματίων, που σημαίνει ότι πρέπει να υπάρχει κενός χώρος πάνω και κάτω από τη σκάλα. Ακολουθεί ένα παράδειγμα με σωστή (δεξιά) και λάθος (αριστερά) τοποθέτηση μίας σκάλας στο pathfinder.



Εικόνες 47 & 48 : Σωστή (δεξιά) και λανθασμένη (αριστερά) τοποθέτηση σκάλας

Ιδιότητες σκάλας (Stair Properties)

Οι σκάλες έχουν ένα αριθμό ιδιοτήτων που ελέγχουν την γεωμετρία τους και την συμπεριφορά των ατόμων που τις διασχίζουν. Όταν επιλέγουμε μία ένας πίνακας ιδιοτήτων εμφανίζεται στο πάνω μέρος της επιφάνειας εργασίας όπως φαίνεται και στην παρακάτω φωτογραφία.



Εικόνα 49 : Ιδιότητες σκάλας στο pathfinder

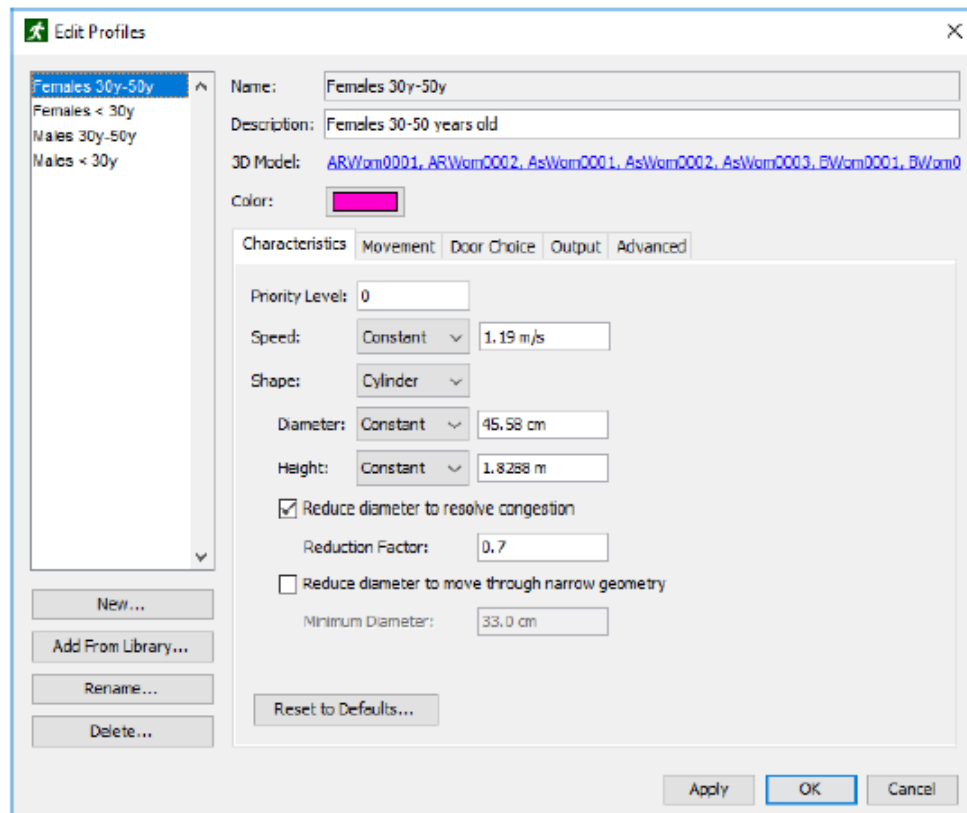
- **Riser και Tread:** Πρόκειται για το πόσο ύψος και πόσο πλάτος έχει το κάθε σκαλοπάτι. Συνεπώς, αυτή η εντολή επηρεάζει την ταχύτητα με την οποία μπορούν τα άτομα να διασχίσουν την κάθε σκάλα.
- **Length:** Το ολικό μήκος της σκάλας από την αρχή ως το τέλος της. Ισούται με την υποτείνουσα του ολικού rise και του ολικού thread.
- **Width:** Το ολικό πλάτος της σκάλας.
- **Top Door και Bottom Door:** Με αυτή την επιλογή έχουμε τη δυνατότητα να επεξεργαστούμε τις ιδιότητες της μίας πόρτας ανεξάρτητα από την άλλη.
- **One Way:** Με αυτή την επιλογή μπορούμε να μετατρέψουμε τη σκάλα σε σκάλα μονής κατεύθυνσης.
- **Speed Modifier:** Επιτρέπει τη μείωση της μέγιστης ταχύτητας με την οποία μπορούν να κινηθούν οι occupants στο συγκεκριμένη σκάλα.
- **Capacity:** Η χωρητικότητα της σκάλας η οποία μπορεί να καθοριστεί είτε μέσω ενός μέγιστου αριθμού ατόμων που μπορούν να εισέλθουν είτε μέσω μίας μέγιστης πυκνότητας.
- **Additional info:** Με την επιλογή αυτή έχουμε πρόσβαση σε περαιτέρω πληροφορίες για σκάλα όπως η επιφάνεια της και ο αριθμός των ατόμων που βρίσκονται πάνω.
- **Accepted Profiles:** Η λίστα των αποδεκτών προφίλ ατόμων που μπορούν να διασχίσουν την σκάλα. Εάν δεν χρησιμοποιήσουμε αυτή την επιλογή τότε όλα τα προφίλ θεωρούνται αποδεκτά.

Δημιουργία ατόμων (occupants)

Στο pathfinder τα άτομα προσδιορίζονται από δύο παραμέτρους, το **προφίλ** και την **συμπεριφορά**. Το προφίλ αφορά τα σταθερά χαρακτηριστικά των ατόμων όπως μέγιστη ταχύτητα, ηλικιακή ομάδα, ύψος και χρώμα στην προσομοίωση. Η συμπεριφορά καθορίζει την ακολουθία των ενεργειών που θα εκτελέσει το κάθε άτομο κατά τη διάρκεια της εκκένωσης όπως κίνηση σε δωμάτιο, κίνηση προς κάποια έξοδο ή βοήθεια σε άλλο άτομο.

Προφίλ ατόμων (profiles)

Το pathfinder χρησιμοποιεί ένα *occupant profile system* για να καταφέρει να κατανέμει σωστά τις διαφορετικές παραμέτρους των ατόμων. Το σύστημα αυτό μας βοηθάει να ελέγξουμε το μέγεθος την ταχύτητα και πολλά άλλα χαρακτηριστικά των ατόμων αναλόγως με την ομάδα που τους έχουμε κατανειμίει. Πιο συγκεκριμένα όταν στο μενού του μοντέλου επιλέξουμε το **edit profiles** εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα:



Εικόνα 50 : Προφίλ ατόμων στο pathfinder

Αρχικά πρέπει να επισημανθεί ότι το πρόγραμμα διαθέτει τυποποιημένα προφίλ ατόμων (π.χ Άνδρες 30-50 ετών) που ορίζει ο IMO όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος της καρτέλας. Μπορούμε να τα βρούμε εύκολα μέσω των βιβλιοθηκών που διαθέτει το pathfinder και να τα προσθέσουμε στο μοντέλο μας. Αυτά τα προφίλ είναι και κυρίως αυτά που θα χρησιμοποιηθούν και οποιαδήποτε αλλαγή θέλουμε να κάνουμε θα γίνεται πάνω σε αυτά για δική μας ευκολία.

Characteristics Tab

- **Priority Level:** Αυτή η επιλογή υποδεικνύει την προτεραιότητα του κάθε ατόμου στην εκκένωση. Για παράδειγμα μπορεί να θέλουμε να δώσουμε μεγαλύτερη προτεραιότητα σε άτομα με ειδικές ανάγκες, σε ηλικιωμένους ή σε παιδιά. Σε τέτοια περίπτωση τα άτομα με μικρότερη προτεραιότητα θα κάνουν χώρο για να κινηθούν τα υπόλοιπα άτομα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός που θα τοποθετήσουμε στην καρτέλα τόσο μεγαλύτερη

προτεραιότητα δίνουμε στο συγκεκριμένο άτομο. Φυσικά, αν αφήσουμε την καρτέλα κενή τότε όλα τα άτομα θα αρχίσουν να κινούνται ταυτόχρονα.

- **Shape:** Το σχήμα ενός occupant στο μοντέλο μας μπορεί να είναι είτε κυλινδρικό είτε πολυγωνικό. Εμείς χρησιμοποιούμε κυρίως το κυλινδρικό σχήμα στο οποίο μπορούμε επίσης να ορίσουμε τη διάμετρο και το ύψος του κυλίνδρου καθώς και έναν συντελεστή μείωσης της διαμέτρου για να αποφεύγεται ο συνωστισμός.
- **Speed:** Σε αυτή την καρτέλα μπορούμε να ορίσουμε την ταχύτητα των ατόμων που θα είναι είτε σταθερή (constant) είτε μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με συγκεκριμένες συνθήκες. Περισσότερα θα δούμε και στη συνέχεια όταν θα περιγράψουμε την καρτέλα *advanced speed properties*.

Movement Tab

Η καρτέλα αυτή περιέχει παραμέτρους που σχετίζονται με τον τρόπο που τα άτομα χρησιμοποιούν το περιβάλλον γύρω τους. Οι παράμετροι αυτές είναι οι εξής:

- **Initial Orientation:** Ο προσανατολισμός του ατόμου στην αρχή της προσομοίωσης
- **Requires Assistance to Move:** Η επιλογή αυτή χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να φτιάξουμε ομάδες υποβοήθειας στις οποίες ένα άτομο χρειάζεται την βοήθεια ενός δεύτερου για να κινηθεί.
- **Ignore One-Way Door Restrictions:** Το συγκεκριμένο άτομο θα έχει την δυνατότητα να αγνοήσει όλες τις πόρτες μονής κατεύθυνσης και συνεπώς μπορεί να τις διασχίσει.
- **Walk on Escalators:** Χρησιμοποιώντας αυτή την επιλογή επιτρέπουμε στον άτομο να χρησιμοποιεί κυλιόμενες σκάλες αν αυτές υπάρχουν στο μοντέλο μας.
- **Restricted Components:** Μέσω αυτής της καρτέλας έχουμε την δυνατότητα να αποτρέψουμε έναν συγκεκριμένο occupant να κινηθεί σε κάποιες πόρτες, δωμάτια ή σκάλες που θα επιλέξουμε.

Door Choice Tab

Η καρτέλα αυτή περιέχει παραμέτρους σχετικούς με το πως τα άτομα του μοντέλου επιλέγουν της πόρτες (του ίδιου δωματίου) που θα διασχίσουν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αυτές οι παράμετροι κυρίως σχετίζονται με το πόσο μακριά βρίσκεται μία συγκεκριμένη πόρτα, πόσος συνωστισμός σχηματίζεται μπροστά της ή πόσο μακριά βρίσκεται από την επόμενη πόρτα που πρέπει το άτομο να διασχίσει. Συνήθως είναι παράμετροι που επιλέγουμε να μην διαφοροποιούμε καθώς το πρόγραμμα από μόνο του οδηγεί τους occupants προς τον συντομότερο δυνατό δρόμο για την έξοδο.

Advanced Tab

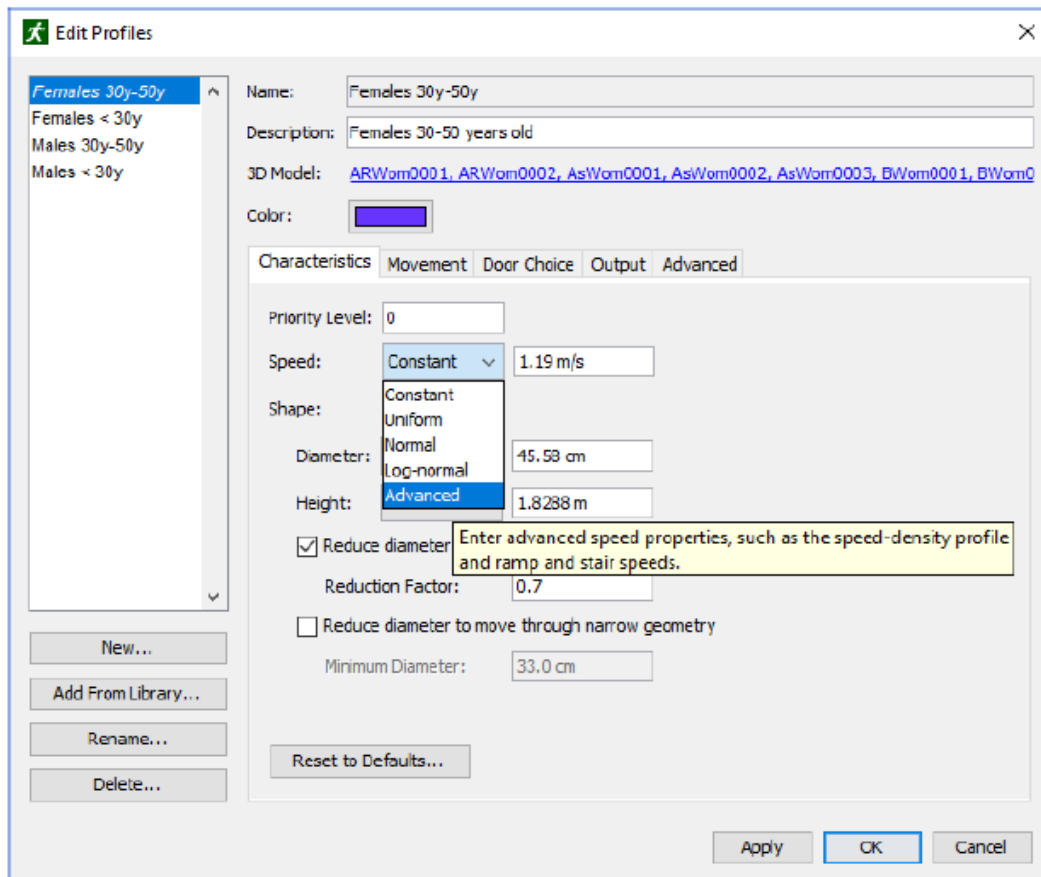
Η καρτέλα αυτή περιέχει επιμέρους ρυθμίσεις σχετικές με τους occupants που πιθανώς θα μας χρειαστούν σε πιο πολύπλοκα μοντέλα εκκένωσης. Αυτές οι ρυθμίσεις είναι:

- **Acceleration Time:** Αφορά τον χρόνο που παίρνει στο κάθε άτομο να πιάσει την μέγιστη του ταχύτητα.
- **Persist Time:** Πρόκειται για τον χρόνο που ένα άτομο διατηρεί την προτεραιότητα του (αν αυτή υπάρχει) όταν προσπαθεί να απεμπλακεί από τον συνωστισμό.
- **Collision Response Time:** Αφορά την απόσταση στην οποία το κάθε άτομο μπορεί να αντιληφθεί πιθανή σύγκρουση με άλλο άτομο ώστε να μπορεί να αλλάξει γρήγορα κατεύθυνση.
- **Slow Factor:** Είναι ο παράγοντας μείωσης της ταχύτητας ενός ατόμου σε περιοχές που δεν μπορεί να κινείται με την μέγιστη του ταχύτητα. Συνήθως χρησιμοποιείται σε σκάλες, ράμπες ή ειδικά δωμάτια. Για παράδειγμα εάν θέσουμε έναν slow factor = 0,7 τότε το συγκεκριμένο άτομο θα μπορεί να κινηθεί με το 70% της μέγιστής του ταχύτητας.
- **Wall Boundary Layer:** Καθορίζει την απόσταση που διατηρούν τα άτομα μακριά από τοίχους και άλλα στάσιμα εμπόδια.
- **Comfort Distance:** Πρόκειται για την επιθυμητή απόσταση που το κάθε άτομο προσπαθεί να διατηρήσει από ένα άλλο όταν βρίσκονται σε ουρά.

Advanced Speed Properties

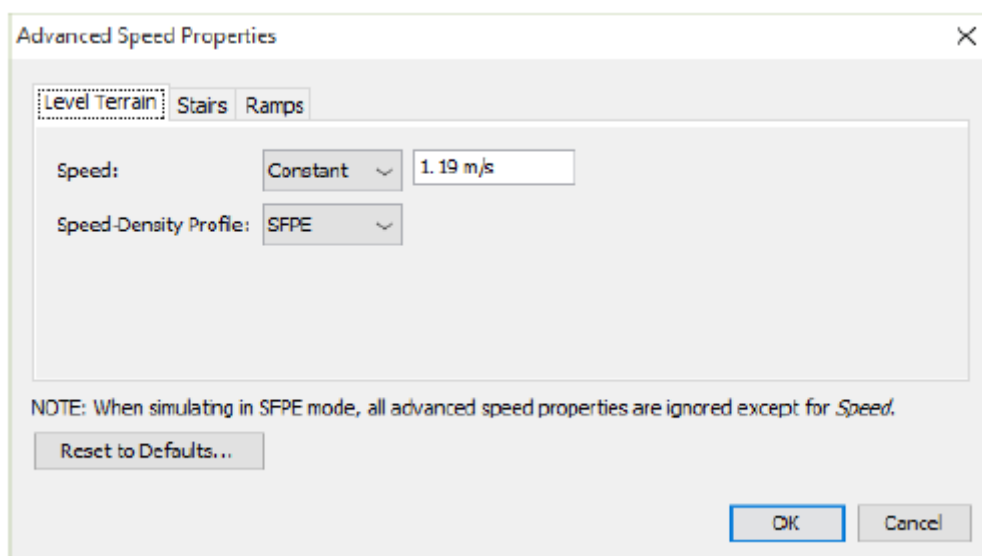
Στις περισσότερες περιπτώσεις οι χρήστες χρειάζεται μόνο να ορίσουν την μέγιστη ταχύτητα των ατόμων από το characteristics tab. Ωστόσο, η πραγματική ταχύτητα που θα έχουν τα άτομα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης ποικίλει σύμφωνα με τα συμπεράσματα του *'Engineering Guide to Human Behavior in Fire'* (SFPE, 2003) που λαμβάνουν υπόψη τον τύπο του εδάφους (σκάλες, ράμπες κλπ) και την πυκνότητα των δωματίων σε άτομα. Τα συμπεράσματα αυτά τα είναι εξ αρχής ενσωματωμένα στο πρόγραμμα.

Το pathfinder όπως καταλαβαίνουμε επιτρέπει έναν πολύ λεπτομερή έλεγχο της ταχύτητας των ατόμων, όμως ακόμη και τα συμπεράσματα του SFPE μπορούν να τροποποιηθούν ή να αντικατασταθούν από άλλα. Οι τροποποιήσεις αυτές μπορούν να γίνουν επιλέγοντας το **Speed** και στο κουτί που εμφανίζεται επιλέγουμε το **Advanced** όπως φαίνεται και στην παρακάτω φωτογραφία.



Εικόνα 51 : Επιλογή προχωρημένων ρυθμίσεων ταχύτητας

Η επιλογή αυτή θα ανοίξει την καρτέλα των advanced speed properties η οποία επιτρέπει την διαχείριση της ταχύτητας των ατόμων σε διαφορετικού τύπου επιφάνειες όπως επίπεδο έδαφος (level terrain), σκάλες (stairs) και ράμπες (ramps).

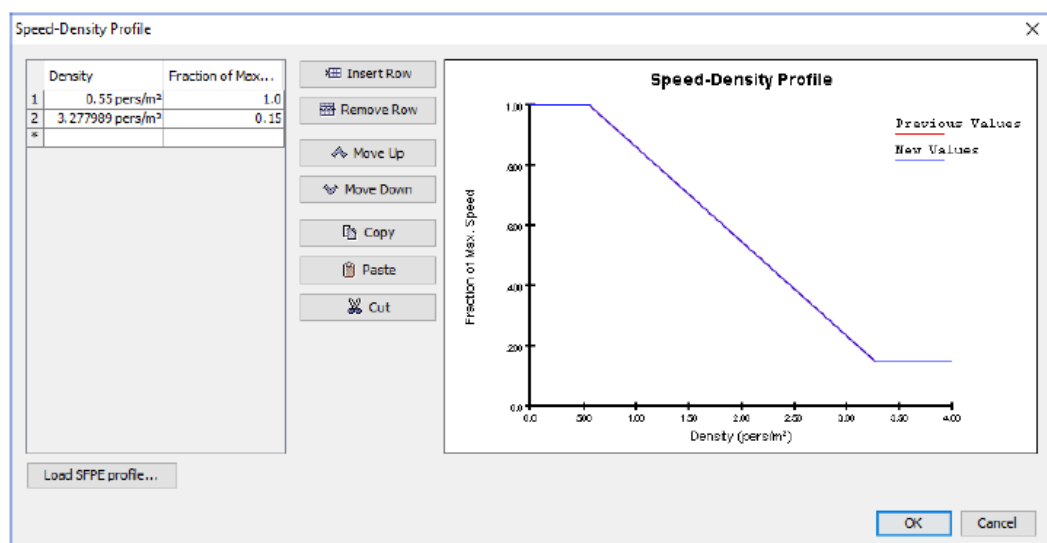


Εικόνα 52 : Καρτέλα προχωρημένων ρυθμίσεων ταχύτητας

Level Terrain Tab

Το προφίλ πυκνότητας-ταχύτητας (speed-density profile) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ορίσει την ταχύτητα ενός ατόμου ανάλογα με την πυκνότητα των ατόμων γύρω του και μπορεί να καθοριστεί με μία από της παρακάτω τρεις επιλογές:

- **SFPE:** Χρησιμοποιεί το θεμελιώδες διάγραμμα όπως αυτό καθορίζεται από το “Engineering Guide to Human Behavior in Fire” (SFPE,2003) προκειμένου να προσδιορίσουμε την ακριβή ταχύτητα των ατόμων.
- **Constant:** Η μέγιστη ταχύτητα πολλαπλασιάζεται με έναν σταθερό παράγοντα (π.χ 0,8) για να οριστεί η ταχύτητα του ατόμου. Στις περισσότερες περιπτώσεις το συγκεκριμένο άτομο είτε προσπαθεί να πιάσει αυτήν την ταχύτητα είτε είναι σταματημένο.
- **From Table:** Η ταχύτητα των ατόμων προκύπτει ως ποσοστό της μέγιστης του ταχύτητας σε συνάρτηση με την πυκνότητα των γύρω ατόμων. Το προφίλ της ταχύτητας παρουσιάζεται ως μία γραμμική συνάρτηση όπου τα σημεία του δείγματος καταγράφονται σε έναν πίνακα. Για πυκνότητες λοιπόν που βρίσκονται μέσα στο δοσμένο εύρος μπορεί να υπολογιστεί το ποσοστό της μέγιστης ταχύτητας με το οποίο κινείται το άτομο. Επιπλέον, δίνεται μία απεικόνιση του διαγράμματος στο δεξί μέρος της καρτέλας. Για να γίνει ο τρόπος υπολογισμού της ταχύτητας πιο κατανοητός παραθέτουμε την παρακάτω φωτογραφία από το pathfinder.



Εικόνα 53 : Speed density profile με την επιλογή from table

Stairs Tab

Η καρτέλα αυτή αφορά την ταχύτητα των ατόμων όταν βρίσκονται σε σκάλες και υπάρχει η δυνατότητα να ελέγξουμε τις παρακάτω παραμέτρους που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 46 : Παράμετροι για την κίνηση των επιβατών σε σκάλες

Parameter	Περιγραφή
Speed Fraction Up	Παράγοντας μείωσης της ταχύτητας όταν το άτομο ανεβαίνει τη σκάλα
Speed-Density Up	Το προφίλ ταχύτητας-πυκνότητας του ατόμου όταν ανεβαίνει τη σκάλα
Speed Fraction Down	Παράγοντας μείωσης της ταχύτητας όταν το άτομο κατεβαίνει τη σκάλα
Speed-Density Down	Το προφίλ ταχύτητας-πυκνότητας του ατόμου όταν κατεβαίνει τη σκάλα

Οι παραπάνω παράμετροι ορίζουν έναν παράγοντα (π.χ 0,7) που πολλαπλασιάζεται με την μέγιστη ταχύτητα του κάθε ατόμου για να προσδιοριστεί λεπτομερώς η ταχύτητα του ατόμου όταν διασχίζει τις σκάλες. Ο παράγοντας μπορεί να καθοριστεί με τρεις τρόπους.

- **SFPE:** Χρησιμοποιώντας τα συμπεράσματα του “Engineering Guide to Human Behavior in Fire” για την κίνηση στις σκάλες που είναι ενσωματωμένα στο pathfinder. Η επιλογή αυτή χρησιμοποιεί το ύψος και το πλάτος των σκαλοπατιών για να καθορίσει την ταχύτητα.
- **Constant:** Ένας σταθερός παράγοντας μείωσης της ταχύτητας που τον ορίζουμε εμείς. Για παράδειγμα, εάν ορίσουμε τον παράγοντα ίσο με 0,6 τότε το άτομο θα κινείται με το 60% της μέγιστης ταχύτητάς του όταν εισέρχεται στις σκάλες.
- **From Table:** Ο παράγοντας μείωσης της ταχύτητας μπορεί να οριστεί ως γραμμική συνάρτηση του λόγου ύψους/πλάτος των σκαλοπατιών όπως είδαμε και στο level terrain tab.

Ramps Tab

Η καρτέλα αυτή χρησιμοποιείται για να ελέγξουμε πιο λεπτομερώς την κίνηση των ατόμων στις ράμπες και οι παράμετροι που έχουμε να καθορίσουμε είναι πανομοιότυποι με αυτές στην καρτέλα για τις σκάλες.

Στοχαστικές Παράμετροι

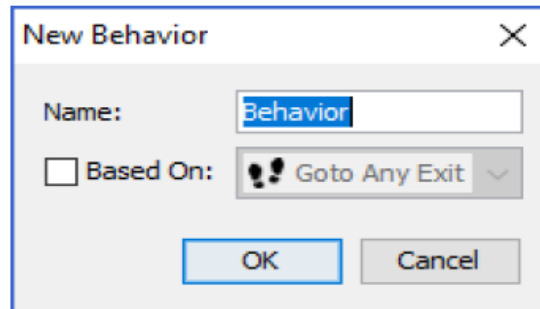
Οι περισσότερες παράμετροι όπως και η ταχύτητα μπορούν να καθοριστούν είτε από μία σταθερή τιμή, όπως είδαμε παραπάνω, είτε μέσω μίας κατανομής πιθανοτήτων. Μέσω του pathfinder μπορούμε λοιπόν να ορίσουμε την ταχύτητα των ατόμων και μέσω των ακόλουθων κατανομών.

Πίνακας 47 : Κατανομές ταχυτήτων στο pathfinder

Κατανομή	Περιγραφή
Constant	Καθορίζει μία σταθερή τιμή.
Uniform	Δίνει τυχαίες τιμές που κατανέμονται ομοιόμορφα μεταξύ των μέγιστων και ελάχιστων τιμών της παραμέτρου.
Normal	<p>Δίνει τυχαίες τιμές σε κανονική κατανομή με ορισμένο (από εμάς) μέσο όρο και τυπική απόκλιση σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση</p> $Z = \mu + \sigma(\chi)$ <p>Με μ και σ να είναι ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση αντίστοιχα, ενώ ο χ είναι ένας τυχαίος αριθμός της κανονικής κατανομής. Οι δοθείσες τιμές φυσικά έχουν ένα άνω και ένα κάτω όριο τα οποία δεν μπορούν να ξεπεραστούν.</p>
Lognormal	<p>Δίνει τυχαίες τιμές σε λογαριθμική κανονική κατανομή η οποία στην ουσία πρόκειται για την κανονική κατανομή της e^x και δίνεται από τον τύπο</p> $Z = e^{\mu + \sigma(\chi)}$ <p>Όπου μ και σ είναι ο λογάριθμος του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης της κατανομής.</p>

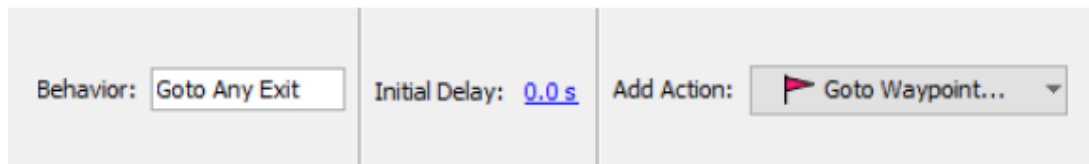
Συμπεριφορά ατόμων (behavior)

Οι συμπεριφορές στο pathfinder αντιπροσωπεύουν μία ακολουθία πράξεων που το κάθε άτομο θα κάνει κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Όταν τα άτομα ολοκληρώσουν αυτή την ακολουθία πράξεων τότε θεωρείται ότι έχουν ολοκληρώσει την εκκένωση και αφαιρούνται από την προσομοίωση. Σε όλα τα μοντέλα η πρωταρχική συμπεριφορά όλων των ατόμων είναι η "Go to any exit" κατά την οποία το κάθε άτομο κινείται προς την έξοδο από τον συντομότερο δρόμο. Όμως πριν γίνει αυτό υπάρχει η δυνατότητα να προβεί σε μία σειρά από πράξεις όπως μετακίνηση σε άλλο δωμάτιο, βοήθεια σε άλλο άτομο ή ακόμη και καθυστέρηση κίνησης. Αυτές οι επιπλέον ενέργειες προστίθενται από το χρήστη μέσω της επιλογής "**Behaviors**" που βρίσκεται στο Navigation View. Αφού κάνουμε δεξί κλικ εμφανίζεται η επιλογή "**Add a Behavior**" και στη συνέχεια η παρακάτω καρτέλα:



Εικόνα 54 : Καθορισμός συμπεριφοράς στο pathfinder

Αφού ονομάσουμε την ζητούμενη συμπεριφορά πρέπει να ορίσουμε σε ποια συμπεριφορά θα βασιστεί αυτή. Συνήθως η συμπεριφορά που βασιζόμαστε σε μοντέλα εκκένωσης είναι η “Go to any exit”. Κατόπιν, πατώντας το “ok” θα πρέπει να ορίσουμε τις επιμέρους ιδιότητες της συμπεριφοράς στο παράθυρο που εμφανίζεται στο πάνω μέρος της επιφάνειας εργασίας ως εξής:

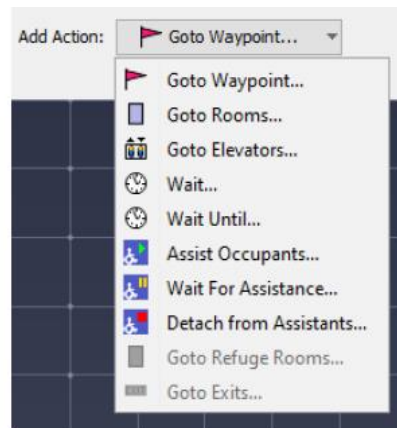


Εικόνα 55 : Ιδιότητες συμπεριφοράς των ατόμων

Η επιλογή “Initial Delay” χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να κάνουμε ένα άτομο ή μία συγκεκριμένη ομάδα ατόμων να περιμένει για μερικά δευτερόλεπτα στην αρχική του θέση πριν ξεκινήσει την διαδικασία της εκκένωσης. Θα μπορούσε να είναι χρήσιμη για παράδειγμα σε ένα σενάριο νυχτερινής εκκένωσης όπου οι περισσότεροι επιβάτες βρίσκονται στις καμπίνες τους και δεν έχουν τον ίδιο χρόνο αντίδρασης λόγω ύπνου.

Add Action

Σε κάθε συμπεριφορά μπορούμε να προσθέσουμε και περισσότερες ενέργειες όπως η μετακίνηση σε κάποιο άλλο χώρο, η μετακίνηση σε ένα σημείο αναφοράς, η χρήση ανελκυστήρων αν αυτοί υπάρχουν ή η αναμονή σε ένα δωμάτιο. Για να προσθέσουμε λοιπόν μία επιπλέον ενέργεια σε μία υπάρχουσα συμπεριφορά χρησιμοποιούμε την επιλογή “add action” που φαίνεται στην προηγούμενη φωτογραφία με αποτέλεσμα να εμφανιστεί το ακόλουθο μενού:



Εικόνα 56 : Προσθήκη επιμέρους ενέργειας στην συμπεριφορά ενός ατόμου

Στη συνέχεια καθορίζουμε τις επιμέρους παραμέτρους που θα ζητηθούν για την επιλεγμένη ενέργεια και κατόπιν το “create”. Εάν επιθυμούμε να προσθέσουμε παραπάνω ενέργειες στη συγκεκριμένη συμπεριφορά τότε ακολουθούμε την ίδια διαδικασία.

Περιγραφή τύπων ενεργειών

Πίνακας 48 : Περιγραφή επιπλέον ενεργειών στη συμπεριφορά ατόμου

Ενέργεια	Περιγραφή
Go to Waypoint	Μετακίνηση σε ένα συγκεκριμένο σημείο του μοντέλου
Go to Rooms	Μετακίνηση σε ένα επιλεγμένο δωμάτιο
Go to Elevators	Επιβάλλει την χρήση ανελκυστήρα
Wait	Αναμονή στο παρόν δωμάτιο για συγκεκριμένο χρόνο
Wait Until	Καθυστερήση κίνησης έως ότου περάσει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα της προσομοίωσης
Assist Occupants	Βοήθεια σε άτομα του μοντέλου που δεν μπορούν να μετακινηθούν
Wait for Assistance	Μετατροπή σε άτομο που χρειάζεται βοήθεια για να μετακινηθεί
Detach from Assistants	Διαχωρισμός ενός ατόμου από τον βοηθό του
Go to Refuge Rooms	Μετακίνηση σε δωμάτιο-καταφύγιο
Go to Exits	Μετακίνηση στην κοντινότερη έξοδο
Change Behavior	Αλλαγή συμπεριφοράς σε μία άλλη τυχαία συμπεριφορά