ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εξέταση αβεβαιοτήτων κατά την προσομοίωση εκκένωσης επιβατηγών πλοίων

ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Επιβλέπων

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΘΕΜΕΛΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας και ακολούθως την ολοκλήρωση της φοίτησής μου στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που συνέβαλαν σε αυτή.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό της σχολής για τη διατήρηση, σε δύσκολους καιρούς, του υψηλού επιπέδου των σπουδών. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Νικόλαο Θεμελή για την ενθάρρυνση και καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τους γονείς μου Γιώργο και Δήμητρα και την αδελφή μου Σέβη για την αμέριστη υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναλύσει τη διαδικασία εκκένωσης σε επιβατηγό πλοίο χρησιμοποιώντας αριθμητικές προσομοιώσεις μέσω λογισμικού προγράμματος, για την πραγματοποίησή της και τον υπολογισμό του χρόνου εκκένωσης.

Αρχικά, θα παρουσιαστεί το κανονιστικό πλαίσιο που σχετίζεται με το συγκεκριμένο πρόβλημα και θα αναλυθεί εκτενώς η οδηγία του IMO για την ανάλυση εκκένωσης.

Στη συνέχεια, θα γίνει ανάλυση των χαρακτηριστικών του αριθμητικού κώδικα δίνοντας έμφαση στις πιθανοθεωρητικές παραμέτρους που υπεισέρχονται στη διαδικασία όπως ο χρόνος απόκρισης, η ταχύτητα κίνησης των επιβατών κ.α..

Τα βασικά μοντέλα των σεναρίων που θα πραγματοποιηθούν είναι το κατάστρωμα καμπινών και οι κοινόχρηστοι χώροι του πλοίου. Είναι προφανές ότι η ανθρώπινη ζωή αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα κατά τη διαδικασία και η επιλογή των συγκεκριμένων χώρων έγκειται στο γεγονός ότι περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο αριθμό ατόμων πάνω στο πλοίο. Παρατίθενται τα αποτελέσματα των περιπτώσεων μελέτης και συγκρίνονται τα σενάρια μεταξύ τους.

Η διαδικασία της προσομοίωσης προσφέρει τη δυνατότητα στο μελετητή να ελέγχει τις διαφορές στους χρόνους εκκένωσης των σεναρίων και να εντοπίσει τους χώρους αυξημένης συμφόρησης από τους επιβάτες, πράγμα εξαιρετικά χρήσιμο για το σχεδιασμό των περιοχών ενός πλοίου και του σχεδίου εκκένωσης του.

Λέξεις-κλειδιά:

(Επιβατηγό Πλοίο, Εκκένωση, MSC, IMO, Pathfinder, Προσομοίωση, Μοντελοποίηση, Χρόνος Εξόδου, Συμφόρηση)

Abstract

The objective of this thesis is to analyze the process of evacuation on a passenger ship through a software program, for its realization and the calculation of the evacuation time.

Firstly, the regulations framework related to this problem will be presented and especially the IMO guidelines on evacuation analysis for passenger ships.

Then, the characteristics of the program will be analyzed, emphasizing the probabilistic parameters that are involved in the process, such as response time, walking speed, etc.

The basic models of the scenarios that will take place, are the cabin deck and the public spaces of the ship. It is obvious that human life is the most important factor in the process and the choice of specific spaces lies in the fact that they include the largest number of people on the ship. The results of the study cases are presented and the scenarios are compared with each other.

The simulation process allows the designer to observe the differences in evacuation times and locate increased congestion areas by passengers, which is extremely useful for designing areas of a ship and its evacuation plan.

Keywords:

(Passenger Ship, Evacuation, MSC, IMO, Pathfinder, Simulation, Modelling, Exit Time, Congestion)

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες ... 3

Περίληψη ... 4

Abstract ... 5

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ... 8

1.1. Πρόλογος-Προεπισκόπηση ... 8

1.2. Σκοπός εργασίας ... 9

1.3. Δομή εργασίας ... 9

2. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ IMO ... 11

2.1. Η Διεθνής Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα– SOLAS ... 11

2.2. Ο κώδικας Fire Safety Systems (FSS Code) ... 13

2.3. Οδηγίες IMO για την ανάλυση εκκένωσης σε επιβατηγά πλοία ... 14

2.3.1. Απλή μέθοδος ... 16

2.3.2. Σύνθετη μέθοδος ... 17

3. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ... 20

3.1. Κατηγορίες ... 20

3.2. EVI ... 21

3.3. Maritime Exodus ... 22

4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ PATHFINDER ... 25

4.1. Pathfinder ... 25

4.2. Παράμετροι προσομοίωσης ... 26

4.2.1. Προφίλ ατόμων ... 26

4.2.2. Συμπεριφορά επιβατών ... 31

4.3. Βασικές επιλογές ρύθμισης κίνησης ... 34

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΣΕ ΧΩΡΟ ΚΑΜΠΙΝΩΝ ΕΠΙΒΑΤΗΓΟΥ ΠΛΟΙΟΥ ... 37

5.1. Εισαγωγή γεωμετρίας και επεξεργασία ... 37

5.2. Χαρακτηριστικά χώρου ... 38

5.2.1. Γεωμετρία Μοντέλου ... 38

5.2.2. Τοποθεσίες Εξόδου ... 40

5.3. Περιπτώσεις ανάλυσης ... 42

5.4. Εξέταση ενός καταστρώματος διαμονής επιβατών ... 43

5.4.1. Σενάριο No.1 ... 43

5.4.2. Σενάριο No.2 ... 44

5.5. Εξέταση τεσσάρων καταστρωμάτων διαμονής επιβατών 47

5.5.1. Σενάρια No.3 & No.4 47

5.5.2. Σενάρια No. 5, No.6 & No.7 51

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΣΕ ΚΟΙΝΟΧΡΗΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΕΠΙΒΑΤΗΓΟΥ ΠΛΟΙΟΥ 56

6.1. Γεωμετρία Μοντέλου 56

6.2. Χαρακτηριστικά πληθυσμού 57

6.3. Σενάρια No. 8, No.9 & No.10 58

6.4. Σενάρια No. 11 & No.12 61

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 65

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 67

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι : Περιγραφή κύριων υπομοντέλων του προγράμματος, τρόπου εισαγωγής παραμέτρων και εξαγωγής αποτελεσμάτων 69

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ : Σενάρια με διαφοροποίηση της αρχικής σύνθεσης του πληθυσμού 79

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Πρόλογος-Προεπισκόπηση

Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει μία μεγάλη αύξηση του επιβατηγού στόλου και ταυτόχρονα αύξηση του μεγέθους των πλοίων. Ιδιαίτερα για τα κρουαζιερόπλοια, η ζήτηση της αγοράς επέφερε την ανάγκη για σχεδιασμό μεγαλύτερου μεγέθους πλοίων με αυξημένο αριθμό καταστρωμάτων και μεγάλους χώρους ψυχαγωγίας για τη φιλοξενία σημαντικά μεγαλύτερου αριθμού επιβατών. Φυσικό επακόλουθο είναι η ανάγκη εύρεσης καινοτόμων λύσεων όσον αφορά την βελτίωση της ασφάλειας και αντιμετώπισης καταστάσεων κινδύνου πάνω στο πλοίο. Αυτό, σε συνδυασμό με ατυχήματα όπως η προσάραξη του Costa Concordia και η περίπτωση της πυρκαγιάς στο MS Norman Atlantic, επιφέρουν πίεση για τη βελτιστοποίηση του χρόνου και της διαδικασίας της εκκένωσης του πλοίου από τους επιβάτες και το πλήρωμα.

Η εκκένωση ενός δυναμικού περιβάλλοντος, όπως ένα κρουαζιερόπλοιο μπορεί να αποτελέσει μία κρίσιμη διαδικασία όσον αφορά τον ανθρώπινο παράγοντα και σε πολλές περιπτώσεις περιορίζεται από ένα αυστηρό χρονικό πλαίσιο ιδιαίτερα όταν η εκκένωση οφείλεται σε πυρκαγιά. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τη μετακίνηση πολλών ατόμων εντός των τμημάτων του πλοίου, με τη βοήθεια του πληρώματος που επιφορτίζεται με την οργάνωση των επιβατών, την ακριβή αξιολόγηση των συνθηκών, τη λήψη αποφάσεων για την έγκαιρη και ασφαλή συγκέντρωση των επιβατών καθώς και την εγκατάλειψη του πλοίου (Sotiralis, et al., 2020).

Η εκκένωση του πλοίου είναι αποτέλεσμα συνήθως πυρκαγιάς, μεγάλης κλίμακας εισροής υδάτων λόγω σύγκρουσης ή προσάραξης, αστοχίας του εξοπλισμού ή μπορεί να οφείλεται σε ανθρώπινο σφάλμα. Ιδιαίτερα, η πυρκαγιά αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους κινδύνους που αν λάβει μεγάλες και ανεξέλεγκτες διαστάσεις μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες ανθρωπίνων ζωών. Ως εκ τούτου, εναλλακτικές διαδικασίες αξιολόγησης εισήχθησαν, που αποκλίνουν από την τρέχουσα πρακτική (βασισμένη στο κανονιστικό πλαίσιο) και η αξιολόγηση της πυρασφάλειας πραγματοποιείται βάση επιδόσεων μέσω πιθανοθεωρητικού μοντέλου. Στόχος αυτού είναι η δημιουργία πρακτικών τρόπων αξιολόγησης των επιλογών σχεδίασης για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής μετά από πυρκαγιά. (Themelis & Spyrou, 2012).

Η μοντελοποίηση της εκκένωσης πλοίων είναι μία πιο πολύπλοκη διαδικασία συγκριτικά με την εκκένωση σε κτίρια κυρίως λόγο του γεγονότος ότι τα άτομα στην περίπτωση έκτακτης ανάγκης θα κινηθούν από ένα περιβάλλον υψηλού κινδύνου, το πλοίο, σε ένα άλλο περιβάλλον υψηλού κινδύνου, τη θάλασσα. Κατά τη διαδικασία αυτή υπεισέρχονται διαδικαστικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες καθώς και η ανθρώπινη συμπεριφορά που σε πολλές περιπτώσεις καθιστούν τα συμβατικά λογισμικά εκκένωσης για διαφορετικά πεδία χρήσης, ακατάλληλα για την προσομοίωση εκκένωσης σε πλοίο (Stefanidis, et al., 2020). Η ισχύουσα νομοθεσία (οδηγίες IMO) για την εκκένωση των επιβατηγών πλοίων ενθαρρύνει την ανάπτυξη εναλλακτικών σχεδίων χρησιμοποιώντας διαδικασίες αξιολόγησης βάσει επιδόσεων, ανάλυση δηλαδή, της εκκένωσης μέσω προσομοιώσεων.

Για τους σκοπούς της τρέχουσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Pathfinder για την εκτέλεση των προσομοιώσεων της εκκένωσης.

1.2. Σκοπός εργασίας

Συνοπτικά, η τρέχουσα εργασία είναι μια προσπάθεια προσέγγισης των αβέβαιων παραγόντων που συμμετέχουν στη διαδικασία της εκκένωσης. Φυσικά, η διαδικασία της εκκένωσης αποτελεί ένα μεγάλο κεφάλαιο και η ανάλυση όλων των παραγόντων που επιδρούν σε αυτή δεν θα μπορούσε να αναλυθεί στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα αναπτυχθούν δύο βασικά απλοποιημένα μοντέλα διαφυγής με βάση τα σχέδια ενός πλασματικού κρουαζιερόπλοιου. Το πρώτο αφορά χώρο με καμπίνες επιβατών και το δεύτερο κοινόχρηστους χώρους του πλοίου, στα οποία δημιουργούμε σενάρια με βάση τη διαθεσιμότητα των εξόδων, την κίνηση κατά ομάδες κ.α.. Με την ανάπτυξη αυτών των πιθανοθεωρητικών μοντέλων χρησιμοποιώντας και τις υποδείξεις του IMO, για το συγκεκριμένο πρόβλημα, εισήχθησαν με κατανομές οι βασικοί παράγοντες στους οποίους κατά κύριο λόγο δώσαμε έμφαση: τον αρχικό χρόνο απόκρισης, τη σύνθεση και κατ' επέκταση τις ταχύτητες κίνησης των επιβατών.

Μέσα από αυτή τη διαδικασία, με την εκτέλεση προσομοιώσεων σεναρίων εκκένωσης διαφοροποιώντας κάποιους από τους παραπάνω παράγοντες, δίνεται η δυνατότητα στο μελετητή να κατανοήσει την επίδραση των παραγόντων αυτών στη διαδικασία της εκκένωσης και πιο συγκεκριμένα την αναγνώριση του βαθμού επίδρασης αυτών, στο συνολικό χρόνο εκκένωσης και την εύρεση των χώρων που παρουσιάζεται αυξημένη πυκνότητα ατόμων, δηλαδή σημεία συμφόρησης.

1.3. Δομή εργασίας

Η εργασία έχει την εξής δομή :

Στην Ενότητα 2, παρουσιάζεται μία ανασκόπηση των κανονισμών καθώς και οι προτεινόμενες μεθοδολογίες του IMO για την ανάλυση της εκκένωσης στα επιβατηγά πλοία.

Στην Ενότητα 3, περιγράφονται οι κατηγορίες των μοντέλων διαφυγής και στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά δύο από τα βασικά μοντέλα με τα χαρακτηριστικά τους, EVI και Maritime Exodus.

Στην Ενότητα 4, παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του προσομοιωτή εκκένωσης Pathfinder, οι διάφοροι παράμετροι που θα εισαχθούν στο μοντέλο (σύνθεση πληθυσμού, ταχύτητες κίνησης, σωματοδομή και συμπεριφορά ατόμων) για την πραγματοποίηση της ανάλυσης και οι ρυθμίσεις του προγράμματος Steering & SFPE.

Στην Ενότητα 5, περιγράφεται η μεθοδολογία που έλαβε χώρα για το σχεδιασμό ενός πλασματικού κρουαζιερόπλοιου καθώς και τα στοιχεία της γεωμετρίας του μοντέλου (χώροι και τοποθεσίες εξόδων διαφυγής επιβατών).

Στην Ενότητα 6, παρουσιάζονται τα σενάρια προσομοίωσης της εκκένωσης που αφορούν καταστρώματα καμπινών και τα αποτελέσματα αυτών με τις παρατηρήσεις.

Στην Ενότητα 7, γίνεται η ανάλυση του μοντέλου εκκένωσης σε κοινόχρηστους χώρους και παρατίθενται τα αποτελέσματα για τα διάφορα σενάρια που εκτελέστηκαν.

Στην Ενότητα 8, παραθέτουμε τα συμπεράσματα για τα διάφορα σενάρια που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Στο Παράρτημα Ι, παρουσιάζονται τα βασικά υπομοντέλα profile και behavior του προγράμματος καθώς και ο τρόπος εισαγωγής των παραμέτρων και εξαγωγής των αποτελεσμάτων στο πρόγραμμα.

Τέλος, στο Παράρτημα ΙΙ μελετάται η επίδραση της σύνθεσης του πληθυσμού που λαμβάνει χώρα στη διαδικασία και κυρίως ως προς τον χρόνο διαφυγής των ατόμων πραγματοποιώντας ανάλυση σεναρίων με χρήση διαφορετικών κατανομών πληθυσμού.

Προτού περιγραφούν τα χαρακτηριστικά του μοντέλου που μελετήθηκε, θα γίνει μια ανασκόπηση του κανονιστικού πλαισίου του προβλήματος της διαδικασίας εκκένωσης στα επιβατηγά πλοία.

2. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ IMO

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) είναι το εξειδικευμένο όργανο των Ηνωμένων Εθνών, με πρωταρχική μέριμνα του οργανισμού την ασφάλεια της ναυτιλίας και την πρόληψη της θαλάσσιας και ατμοσφαιρικής ρύπανσης από πλοία. Ο οργανισμός αποτελείται από την Ολομέλεια (Assembly), το Συμβούλιο (Council) και πέντε κύριες Επιτροπές (Committees) :

- την Επιτροπή Ασφάλειας (Maritime Safety),
- την Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (Marine Environment Protection),
- τη Νομική Επιτροπή (Legal),
- την Επιτροπή Τεχνικής Συνεργασίας (Technical Cooperation),
- και την Επιτροπή Διευκόλυνσης (Facilitation).

Για τη διασφάλιση της ασφάλειας στη θάλασσα, ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) εισήγαγε κανονισμούς μέσω της διεθνής σύμβασης SOLAS (Safety of Life at Sea) και του κώδικα FSS (Fire Safety Systems). Μια σύντομη περιγραφή των σχετικών με τη διαδικασία εκκένωσης σε επιβατηγά πλοία, παρουσιάζεται στις επόμενες παραγράφους.

2.1. Η Διεθνής Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα–SOLAS

Από όλες τις διεθνείς συμβάσεις που αφορούν την ασφάλεια στη θάλασσα, η πιο σημαντική είναι η *Διεθνής Σύμβαση για την Ασφάλεια της Ανθρώπινης Ζωής στη Θάλασσα (SOLAS)*. Η σύμβαση αποτελεί αποτέλεσμα διεθνούς συνδιάσκεψης που έλαβε χώρα μετά το γεγονός της βύθισης του Τιτανικού, και εγκρίθηκε το 1914, ωστόσο δεν τέθηκε ποτέ σε ισχύ λόγω του Πρώτου Παγκοσμίου Πολέμου. Ακολούθησαν τέσσερις αναθεωρήσεις της σύμβασης, το 1929, το 1948, το 1960 και τελικά το 1974. Η τελευταία, είναι η συνολική αναθεώρηση που τέθηκε σε ισχύ το 1980 και ισχύει μέχρι σήμερα. Τροποποιήσεις και ενημερώσεις αυτής συνεχίζουν να γίνονται ώστε να ανταποκρίνεται στα σημερινά δεδομένα.

Ο κύριος στόχος της σύμβασης είναι να καθορίσει τα ελάχιστα όρια για την κατασκευή, τον εξοπλισμό και τη λειτουργία των πλοίων τα οποία θα πρέπει να εναρμονίζονται με την ασφάλεια από την πλευρά της ανθρώπινης ζωής. Η τρέχουσα σύμβαση περιλαμβάνει 14 κεφάλαια κάθε ένα από τα οποία ασχολείται με μια ενότητα ζητημάτων.

Εικόνα 1 *: Σχηματική απεικόνιση των κεφαλαίων της SOLAS (Marine insight)*

Το κομμάτι που μας ενδιαφέρει είναι το κεφάλαιο II-2, το οποίο περιγράφει τα μέσα και τα μέτρα που θα πρέπει να ληφθούν για την προστασία έναντι πυρκαγιάς σε χώρους καταλυμάτων, χώρους φορτίου και μηχανοστασίου για επιβατηγά, φορτηγά και δεξαμενόπλοια. Οι διατάξεις του κεφαλαίου περιλαμβάνουν και τις ακόλουθες αρχές :

- Διαίρεση του πλοίου σε κύριες κατακόρυφες ζώνες.
- Διαχωρισμός των χώρων ενδιαίτησης από το υπόλοιπο πλοίο με θερμικά και δομικά όρια.
- Προστασία των διόδων εγκατάλειψης και διόδων πρόσβασης για καταπολέμηση της πυρκαγιάς.
- Άμεση διαθεσιμότητα συστημάτων πυρόσβεσης.

.

Ακόμη οι κανονισμοί απαιτούν την ύπαρξη τουλάχιστον δύο διαφορετικών τρόπων εγκατάλειψης από την κάθε κύρια ζώνη ο ένας από τους οποίους πρέπει να καταλήγει σε κλιμακοστάσιο για κατακόρυφη εκκένωση το οποίο θα μας απασχολήσει στη συνέχεια.

2.2. Ο κώδικας Fire Safety Systems (FSS Code)

Ο κώδικας FSS αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς κανονισμούς σχετικά με τα συστήματα πυρασφάλειας στο πλοίο. Οι κανονισμοί του με βάση τη σύμβαση SOLAS 1974 έχουν γίνει υποχρεωτικοί για περιπτώσεις ασφάλειας έναντι πυρκαγιάς και απαιτούνται από το κεφάλαιο 2 της διεθνούς σύμβασης. Περιλαμβάνει τα εξής κεφάλαια :

- Chapter 1 General
- Chapter 2 International shore connections
- Chapter 3 Personnel protection
- Chapter 4 Fire extinguishers
- Chapter 5 Fixed gas fire-extinguishing systems
- Chapter 6 Fixed foam fire-extinguishing systems
- Chapter 7 Fixed pressure water-spraying and water-mist fire-extinguishing systems
- Chapter 8 Automatic sprinkler, fire detection and fire alarm systems
- Chapter 9 Fixed fire detection and fire alarm systems
- Chapter 10 Sample extraction smoke detection systems
- Chapter 11 Low-location lighting systems
- Chapter 12 Fixed emergency fire pumps
- Chapter 13 Arrangement of means of escape
- Chapter 14 Fixed deck foam systems
- Chapter 15 Inert gas systems

Το κεφάλαιο που θα μας απασχολήσει στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης είναι το chapter 13. Σε αυτό το κεφάλαιο ορίζονται οι κανονισμοί που πρέπει να διέπουν τις διαστάσεις των κλιμακοστασίων, των θυρών και των διαδρόμων του πλοίου. Οι διαστάσεις των μέσων διαφυγής καθορίζεται από τον αριθμό των ατόμων που πρόκειται να τα χρησιμοποιήσουν. Οι υπολογισμοί των ελάχιστων απαιτήσεων των παραπάνω γίνονται με βάση δύο περιπτώσεις κατανομής των ατόμων που συμμετέχουν στη διαδικασία της εκκένωσης:

- Case 1 : Οι επιβάτες βρίσκονται όλοι στις καμπίνες τους με μέγιστη πληρότητα, τα 2/3 του συνολικού αριθμού του πληρώματος σε καμπίνες και το 1/3 στους χώρους εξυπηρέτησης επιβατών
- Case 2 : Οι επιβάτες βρίσκονται στους κοινόχρηστους χώρους καταλαμβάνοντας τα 3/4 της συνολικής χωρητικότητάς των χώρων και για τα μέλη του πληρώματος, το 1/3 βρίσκεται στους παραπάνω χώρους, το 1/3 στους χώρους υπηρεσιών και το υπόλοιπο 1/3 στους χώρους διαμονής του πληρώματος.

2.3. Οδηγίες IMO για την ανάλυση εκκένωσης σε επιβατηγά πλοία

Η Επιτροπή Ασφαλείας [Maritime Safety Committee (MSC)] είναι ο θεσμός του IMO με τη μεγαλύτερη βαρύτητα όσον αφορά τεχνικά ζητήματα. Ασχολείται με όλα τα θέματα που σχετίζονται με την ασφάλεια στη θάλασσα που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του IMO.

Η επιτροπή κατά την 96η 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 1η Ιανουαρίου 2020 (MSC.1/Circ.1533).

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. 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.

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) : τον απαιτούμενο χρόνο διαμετακόμισης στο σταθμό συγκέντρωσης
3. Embarkation (E) : ο χρόνος επιβίβασης στις σωστικές λέμβους
4. Launching (L) : ο χρόνος καθέλκυσης των λεμβών

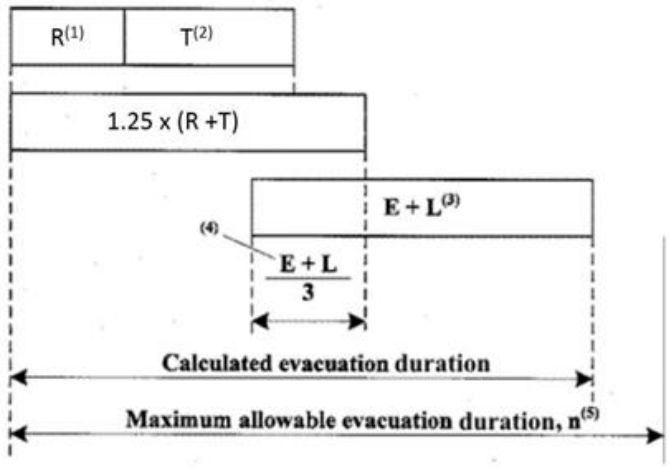
Για τον υπολογισμό της συνολικής χρονικής διάρκειας εκκένωσης χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση :

$$1{,}25\ (R+T) + 2/3\ (E+L) \leq n$$

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 υπεισέρχεται στην εξίσωση καθώς όπως διακρίνεται στο παρακάτω σχήμα, οι φάσεις (R+T) με (E+L) επικαλύπτονται.



(1) according to detailed specification of analysis method
(2) calculated as in the annexes to these guidelines
(3) maximum 30 min in compliance with SOLAS regulation III/21.1.3
(4) overlap duration = 1/3 (E+L)
(5) values of n (min) provided in 5.2

Εικόνα 2 *: Χρόνος εκκένωσης (MSC.1/Circ.1533)*

Σενάρια εκκένωσης

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

- 1η περίπτωση (primary evacuation case, night) και 2η περίπτωση (primary evacuation case, day) δηλαδή τα βασικά σενάρια νύχτας και μέρας αντίστοιχα, όπως αυτά ορίζονται από τον κώδικα FSS.
- 3η περίπτωση (secondary evacuation cases, night) και 4η περίπτωση (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 σενάρια μπορούν να εξεταστούν για κάθε μία από τις κατηγορίες 3 και 4 :

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 ro-ro επιβατηγά πλοία.
2. το 50% των ατόμων γειτονικής κατακόρυφης ζώνης με τον μεγαλύτερο πληθυσμό, εισέρχεται στην κύρια κατακόρυφη ζώνη και από κει στον σταθμό συγκέντρωσης.

2.3.1. 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 βάδισης 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_l . 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 Fs (p/m/s) (με γραμμική παρεμβολή από υπάρχον πίνακα) και η ροή Fc (p/s) για τις πόρτες, τους διαδρόμους, που αποτελεί το γινόμενο της ροής Fs επί το καθαρό πλάτος Wc (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 Σ Fc(in)i = Σ Fc(out)j . Για κάθε κλίμακα και διάδρομο υπολογίζεται ο χρόνος t_F ως το πηλίκο των ατόμων που εισέρχονται N προς τη ροή Fc 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_l λογίζεται ως :

$$t_I = t_F + t_{deck} + t_{stair} + t_{assembly}$$

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

$$T= (\gamma+\delta)\ t_l$$

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_l : 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 Fc εισόδου και εξόδου υπερβαίνει το όριο 1,5 p/s.

2.3.2. 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, θα πρέπει να μελετηθούν τα τέσσερα σενάρια αναφοράς που έχουμε αναλύσει παραπάνω με τις εξής διαφοροποιήσεις :

1η και 3η περίπτωση (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 εξηπηρέτησης (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.

2η και 4η περίπτωση (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_l για κάθε ένα από τα τέσσερα σενάρια που μελετώνται, λαμβάνει την τιμή που ανταποκρίνεται στο 95% των μεγαλύτερων τιμών t_l 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_l.

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 απτό 10% του συνολικού $t_{assembly}$, οι περιοχές αυτές θεωρούνται σημαντικές.

3. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΙ ΚΩΔΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ

3.1. Κατηγορίες

Υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία μοντέλων εκκένωσης ειδικά αναπτυγμένα για περιπτώσεις σεναρίων εκκένωσης σε πλοία, κάθε ένα από τα οποία έχει τη δική του φιλοσοφία για την ανάλυση του φαινομένου. Σύμφωνα με την προσέγγιση των Gwynne και Galea (Lee et al., 2003), τα μοντέλα εκκένωσης μπορεί να ταξινομηθούν ανάλογα με τις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες:

- **Η φύση των μοντέλων**, η οποία αναφέρεται στη βελτιστοποίηση, την προσομοίωση και εκτίμηση κινδύνου.
- **Η αναπαράσταση περιβλήματος**, η διαφορετική προσέγγιση δηλαδή, που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα μοντέλα εκκένωσης για την αναπαράσταση της γεωμετρίας τους. Με βάση αυτό, υπάρχουν δύο προσεγγίσεις, μία λεπτομερής (fine approach) και μία τραχύς (coarse approach). Σε μια λεπτομερή προσέγγιση δικτύου, ολόκληρο το εμβαδόν της γεωμετρίας αντιπροσωπεύεται λεπτομερώς συνήθως από μια συλλογή κόμβων και πλακιδίων. Από την άλλη πλευρά, σε μια τραχύ προσέγγιση, αντιπροσωπεύονται μόνο οι τοπολογίες σημαντικών δομών όπως για παράδειγμα οι διάδρομοι και τα δωμάτια.
- **Η αναπαράσταση του πληθυσμού**, που μπορεί να πραγματοποιηθεί μεμονωμένα (individual approach) και μαζικά (global approach). Η πρώτη προοπτική αναπαράστασης του πληθυσμού επιτρέπει την εκχώρηση μεμονωμένων ή τυχαίων χαρακτηριστικών στα άτομα του μοντέλου, ενώ αντίθετα, στη δεύτερη τα άτομα συμπεριφέρονται ως μία ομοιογενής ομάδα.
- **Οι προοπτικές της συμπεριφοράς** των ατόμων που λαμβάνουν χώρα στη διαδικασία της εκκένωσης, και αφορά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων αυτών. Υπάρχουν πέντε διαφορετικοί τρόποι λήψης αποφάσεων :
    - Χωρίς σύστημα συμπεριφοράς,
    - Σύστημα συμπεριφοράς λειτουργικής αναλογίας,
    - Σιωπηρό σύστημα συμπεριφοράς,
    - Σύστημα συμπεριφοράς βάσει κανόνα,
    - Σύστημα συμπεριφοράς βασισμένο στην τεχνητή νοημοσύνη.

Ο τρόπος κίνησης των ατόμων αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα κατά τη διαδικασία της εκκένωσης. Με βάση αυτόν, υπάρχουν τρεις κατηγορίες μοντελοποίησης, η μικροσκοπική, η μακροσκοπική και η μεσοσκοπική προσέγγιση (Helbing, et al., 2000, Lee et al., 2003) :

- Σε **μικροσκοπικά μοντέλα (microscopic models)**, η συμπεριφορά του κάθε ατόμου μοντελοποιείται ξεχωριστά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύ για την εκτέλεση της διαδικασίας συγκριτικά με τα

άλλα δύο μοντέλα, καθώς επιτρέπει την εισαγωγή τύπων ατόμων διαφορετικών ως προς τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τους.

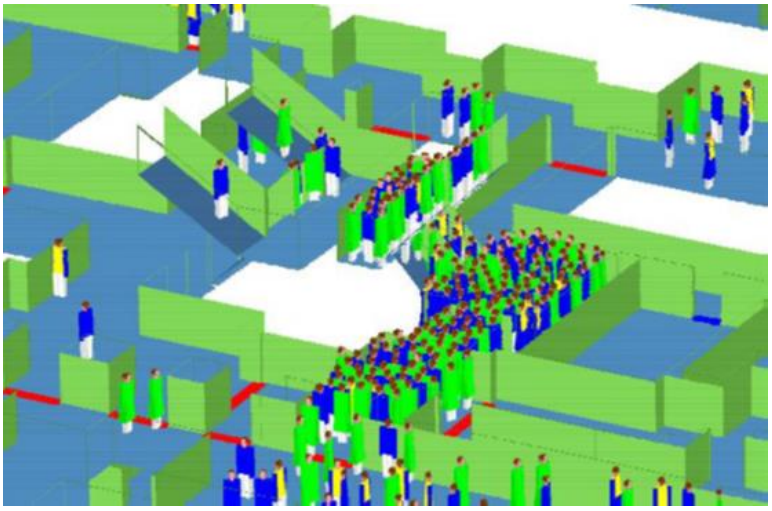
- **Μακροσκοπικά μοντέλα (macroscopic models)**, είναι τα μοντέλα που περιγράφουν τη ροή των ατόμων σαν ένα υδραυλικό δίκτυο. Η βασική αρχή αυτών των μοντέλων είναι η εξίσωση συνέχειας σχετικά με τη σχέση πυκνότητας και ροής των ατόμων. Ο συγκεκριμένος τύπος μοντέλων όπως θα δούμε στη συνέχεια, χρησιμοποιείται από τον IMO στην απλουστευμένη ανάλυση εκκένωσης.
- Τα **μεσοσκοπικά μοντέλα (mesoscopic models)**, αποτελούν ένα συνδυασμό των ιδιοτήτων των δύο παραπάνω μοντέλων προσομοίωσης.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται δύο τυπικά προγράμματα προσομοίωσης της εκκένωσης που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία και αναλύονται τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους.

3.2. EVI

Το πρόγραμμα EVI (**Ev**acuability **I**ndex) είναι ένα μοντέλο προσομοίωσης της εκκένωσης επιβατηγού πλοίου που έχει αναπτυχθεί από το SSRC (Ship Stability Research Center, University of Strathclyde) σε συνεργασία με την Deltamarin Ltd, RCI και Color Line. Είναι ειδικά σχεδιασμένο για θαλάσσιες εφαρμογές και έχει την ικανότητα να μοντελοποιήσει μεγάλο RoPax και κρουαζιερόπλοια (Vassalos et al., 2001a). Χρησιμοποιείται για την ανάλυση εκκένωσης κρουαζιερόπλοιων και επιβατηγών πλοίων αλλά και από ναυπηγεία και νηογνώμονες για το σχεδιασμό και την πιστοποίηση τους αντίστοιχα.

Η μοντελοποίηση της γεωμετρίας γίνεται με την εισαγωγή στο πρόγραμμα του σχεδίου γενικής διάταξης (GA) του πλοίου σε format DXF μέσω του EvE (Evacuation Editor) και στη συνέχεια εισάγεται στο EVI . Το πρόγραμμα είναι ικανό να μοντελοποιήσει πλοία πολλών καταστρωμάτων που αναπαρίστανται σε 2D ½ γεωμετρία (Εικόνα 3), δηλαδή ο χρήστης μπορεί να προσανατολιστεί γύρω από τη συγκεκριμένη δομή που έχει δημιουργήσει το πρόγραμμα.



Εικόνα 3 *: 3D απεικόνιση πλοίου στο πρόγραμμα EVI (Vassalos et al., 2004)*

Όσον αφορά την προοπτική της κυκλοφορίας των ατόμων το πρόγραμμα EVI αποτελεί ένα μεσοσκοπικό μοντέλο πολλαπλών παραγόντων συνδυάζοντας μικροσκοπικά και μακροσκοπικά χαρακτηριστικά για τη μοντελοποίηση. Ακόμη επιτρέπει την αναπαράσταση μεμονωμένων χαρακτηριστικών (φύλο, ηλικία, κινητικότητα) για κάθε άτομο, χρησιμοποιεί δηλαδή, ατομική προοπτική για την αναπαράσταση του πληθυσμού. Με βάση την προοπτική της συμπεριφοράς των ατόμων, το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα στο μελετητή να χρησιμοποιήσει διάφορα συστήματα συμπεριφοράς ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες του προβλήματος που αναλύει.

Το πρόγραμμα είναι ικανό να μοντελοποιήσει πληθώρα σεναρίων εκκένωσης, που περιλαμβάνουν διαφυγή από καταστάσεις έκτακτης ανάγκης όπως σενάρια πυρκαγιάς. Ιδιαίτερα για την πραγματοποίηση των τελευταίων, δίνεται η δυνατότητα να ενσωματωθούν στο πρόγραμμα δεδομένα πυρκαγιάς, όπως ορατότητα, ποιότητα αέρα (επίπεδα CO / CO2) και θερμοκρασία για την προσομοίωση καπνού και τοξικής ατμόσφαιρας.

3.3. Maritime Exodus

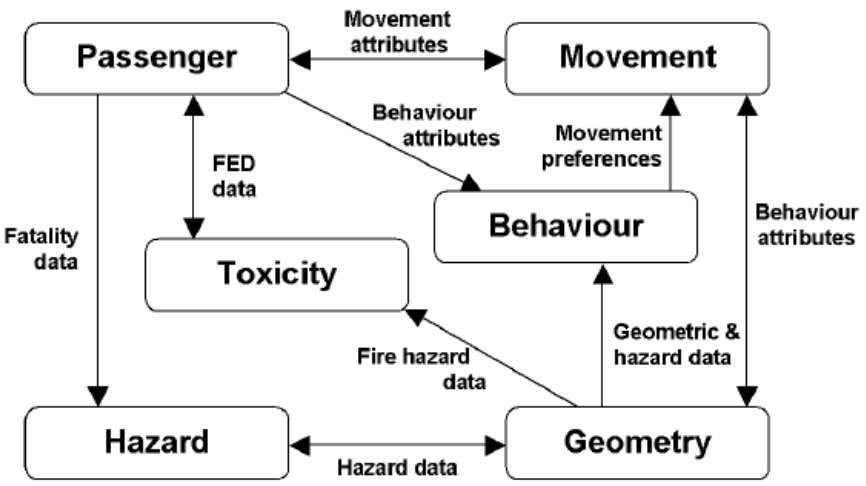
Η FSEG (Fire Safety Engineering Group, University of Greenwich) έχει αναπτύξει μια οικογένεια λογισμικών προγραμμάτων που ονομάζονται EXODUS σχεδιασμένα για την προσομοίωση εκκένωσης μεγάλου πληθυσμού ατόμων σε μεγάλες και σύνθετες κατασκευές. Για την προσομοίωση εκκένωσης σε πλοία χρησιμοποιείται η έκδοση Maritime Exodus.

Η διάταξη του πλοίου μπορεί να διαμορφωθεί χρησιμοποιώντας σχέδιο μορφής DXF αλλά και με τη βοήθεια διαδραστικών εργαλείων που παρέχονται από το πρόγραμμα. Εσωτερικά, ο χώρος της γεωμετρίας χωρίζεται από ένα πλέγμα κυψελών που απέχουν μεταξύ τους 0,5 m και ενώνονται μεταξύ τους με ακμές. Η κάθε κυψέλη αποτελεί

ουσιαστικά μία περιοχή που μπορεί να καταλαμβάνεται συνήθως από έναν μόνο άτομο, τα οποία μπορούν να μετακινηθούν από κυψέλη σε κυψέλη κατά μήκος των ακμών.

Ως έξοδο (output), το πρόγραμμα παράγει δισδιάστατα διαδραστικά αποτελέσματα αλλά και μέσω του γραφικού περιβάλλοντος vrEXODUS, που παράγει τρισδιάστατα αποτελέσματα, επιτρέποντας στον μελετητή να παρατηρήσει την προσομοίωση της εκκένωσης καθώς λαμβάνει χώρα.

Το Maritime Exodus χρησιμοποιεί ατομική προοπτική (individual approach) για την αναπαράσταση των ατόμων παρακολουθώντας τη κίνηση του κάθε ατόμου. Η κίνηση και η συμπεριφορά του κάθε ατόμου καθορίζεται από ένα σύνολο κανόνων στοχαστικής φύσης και με την αλλαγή τους τα αποτελέσματα για το ίδιο σενάριο διαφέρουν. Οι κανόνες έχουν κατηγοριοποιηθεί στα παρακάτω διαδραστικά υπομοντέλα (sub-models).



Εικόνα 4 *: Αλληλεπίδραση υπομοντέλων EXODUS (Sharp et al., 2003)*

- Το υπομοντέλο **Passenger**, αφορά τον καθορισμό του πληθυσμού που υπεισέρχονται στη διαδικασία της εκκένωσης. Τα άτομα ορίζονται με βάση μια σειρά από μεταβλητές όπως το όνομα, το φύλο, την ηλικία, τη μέγιστη ταχύτητα κίνησης, το χρόνο απόκρισης και την ευκινησία.
- Το υπομοντέλο **Movement**, αποτελεί το σημαντικότερο υπομοντέλο καθώς με αυτό ρυθμίζεται η μετακίνηση των επιβατών στο χώρο.
- Το υπομοντέλο **Behavior**, είναι η πιο σύνθετη ενότητα από τα υπόλοιπα υπομοντέλα. Σε αυτό ενσωματώνονται ρυθμίσεις του προγράμματος που προσαρμόζονται από τον μελετητή και περιλαμβάνουν τη γνώση του χώρου, την αντίδραση στην επικοινωνία, τη συμπεριφορά των ατόμων στην ίδια ομάδα (συνεργάτες), τα κίνητρα των επιβατών καθώς και την αντίδραση σε κίνδυνο πυρκαγιάς.
- Το υπομοντέλο **Hazard**, είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο (χωρικά και χρονικά) του ατμοσφαιρικού και φυσικού περιβάλλοντος. Με βάση αυτό κίνδυνοι όπως θερμότητα, ακτινοβολία, συγκέντρωση καπνού και τοξικών αερίων πυρκαγιάς,

κατανέμονται σε όλη την ατμόσφαιρα του σκάφους ως συνάρτηση του χρόνου και της θέσης και ελέγχεται η διαθεσιμότητα των εξόδων (δηλαδή άνοιγμα και ώρες κλεισίματος για έξοδο).

- Το υπομοντέλο **Toxicity**, καθορίζει τις φυσιολογικές επιπτώσεις του περιβάλλοντος δηλαδή, τα θερμικά και τοξικά προϊόντα που κατανέμονται από το υπομοντέλο hazard στον κάθε επιβάτη.

4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ PATHFINDER

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, 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 λογισμικά 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 επιλέχθηκε για την προσομοίωση της εκκένωσης στα πλαίσια αυτής της εργασίας ήταν το Pathfinder, που έχει αναπτυχθεί από την εταιρία Thunderhead Engineering (Pathfinder User Manual, 2019). Ανήκει στην κατηγορία των μικροσκοπικών μοντέλων (microscopic models) και η αναπαράσταση του πληθυσμού πραγματοποιείται μεμονωμένα (individual approach). Το συγκεκριμένο πρόγραμμα για τις ανάγκες εκτέλεσης προσομοιώσεων έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλες εργασίες (Koromila, et al., 2020), (Ntounis, A., 2017).

4.1. Pathfinder

Το Pathfinder είναι ένας προσομοιωτής εξόδου έκτακτης ανάγκης και ανθρώπινης κίνησης και αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τη μοντελοποίηση τέτοιων διαδικασιών. Περιλαμβάνει :

- το γραφικό περιβάλλον που χρησιμοποιεί ο χρήστης,
- τον προσομοιωτή και
- το πρόγραμμα προβολής τρισδιάστατων αποτελεσμάτων.

Ένα από τα βασικά γνωρίσματα του συγκεκριμένου λογισμικού είναι ότι επιτρέπει την αξιολόγηση μοντέλων εκκένωσης δίνοντας ρεαλιστικά αποτελέσματα με γρήγορο τρόπο συγκριτικά με άλλους προσομοιωτές καθώς προσφέρει, όπως θα δούμε και στη συνέχεια, έναν ευέλικτο τρόπο ελέγχου των ατόμων και της συμπεριφοράς τους. Το Pathfinder χρησιμοποιεί ένα 3D τριγωνικό πλέγμα για να αντιπροσωπεύσει τη γεωμετρία του μοντέλου. Ως αποτέλεσμα, το Pathfinder μπορεί να απεικονίσει με ακρίβεια γεωμετρικές λεπτομέρειες και καμπύλες, ενώ ακόμη διευκολύνεται η συνεχή κίνηση ατόμων σε όλο το μοντέλο.

4.2. Παράμετροι προσομοίωσης

Τα βασικά χαρακτηριστικά των ατόμων που θα συμμετέχουν στην εκκένωση μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, το προφίλ τους και τη συμπεριφορά τους κατά τη διάρκεια της εκκένωσης. Στο προφίλ, εντάσσονται χαρακτηριστικά του ατόμου όπως το φύλο, η ηλικία, η σωματοδομή του αλλά και η ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινηθεί, ενώ στη συμπεριφορά όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που θα του υπαγορέψουν το ρόλο του και το σκοπό κατά την εκτέλεση της εκκένωσης. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται όπως θα δούμε και στη συνέχεια κυρίως για λόγους ευκολίας εισαγωγής αυτών των χαρακτηριστικών στο πρόγραμμα και την εκτέλεση της προσομοίωσης.

4.2.1. Προφίλ ατόμων

Κατηγορίες επιβατών

Η σύνθεση του πληθυσμού, στην παρούσα έκθεση πραγματοποιήθηκε με βάση τις διατάξεις που έχει προτείνει ο IMO αναφορικά με την ανάλυση εκκένωσης για επιβατηγά πλοία (MSC.1/Circ.1533). Τα άτομα διαχωρίζονται με βάση κάποιες κατηγορίες και λαμβάνουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ανάλογα με την κατηγορία που είναι. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

1. Το φύλο, οι επιβάτες χωρίζονται σε άνδρες και γυναίκες,
2. Την ηλικία, χωρίζονται σε κάτω των 30 ετών, μεταξύ 30 και 50 ετών και άνω των 50 ετών,
3. Την κινητική τους ικανότητα, δηλαδή σε ικανά άτομα, άτομα με μειωμένη κινητικότητα κατηγορίας 1 και με μειωμένη κινητικότητα κατηγορίας 2,
4. Την ιδιότητά τους, όπου χωρίζονται σε επιβάτες και πλήρωμα.

Οι παραπάνω κατηγορίες εκφράζονται μέσα στο πρόγραμμα κυρίως με τη χρήση διαφορετικών ταχυτήτων κίνησης όπως θα δούμε στη συνέχεια.

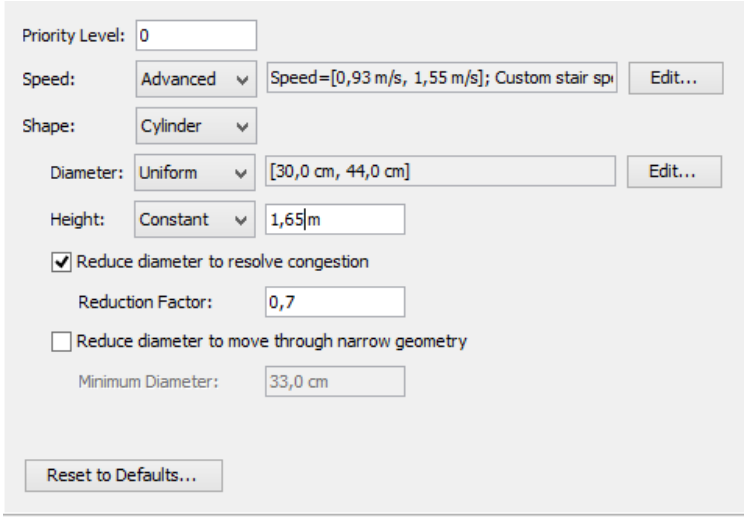
Ο πληθυσμός συνοψίζεται παρακάτω:

Πίνακας 1 *: Ποσοστιαίος διαχωρισμός πληθυσμού*

Population groups – passengers	**Percentage of passengers (%)**
Females younger than 30 years	7
Females 30-50 years old	7
Females older than 50 years	16
Females older than 50, mobility impaired (1)	10
Females older than 50, mobility impaired (2)	10
Males younger than 30 years	7
Males 30-50 years old	7
Males older than 50 years	16
Males older than 50, mobility impaired (1)	10
Males older than 50, mobility impaired (2)	10
Population groups – crew	**Percentage of crew (%)**
Crew females	50
Crew males	50

Σωματοδομή

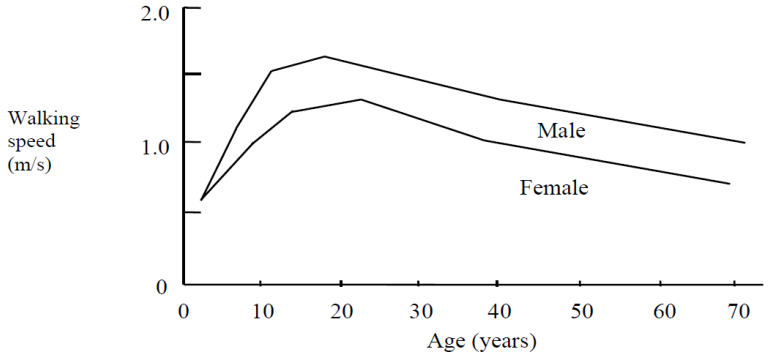
Η σωματοδομή του κάθε ατόμου (**shoulder width**) καθορίζεται από τη διάμετρο του κυλίνδρου που αντιπροσωπεύει το άτομο και μας ενδιαφέρει σε περιπτώσεις συμφόρησης και επιλογή διαδρομής κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αυτή η τιμή θα επηρεάσει πόσα άτομα μπορούν να προστεθούν σε ένα δωμάτιο χωρίς επικαλύψεις αλλά και τη ροή των ατόμων από πόρτες. Η σωματική διάμετρος τροποποιήθηκε για κάθε παραπάνω κατηγορία, χρησιμοποιώντας ομοιόμορφη κατανομή (βλ. Παράρτημα Ι, Στοχαστικοί παράμετροι) προσδίδοντας μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση των ατόμων μέσα στο χώρο. Ακόμη θεωρήθηκε **reduction factor**, ο συντελεστής δηλαδή μείωσης της ακτίνας του ατόμου ίσος με 0.7.



Εικόνα 5 *: Τροποποίηση διαμέτρου ανα κατηγορία και reduction factor*

Ταχύτητες κίνησης

Για την ταχύτητα κίνησης των επιβατών χρησιμοποιήθηκαν οι κατανομές του IMO που περιλαμβάνει και την ταχύτητα κίνησης του πληρώματος. Σύμφωνα με τον IMO (MSC.1/Circ.1533), οι μέγιστες ανεμπόδιστες κινήσεις είναι εκείνες που προέρχονται από δεδομένα που δημοσιεύτηκε από τον Ando (1988), ως συνάρτηση της ηλικίας. Αυτά κατανέμονται σύμφωνα με το σχήμα παρακάτω.



Γράφημα 1 *: Ταχύτητες ατόμων ως συνάρτηση του φύλου και της ηλικίας,* (*MSC.1/Circ.1533)*

Η ταχύτητα των ατόμων διαφοροποιείται ανάλογα με τις κατηγορίες σύνθεσης του πληθυσμού που περιγράφηκαν παραπάνω, με ελάχιστες και μέγιστες τιμές των ταχυτήτων βάδισης που πρέπει να μοντελοποιηθούν ως ομοιόμορφη κατανομή. Έτσι με τη διάκριση για επίπεδο και επικλινές έδαφος οι ταχύτητες αναφέρονται παρακάτω ανά κατηγορία :

Πίνακας 2 *: Ταχύτητες ατόμων κατά την κίνηση σε επίπεδο έδαφος*

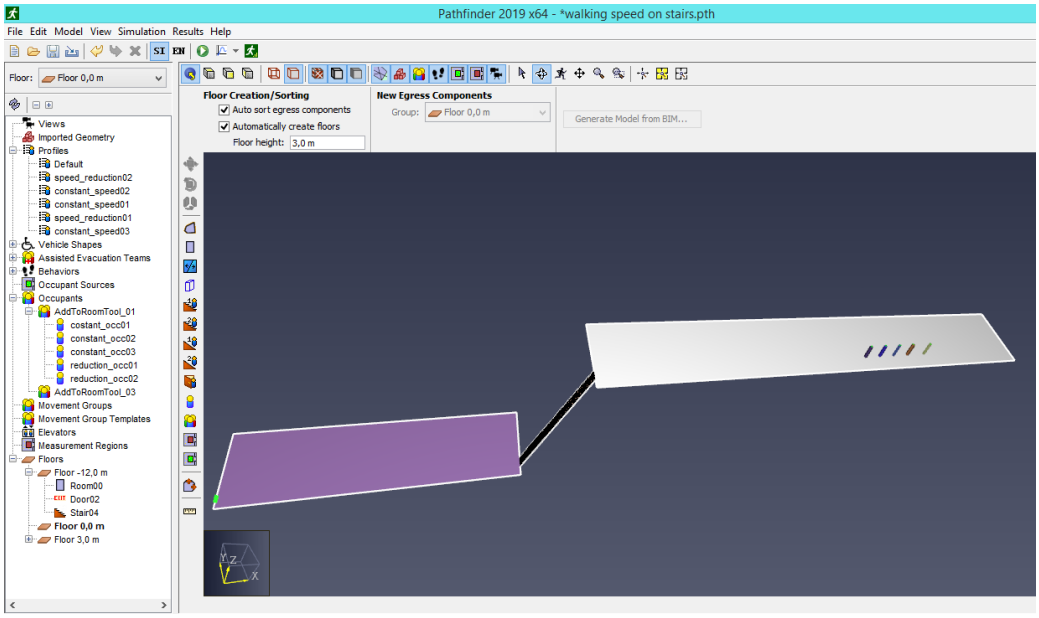
Walking speed on flat terrain (e.g. corridors)		
Population groups – passengers	**Min. (m/s)**	**Max. (m/s)**
Females younger than 30 years	0,93	1,55
Females 30-50 years old	0,71	1,19
Females older than 50 years	0,56	0,94
Females older than 50, mobility impaired (1)	0,43	0,71
Females older than 50, mobility impaired (2)	0,37	0,61
Males younger than 30 years	1,11	1,85
Males 30-50 years old	0,97	1,62
Males older than 50 years	0,84	1,40
Males older than 50, mobility impaired (1)	0,64	1,06
Males older than 50, mobility impaired (2)	0,55	0,91
Population groups – crew	**Min. (m/s)**	**Max. (m/s)**
Crew females	0,93	1,55
Crew males	1,11	1,85

Πίνακας 3 *: Ταχύτητες ατόμων σε σκάλες,*

Walking speed on stairs (m/s)				
Population groups – passengers	**Stairs down**		**Stairs up**	
	Min.	**Max.**	**Min.**	**Max.**
Females younger than 30 years	0,56	0,94	0,47	0,79
Females 30-50 years old	0,49	0,81	0,44	0,74
Females older than 50 years	0,45	0,75	0,37	0,61
Females older than 50, mobility impaired (1)	0,34	0,56	0,28	0,46
Females older than 50, mobility impaired (2)	0,29	0,49	0,23	0,39
Males younger than 30 years	0,76	1,26	0,50	0,84
Males 30-50 years old	0,64	1,07	0,47	0,79
Males older than 50 years	0,50	0,84	0,38	0,64
Males older than 50, mobility impaired (1)	0,38	0,64	0,29	0,49
Males older than 50, mobility impaired (2)	0,33	0,55	0,25	0,41
Population groups – Crew	**Stairs down**		**Stairs up**	
	Min.	**Max.**	**Min.**	**Max.**
Crew females	0,56	0,94	0,47	0,79
Crew males	0,76	1,26	0,50	0,84

Αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο για επίπεδο έδαφος εισήχθησαν οι κατανομές με βάση τον Πίνακα 2. Για την περίπτωση κίνησης σε σκάλες το πρόγραμμα δεν διαθέτει κατανομές στην εισαγωγή των ταχυτήτων γι’ αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι όροι από τον Πίνακα 3 για κάθε κατηγορία.

Προκειμένου να εξετάσουμε τη μεταβολή των ταχυτήτων και πιο συγκεκριμένα την τροποποίηση των ταχυτήτων που αφορούν την κίνηση στις σκάλες δημιουργήσαμε κατά το στάδιο της προμελέτης ένα απλοποιημένο μοντέλο. Το μοντέλο απαρτίζεται από δύο δωμάτια σε διαφορετικό ύψος τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω μίας σκάλας και μία έξοδο τοποθετημένη στο κατώτερο δωμάτιο όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6 *: Μοντέλο προμελέτης για την μελέτη των ταχυτήτων κίνησης των επιβατών*

Τοποθετήσαμε πέντε επιβάτες με διαφορετικά χαρακτηριστικά κίνησης, πιο συγκεκριμένα :

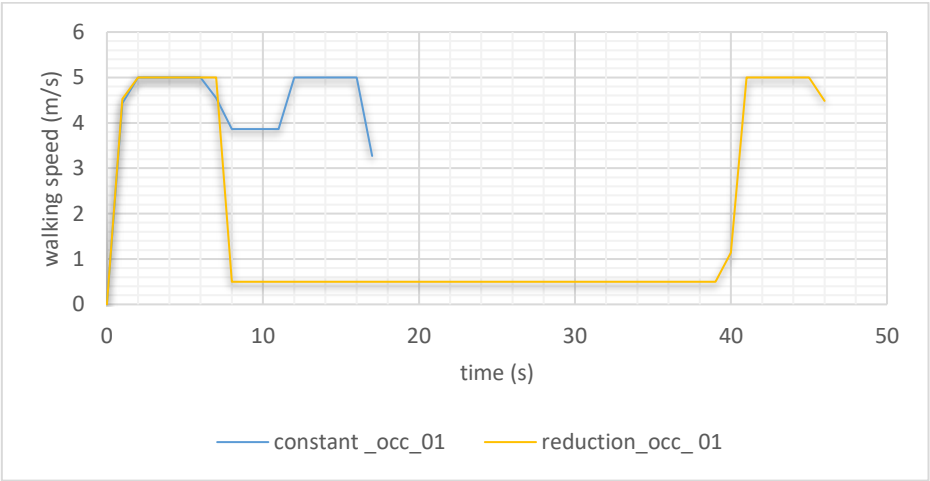
- constant_occ01, constant_occ02 και constant_occ03:

  με σταθερές ταχύτητες κίνησης 5 m/s, 2 m/s και 1 m/s αντίστοιχα,

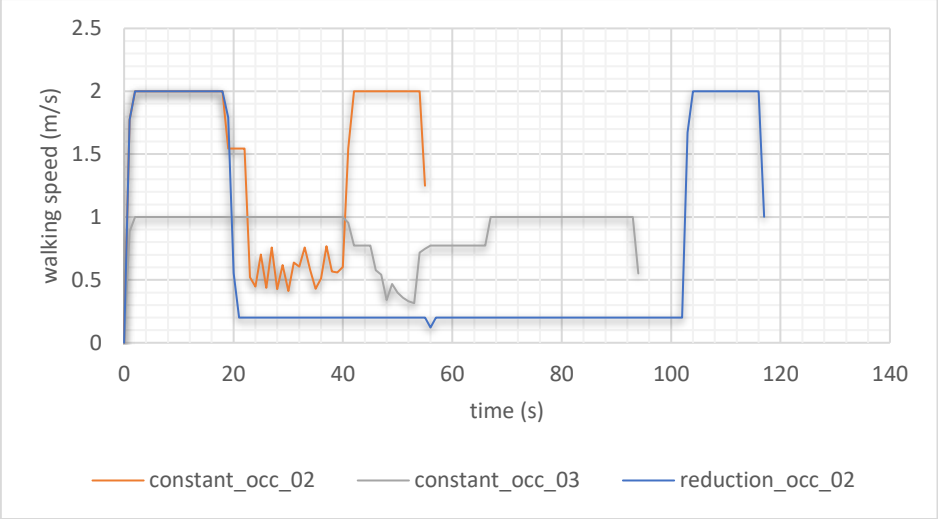
- reduction_occ01 και reduction_occ02 :

  με σταθερές ταχύτητες κίνησης 5 m/s στα επίπεδα δωμάτια και με συντελεστή μείωσης (**speed fraction**) 0.1 για την κίνηση στη σκάλα.

Στη συνέχεια, εκτελέσαμε την προσομοίωση και αναλύοντας τα αποτελέσματα δημιουργήσαμε τα παρακάτω διαγράμματα.



Γράφημα 2 *: Σύγκριση ταχυτήτων για κίνηση σε σκάλα*



Γράφημα 3 *: Σύγκριση ταχυτήτων για κίνηση σε σκάλα*

Παρατηρήσαμε λοιπόν, ότι για τους επιβάτες με σταθερή ταχύτητα χωρίς να έχουμε εισάγει άλλες παραμέτρους για τροποποίηση της κίνησης, με την είσοδο στη σκάλα η ταχύτητά τους και μέχρι 4 δευτερόλεπτα, μειώνεται κατά 22,78 % και στη συνέχεια πέφτει σε χαμηλότερες τιμές έως ότου ο επιβάτης εξέλθει από αυτήν. Αυτό συμβαίνει διότι το πρόγραμμα διαθέτει προκαθορισμένες ρυθμίσεις για την κίνηση στις σκάλες που μεταβάλει την ταχύτητα των επιβατών εάν ο χρήστης δεν έχει πειράξει τις παραμέτρους αυτές. Αντίθετα, στην περίπτωση των επιβατών reduction_occ01 και reduction_occ02, όπως ήταν επακόλουθο οι ταχύτητες μειώθηκαν στο 10% της αρχικής τιμής παραμένοντας σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια κίνησης στη σκάλα.

4.2.2. Συμπεριφορά επιβατών

Συμπεριφορά

Μία σημαντική παράμετρος στη μελέτη της εκκένωσης αποτελεί η συμπεριφορά του κάθε ατόμου ξεχωριστά από το υπόλοιπο σύνολο. Το κάθε άτομο (occupant) ορίζεται με βάση μια συμπεριφορά (behavior). Η συμπεριφορά του, είναι αυτή που καθορίζει τους στόχους του στη συγκεκριμένη διαδικασία, ορίζει δηλαδή μια σειρά ενεργειών που θα πραγματοποιήσει ο επιβάτης σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αυτό επιτρέπει για παράδειγμα σε ένα επιβάτη να περιμένει σε ένα συγκεκριμένο δωμάτιο κάποιο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (initial delay) και στη συνέχεια να μεταβεί προς τους χώρους συγκέντρωσης.

Χρόνος απόκρισης

Ο χρόνος απόκρισης (initial delay) αποτελεί βασικό κομμάτι της συμπεριφοράς και είναι το χρονικό διάστημα ανάμεσα στην έναρξη της εκκένωσης, τη στιγμή δηλαδή που υποθέτουμε ότι ηχεί ο ήχος της σειρήνας για να ενημερώσει τους επιβάτες αλλά και το πλήρωμα ότι υπάρχει κατάσταση έκτακτης ανάγκης μέχρι την εκκίνηση του κάθε επιβάτη. Χρόνος που μπορεί να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα για την επιτυχή εκκένωση του πλοίου.

Για τον υπολογισμό του χρόνου απόκρισης όπως και στις κατηγορίες των επιβατών χρησιμοποιήσαμε τις οδηγίες του IMO 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 από δοκιμές ετοιμότητας (evacuation drills) σε πλοία RO-PAX 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 :

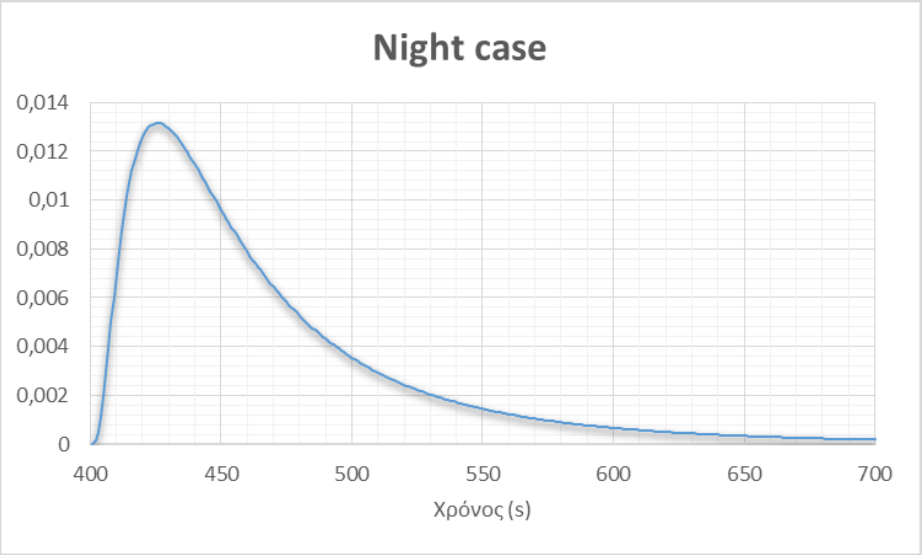
Για τις περιπτώσεις 1 και 3 (σενάρια νύχτας) :

$$y = \frac{1.011875}{\sqrt{2\pi}0.84(x-400)} \exp\left[-\frac{(ln\,(x-400)-3.95)^2}{2\times 0.84^2}\right], \text{ με } 400 < x < 700 \qquad (1)$$

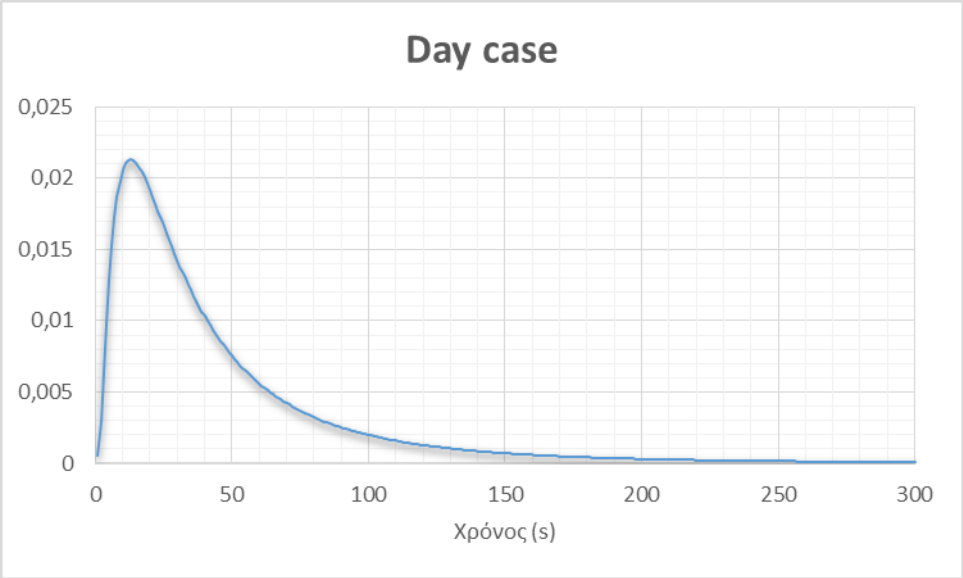
Και για τις περιπτώσεις 2 και 4 (σενάρια ημέρας) :

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

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



***Γράφημα 4** : Κατανομή (συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας) του χρόνου αντίδρασης για σενάρια νύχτας*

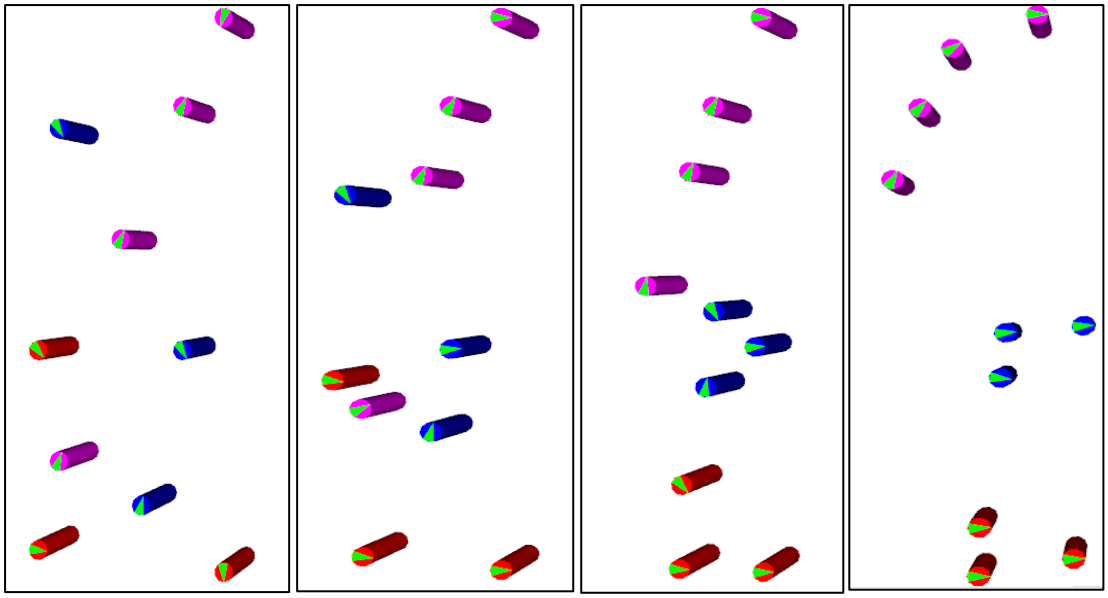


Γράφημα 5 *: Κατανομή (συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας) του χρόνου αντίδρασης για σενάρια ημέρας*

Κίνηση κατά ομάδες (movement groups)

Ένα ακόμη γνώρισμα που επιδρά στη συμπεριφορά του κάθε ατόμου ιδιαίτερα σε καταστάσεις κινδύνου είναι η συμπεριφορά του ατόμου που έχει ως στόχο να βοηθήσει τους υπολοίπους να διαφύγουν τον κίνδυνο, συμπεριφορά που διαμορφώνεται κυρίως από οικογενειακούς και κοινωνικούς δεσμούς. Το πρόγραμμα προσφέρει τη δυνατότητα να ληφθούν τα άτομα όχι σαν ξεχωριστές μονάδες αλλά σαν υποσύνολο μιας ομάδας (movement group), όπως για παράδειγμα οικογένειες, φοιτητές, συνεργάτες ή άλλες ομάδες επιβατών. Οι επιβάτες θα αναζητήσουν ο ένας τον άλλο και θα διατηρήσουν μία απόσταση μεταξύ τους ή ακόμη θα επιβραδύνουν την κίνησή τους επιτρέποντας σε άλλα άτομα να προφτάσουν την ομάδα. Στην παρούσα εργασία ελήφθησαν σαν ομάδες άτομα του ίδιου δωματίου-καμπίνας.

Για την κατανόηση των παραπάνω αλλά και το πως λειτουργεί η συγκεκριμένη ρύθμιση στο πρόγραμμα έχουμε δημιουργήσει ένα απλό μοντέλο ατόμων, τα οποία χωρίζονται σε τρεις ομάδες με διαφορετικά χρώματα (μπλε, κόκκινο και ροζ). Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα η κίνηση της κάθε ομάδας ελέγχεται από δύο προκαθορισμένες παραμέτρους :την μέγιστη απόσταση μεταξύ των μελών και την κίνηση του ‘οδηγού’ της εκάστοτε ομάδας. Όταν υπερβεί την απόσταση αυτή κάποιο άτομο, μείνει δηλαδή πίσω, η υπόλοιπη ομάδα σταματάει μέχρι την επανένταξη του σε αυτήν και στη συνέχεια κινούνται προς τον στόχο τον οποίο επιβάλλει η συμπεριφορά τους.



***Εικόνα** 7 : Στιγμιότυπα με τα αποτελέσματα ρύθμισης movement group για χρονικά διαστήματα 0, 2, 5, και 7 sec από την έναρξη της προσομοίωσης*

4.3. Βασικές επιλογές ρύθμισης κίνησης

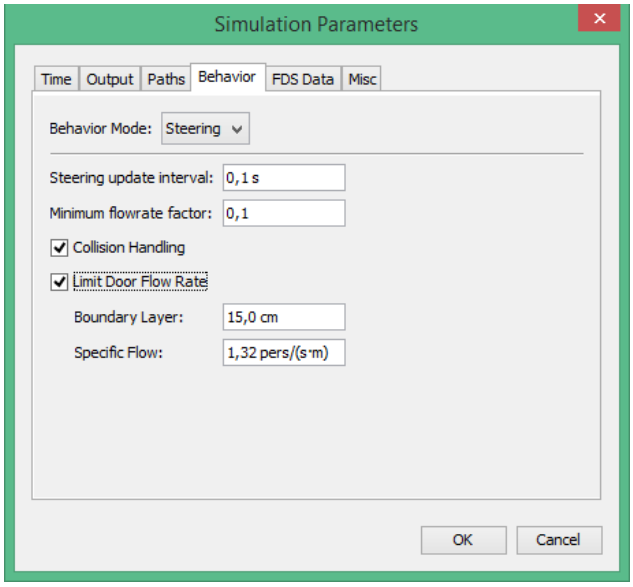
Το Pathfinder υποστηρίζει δύο βασικούς τρόπους προσομοίωσης της κίνησης :

- 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.

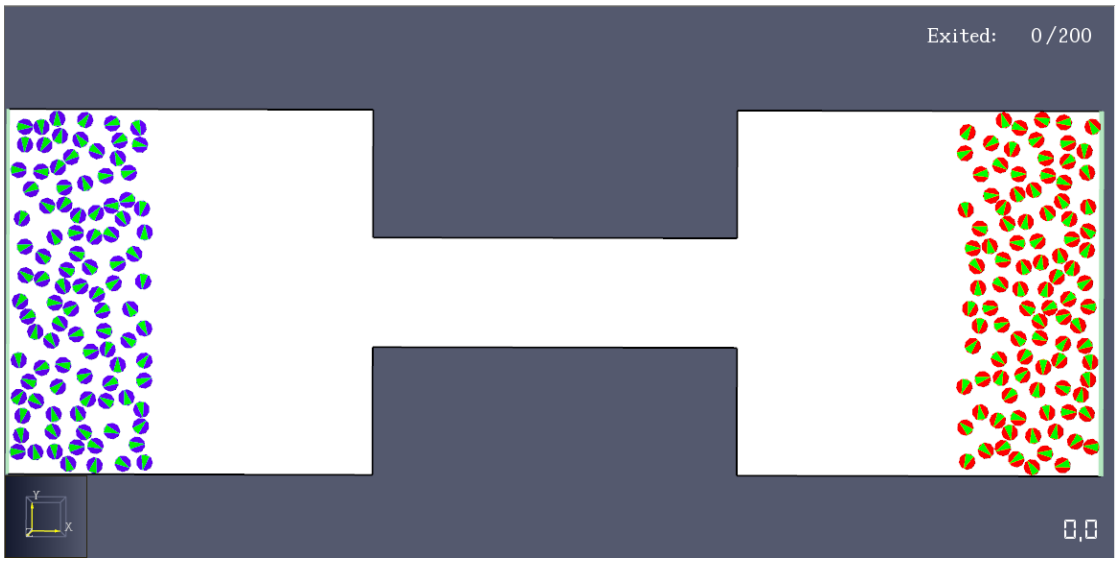
Αντίθετα, η λειτουργία SFPE χρησιμοποιεί ένα σύνολο υποθέσεων για τη συμπεριφορά των ατόμων, που προέρχονται από τον οδηγό Engineering Guide to Human Behavior in Fire (SFPE, 2003). Η ταχύτητα των ατόμων καθορίζεται από τα όρια ροής στις πόρτες (door flow rate). Ακόμη τα άτομα δεν αποφεύγουν ο ένας τον 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).



Εικόνα 8 *: Ρυθμίσεις Steering και SFPE*

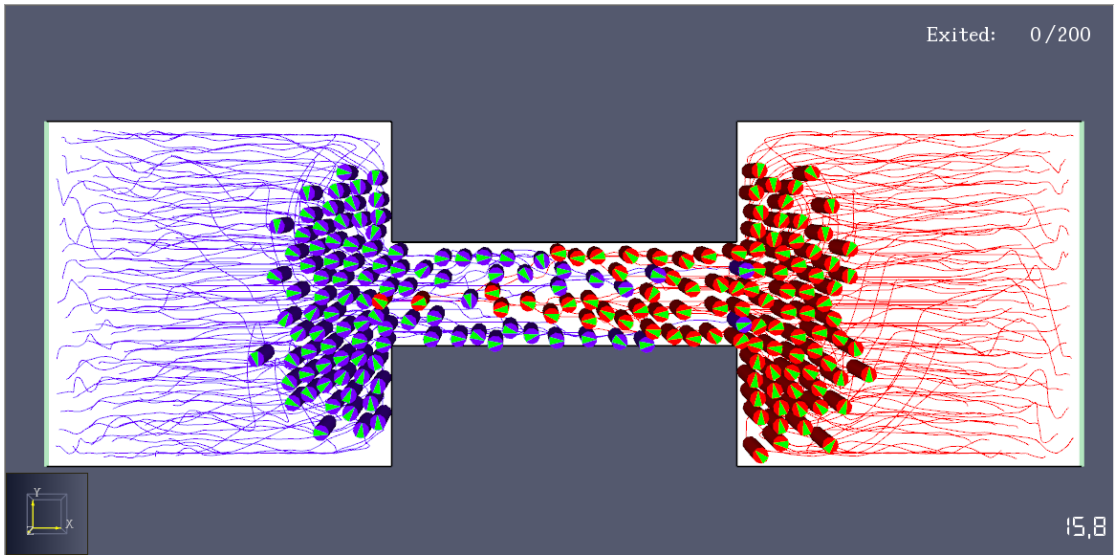
Προκειμένου να γίνουν αντιληπτές οι δύο αυτές λειτουργίες έχουμε δημιουργήσει μία περίπτωση μοντέλου βασιζόμενο στο test 8 του Annex 3 της οδηγίας MSC.1/Circ.1533. Το εξεταζόμενο μοντέλο αποτελείται από δύο δωμάτια συνδεμένα με έναν διάδρομο (βλ. Εικόνα 9), με 100 άτομα σε κάθε δωμάτιο.



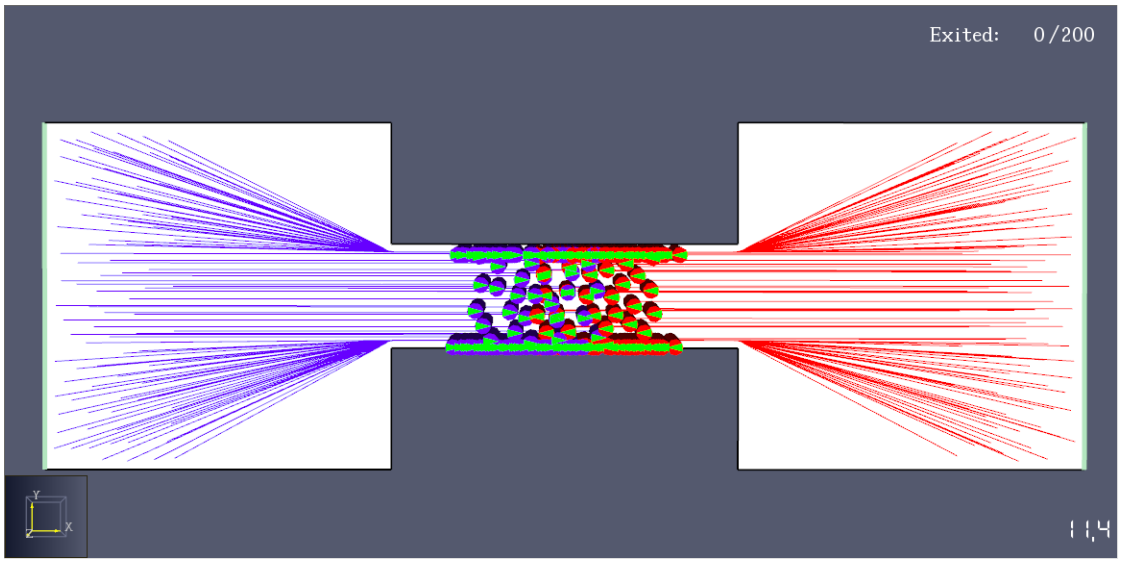
Εικόνα 9 *: Test IMO_08*

Τα άτομα θα εκκινήσουν την ίδια στιγμή και θα κινηθούν προς το άλλο δωμάτιο από αυτό που βρίσκονται. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα άτομα και των δύο δωματίων έχουν ίδια χαρακτηριστικά μεταξύ τους. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις δύο λειτουργίες όπως αυτά προέκυψαν από το πρόγραμμα προβολής 3D αποτελεσμάτων.

Στη λειτουργία Steering τα άτομα θα συνωστιστούν προκειμένου να διασχίσουν το διάδρομο, με τελικό χρόνο εξόδου όλων των ατόμων τα 131,5 s. 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 32,5 s ,συγκριτικά μικρότερος από ότι στη λειτουργία Steering.



Εικόνα 10 *: Αποτελέσματα ρύθμισης Steering, όπου διακρίνεται το ίχνος κίνησης των ατόμων*



Εικόνα 11 *: Αποτελέσματα ρύθμισης SFPE, όπου διακρίνεται το ίχνος κίνησης των ατόμων*

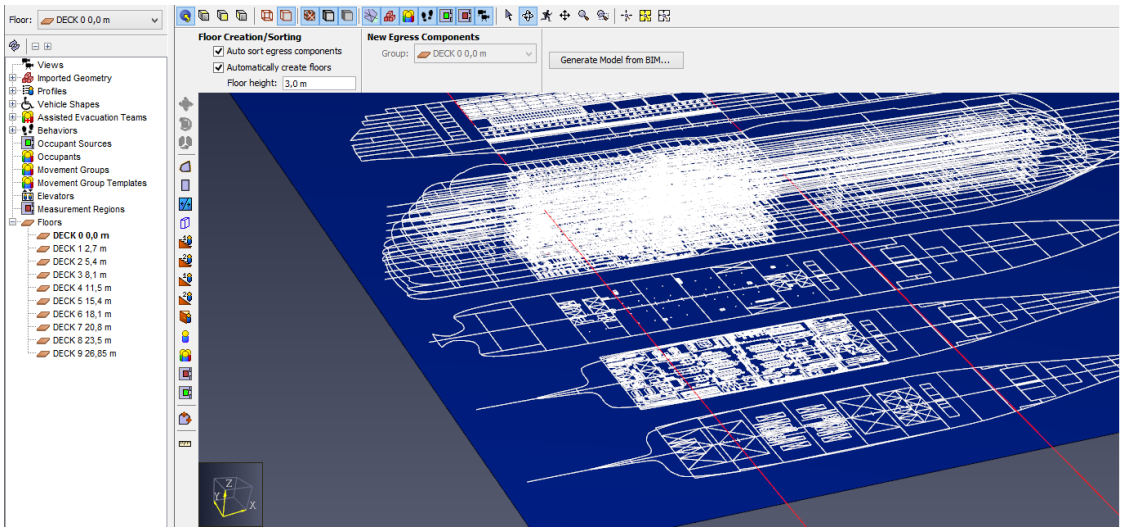
Με βάση τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι η ρύθμιση Steering αποτελεί την πιο κατάλληλη για τη μελέτη της κίνησης των επιβατών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις εξέτασης πυκνότητας επιβατών στο χώρο.

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΣΕ ΧΩΡΟ ΚΑΜΠΙΝΩΝ ΕΠΙΒΑΤΗΓΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

5.1. Εισαγωγή γεωμετρίας και επεξεργασία

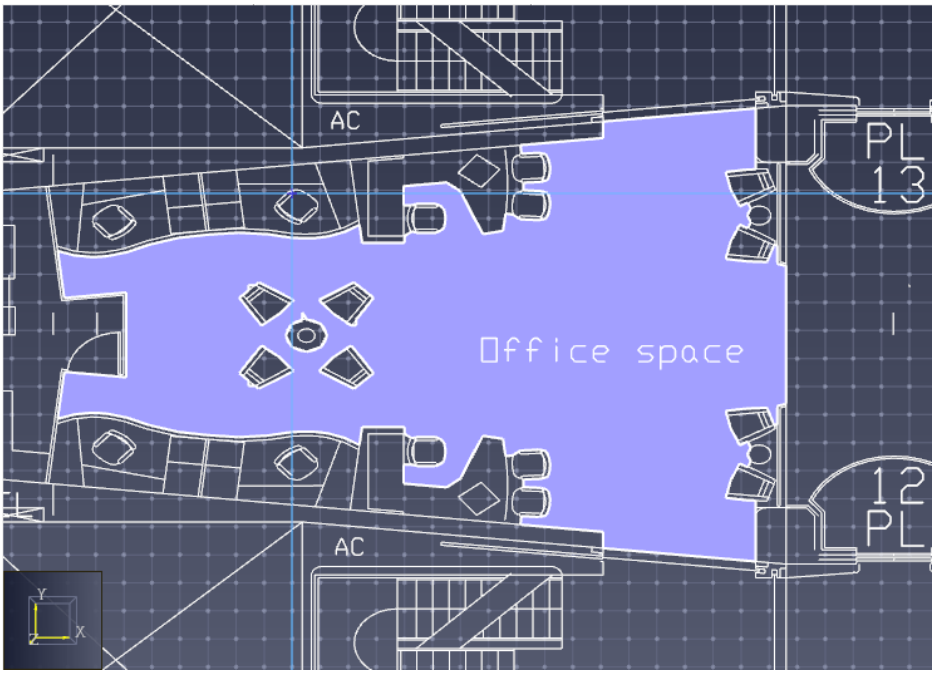
Για τη δημιουργία του μοντέλου στο pathfinder, ώστε να γίνουν οι προσομοιώσεις της εκκένωσης χρειάζεται πρώτα να εισάγουμε στο πρόγραμμα, το σχέδιο πάνω στο οποίο θα κατασκευάσουμε τα δωμάτια, τις εξόδους και γενικότερα όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που είναι αναγκαία για τη διαδικασία. Το Pathfinder μπορεί να εισαγάγει μορφές εικόνας και αρχεία CAD. Τα εισαγόμενα αρχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βοήθημα για τη δημιουργία του πλέγματος πλοήγησης πιο εύκολα και σε σημαντικά μικρότερο χρόνο.

Αρχικά, το αρχείο σε μορφή .DWG αποτελεί ένα δισδιάστατο μοντέλο 2D κατόψεων καταστρωμάτων επιβατηγού σχεδιασμένο στο πρόγραμμα AutoCAD της εταιρίας Autodesk που πρόκειται για το πιο διαδεδομένο σχεδιαστικό πρόγραμμα παγκοσμίως. Με την εισαγωγή του στο πρόγραμμα Pathfinder και με διάφορες εντολές και τροποποιήσεις επιτυγχάνεται η μετατροπή του σε τρισδιάστατο μοντέλο μετακινώντας το κάθε κατάστρωμα με κατάλληλο τρόπο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 12 *: Εισαγωγή σχεδίου και επεξεργασία*

Με το πέρας της παραπάνω διαδικασίας έχει σχεδιαστεί ουσιαστικά ο σκελετός πάνω στον οποίο θα μπουν τα επίπεδα. Κάθε ένα από τους χώρους που απαρτίζουν το κάθε επίπεδο καλείται **Room**. Για την απεικόνιση των Rooms χρησιμοποιείται η εντολή **Extract room from imported geometry** κυρίως για περίπλοκες γεωμετρίες. Για την εξαγωγή ενός room με την εντολή αυτή, επιλέγεται η επιφάνεια στην οποία θέλουμε να δημιουργηθεί και στη συνέχεια το πρόγραμμα δημιουργεί το συγκεκριμένο room θέτοντας ως όρια τις γραμμές του σχεδίου που περικλείεται η συγκεκριμένη επιφάνεια.



Εικόνα 13 *: Αποτελέσματα εξαγωγής Room από 2D γεωμετρία*

5.2. Χαρακτηριστικά χώρου

5.2.1. Γεωμετρία Μοντέλου

Το αρχικό σχέδιο στο οποίο θα βασιστεί η ανάλυση αντιστοιχεί σε μία πλασματική αλλά εύλογη μορφή κρουαζιερόπλοιου χωρισμένο σε κάθετες ζώνες πυρκαγιάς (MVZ). Οι χώροι αυτοί επιλέγονται καθώς αντιπροσωπεύουν την πλειονότητα των χώρων επί των οποίων οι επιβάτες και το πλήρωμα είναι εκτεθειμένοι σε κάποια κατάσταση κινδύνου (π.χ. περίπτωση πυρκαγιάς). Η περιοχή κάθε καταστρώματος που θα μελετηθεί (καταστρώματα 6,7,8,9) αποτελείται από δύο κύριες ζώνες και έχει τις εξής διαστάσεις :

- συνολικό μήκος και των δύο MVZ, 87 m ,
- πλάτος, 32 m και
- εμβαδόν 2872 m^2

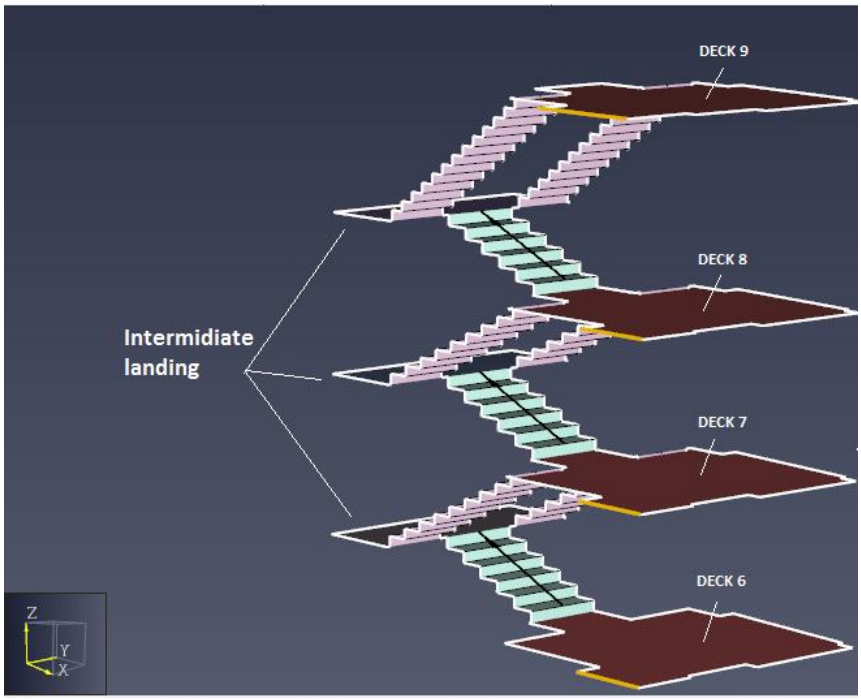
Ακόμη για όλες τις περιπτώσεις ανάλυσης, το καθαρό ύψος των καταστρωμάτων είναι:

- 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

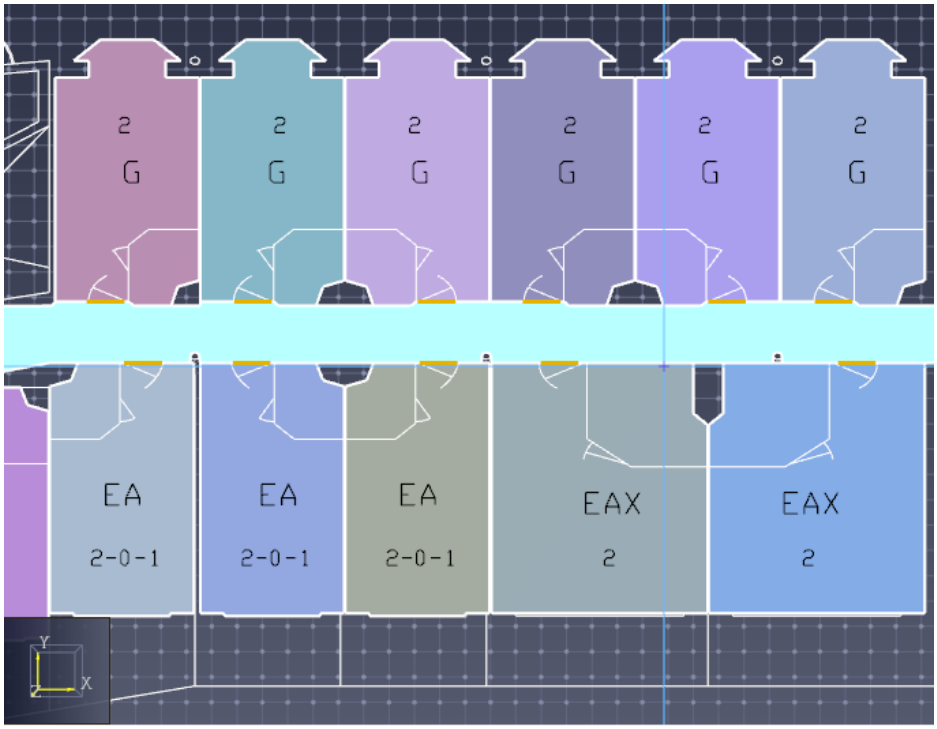
Κάθε ένα από τα καταστρώματα διαθέτει δύο βασικούς διαδρόμους (corridors) οι οποίοι δεν επικοινωνούν μεταξύ τους. Το ελάχιστο πλάτος των διαδρόμων είναι 1 m ικανοποιώντας την απαίτηση του διεθνή κώδικα για συστήματα πυρασφάλειας FSS Code για ελάχιστο πλάτος διαδρόμων 0,9 m.

Τα διάφορα καταστρώματα επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω δύο κλιμακοστασίων που συνδέουν τους διαδρόμους κάθε deck. Οι σκάλες έχουν μορφή Y, υπάρχουν δηλαδή μία διαδρομή εισόδου σε αυτές και δύο διαδρομές εξόδου από αυτές. Στη μέση κάθε κλίμακας παρεμβάλλεται ένας ενδιάμεσος χώρος (intermediate landing) που συνδέει τις διαδρομές αυτές όπως φαίνεται και στην Εικόνα 14.



Εικόνα 14 *: Μορφή κλιμακοστασίου*

Αξίζει να σημειωθεί ότι όσον αφορά τις διαστάσεις των καμπινών υπάρχουν διαφορές, ο ελάχιστος χώρος που καταλαμβάνουν είναι 12 m^2 για τις δίκλινες καμπίνες και 20 m^2 για τις καμπίνες τεσσάρων ατόμων. Ακόμη το ελάχιστο πλάτος της κάθε πόρτας αυτών είναι 0,75 m.

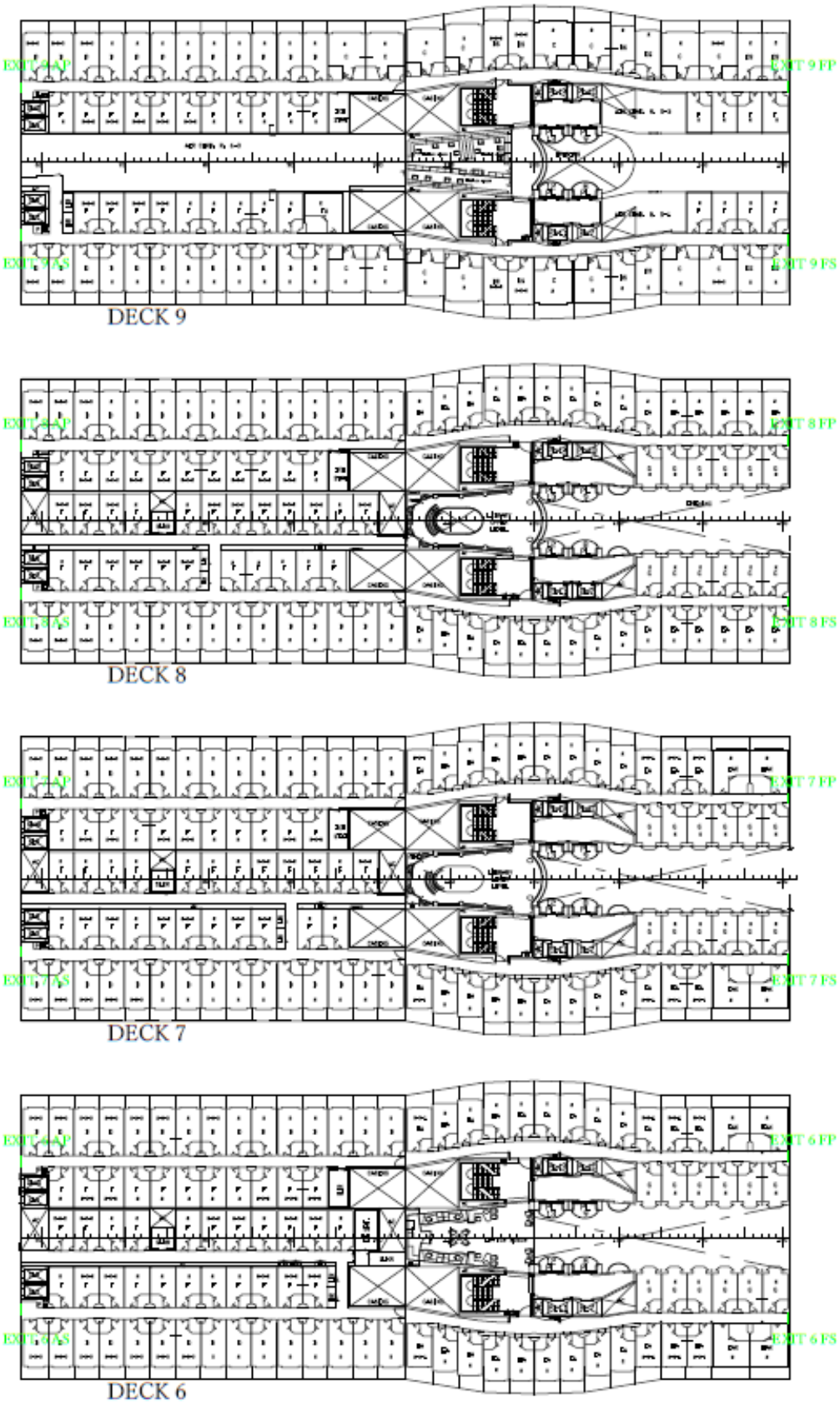


Εικόνα 15 *: Τυπικές μορφές καμπινών*

5.2.2. Τοποθεσίες Εξόδου

Υπάρχουν 4 έξοδοι κινδύνου σε κάθε deck που έχουν τοποθετηθεί στα όρια του κάθε καταστρώματος κατά τον x άξονα. Η ονομασία τους είναι ιδιαίτερα σημαντική για την κατανόηση του προβλήματος, όπως θα δούμε και στη συνέχεια, καθώς θα δημιουργήσουμε σενάρια εκκένωσης με απενεργοποιημένη τη λειτουργία μερικών από αυτές.

Η κάθε μία προσδιορίζεται με 6, 7, 8 και 9 ανάλογα με το κατάστρωμα που βρίσκεται, με A (Aft) και F (Fore) για τη θέση της κατά τον άξονα x, και με P (Port) και S (Starboard) για τη θέση της κατά τον άξονα y.



Εικόνα 16 *: Τοποθεσία εξόδων για κάθε κατάστρωμα*

5.3. Περιπτώσεις ανάλυσης

Βασικές κατηγορίες

2 βασικές κατηγορίες θα μελετηθούν :

1. ανάλυση ενός καταστρώματος (deck 6),
2. ανάλυση τεσσάρων συνεχόμενων καταστρωμάτων (deck 6, 7, 8, 9).

Τακτικές εξόδου

Με βάση τη διαθεσιμότητα των εξόδων κατά τη διάρκεια της εκκένωσης έχουμε επιλέξει να μελετήσουμε τα παρακάτω σενάρια :

Για την κατηγορία 1,

- όλες οι έξοδοι είναι διαθέσιμες (Exit 6 AP, Exit 6 AS, Exit 6 FP, Exit 6 FS)
- οι μισές έξοδοι είναι διαθέσιμες (Exit 6 AP, Exit 6 FS)

Και για την κατηγορία 2,

- όλες οι έξοδοι είναι διαθέσιμες,
- καμία έξοδος για τα καταστρώματα 6 και 7, ενώ όλες οι έξοδοι στα καταστρώματα 8 και 9 λειτουργούν,
- καμία έξοδος για τα καταστρώματα 6 και 7, ενώ για τα καταστρώματα 8 και 9 λειτουργούν οι μισές έξοδοι κινδύνου (Exit 8 AP, Exit 8 FS, Exit 9 AS, Exit 9 FP).

Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν έχουμε ρυθμίσει τις εξόδους των ατόμων ,δηλαδή κατά τη εκκένωση τα άτομα μπορούν να χρησιμοποιήσουν όποια έξοδο θέλουν για να διαφύγουν.

Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά

Όσον αφορά τον πληθυσμό, το κάθε κατάστρωμα διαφέρει, το οποίο προκύπτει από το γεγονός ότι διαθέτει καμπίνες 2 ατόμων και 4 ατόμων σε διαφορετική αναλογία αλλά και αριθμό τα οποία φαίνονται στον Πίνακα 4. Ακόμη, για όλες τις περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί οι κατανομές με βάση τον IMO, καθώς επίσης και η λειτουργία Steering για τη ρύθμιση της κίνησης των επιβατών.

Πίνακας 4 *: Κατανομή πληθυσμού στα διάφορα decks*

	Καμπίνες 2 ατόμων	**Καμπίνες 4 ατόμων**	**Σύνολο ατόμων**
DECK 6	99	4	214
DECK 7	100	4	216
DECK 8	106	0	212
DECK 9	64	17	196

Ομάδες κίνησης

Για κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες θα μελετηθούν σενάρια με βάση την κίνηση κατά ομάδες τα οποία είναι τα εξής :

- η λειτουργία κίνησης κατά ομάδες είναι απενεργοποιημένη και τα άτομα συμπεριφέρονται ως ξεχωριστές μονάδες,
- η λειτουργία κίνησης κατά ομάδες είναι ενεργοποιημένη με αποτέλεσμα τα άτομα της ίδιας καμπίνας να συμπεριφέρονται ως μια ομάδα

5.4. Εξέταση ενός καταστρώματος διαμονής επιβατών

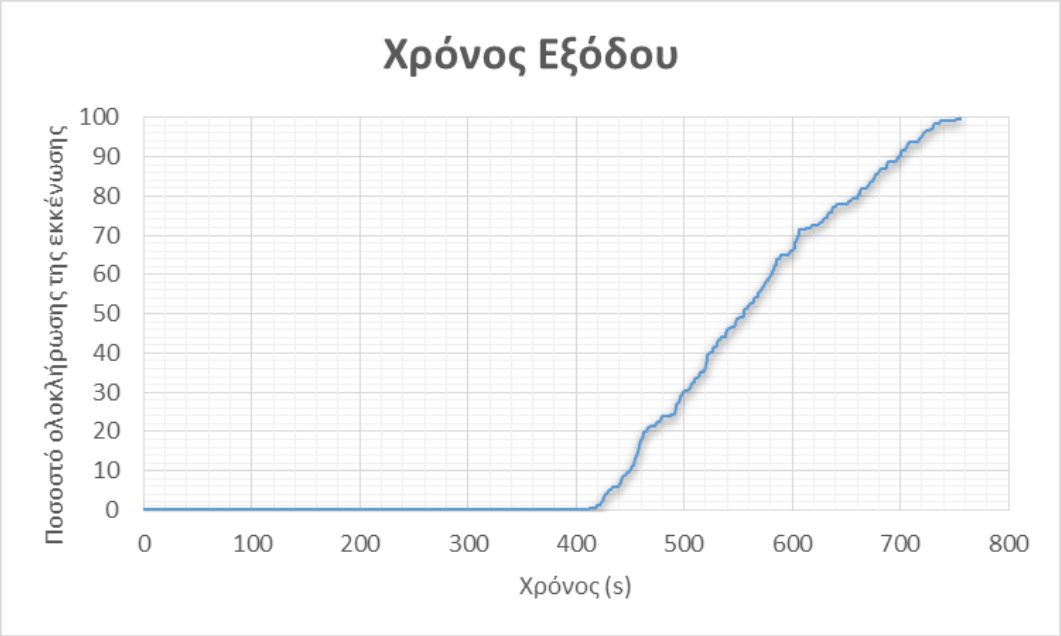
5.4.1. Σενάριο No.1

Υποθέσεις

Στην πρώτη δοκιμή εξετάζεται το κατάστρωμα 6 (deck 6) με 100% πληρότητα επιβατών που κατανέμονται πληθυσμιακά με βάση τον Πίνακα. Έχουν ενσωματωθεί οι ταχύτητες σύμφωνα με τον Πίνακα 2, ενώ οι χρόνοι απόκρισης καθορίζονται από τη συνάρτηση (1) του σεναρίου νύχτας. Για την έξοδο των επιβατών όλες οι έξοδοι του deck 6 είναι διαθέσιμες.

Αποτελέσματα

Ο συνολικός χρόνος εκκένωσης στο συγκεκριμένο σενάριο ήταν 756,0 s. Στο γράφημα παρουσιάζεται ο χρόνος εξόδου των ατόμων σε συνάρτηση του ολικού ποσοστού αυτών. Να σημειωθεί ότι η κάθε προσομοίωση ολοκληρώνεται με την έξοδο του τελευταίου ατόμου.



Γράφημα 6 *: Αθροιστική κατανομή (% του συνόλου των επιβατών) του χρόνου εξόδου των επιβατών, No.1 σενάριο νύχτας*

Τα στοιχεία των εξόδων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 5 *: Αποτελέσματα προγράμματος για τις διαθέσιμες εξόδους διαφυγής*

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	maximum flow rate (p/s)	maximum specific flow rate (p/m/s)
EXIT 6 AP	52	425,2	756,0	2	1,82
EXIT 6 AS	74	418,3	750,5	2	1,82
EXIT 6 FP	44	412,1	736,7	1	0,91
EXIT 6 FS	44	423,3	722,7	1	0,91

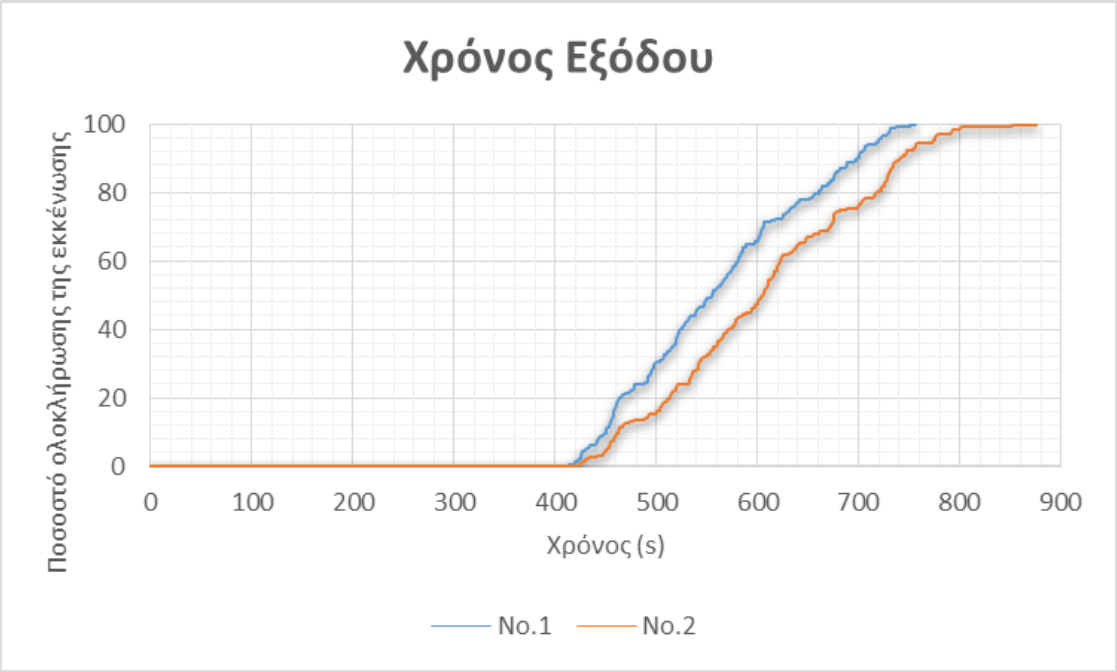
5.4.2. Σενάριο No.2

Υποθέσεις

Στη δεύτερη δοκιμή για το κατάστρωμα 6 (deck 6) έχουν χρησιμοποιηθεί τα ίδια πληθυσμιακά χαρακτηριστικά με το σενάριο No.1. Ακόμη, δύο έξοδοι είναι διαθέσιμες για τους επιβάτες κατά τη διαφυγή τους, οι Exit 6 AP και Exit 6 FS, δηλαδή, μείωση των εξόδων κατά 2.

Αποτελέσματα

Ο συνολικός χρόνος εκκένωσης είναι 875,9 s. Στο γράφημα παρουσιάζεται ο χρόνος εξόδου των ατόμων σε συνάρτηση του ολικού ποσοστού αυτών.



Γράφημα 7 *: Αθροιστική κατανομή (% του συνόλου των επιβατών) του χρόνου εξόδου των επιβατών, No.1 & No.2, σενάρια νύχτας*

Τα στοιχεία των εξόδων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 6 *: Αποτελέσματα προγράμματος για τις διαθέσιμες εξόδους διαφυγής*

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	maximum flow rate (p/s)	maximum specific flow rate (p/m/s)
EXIT 6 AP	96	425,2	851,2	2	1,82
EXIT 6 FS	118	423,3	875,9	2	1,82

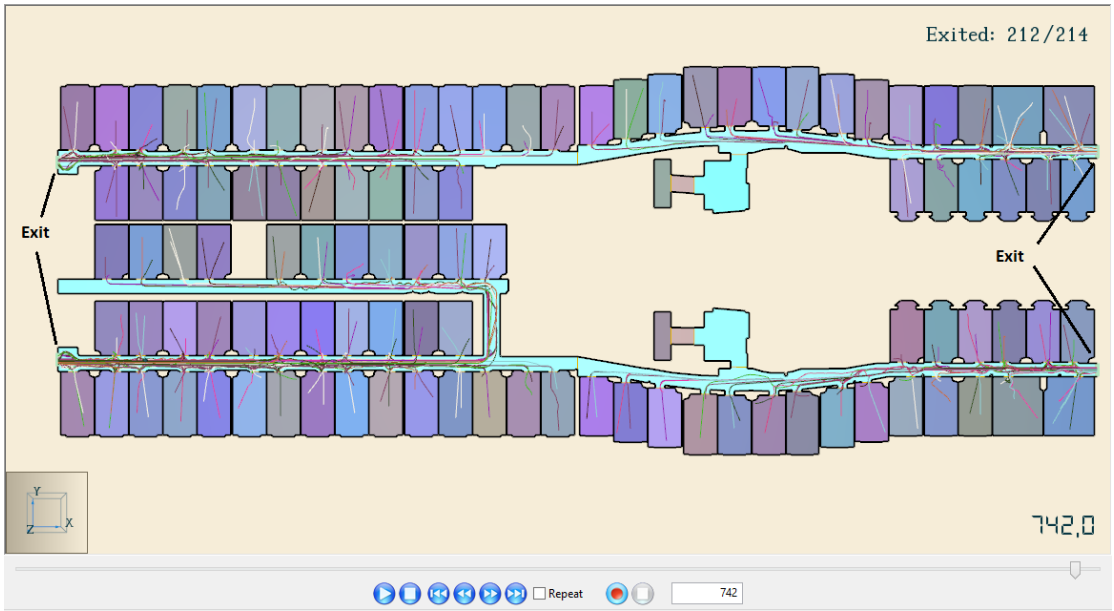
Παρατηρήσεις- σύγκριση σεναρίων

Η διαφορά μεταξύ των δύο παραπάνω σεναρίων αποτελεί η σημαντική αύξηση του χρόνου ολοκλήρωσης της εκκένωσης, που οφείλεται στην αλλαγή της διαθεσιμότητας των εξόδων. Με τη μείωση των εξόδων κατά το μισό, ο απαιτούμενος χρόνος

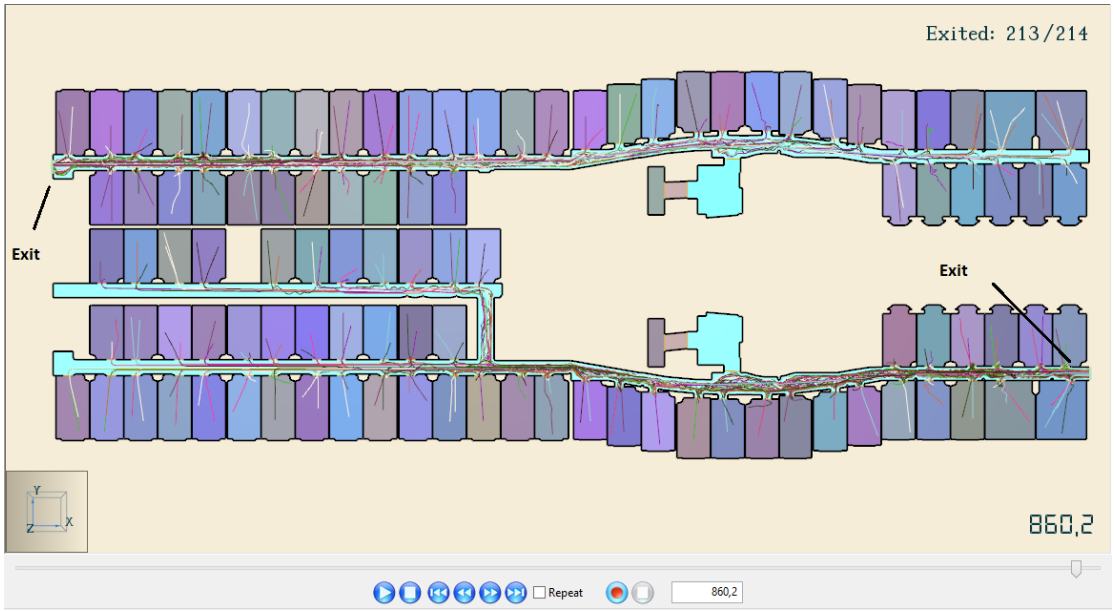
εκκένωσης αυξήθηκε κατά 16% του αρχικού (120 seconds) ενώ στο μεγαλύτερο μέρος της διαδικασίας όπως φαίνεται από το Γράφημα 7, υπάρχει μία μέση αύξηση του χρόνου 40 sec από την No.1 στην No.2 περίπτωση.

Οι χρόνοι απόκρισης όπως επαληθεύεται από τα αποτελέσματα που δίνει το πρόγραμμα είναι ίδιοι και στις δύο περιπτώσεις όπως και ο ρυθμός ροής (flow rate) που δεν ξεπερνά την τιμή 2 άτομα ανά δευτερόλεπτο.

Ένα κοινό χαρακτηριστικό και των δύο σεναρίων είναι η επιλογή της εξόδου διαφυγής από την οποία θα εξέλθουν οι επιβάτες. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρήθηκε μέσα από το πρόγραμμα προβολής 3D αποτελεσμάτων ότι οι επιβάτες θα ακολουθήσουν την κύρια ροή επιβατών. Αυτό σημαίνει ότι για παράδειγμα, άτομα τα οποία βρίσκονται πιο κοντά σε μία έξοδο θα επιλέξουν να διαφύγουν μέσω αυτής (ακολουθώντας την κατεύθυνση κίνησης και των κοντινών ατόμων τους) και όχι από μία πιο απομακρυσμένη έξοδο όπως φαίνεται και από τα στιγμιότυπα των προσομοιώσεων για τα δύο σενάρια παρακάτω.



Εικόνα 17 *: Countour plot σεναρίου No.1 με τις διαδρομές των επιβατών*



Εικόνα 18 *: Countour plot σεναρίου No.2 με τις διαδρομές των επιβατών*

5.5. Εξέταση τεσσάρων καταστρωμάτων διαμονής επιβατών

5.5.1. Σενάρια No.3 & No.4

Υποθέσεις

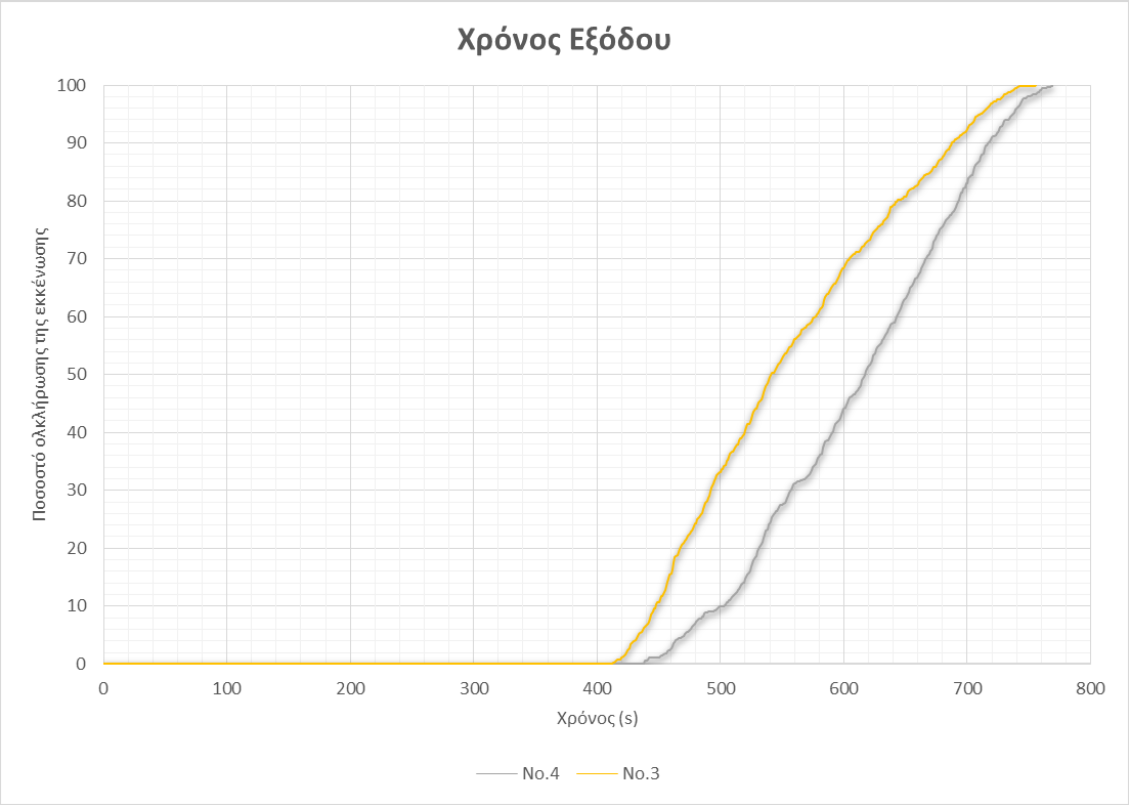
Το σενάριο αυτό (καθώς και αυτά που θα ακολουθήσουν) είναι τα πιο σημαντικά σενάρια αφού η γεωμετρία του μοντέλου αυτών περιλαμβάνει τέσσερα καταστρώματα έτσι ώστε να βρισκόμαστε πιο κοντά σε ένα πραγματικό σενάριο εκκένωσης πλοίου. Για τη στρατηγική διαφυγής, όλες οι έξοδοι είναι διαθέσιμες προς τους επιβάτες, συνολικά τέσσερις για κάθε όροφο.

Η σύσταση του πληθυσμού, οι χρόνοι απόκρισης και οι ταχύτητες κίνησης των επιβατών έχουν ληφθεί (όπως και στα προηγούμενα σενάρια) σύμφωνα με την οδηγία του IMO. Ακόμη έχουν εκτελεστεί δύο δοκιμές εκκένωσης :

- Στην πρώτη (No.3) τα άτομα κινούνται μεμονωμένα ενώ,
- Στη δεύτερη (No.4) έχουμε ενεργοποιήσει τη ρύθμιση movement groups, με αποτέλεσμα τα άτομα της ίδια καμπίνας να συμπεριφέρονται σαν ομάδα και τηρείται μέγιστη απόσταση 2 μέτρα μεταξύ των μελών της ίδιας ομάδας.

Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χρόνοι εκκένωσης για τις δύο δοκιμές, στο ίδιο γράφημα.



Γράφημα 8 *: Αθροιστική κατανομή (% του συνόλου των επιβατών) του χρόνου εξόδου των επιβατών No.3 & No.4, σενάρια νύχτας*

Πίνακας 7*: Αποτελέσματα προγράμματος για τις διαθέσιμες εξόδους διαφυγής, No.3*

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	maximum flow rate (p/s)	maximum specific flow rate (p/m/s)
EXIT 6 AP	52	425,2	756,0	2	1,82
EXIT 6 AS	74	418,3	750,9	2	1,82
EXIT 6 FP	44	412,1	736,6	1	0,91
EXIT 6 FS	44	423,3	723,6	2	1,82
EXIT 7 AP	52	422,7	716,2	2	1,82
EXIT 7 AS	76	415,9	737,3	2	1,82
EXIT 7 FP	44	420,1	732,0	2	1,82
EXIT 7 FS	44	480,1	717,2	1	0,91
EXIT 8 AP	52	421,9	714,5	2	1,82
EXIT 8 AS	76	429,5	741,4	2	1,82

EXIT 8 FP	42	414,2	738,7	2	1,82
EXIT 8 FS	42	442,9	728,4	2	1,82
EXIT 9 AP	54	412,5	738,1	2	1,82
EXIT 9 AS	54	426,4	736,6	2	1,82
EXIT 9 FP	44	425,1	692,4	2	1,82
EXIT 9 FS	44	420,3	733,0	2	1,82

Πίνακας 8 *: Αποτελέσματα προγράμματος για τις διαθέσιμες εξόδους διαφυγής, No.4*

DOORS	**total use (pers)**	**first in (s)**	**last out (s)**	**maximum flow rate (p/s)**	**maximum specific flow rate (p/m/s)**
EXIT 6 AP	52	460,6	756,1	2	1,82
EXIT 6 AS	74	461,7	760,1	2	1,82
EXIT 6 FP	44	438,7	743,8	2	1,82
EXIT 6 FS	44	437,3	728,3	2	1,82
EXIT 7 AP	52	550,4	716,2	2	1,82
EXIT 7 AS	76	438,6	739,2	2	1,82
EXIT 7 FP	44	451,9	733,2	2	1,82
EXIT 7 FS	44	441,9	717,1	2	1,82
EXIT 8 AP	52	438,1	719,6	2	1,82
EXIT 8 AS	76	467,1	769,3	3	2,73
EXIT 8 FP	42	479,5	738,8	2	1,82
EXIT 8 FS	42	474,1	728,4	2	1,82
EXIT 9 AP	54	457,3	767,5	2	1,82
EXIT 9 AS	54	454,8	743,5	2	1,82
EXIT 9 FP	44	441,4	747,7	2	1,82
EXIT 9 FS	44	460,2	705,9	2	1,82

Παρατηρήσεις

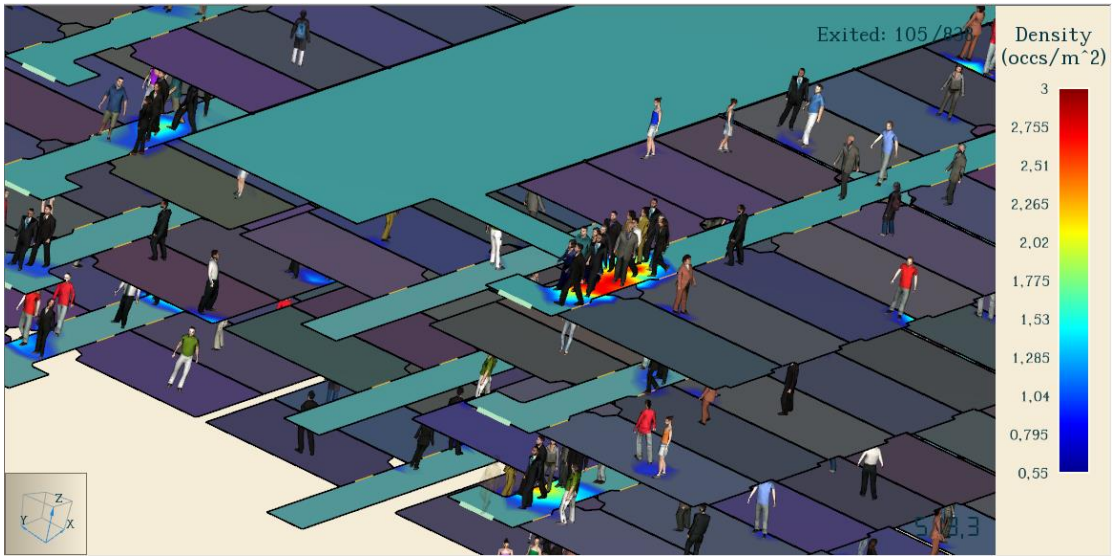
Ο χρόνος ολοκλήρωσης για την πρώτη περίπτωση ήταν 756 s, ενώ για τη δεύτερη 769,3 s , δηλαδή με τη συγκεκριμένη ρύθμιση ο χρόνος αυξήθηκε κατά 13,25 sec. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη παράμετρος επιδρά ελάχιστα στη διαμόρφωση του συνολικού χρόνου εκκένωσης.

Ωστόσο, το χρονικό διάστημα απόκρισης των επιβατών μεταξύ των δύο καταστάσεων διαφέρει σημαντικά όπως φαίνεται και από το Γράφημα 8. Η διαφορά αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι στη δεύτερη περίπτωση, το κάθε άτομο για να εκκινήσει προς την έξοδο από την καμπίνα θα περιμένει την εκκίνηση και των υπόλοιπων ατόμων της ίδιας καμπίνας που απαρτίζουν την ομάδα του. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μέση διαφορά

περίπου 100 s που παρατηρείται στα δύο σενάρια καθ' όλη τη διάρκεια της εκκένωσης, όπως φαίνεται στο Γράφημα 8 καθώς και ο μέγιστος χρόνος εξόδου για κάθε exit, που φαίνεται στους Πίνακες 7 και 8.

Παρατηρήθηκε ότι τα άτομα θα επιλέξουν να κινηθούν προς τις εξόδους του ίδιου καταστρώματος στο οποίο βρίσκονται αρχικά πράγμα που αποτελεί και την πιο σύντομη διαδρομή διαφυγής. Δεν υπάρχει λοιπόν χρήση του κλιμακοστασίου από κανένα επιβάτη για να διαφύγει μέσω εξόδου γειτονικού deck, κάτι που ήταν αναμενόμενο.

Επιπλέον, στη δεύτερη περίπτωση παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν αυξημένα επίπεδα συμφόρησης επιβατών συγκριτικά με την πρώτη, με τον ειδικό ρυθμό ροής να φτάνει την τιμή 2,72 pers/m/s (Πίνακας 8). Τα άτομα μετά το πέρας κάποιου χρονικού διαστήματος, αρχίζουν να σχηματίζουν κύματα ροής κατευθυνόμενα προς την έξοδο (Εικόνα 19).



Εικόνα 19 *: Countour plot density σεναρίου no.ε3 με movement groups*

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό για την πρώτη περίπτωση No.3 που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι ο συνολικός χρόνος εκκένωσης είναι ο ίδιος με το σενάριο No.1. Αυτό συμβαίνει διότι τα άτομα του κάθε deck θα διαφύγουν μέσω εξόδων του ίδιου deck και ακολούθως ο χρόνος εκκένωσης ξεχωριστά για κάθε ένα κατάστρωμα δεν επιδρά στη διαμόρφωση των υπολοίπων και εφόσον το deck 6 είναι το δεύτερο πληθυσμιακά μεγαλύτερο κατάστρωμα (κατά δύο μικρότερο σε άτομα από το 7^{ο}, βλ. Πίνακα 4) είναι λογικό να ταυτίζονται οι τιμές για τα δύο αυτά σενάρια.

5.5.2. Σενάρια No. 5, No.6 & No.7

Υποθέσεις

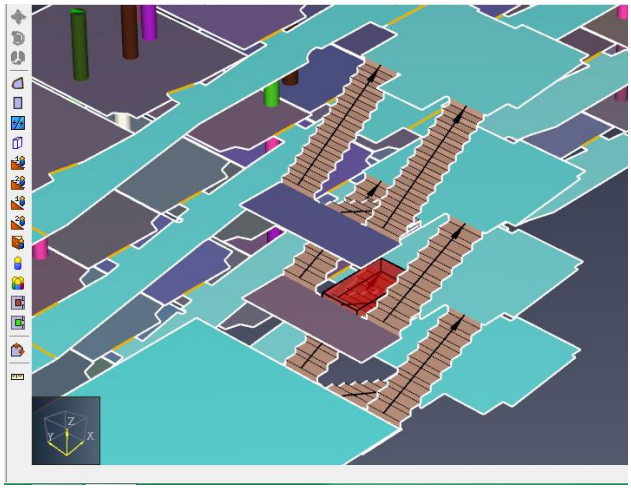
Τα σενάρια που θα αναλυθούν σε αυτήν την παράγραφο έχουν ως στόχο τη μελέτη της κίνησης των ατόμων στην περίπτωση που έχουν αποκλειστεί κάποιες έξοδοι όπως μπορεί να παρουσιαστεί σε μία κατάσταση εκκένωσης σε περίπτωση πυρκαγιάς. Τα άτομα αναγκάζονται (με την απενεργοποίηση κάποιων εξόδων), όπως θα δούμε παρακάτω, να κινηθούν προς τα ανώτερα καταστρώματα μέσω των κλιμακοστασίων για να διαφύγουν. Όλα τα παρακάτω σενάρια ακολουθούν την κατανομή πληθυσμού σύμφωνα με τον IMO, και οι χρόνοι απόκρισης των επιβατών ορίζονται με βάση την εξίσωση (1).

Για τη στρατηγική εξόδου, έχουμε τις εξής διαφοροποιήσεις :

- για το σενάριο No.5 καμία έξοδος διαθέσιμη για τα καταστρώματα 6 και 7, ενώ όλες οι έξοδοι στα καταστρώματα 8 και 9 λειτουργούν,
- για τα σενάρια No.6 και No.7 καμία έξοδος για τα καταστρώματα 6 και 7, ενώ για τα καταστρώματα 8 και 9 λειτουργούν οι μισές έξοδοι (Exit 8 AP, Exit 8 FS, Exit 9 AS, Exit 9 FP).

Η διαφορά ανάμεσα στα σενάρια No.6 και No.7 είναι ότι στη δεύτερη περίπτωση έχουμε ενεργοποιήσει τη ρύθμιση movement groups.

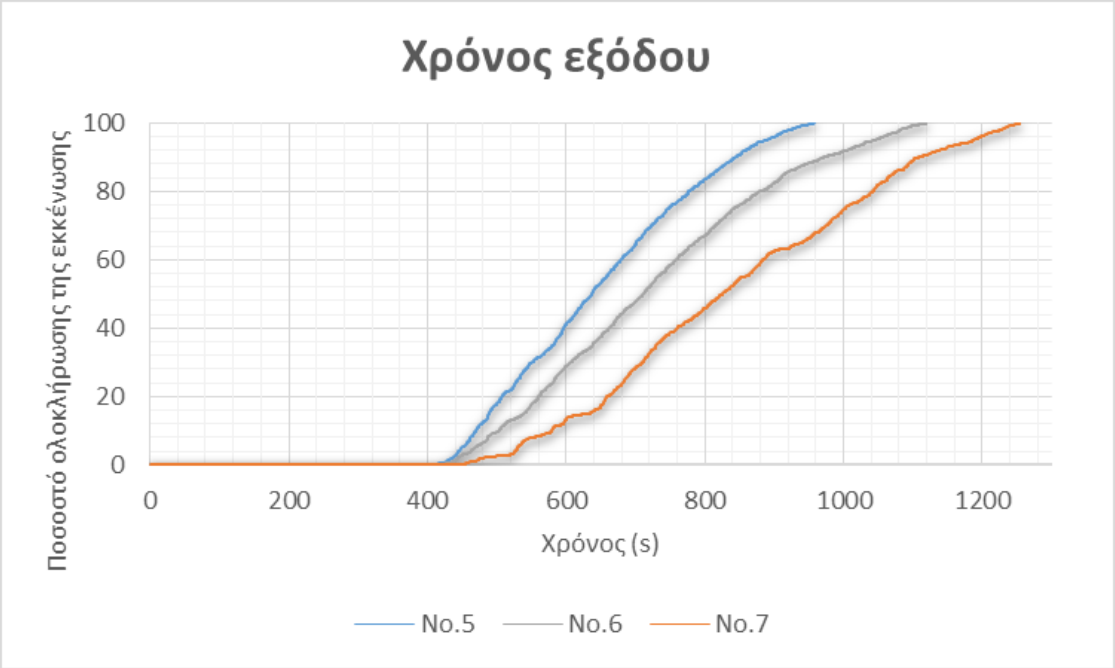
Για την καταγραφή των σημείων συμφόρησης στο κλιμακοστάσιο, έχουν τοποθετηθεί περιοχές μέτρησης του συνωστισμού (measurement regions) όπως φαίνεται στην Εικόνα 14. Τα σημεία αυτά βρίσκονται στη σκάλα που συνδέει το 7^{ο} με το 8^{ο} deck και επιλέχθηκαν για το γεγονός ότι όλα τα άτομα των deck 6 και 7 θα κινηθούν προς αυτές με στόχο να κινηθούν προς τις εξόδους των 8 και 9 deck, επομένως θα εμφανίσουν και τα μεγάλα επίπεδα συμφόρησης. Ιδιαίτερα για το No.7, έχουν τοποθετηθεί περιοχές μέτρησης λίγο πριν τις εξόδους FP και AS του 9^{ου} deck (Εικόνα 20). Οι περιοχές μέτρησης καταγράφουν για όλη τη διάρκεια της διαδικασίας την πυκνότητα των ατόμων, τον αριθμό δηλαδή, των ατόμων που βρίσκονται στη συγκεκριμένη περιοχή προς τη συνολική επιφάνεια αυτής της περιοχής (persons/m^2).



Εικόνα 20 *: Measurement region, διακρίνεται με κόκκινο*

Αποτελέσματα

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι χρόνοι εκκένωσης, στο ίδιο γράφημα για τις τρείς δοκιμές.



Γράφημα 9 *: Αθροιστική κατανομή (% του συνόλου των επιβατών) του χρόνου εξόδου των επιβατών για σενάρια No.5, No.6 και No.7, σενάρια νύχτας*

Πίνακας 9*: Αποτελέσματα προγράμματος για τις διαθέσιμες εξόδους διαφυγής, περίπτωση No.5*

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	maximum flow rate (p/s)	maximum specific flow rate (p/m/s)
EXIT 8 AP	61	421,9	791,2	2	1,82
EXIT 8 AS	79	429,5	875,0	2	1,82
EXIT 8 FP	223	414,2	908,4	2	1,82
EXIT 8 FS	277	442,9	957,5	2	1,82
EXIT 9 AP	54	412,5	738,1	2	1,82
EXIT 9 AS	54	426,4	736,6	2	1,82
EXIT 9 FP	46	425,1	730,5	2	1,82
EXIT 9 FS	44	420,3	733,0	2	1,82

***Πίνακας 10** : Αποτελέσματα προγράμματος για τις διαθέσιμες εξόδους διαφυγής, περίπτωση No.6*

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	maximum flow rate (p/s)	maximum specific flow rate (p/m/s)
EXIT 8 AP	80	421,9	798,7	2	1,82
EXIT 8 FS	396	442,9	1119,3	2	1,82
EXIT 9 AS	58	426,4	736,6	2	1,82
EXIT 9 FP	304	425,1	935,2	3	2,73

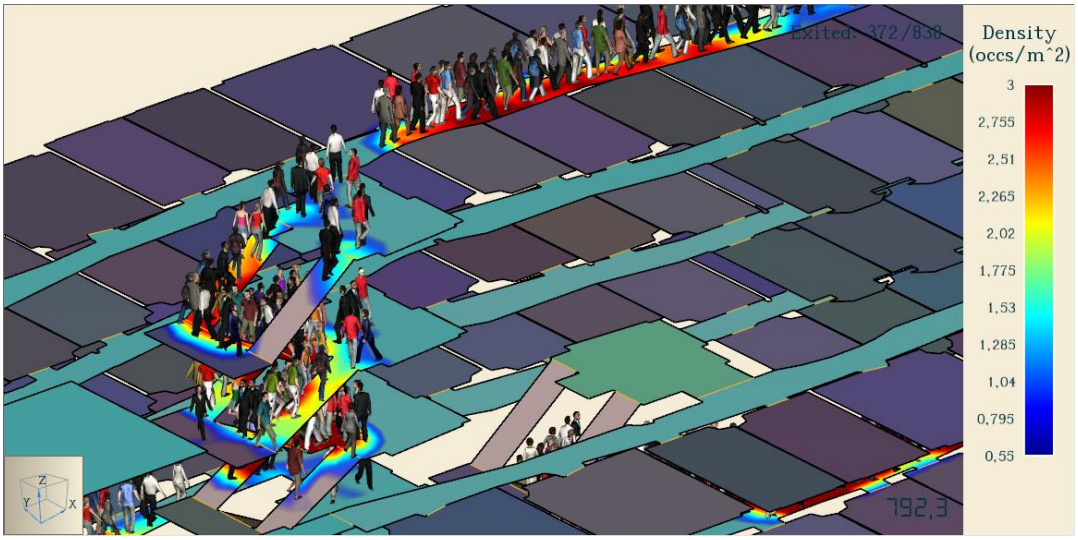
***Πίνακας 11** : Αποτελέσματα προγράμματος για τις διαθέσιμες εξόδους διαφυγής, περίπτωση No.7*

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	maximum flow rate (p/s)	maximum specific flow rate (p/m/s)
EXIT 8 AP	60	438,1	922,6	2	1,82
EXIT 8 FS	396	474,1	1253,9	2	1,82
EXIT 9 AS	58	454,8	744,3	2	1,82
EXIT 9 FP	324	460,2	1101,9	3	2,73

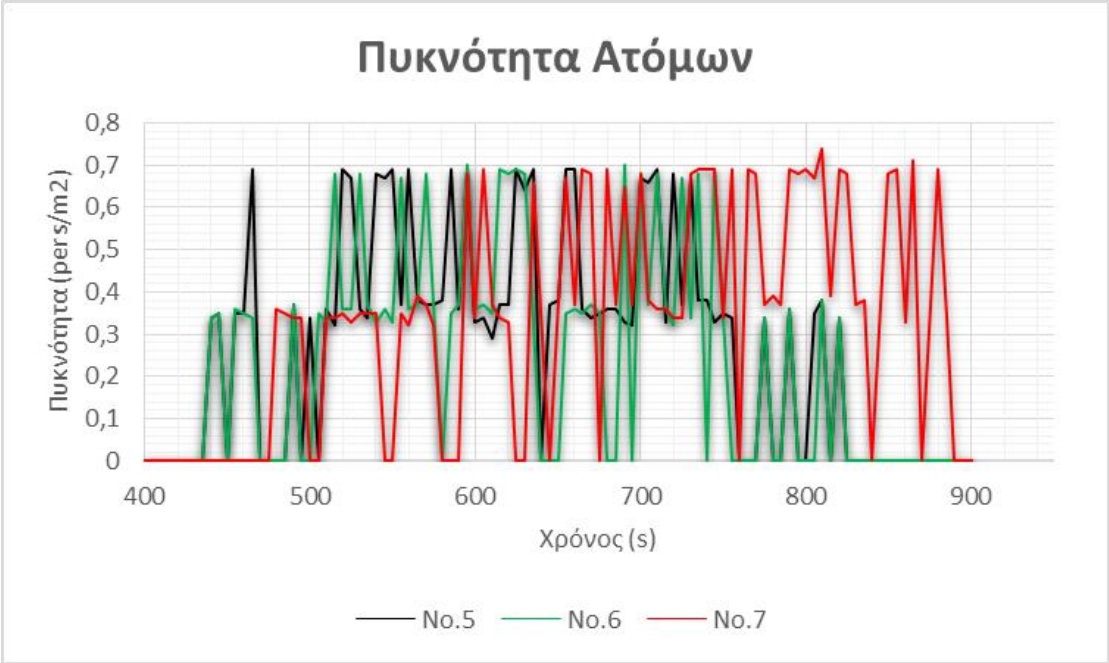
Παρατηρήσεις-σχολιασμός

Ο συνολικός χρόνος εκκένωσης για την περίπτωση No.5 ήταν 957,5 sec , για την No.6, 1119,3 sec και για την No.7 με χρήση movement groups, 1253,9 sec.

Πιο αναλυτικά, για το σενάριο No.5 όπου οι διαθέσιμες έξοδοι είναι μειωμένες κατά το μισό σε σχέση με το No.3, έχουμε μία αύξηση 27% του χρόνου εκκένωσης. Η σημαντική αυτή αύξηση έγκειται στο γεγονός ότι οι έξοδοι δεν μειώθηκαν κατά το μισό σε κάθε όροφο (κάτι που θα έδινε μία πιο ήπια άνοδο της τιμής), αλλά ανομοιόμορφα με αποτέλεσμα τα άτομα του 6^{ου} και 7^{ου} deck να συνωστίζονται στο κλιμακοστάσιο κατά τη διέλευσή τους προς τα καταστρώματα 8 και 9 όπως φαίνεται παρακάτω.



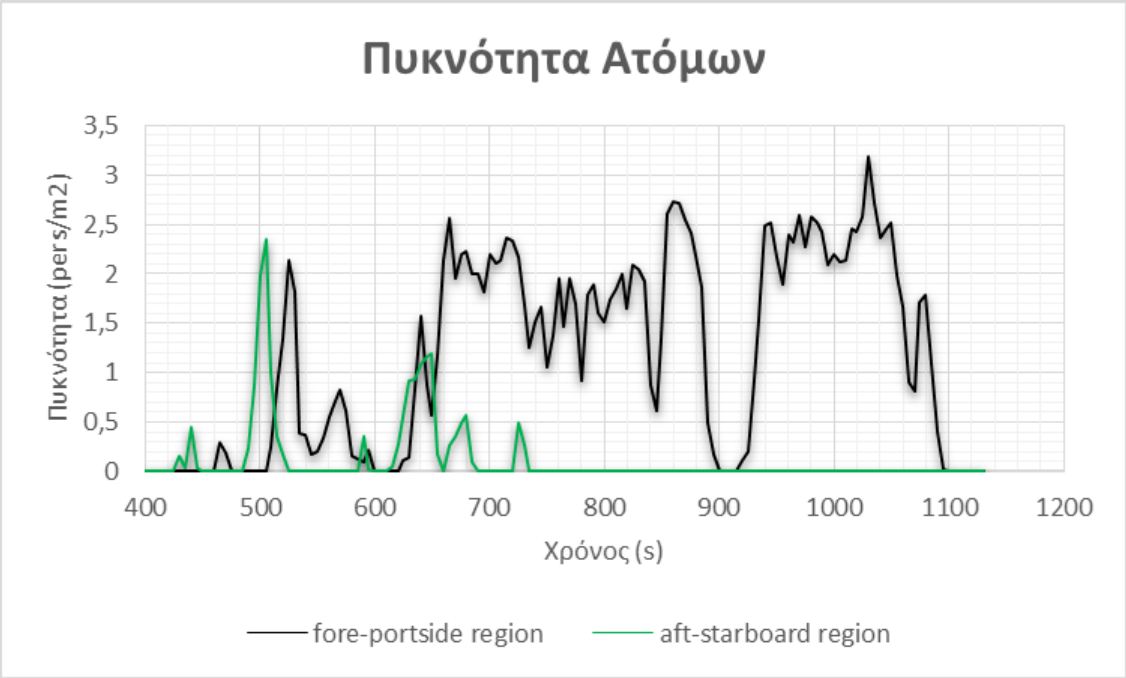
Εικόνα 21 *: Countour plot density σεναρίου No.7, όπου διακρίνεται η αυξημένη πυκνότητα ατόμων στη σκάλα*



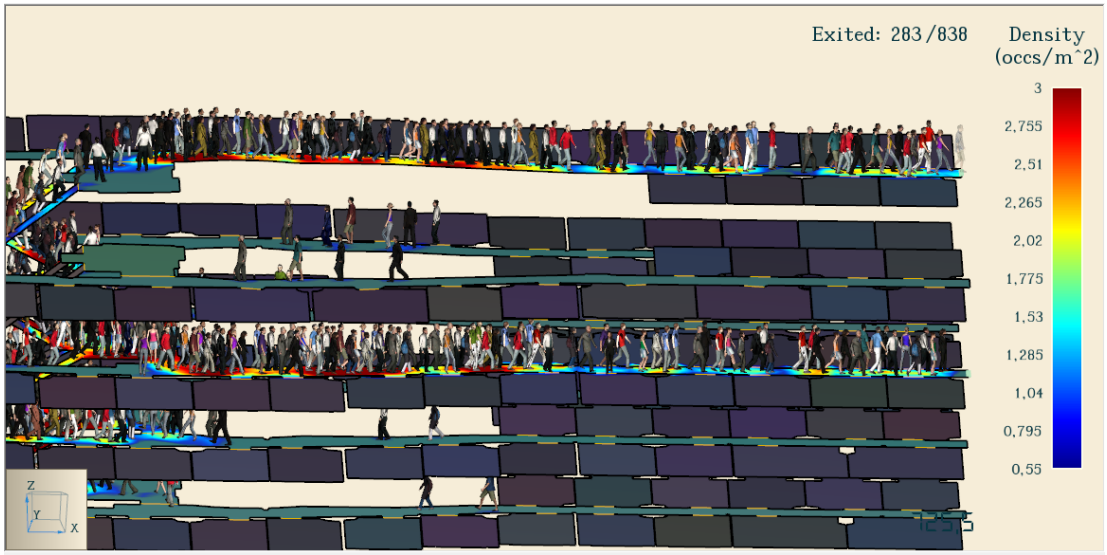
Γράφημα 10 *: Πυκνότητα ατόμων για τις περιοχές μέτρησης στο κλιμακοστάσιο portside, για τα σενάρια No.5, No.6 και No.7*

Αξιόλογες είναι και οι διαφορές στο χρόνο ολοκλήρωσης μεταξύ των No.6 και No.7. Στη δεύτερη περίπτωση παρατηρείται αύξηση του χρόνου κατά 12 % συγκριτικά με την πρώτη, ενώ στο ζεύγος σεναρίων No.3 και No.4, η αύξηση ήταν 1,8 %. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι σε σενάρια που παρατηρούνται σημαντικά επίπεδα συνωστισμού, η συμπεριφορά ομάδων αυξάνει ακόμα περισσότερο το χρόνο ολοκλήρωσης της εκκένωσης.

Ένα χαρακτηριστικό που παρατηρήθηκε και στις τρεις δοκιμές είναι ότι τα άτομα δεν παρεκκλίνουν από την κύρια-μεγαλύτερη ροή ατόμων που σχηματίζεται προς την κατεύθυνση των εξόδων. Όπως φαίνεται από τη χρήση των εξόδων από τους επιβάτες (Πίνακες 9, 10 και 11) υπάρχει μία μεγάλη διαφορά στο συνολικό αριθμό χρήσης των εξόδων, σε κάθε σενάριο. Τα άτομα θα κινηθούν προς εξόδους που υπάρχει αυξημένος ρυθμός ροής από ότι να αναζητήσουν κάποια άλλη διαθέσιμη έξοδο (Εικόνα 22).



Γράφημα 11 *: Διαφορές στην πυκνότητα ατόμων για τις δύο περιοχές μέτρησης κοντά στις εξόδους Exit 8 fs & Exit 9 fp , του σεναρίου No.7*



Εικόνα 22 *: Countour plot density σεναρίου No.7, όπου διακρίνεται η αυξημένη πυκνότητα των ατόμων στις εξόδους Exit 8 fs & Exit 9 fp*

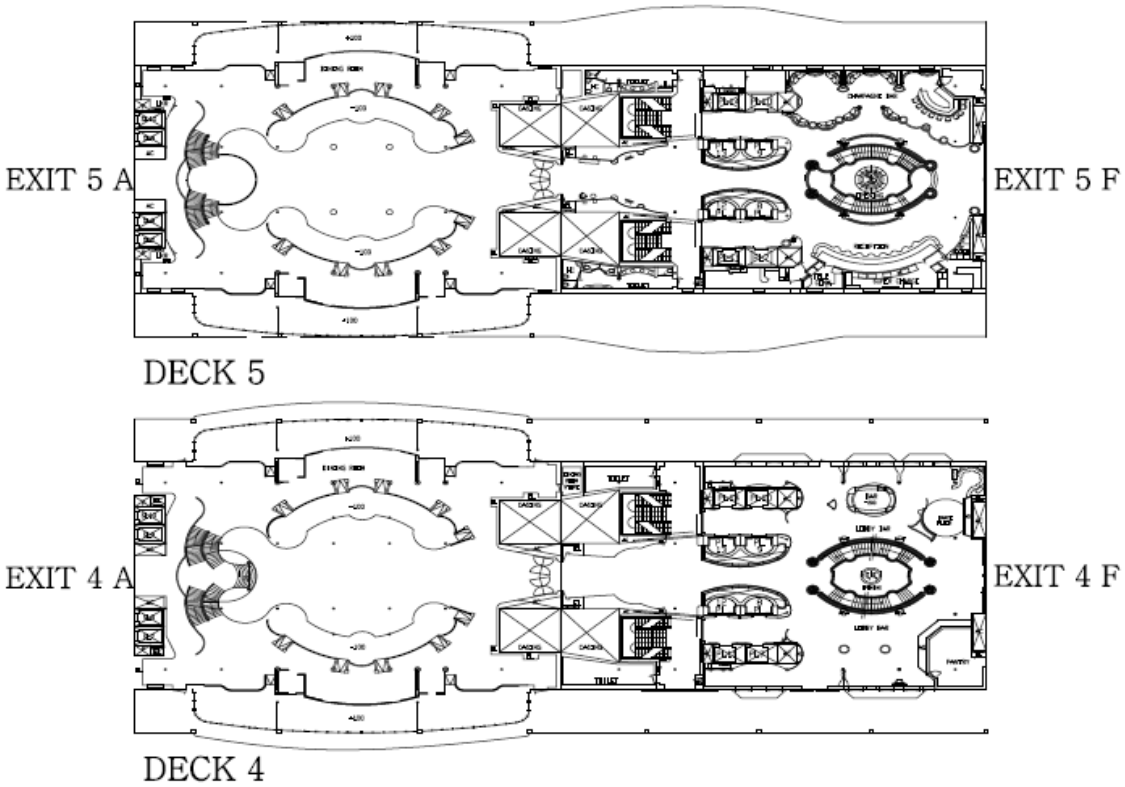
6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΣΕ ΚΟΙΝΟΧΡΗΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΕΠΙΒΑΤΗΓΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

6.1. Γεωμετρία Μοντέλου

Το μοντέλο που θα αναλυθεί αποτελείται από δύο καταστρώματα και είναι καταστρώματα του μοντέλου-σχεδίου πλοίου της παραπάνω οικογένειας σεναρίων που μελετήθηκε. Πρόκειται για καταστρώματα που περιλαμβάνουν τους κοινόχρηστους χώρους του πλοίου (public spaces) και διαφέρουν ελάχιστα όσον αφορά τη γεωμετρία τους (Εικόνα 23). Τα δύο deck αποτελούνται από δύο βασικούς χώρους (σαλόνια) που επικοινωνούν μεταξύ τους με δύο πόρτες. Ακόμη περιμετρικά τους βρίσκονται τα διάφορα stores, χώροι εξηπηρέτησης επιβατών και μπαλκόνια δεξιά και αριστερά αυτών.

Τα δύο καταστρώματα συνδέονται μέσω δύο κλιμακοστασίων κεντρικά των καταστρωμάτων. Η μορφή της κάθε σκάλας είναι η ίδια με αυτή των cabin decks που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο (βλ. Εικόνα 14).

Σε κάθε deck, υπάρχουν δύο έξοδοι διαφυγής (Exit 4 A, Exit 4 F και Exit 5 A, Exit 5 F) που έχουν τοποθετηθεί στα όρια του κάθε καταστρώματος κατά τον x άξονα, πλάτους 3 μέτρα.



***Εικόνα 23** : Μορφή καταστρωμάτων και τοποθεσίες εξόδων για κάθε ένα*

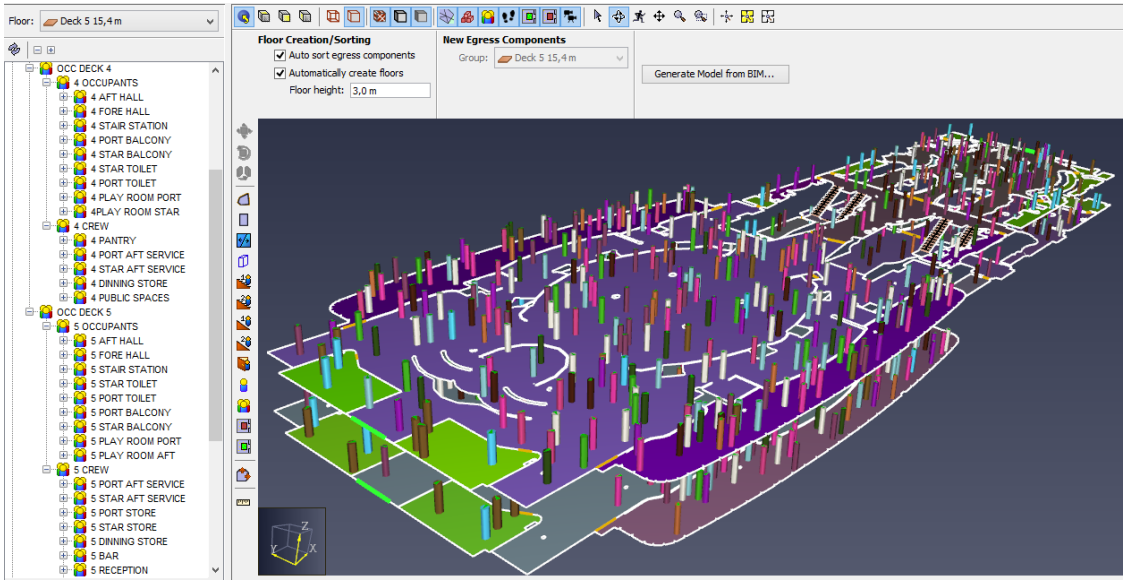
6.2. Χαρακτηριστικά πληθυσμού

Τα δύο καταστρώματα διαφέρουν όσον αφορά τον πληθυσμό, το οποίο προκύπτει από το γεγονός ότι υπάρχουν μικρές διαφορές στη γεωμετρία τους και πιο συγκεκριμένα σε αντίθεση με το κατάστρωμα 4, το 5 διαθέτει περισσότερους χώρους εξυπηρέτησης (service spaces) με αποτέλεσμα ο αριθμός του πληρώματος να είναι μεγαλύτερος. Ακόμη, για τη ρύθμιση της κίνησης έχει επιλεγεί η λειτουργία Steering.

Πίνακας 12 *: Συνολικός αριθμός επιβατών και πληρώματος στα διάφορα decks*

	DECK 4	DECK 5
Passengers		
Public spaces	408	408
Crew		
Public spaces	16	16
Service spaces	14	24
Sum	438	448

Η κατανομή του πληθυσμού και οι ταχύτητες των ατόμων έγινε με βάση τους Πίνακες 1, 2 & 3 και ο χρόνος απόκρισης των επιβατών και πληρώματος ορίστηκε με βάση το σενάριο ημέρας (συνάρτηση (2)). Ακόμη τα άτομα σε όλα τα σενάρια μελέτης κινούνται μεμονωμένα, δεν γίνεται δηλαδή χρήση της επιλογής movement groups.



Εικόνα 24 *: Καταστρώματα 4&5 μετά τη μοντελοποίηση και τοποθέτηση των επιβατών και του πληρώματος, με διαφορετικό χρώμα διακρίνονται οι επιβάτες διαφορετικών φυλετικών και ηλικιακών κατηγοριών*

6.3. Σενάρια No. 8, No.9 & No.10

Υποθέσεις

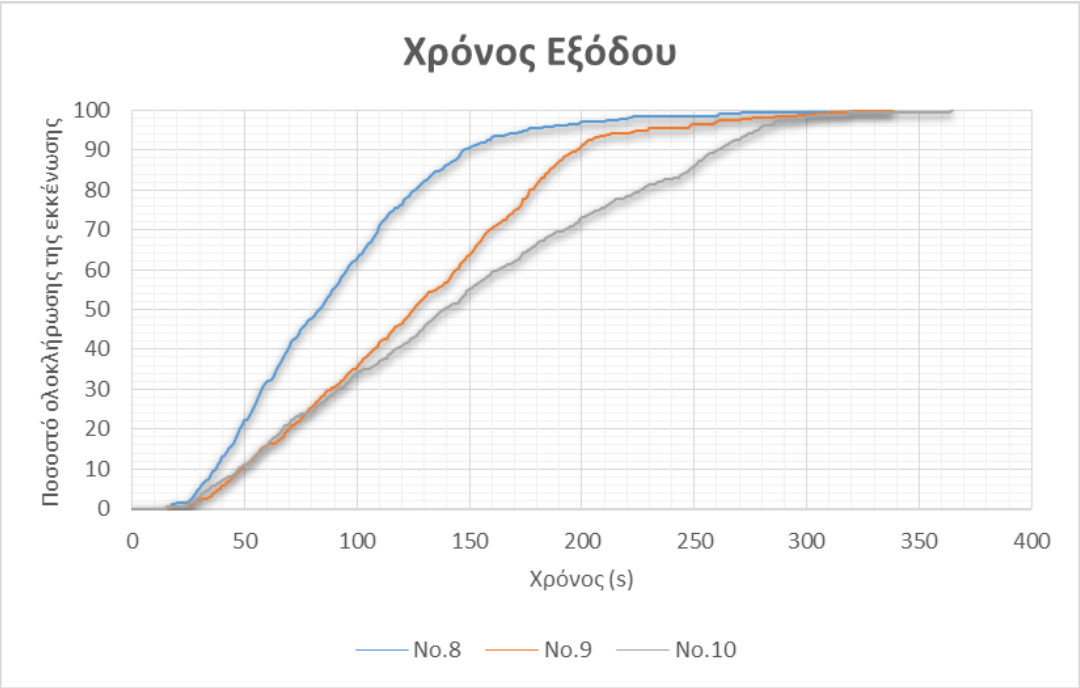
Προτού μελετήσουμε τη διαδικασία της εκκένωσης στο μοντέλο των δύο καταστρωμάτων, θα πραγματοποιηθούν τρεις δοκιμές για ένα κατάστρωμα (deck 4) ως εξής :

- No.8, όλες οι έξοδοι είναι διαθέσιμες (Exit 4 A, Exit 4 F),
- No.9, η έξοδος Exit 4 A είναι διαθέσιμη,
- No.10, η έξοδος Exit 4 F είναι διαθέσιμη.

Η επιλογή των σεναρίων No.9 και No.10 έγινε με τη λογική ότι δεν υπάρχει συμμετρία ως προς τον άξονα y με αποτέλεσμα να αναμένουμε διαφοροποιήσεις στον χρόνο ολοκλήρωσης της εκκένωσης για τις δύο αυτές περιπτώσεις.

Αποτελέσματα

Οι χρόνοι εκκένωσης και για τις τρεις δοκιμές παρουσιάζονται στο ίδιο γράφημα παρακάτω.



Γράφημα 12 *: Αθροιστική κατανομή (% του συνόλου των επιβατών) του χρόνου εξόδου των επιβατών για σενάρια No.8, No.9 και No.10, σενάρια ημέρας*

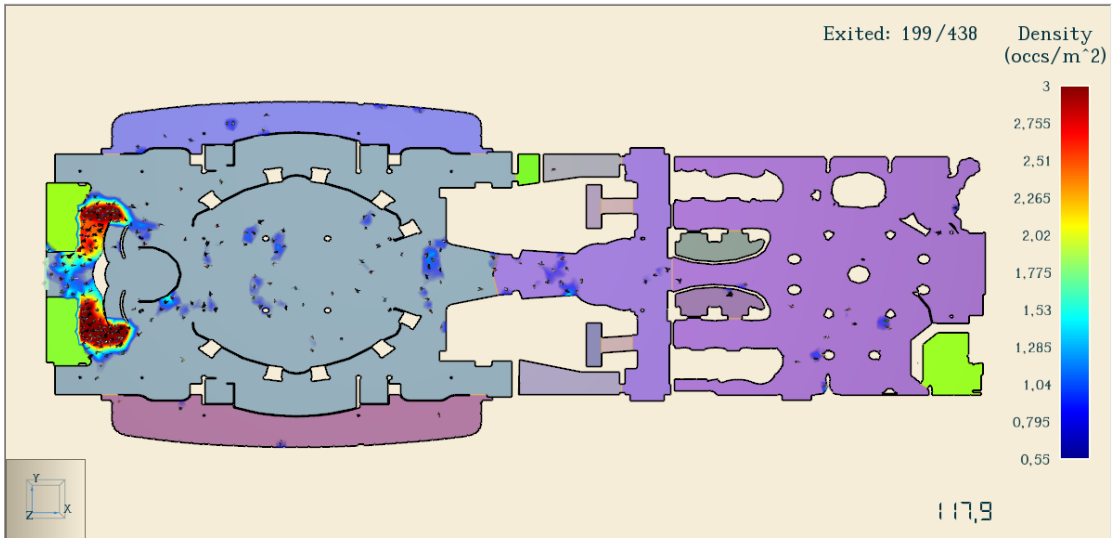
Πίνακας 13 *: Αποτελέσματα προγράμματος για τις διαθέσιμες εξόδους διαφυγής*

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	maximum flow rate (p/s)	maximum specific flow rate (p/m/s)
No.8					
EXIT 4 A	286	15,2	337,9	5	1,67
EXIT 4 F	152	15,0	260,3	4	1,33
No.9					
EXIT 4 A	438	15,2	337,9	5	1,67
No.10					
EXIT 4 F	438	15,0	364,9	5	1,67

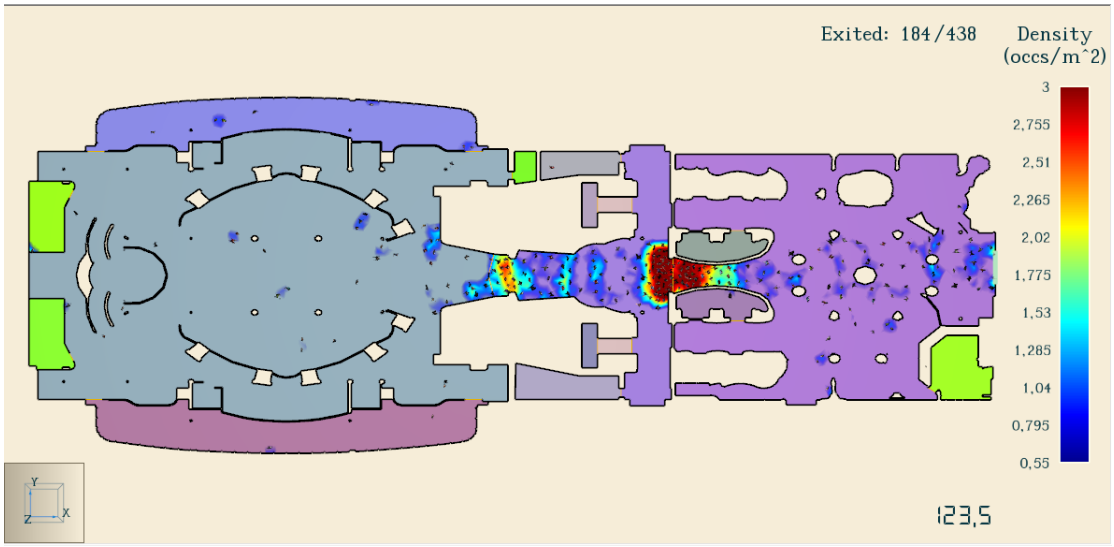
Παρατηρήσεις

Ο χρόνος ολοκλήρωσης για τα No.8 και No.9 ήταν 337,9 s που οφείλεται αποκλειστικά στη μορφή του χρόνου απόκρισης των ατόμων (lognormal). Το 90% των ατόμων για τη No.8 έχει εξέλθει στα 150 sec και στη No.9 στα 200 sec, πράγμα που σημαίνει ότι τα υπόλοιπα άτομα που δεν έχουν εκκινήσει δε θα συνωστιστούν κατά τη διαφυγή τους καθώς ο μεγαλύτερος όγκος ατόμων έχει εξέλθει και ακολούθως ο χρόνος ολοκλήρωσης της διαδικασίας καθορίζεται από τον αρχικό χρόνο αντίδρασης των επιβατών.

Για την περίπτωση No.10 ο χρόνος εκκένωσης ήταν 365,03 sec με το 90% να έχει εξέλθει στα 260 sec με αποτέλεσμα οι τελευταίοι επιβάτες (το υπόλοιπο 10%) να συναντήσουν ροή ατόμων κατά τη διαφυγή τους προς τις εξόδους που οδηγεί στην αύξηση (αν και μικρή) του χρόνου εκκένωσης.



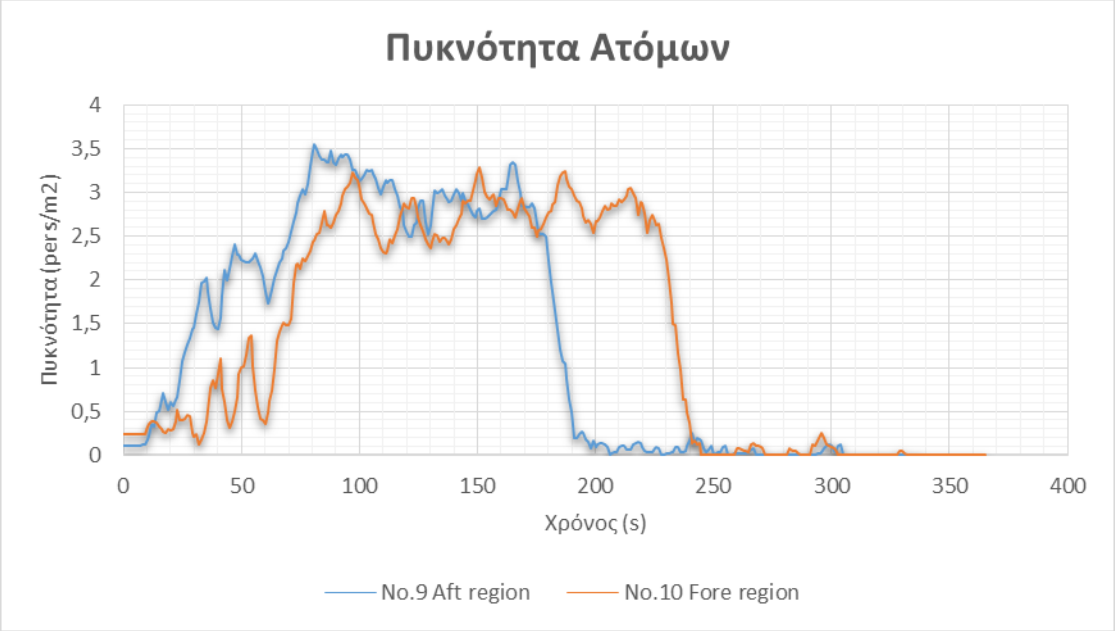
Εικόνα 25 *: Countour plot density σεναρίου No.9*



Εικόνα 26 *: Countour plot density σεναρίου No.10*

Οι διαφορές στις καμπύλες του χρόνου εκκένωσης για τις περιπτώσεις No.9 και No.10 (Γράφημα 12) οφείλονται στη γεωμετρία του μοντέλου. Τα άτομα συνωστίζονται σε διαφορετικές περιοχές στις δύο περιπτώσεις και σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα όπως διακρίνεται στο γράφημα και επαληθεύεται από τα αποτελέσματα που φαίνονται στις Εικόνες 25 & 26.

Ακόμη παρατηρήθηκαν πολύ υψηλά επίπεδα συνωστισμού, πράγμα που προκύπτει από τα παραπάνω.



Γράφημα 13 *: Πυκνότητα ατόμων για τις περιοχές μέτρησης, για τα σενάρια No.9 & No.10*

6.4. Σενάρια No. 11 & No.12

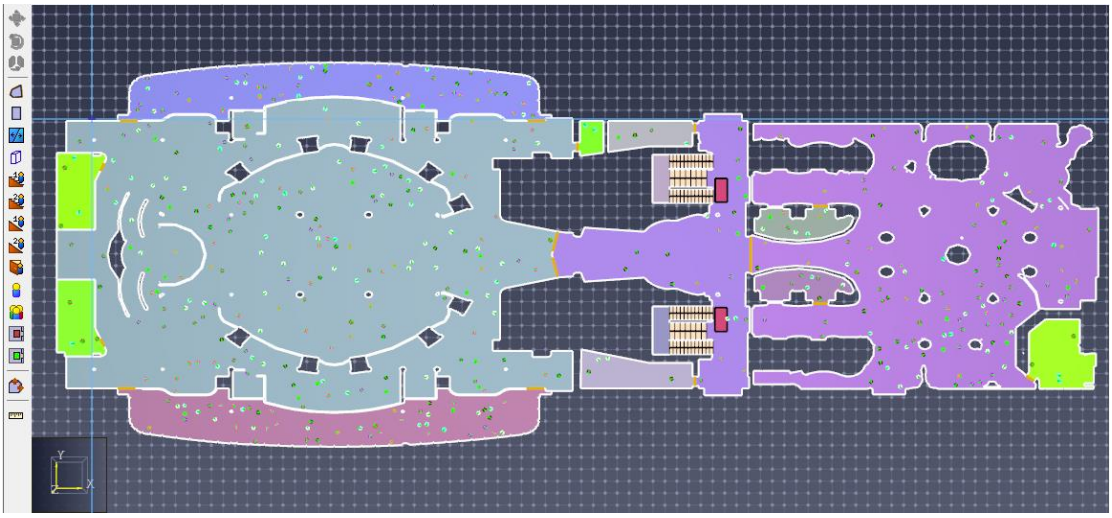
Υποθέσεις

Δύο σενάρια θα μελετηθούν σε αυτήν την παράγραφο με βασικό χαρακτηριστικό τη γεωμετρία του μοντέλου που αποτελείται από δύο καταστρώματα, τα σενάρια No.11 και No.12.

Με βάση τη διαθεσιμότητα των εξόδων κατά τη διάρκεια της εκκένωσης έχουμε τις εξής διαφορές ανάμεσα στα σενάρια :

- No.11, όλες οι έξοδοι είναι διαθέσιμες,
- No.12, λειτουργούν μόνο οι έξοδοι στο κατάστρωμα 5.

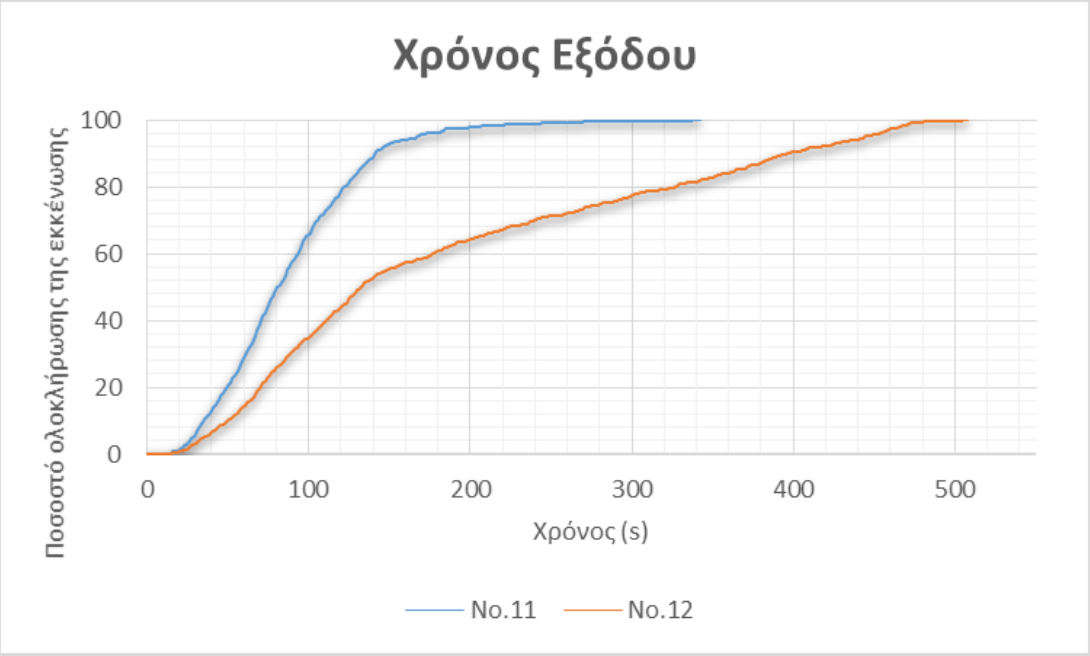
Για το σενάριο No.11 αναμένουμε αποτελέσματα που πλησιάζουν αυτά του No.8 ,ενώ όσον αφορά το No.12, σκοπός του συγκεκριμένου σεναρίου είναι η παρατήρηση των σημείων συμφόρησης που αναμένεται να δημιουργηθεί στους χώρους των κλιμακοστασίων. Για το λόγο αυτό έχουν τοποθετηθεί measurement regions για την καλύτερη καταγραφή αυτών.



Εικόνα 27 *: Measurement regions, Stair port & Stair starboard για το deck 4 στην είσοδο των κλιμακοστασίων*

Αποτελέσματα

Οι χρόνοι εκκένωσης παρουσιάζονται στο ίδιο γράφημα παρακάτω όπως επίσης και τα αποτελέσματα για τις διαθέσιμες εξόδους στους πίνακες για την κάθε μία περίπτωση.



Γράφημα 14 *: Αθροιστική κατανομή (% του συνόλου των επιβατών) του χρόνου εξόδου των επιβατών για σενάρια No.11 και No.12, σενάρια ημέρας*

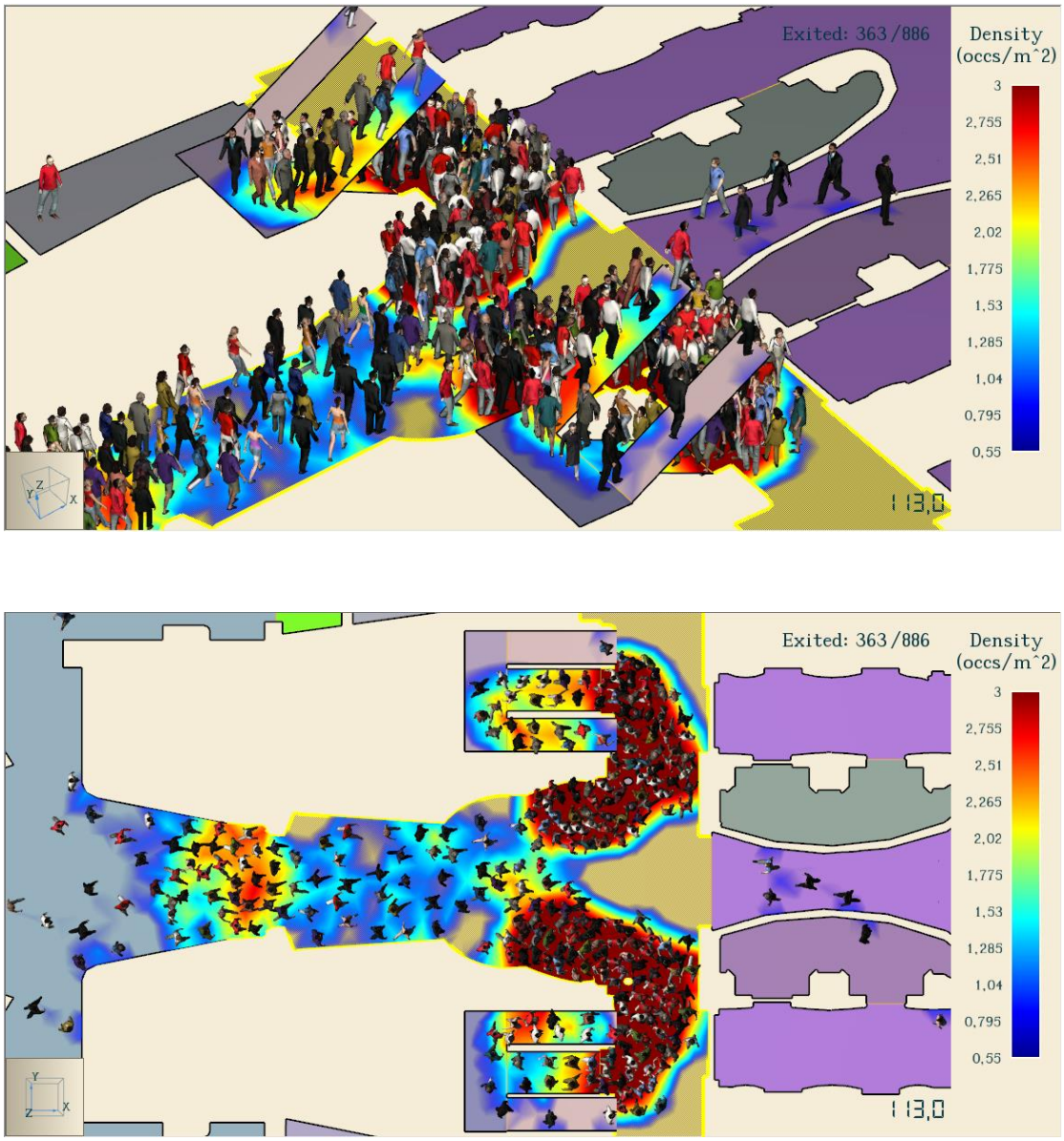
Πίνακας 14 *: Αποτελέσματα προγράμματος για τις διαθέσιμες εξόδους διαφυγής, No.11 & No.12*

DOORS	total use (pers)	first in (s)	last out (s)	maximum flow rate (p/s)	maximum specific flow rate (p/m/s)
No.11					
EXIT 4 A	283	15,2	337,9	5	1,67
EXIT 4 F	155	15,1	243,0	5	1,67
EXIT 5 A	290	13,3	342,4	6	2,00
EXIT 5 F	158	13,2	266,7	5	1,67
No.12					
EXIT 5 A	290	13,3	342,4	6	2,00
EXIT 5 F	596	13,2	507,2	5	1,67

Παρατηρήσεις

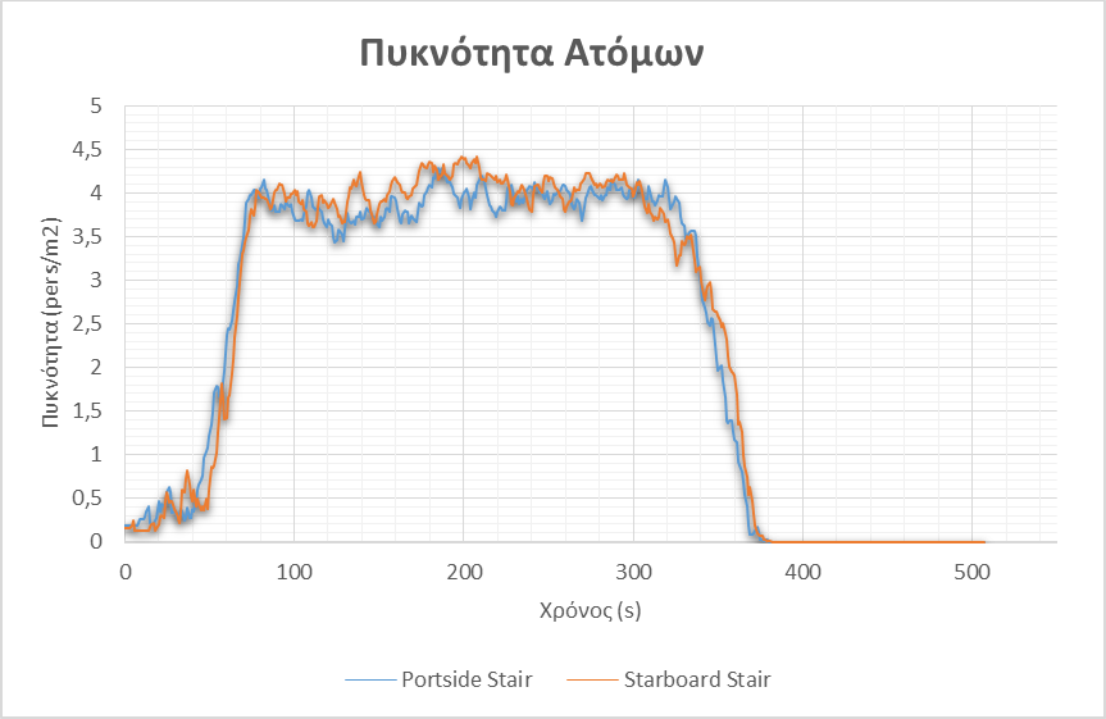
Ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης για την No.11 δοκιμή ήταν 342,4 sec πολύ κοντά με τη δοκιμή No.8 κάτι το οποίο αναμέναμε. Τα άτομα εξέρχονται μέσω των εξόδων του καταστρώματος που βρίσκονται, ενώ δε γίνεται χρήση των κλιμακοστασίων από κανένα επιβάτη.

Αντίθετα, για τη δοκιμή No.12 ο συνολικός χρόνος εκκένωσης ήταν 507,2 sec. Με τον αποκλεισμό των εξόδων του 4^{ου} deck, ο χρόνος αυξήθηκε κατά 50.1 % από την No.11. Η μεγάλη αυτή διαφορά στους χρόνους οφείλεται στο συνωστισμό των ατόμων λίγο πριν την είσοδο τους στις σκάλες στο σενάριο No.12 όπως φαίνεται και στην Εικόνα 28.



Εικόνα 28 *: Countour plot density σεναρίου No.12, που διακρίνεται η αυξημένη πυκνότητα των ατόμων λίγο πριν την είσοδό τους στις σκάλες*

Ακολούθως, παρουσιάζεται το γράφημα της πυκνότητας στις δύο περιοχές μέτρησης για το σενάριο No.12.



Γράφημα 15 *: Πυκνότητα ατόμων για τις περιοχές μέτρησης, στο σενάριο No.12*

Όπως διακρίνεται από το γράφημα αλλά και από τα στιγμιότυπα η πυκνότητα των ατόμων κυμαίνεται στα 4 pers/m^2 στο μεγαλύτερο διάστημα της διαδικασίας, τιμή εξαιρετικά υψηλή, που οφείλεται κατά κύριο λόγο στον αριθμό των ατόμων και στη γεωμετρία του μοντέλου.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αρχικά, ένα αρκετά μεγάλο μέρος της διαδικασίας της ανάλυσης αποτέλεσε το στάδιο προμελέτης και ιδιαίτερα η εξακρίβωση των λειτουργιών-ρυθμίσεων του προγράμματος ώστε να λάβουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα, αλλά και η ενσωμάτωση των σχετικών παραμέτρων για την προσομοίωση της συμπεριφοράς και του προφίλ των επιβατών.

Ένα σημαντικό ζήτημα κατά την ανάλυση, αποτέλεσε ο τρόπος εξαγωγής των αποτελεσμάτων (υπολογιστικά φύλλα excel με μεγάλο όγκο πληροφοριών) με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις να είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία η επεξεργασία τους. Από την άλλη πλευρά υπάρχει μία μεγάλη διαφορά ανάμεσα στα σενάρια μέρας και νύχτας. Ο κύριος και προφανής λόγος είναι η μεγάλη διαφορά στον χρόνο απόκρισης των επιβατών μεταξύ των συγκεκριμένων σεναρίων.

Κατά την εκτέλεση των σεναρίων, βασικός παράγοντας που καθορίζει τη διαμόρφωση του συνολικού χρόνου εκκένωσης, αποδείχτηκε η γεωμετρία του μοντέλου (διάταξη των καταστρωμάτων). Παρατηρήθηκε ότι με την μικρή τροποποίηση του μοντέλου ,όπως για παράδειγμα την απενεργοποίηση μίας εξόδου διαφυγής, τα αποτελέσματα σε πολλές περιπτώσεις παρουσίασαν μεγάλες διαφορές από το αρχικό (Πίνακας 15). Για το λόγο αυτό μελετήθηκαν πολλά σενάρια με διαφοροποιήσεις σχετικά με τις διαθέσιμες εξόδους.

Για την καλύτερη ανάλυση, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ομάδες κίνησης και στους κοινόχρηστους χώρους ή ακόμη μελέτη σεναρίων με αλλαγή ταχυτήτων κίνησης σε περιπτώσεις ύπαρξης κλίσης στο πλοίο. Φυσικά, η τρέχουσα μελέτη είναι προκαταρκτική και απαιτούνται περαιτέρω προσθήκες αλλά και την εκτέλεση διαφορετικών σεναρίων προκειμένου να έχουμε μια καλύτερη και πιο πλήρη εικόνα του προβλήματος.

Τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των ατόμων που συμμετέχουν στη διαδικασία και ιδιαίτερα η παράμετρος ηλικία, όπως για παράδειγμα η ενσωμάτωση παιδιών και συμπεριφορών τους, είναι ένα στοιχείο που χρίζει περαιτέρω μελέτης για πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα, όπως επίσης η επίδραση του πανικού στη συμπεριφορά των ατόμων.

Ωστόσο, περιθώρια βελτίωσης μπορούν να υπάρξουν όχι μόνο στη συμπεριφορά των ατόμων σε κατάσταση ανάγκης και ακολούθως στις τροποποιήσεις των ταχυτήτων κίνησής τους, αλλά και στην επίδραση των επιβατών με κινητικά προβλήματα κατά τη διαδικασία της εκκένωσης.

Ένα ακόμη στοιχείο προσθήκης μπορεί να αποτελέσει ο υπολογισμός του χρόνου επιβίβασης στις σωστικές λέμβους καθώς κατά τα περισσότερα υπολογιστικά προγράμματα υπολογίζουν το χρόνο εκκένωσης μέχρι τους χώρους συγκέντρωσης (assembly stations).

Πίνακας 15 : *Συγκεντρωτικός πίνακας για όλα τα σενάρια που εκτελέστηκαν*

No.	**Γεωμετρία**	**Χρόνος απόκρισης**	**Περιγραφή**	**Πληθυσμός**	**Χρόνος εξόδου (s)**
1	Κατάστρωμα 6	Σενάρια νύχτας	Όλες οι έξοδοι είναι διαθέσιμες	214	756,0
2			50% των εξόδων είναι διαθέσιμες (6 AP, 6 FS)	214	875,9
3	Καταστρώματα 6,7,8&9		Όλες οι έξοδοι είναι διαθέσιμες	838	756,0
4			Όλες οι έξοδοι είναι διαθέσιμες, χρήση ομάδων κίνησης	838	769,3
5			Διαθέσιμες οι έξοδοι των καταστρωμάτων 8&9	838	957,5
6			Μόνο οι έξοδοι 8 AP, 8 FS, 9 AS, 9 FP λειτουργούν	838	1119,3
7			Μόνο οι έξοδοι 8 AP, 8 FS, 9 AS, 9 FP λειτουργούν, χρήση ομάδων κίνησης	838	1253,9
8	Κατάστρωμα 4	Σενάρια ημέρας	Όλες οι έξοδοι είναι διαθέσιμες	438	337,9
9			Η έξοδος 4 A λειτουργεί	438	337,9
10			Η έξοδος 4 F λειτουργεί	438	365,0
11	Καταστρώματα 4&5		Όλες οι έξοδοι είναι διαθέσιμες	886	342,4
12			Λειτουργούν οι έξοδοι του καταστρώματος 5	886	507,2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ando, K., Ota, H., & Oki, T. (1988). *Forecasting The Flow of People.* Railway Research Review,(45), pp 8-14.

Breuillard, A., Cassez, A., Kar, A., Patil, S., Grandison, A., Xu, D., Mermiris, G., (2012). *Benchmarking Of Existing Ships (D3.3).* Probabilistic Framework for Onboard Fire Safety. FIREPROOF project.

Evi User Manual.

Galea, E. R., Deere, S., Sharp, G., Fillips, L., Lawrence, P., and Gwunne, S., (2007) . *Recommendations on the Nature of the Passenger Response Time Distribution to be used in the MSC.1033 Assembly Time Analysis Based on Data Derived from Sea Trials.* International Journal of Maritime Engineering

Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T. ,(2000), *Simulating dynamical features of escape panic*. Nature, 407, pp. 487–490.

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

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

IMO. (2000). MSC.98(73). *Adoption of the International Code for Fire Safety Systems.* 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.

Koromila, I. K., Themelis, N., & Spyrou, K. J. (2020). *The use of IMO life safety criteria in alternative cruise ship design.*

Lee, D., Kim, H., Park, J.-H., Park, B.-J. (2003). *The current status and future issues in human evacuation from ships*. *Safety Science*, 41(10), pp. 861-876.

Ntounis, A.,(2017). Bachelor Thesis : Fire Safety and Evacuation Analysis of a Passenger Ship.

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

Passenger Ship Evacuation .https://www.rina.org.uk/passenger-ship-evacuation.html

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

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.

Stefanidis, F., Boulougouris, E., & Vassalos, D. (2020). *Modern Trends in Ship Evacuation.*

Thunderhead Engineering (2015) Pathfinder Verification and Validation.

Thunderhead Engineering (2017) Pathfinder User Manual.

Thunderhead Engineering (2019) Pathfinder User Manual.

Themelis, N., Niotis, S., & Spyrou, K. J. (2012). *Managing uncertainty in performance-based fire safety assessments of ships.*

Vassalos, D., Guarin, L., Bole, M., Majumber, J., Vassalos, G. C., Kim, H. S. (2004). *Effectiveness of Passenger Evacuation Performance For Design, Operation & Training using First-Principles Simulation Tools*. Escape, Evacuation & Recovery, Lloyds Lists Events.

Vassalos, D., Kim, H., Christiansen, G., Majumder, J. (2001a). *A Mesoscopic Model for Passenger Evacuation in a Virtual Ship-Sea Environment and Perfomance-Based Evaluation*. Pedestrian and Evacuation Dynamics.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι : Περιγραφή κύριων υπομοντέλων του προγράμματος, τρόπου εισαγωγής παραμέτρων και εξαγωγής αποτελεσμάτων

Στο Παράρτημα Ι θα γίνει μια σύντομη παρουσίαση της χρήσης του Pathfinder.

Στοχαστικοί Παράμετροι

Παράμετροι όπως η ταχύτητα κίνησης, η σωματοδομή των ατόμων αλλά και ο αρχικός χρόνος απόκρισης μπορούν να οριστούν ως μία σταθερή τιμή ή με βάση μια κατανομή πιθανότητας. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν οι εξής επιλογές για το χρήστη :

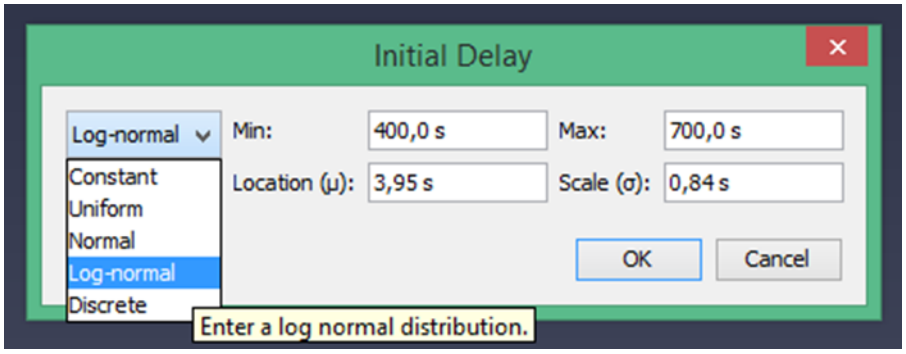
- **Constant value**, δηλαδή μία σταθερή τιμή,
- **Uniform distribution**, δημιουργία τυχαίων τιμών που κατανέμονται ομοιόμορφα μεταξύ δύο προκαθορισμένων τιμών,
- **Normal distribution**, δημιουργία τυχαίων τιμών που κατανέμονται με κανονική κατανομή, περιορίζονται από δύο προκαθορισμένες τιμές και ορίζεται από τη μέση τιμή μ και την τυπική απόκλιση σ, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση :

  $$f(x)=\mu+\sigma x,$$

  όπου x τυχαία τιμή από τυπική κανονική κατανομή.
- **Log-normal distribution,** δημιουργία τυχαίων τιμών που κατανέμονται με λογαριθμική κανονική κατανομή που ορίζεται από τη μέση τιμή μ και την τυπική απόκλιση σ με βάση την εξίσωση :

  $$f(x)=e^{\mu+\sigma x},$$

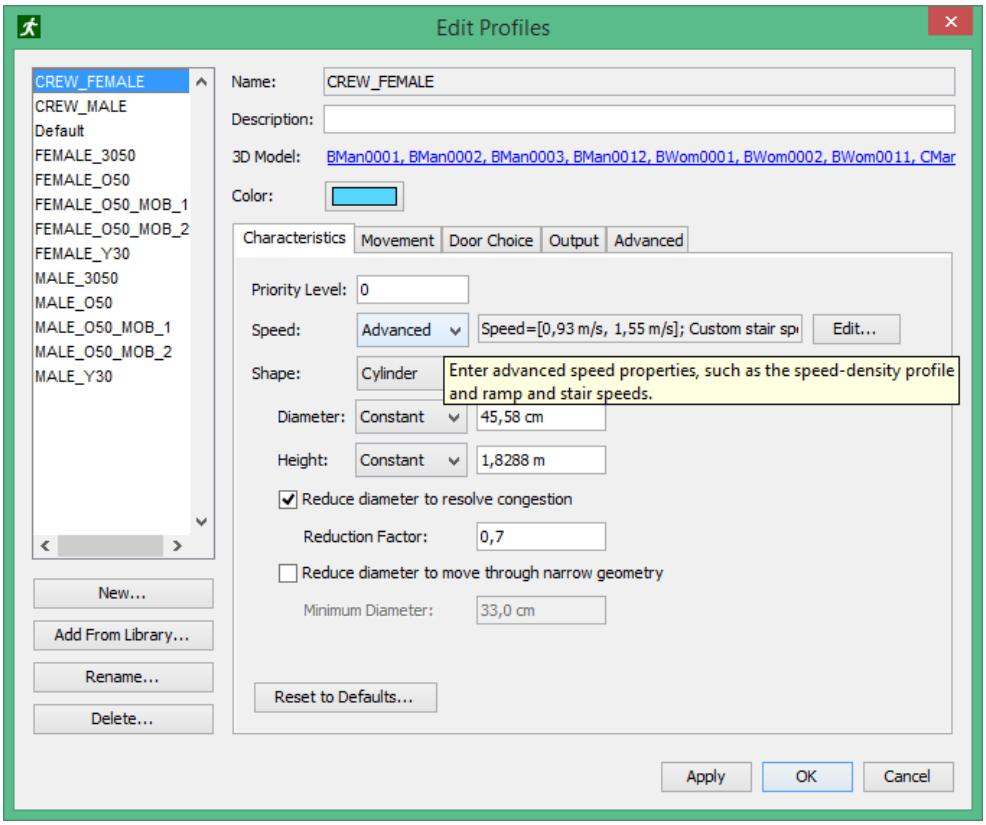
  όπου οι παραγόμενες τιμές περιορίζονται από δύο προκαθορισμένες τιμές (Εικόνα 29) και x τυχαία τιμή από τυπική κανονική κατανομή.
- **Discrete values,** δηλαδή διακριτές τιμές που προσφέρεται κυρίως στον προσδιορισμό του χρόνου απόκρισης.



***Εικόνα 29** : Παράθυρο εισόδου τιμών για τον καθορισμό του χρόνου απόκρισης με λογαριθμική κανονική κατανομή*

Profile

Για τον χειρισμό των κατανομών των παραμέτρων όπως η ταχύτητα κίνησης, η σωματοδομή των επιβατών αλλά και η επιλογή εξόδου διαφυγής, που εισάγονται από τον χρήστη, το Pathfinder χρησιμοποιεί ένα σύστημα Profile όπως φαίνεται παρακάτω.

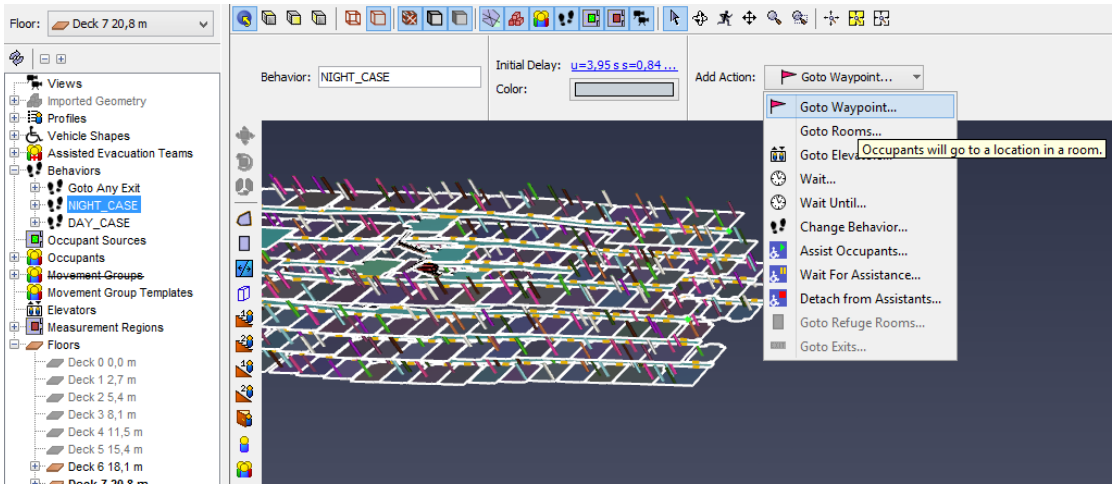


Εικόνα 30 *: Παράθυρο εισόδου τιμών για τον καθορισμό του profile των επιβατών*

Behavior

Για τον καθορισμό της συμπεριφοράς των ατόμων καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης χρησιμοποιείται το σύστημα Behavior. Μέσα από αυτό υπαγορεύονται στους επιβάτες όλες οι ενέργειές που πρέπει να ολοκληρώσουν προτού εξέλθουν από τις εξόδους.

Πρόσθετες τροποποιήσεις μπορούν να γίνουν στη συμπεριφορά ανάλογα με τις ανάγκες του προβλήματος όπως η μετάβαση σε ένα συγκεκριμένο δωμάτιο, σημείο ή ανελκυστήρα, ή η αναμονή σε ένα χώρο για κάποιο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (βλ. Εικόνα 31). Με βάση το τελευταίο ορίστηκε και ο χρόνος απόκρισης για τα σενάρια μέρας και νύχτας.



Εικόνα 31 *: Επεξεργασία behavior επιβατών*

Ομάδες βοήθειας (assisted evacuation teams)

Ένα σημαντικό στοιχείο της εκκένωσης αποτελεί η βοήθεια ατόμων με κινητικές δυσκολίες. Επιβάτες που αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κίνηση πιθανόν να μην μπορούν να κατευθυνθούν με ευκολία προς τις εξόδους κινδύνου ή ακόμη να χρειαστούν τη βοήθεια κάποιου φροντιστή κατά τη διάρκεια της εκκένωσης. Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης τέτοιων σεναρίων με χρήση ειδικών ομάδων (assist teams), οι οποίες θα επικεντρωθούν στη βοήθεια μετακίνησης τέτοιων ατόμων.

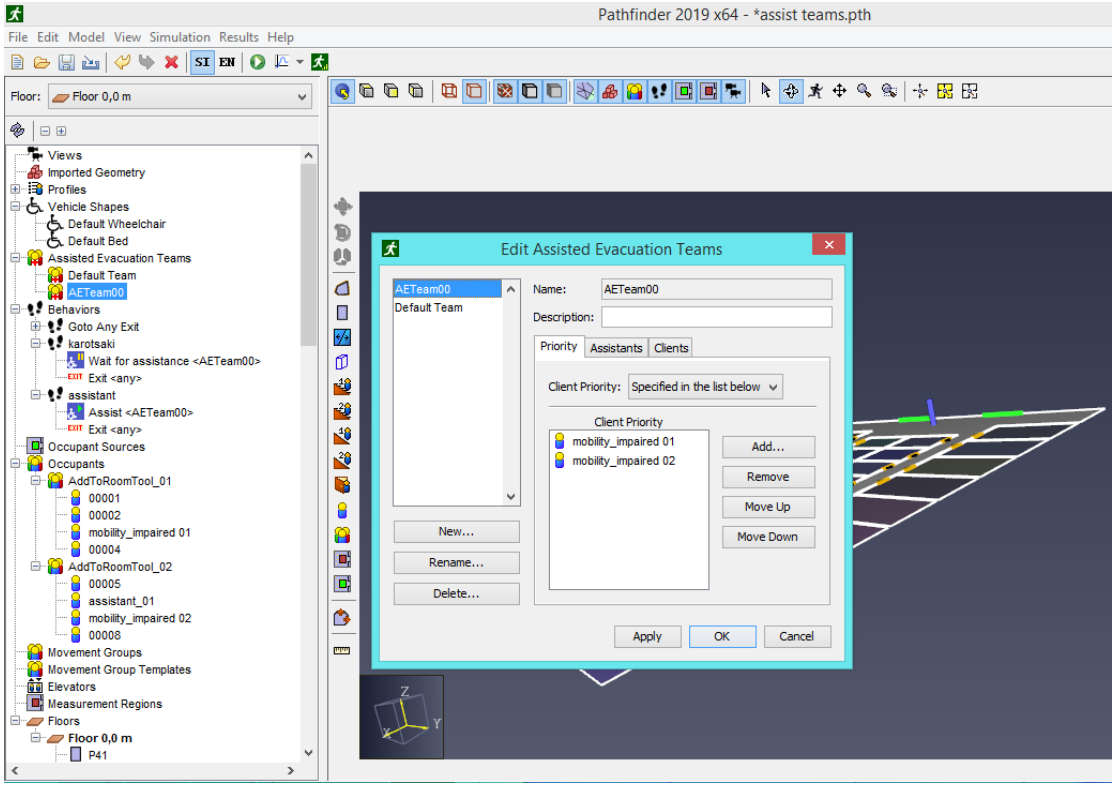
Για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης το πρόγραμμα χρειάζεται τον καθορισμό εκ των προτέρων δύο βασικών παραγόντων :

- των Assistants : επιβάτες που θα βοηθήσουν την ομάδα
- και των Clients : επιβάτες που θα κινηθούν με τη βοήθεια των παραπάνω

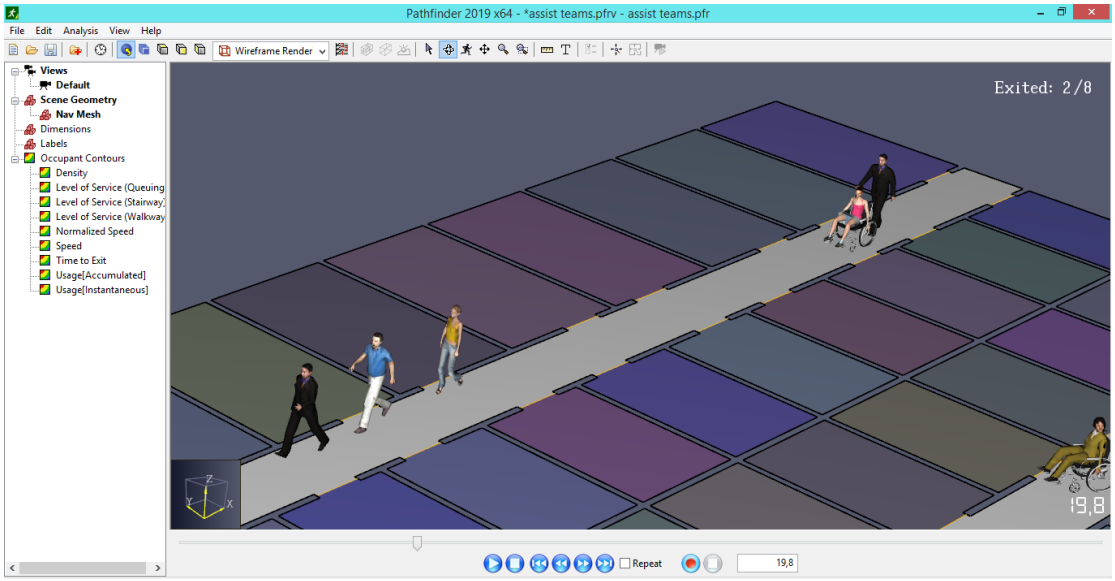
Για τον καθορισμό των **Assistants**, δημιουργούμε ένα νέο behavior με ρύθμιση **Assist Occupants** και το συνδέουμε με το profile των ατόμων που έχουμε επιλέξει να είναι οι assistants. Το σημαντικό σε αυτό είναι ότι τα άτομα αυτά δεν θα κινηθούν προς την έξοδο κινδύνου αλλά με αντίθετη κατεύθυνση, προς τις καμπίνες των επιβατών που χρίζουν βοήθειας.

Για τον καθορισμό των **Clients**, δημιουργούμε ένα νέο behavior με ρύθμιση **Wait for Assistance** και το συνδέουμε με το profil των ατόμων που έχουμε επιλέξει να είναι οι Clients. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα άτομα αυτά να περιμένουν στην καμπίνα ή σε όποιο άλλο χώρο βρίσκονται μέχρι να καταφτάσει ο βοηθός που θα τους οδηγήσει προς την έξοδο.

Τέλος δημιουργούμε μια νέα προεπιλογή στο **Assisted Evacuation Teams**, κατατάσσουμε τα παραπάνω άτομα ανάλογα με την κατηγορία που βρίσκονται και ορίζουμε την προτεραιότητα (**Client Priority**) με βάση την οποία θα βοηθηθούν οι Clients όπως φαίνεται στην Εικόνα 32.



Εικόνα 32 *: Ρύθμιση assist evacuation teams*

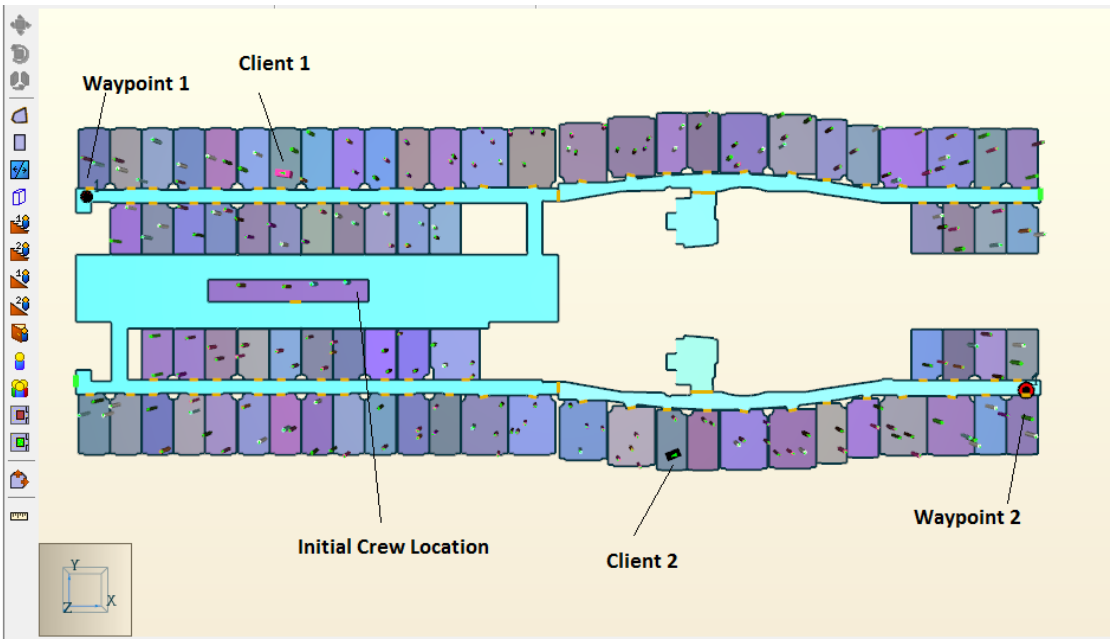


Εικόνα 33 *: Στιγμιότυπο προσομοίωσης με ρύθμιση assist evacuation teams σε απλουστευμένο μοντέλο καμπινών*

Στη συνέχεια, εργαστήκαμε στο μοντέλο με τα 4 καταστρώματα με καμπίνες, με τη χρήση assist teams. Τροποποιήσαμε το μοντέλο-σενάριο No.7, εισάγοντας στο μοντέλο 4 άτομα με την ιδιότητα και τα χαρακτηριστικά του πληρώματος (σύσταση και ταχύτητες με βάση IMO) και τοποθετήθηκαν σε ένα αρχικό δωμάτιο του καταστρώματος 9 (βλ. Εικόνα 34). Στα δύο άτομα του πληρώματος ανατέθηκε η

βοήθεια των Client 1 και 2 αντίστοιχα και στα άλλα δύο η κίνηση στα σημεία Waypoint 1 και Waypoint 2 που αποτελούν τα πιο απομακρυσμένα σημεία του καταστρώματος. Με την άφιξη του πληρώματος στα σημεία 1 και 2, θα αποκτήσουν τη συμπεριφορά των επιβατών και θα κινηθούν προς τις διαθέσιμες εξόδους.

Ακόμη, όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του μοντέλου (αρχικοί χρόνοι απόκρισης, ταχύτητες κίνησης επιβατών κ.τ.λ.) παρέμειναν ίδια με το σενάριο No.7 προκειμένου η διαφοροποίηση στο συνολικό χρόνο εξόδου να οφείλεται αποκλειστικά στις παραπάνω τροποποιήσεις.



Εικόνα 34 *: Χαρακτηριστικά μοντέλου με assist teams (deck 9)*

Ο συνολικός χρόνος εκκένωσης ήταν 1256,5 sec ,ενώ στο αρχικό σενάριο No.7 ήταν 1253,9 sec δηλαδή με τη χρήση assist teams ο χρόνος αυξήθηκε ελάχιστα.

Το γεγονός ότι δεν υπήρξε μεγάλη αύξηση του χρόνου, κάτι το οποίο θα περιμέναμε να συμβεί, οφείλεται σε δύο λόγους :

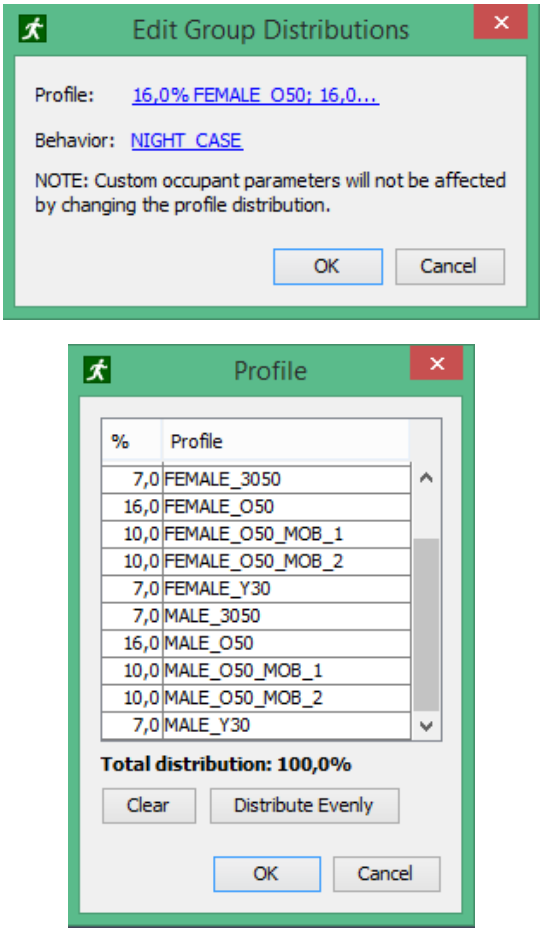
1. Τα δύο άτομα του πληρώματος στα οποία έχει ανατεθεί η συμπεριφορά να κινηθούν κατά μήκος των διαδρόμων μέχρι τα σημεία Waypoint 1 και 2, ουσιαστικά κινούνται αντίθετα από την κύρια ροή των επιβατών. Όμως λόγω του μικρού αριθμού του πληρώματος (ένα άτομο σε κάθε διάδρομο), η καθυστέρηση από τους επιβάτες με κατεύθυνση αντίθετη από αυτή του πληρώματος, είναι ελάχιστη. Σίγουρα, αν ο αριθμός του πληρώματος ήταν μεγαλύτερος θα υπήρχε μεγαλύτερη καθυστέρηση αυτών μέχρι να φτάσουν στα επιλεγμένα σημεία που ορίσαμε.
2. Για τις ομάδες βοήθειας, δηλαδή τα υπόλοιπα δύο άτομα του πληρώματος που θα κινηθούν προς τους client 1 και 2, ο χρόνος εξόδου του κάθε ζεύγους assistant-client καθορίζεται από τον αρχικό χρόνο απόκρισης του assistant και

στον χρόνο που απαιτείται προκειμένου να φτάσουν στους client. Ο χρόνος απόκρισης για το assistant team έχει οριστεί με βάση το σενάριο νύχτας, και με την άφιξη στις καμπίνες των client το κάθε ζεύγος συμπεριφέρεται σαν ομάδα, δηλαδή όπως οι υπόλοιποι επιβάτες σε κάθε καμπίνα. Επομένως, ο χρόνος εξόδου του κάθε ζεύγους εξαρτάται από το χρόνο που χρειάζεται ο κάθε assistant να φτάσει στην καμπίνα του client.

***Εικόνα 35**: Ζεύγος assistant 1-client 1, κατά την κίνησή τους προς την έξοδο*

Ανακατανομή profile και behavior ατόμων

Είναι προφανές ότι για να μπορέσουμε να έχουμε πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα και κυρίως να ελέγξουμε τη σωστή εισαγωγή και χρήση των διάφορων στοχαστικών παραμέτρων, χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της προσομοίωσης εκκένωσης σε μεγάλο αριθμό επαναλήψεων. Για την επίτευξη αυτού, γίνεται τυχαία ανακατανομή των ατόμων δηλαδή αλλάζει το profile και το behavior των ατόμων, διατηρώντας σταθερά τον συνολικό αριθμό αλλά και το ποσοστό των παρακάτω επιμέρους κατηγοριών.



Εικόνα 36 *: Επεξεργασία-ανακατανομή profile και behavior*

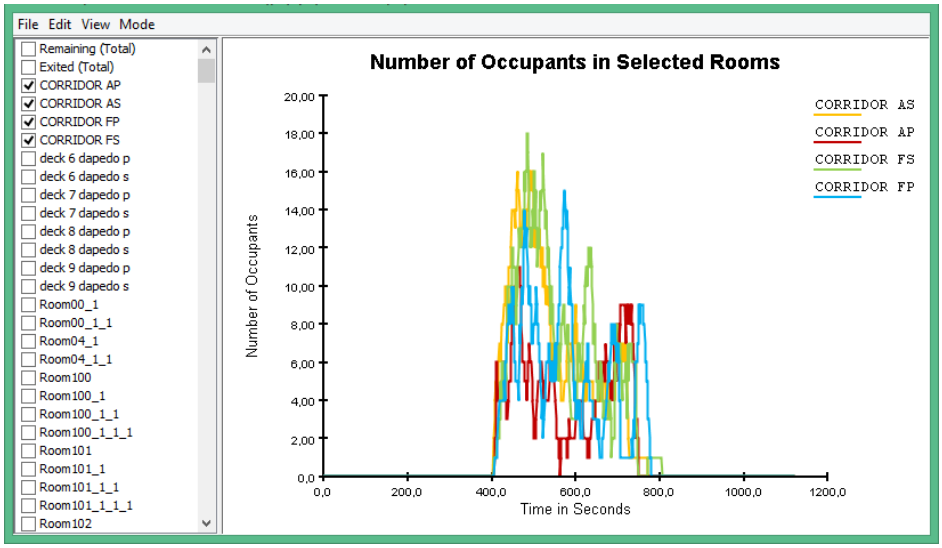
Output

Με την πραγματοποίηση της προσομοίωσης στο πρόγραμμα, δημιουργούνται τέσσερις μορφές αποτελεσμάτων, η συνοπτική αναφορά (summary report), τα διάφορα υπολογιστικά φύλλα, τα διαγράμματα και τα οπτικοποιημένα 3D αποτελέσματα. Το summary report αποτελεί μια σύνοψη της διαδικασίας σε μορφή note και περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία καθώς και στοιχεία για τη χρήση από τους επιβάτες στα διάφορα δωμάτια, πόρτες και σκάλες του μοντέλου. Αναλυτικά τα αποτελέσματα για τους επιβάτες και το ιστορικό χρήσης των χώρων του μοντέλου παρουσιάζεται στα υπολογιστικά φύλλα excel που εξάγει το πρόγραμμα.

```
***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***SUMMARY***

Simulation:         assist teams
Version:            2019.2.1002
Mode:               Steering
Total Occupants:    8


Completion Times for All Occupants (s):
  Min:                3,2       "00008"
  Max:               77,2       "assistant_01"
  Average:           35,6
  StdDev:            26,1

Completion Times by Behavior (s):
       Behavior Count    Min                  Min_Name   Max                  Max_Name   Avg    StdDev
  Goto Any Exit     5    3,2                    "00008"  31,0                  "00002"  19,3     12,3
      assistant     1   77,2             "assistant_01"  77,2            "assistant_01"  77,2      0,0
      karotsaki     2   35,8    "mobility_impaired 01"  75,8    "mobility_impaired 02"  55,8     20,0
*all behaviors*     8    3,2                    "00008"  77,2            "assistant_01"  35,6     26,1

Completion Times by Profile (s):
       Profile  Count    Min                  Min_Name   Max                  Max_Name   Avg    StdDev
       Default      7    3,2                    "00008"  77,2            "assistant_01"  35,6     27,9
          MU30      1   35,8    "mobility_impaired 01"  35,8    "mobility_impaired 01"  35,8      0,0
*all profiles*      8    3,2                    "00008"  77,2            "assistant_01"  35,6     26,1

Travel Distances for All Occupants (m):
  Min:                3,1       "00008"
  Max:               94,7       "assistant_01"
  Average:           32,2
  StdDev:            26,5

Movement Distance by Behavior (m):
       Behavior Count    Min                  Min_Name   Max                  Max_Name   Avg    StdDev
```

Εικόνα 37 *: Παράδειγμα summary report*

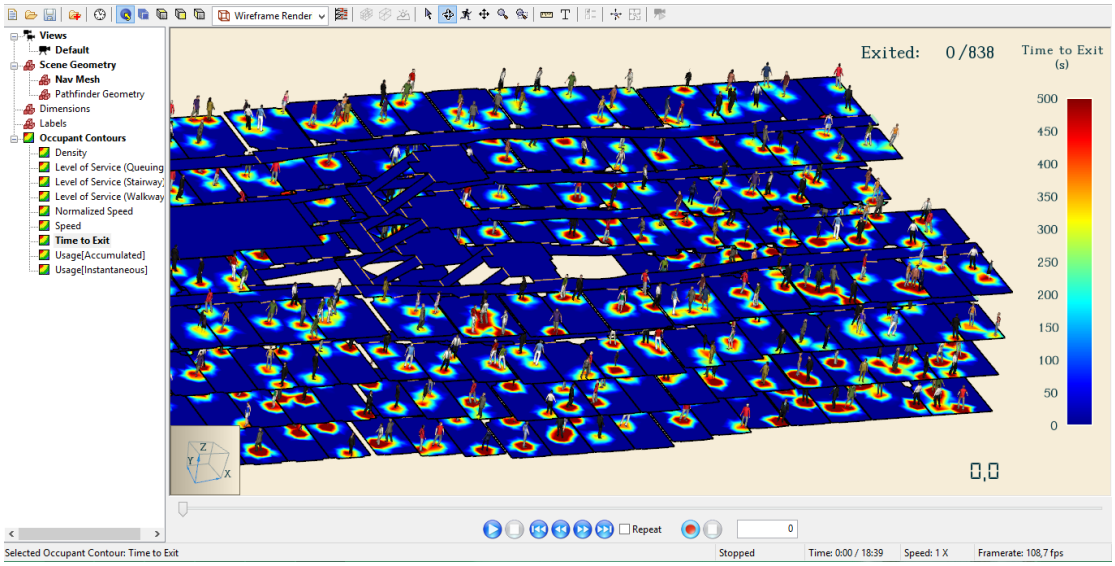
Ακόμη το πρόγραμμα είναι ικανό να προβάλλει σε διαγράμματα το ρυθμό ροής και ειδικό ρυθμό ροής για τις πόρτες αλλά και το ιστορικό χρήσης των δωματίων.



Γράφημα 16 *: Παράδειγμα διαγράμματος που έχει δημιουργηθεί από το pathfinder*

Τέλος, η οπτικοποίηση των 3D αποτελεσμάτων γίνεται μέσα από το Pathfinder Results Viewer. Η διαδικασία παρουσιάζεται σαν βίντεο, ενώ υπάρχει η δυνατότητα από το χρήστη να ρυθμίσει πολλά χαρακτηριστικά όπως ο τρόπος παρουσίασης του μοντέλου αλλά και των επιβατών. Το σημαντικότερο όμως εργαλείο του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε ιδιαίτερα στην παρούσα έκθεση είναι τα countours, δηλαδή

οπτικοποιημένα δυναμικά δεδομένα τα οποία εμφανίζονται στις επιφάνειες του μοντέλου για τον καλύτερο έλεγχο της απόδοσης της προσομοίωσης.



Εικόνα 38 *: Παράδειγμα countour plot απαιτούμενου χρόνου για έξοδο*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ : Σενάρια με διαφοροποίηση της αρχικής σύνθεσης του πληθυσμού

Στο Παράρτημα ΙΙ θα πραγματοποιηθεί μία ανάλυση σεναρίων με διαφορετική κατανομή πληθυσμού από αυτή που προτείνει ο IMO στις οδηγίες του.

Η κατανομή του πληθυσμού αποτελεί έναν από τους πιο αστάθμητους παράγοντες που υπεισέρχονται στη διαδικασία της προσομοίωσης της εκκένωσης. Πρακτικά οι επιμέρους κατηγορίες του πληθυσμού που χωρίζονται όπως είδαμε με βάση το φύλο, την ηλικία, τις κινητικές ικανότητες και την ιδιότητα των ατόμων εκφράζονται στο πρόγραμμα μέσω των διαφορετικών ταχυτήτων που προσδίδονται σε αυτές. Με την ποσοστιαία αύξηση ή μείωση μίας κατηγορίας διαφοροποιείται ουσιαστικά η ταχύτητα των ατόμων που μετέχουν στη διαδικασία και συνεπώς ο συνολικός χρόνος εκκένωσης στην προσομοίωση.

Επιλογή σεναρίων

Αρχικά, για τη μελέτη του συγκεκριμένου προβλήματος εκτελέστηκαν πολλά από τα σενάρια που παρουσιάστηκαν στο κύριο μέρος της εργασίας με την ίδια κατανομή, διαφορετική από την προτεινόμενη του IMO, για να διαπιστωθεί ποιό από αυτά είναι το πιο αντιπροσωπευτικό για την συγκεκριμένη ανάλυση, παρουσιάζει δηλαδή τη μεγαλύτερη ποσοστιαία μεταβολή στο συνολικό χρόνο εκκένωσης συγκριτικά με το ίδιο σενάριο με κατανομή IMO.

Ακόμη, λόγω της ύπαρξης διαφορετικού χρόνου απόκρισης των επιβατών στα σενάρια ημέρας και νύχτας η ανάλυση θα πραγματοποιηθεί και στις δύο μεγάλες κατηγορίες που μελετήθηκαν. Έχουμε λοιπόν τα εξής σενάρια ανάλυσης :

1. Σενάριο No.6,
2. Σενάριο No.12.

Υποθέσεις σεναρίων

Για το σενάριο No.6, (cabin spaces, decks 6,7,8 & 9) δε λειτουργούν οι έξοδοι για τα καταστρώματα 6 και 7, ενώ για τα καταστρώματα 8 και 9 λειτουργούν οι μισές έξοδοι (Exit 8 AP, Exit 8 FS, Exit 9 AS, Exit 9 FP) και ο χρόνος απόκρισης ορίζεται με βάση το σενάριο νύχτας.

Για το σενάριο No.12, (public spaces, decks 4 & 5) λειτουργούν μόνο οι έξοδοι στο κατάστρωμα 5 και ο χρόνος απόκρισης ορίζεται με βάση το σενάριο ημέρας.

Αξίζει να αναφερθεί ότι και στις δύο περιπτώσεις το μοναδικό χαρακτηριστικό που τροποποιήθηκε ήταν η κατανομή του πληθυσμού, ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία των μοντέλων των σεναρίων διατηρήθηκαν σταθερά, έτσι ώστε οι αλλαγές στον χρόνο εκκένωσης να είναι αποτέλεσμα αποκλειστικά της τροποποίησης της κατανομής του συνολικού πληθυσμού.

Κατανομές πληθυσμού

Δύο περιπτώσεις θα μελετηθούν, μία με αύξηση του ποσοστού των κατηγοριών με μεγαλύτερες ταχύτητες κίνησης (μικρές ηλικιακά κατηγορίες) και μία με μικρές ταχύτητες (αύξηση του ποσοστού των κατηγοριών μεγάλης ηλικίας και προβλημάτων κίνησης).

Οι συγκεκριμένες περιπτώσεις είναι πλασματικές και έχουν οριστεί από εμάς για την πραγματοποίηση της ανάλυσης. Τα ποσοστιαία πληθυσμιακά χαρακτηριστικά για τις δύο περιπτώσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 16.

Ακόμη, για το σενάριο No.12 που έχουμε τη συμμετοχή και του πληρώματος στη διαδικασία, η σύνθεση του διατηρήθηκε ως έχει.

Πίνακας 16 *: Σύνθεση πληθυσμού για τις δύο περιπτώσεις μελέτης, case 1 & case 2*

	Percentage of passengers (%)		
Population groups – passengers	**IMO**	**Case 1**	**Case 2**
Females younger than 30 years	7	20	5
Females 30-50 years old	7	15	5
Females older than 50 years	16	10	10
Females older than 50, mobility impaired (1)	10	5	15
Females older than 50, mobility impaired (2)	10	-	15
Males younger than 30 years	7	20	5
Males 30-50 years old	7	15	5
Males older than 50 years	16	10	10
Males older than 50, mobility impaired (1)	10	5	15
Males older than 50, mobility impaired (2)	10	-	15

Αποτελέσματα

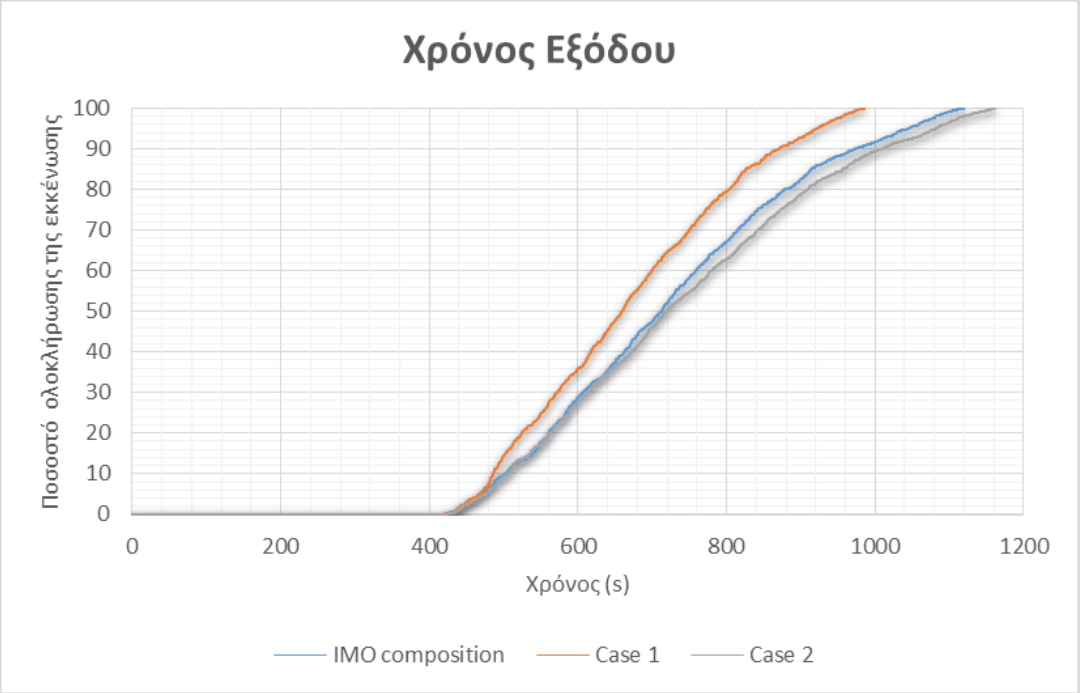
Για τα δύο σενάρια No.6 & No.12 παρουσιάζονται στο ίδιο γράφημα οι χρόνοι εκκένωσης για αρχική σύνθεση πληθυσμού με βάση τον IMO καθώς και για τις cases 1&2.

Πίνακας 17 *: Χρόνοι εξόδου για τα σενάρια No.6 & No.12 και ποσοστιαίες μεταβολές συγκριτικά με τα αρχικά σενάρια κατανομής IMO*

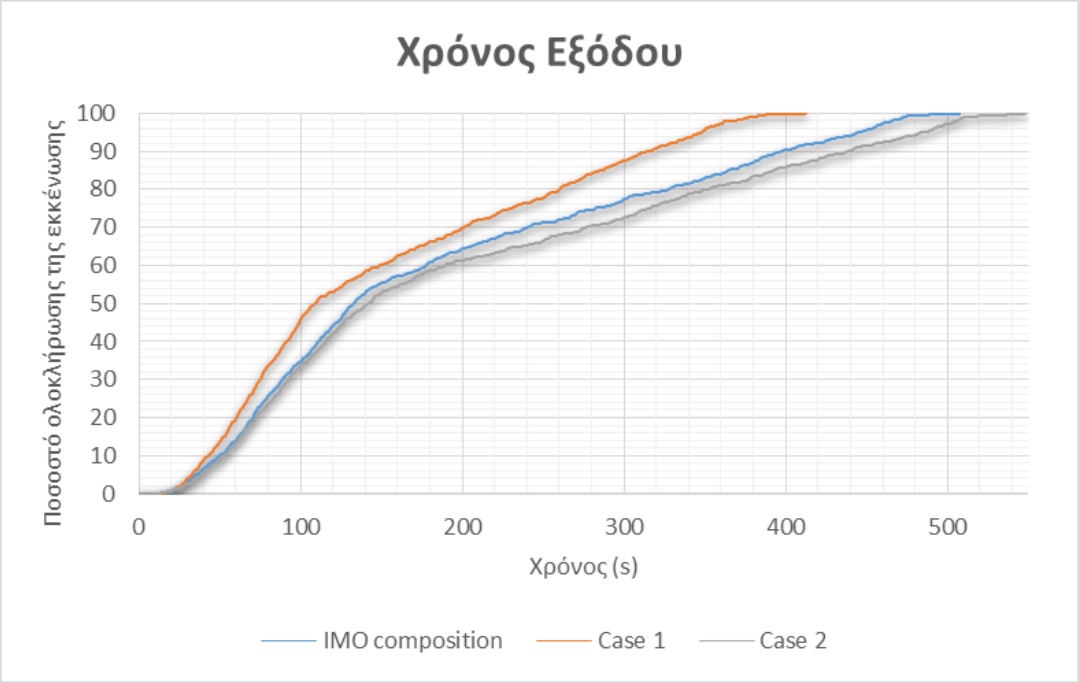
	NO.6	**Μεταβολή *%**	**NO.12**	**Μεταβολή *%**
IMO	1119,3		507,2	
CASE 1	985,3	-12 %	412,3	-18,7 %
CASE 2	1160,8	3,7 %	547,8	8 %

Πίνακας 18 *: Μέσες ταχύτητες για τα σενάρια No.6 & No.12 και ποσοστιαίες μεταβολές συγκριτικά με τα αρχικά σενάρια κατανομής IMO*

	NO.6	**Μεταβολή *%**	**NO.12**	**Μεταβολή *%**
IMO	0,91		0,95	
CASE 1	1,14	25 %	1,16	22,2 %
CASE 2	0,83	-8,7 %	0,87	-7,7 %



Γράφημα 17 *: Αθροιστική κατανομή (% του συνόλου των επιβατών) του χρόνου εξόδου των επιβατών για το σενάριο No.6 και τις δύο περιπτώσεις διαφορετικής σύνθεσης πληθυσμού, σενάρια νύχτας*



Γράφημα 18 *: Αθροιστική κατανομή (% του συνόλου των επιβατών) του χρόνου εξόδου των επιβατών για το σενάριο No.12 και τις δύο περιπτώσεις διαφορετικής σύνθεσης πληθυσμού, σενάρια ημέρας*

Παρατηρήσεις- σχολιασμός

Γίνεται εμφανές ιδιαίτερα από τον Πίνακα 17 ότι υπάρχουν διαφορές στον χρόνο εξόδου για τις διάφορες περιπτώσεις ανάλυσης και για τα δύο σενάρια μελέτης. Οι μεγαλύτερες μεταβολές στο χρόνο και στα δύο σενάρια συγκριτικά με τους αρχικούς χρόνους είναι για την κατανομή του πληθυσμού της case 1.

Ακόμη, διαφορές παρατηρούνται και μεταξύ των σεναρίων No.6 & No.12. Για παράδειγμα για την case 1 έχουμε ποσοστιαία μείωση 12% και 18,7% για τα σενάρια No.6 και No.12 αντίστοιχα. Οι διαφορές αυτές δεν οφείλονται τόσο στη διαφορετική γεωμετρία του μοντέλου των δύο σεναρίων αλλά στον διαφορετικό χρόνο απόκρισης των επιβατών. Πιο συγκεκριμένα για το σενάριο No.6 τα άτομα θα ξεκινήσουν μετά από τα 400 sec (σενάριο νύχτας). Αν τώρα αφαιρέσουμε αυτόν τον 'νεκρό' χρόνο από τους συνολικούς χρόνους για τις περιπτώσεις του σεναρίου και υπολογίσουμε την ποσοστιαία μεταβολή προκύπτει 18,6% μείωση για την case 1 και 5,8 % αύξηση για την case 2 του No.6 σεναρίου, πλησιάζοντας κατά πολύ τις μεταβολές των περιπτώσεων για το No.12 σενάριο.

Τέλος το πρόβλημα δεν θα μπορούσε να χαρακτηριστεί γραμμικό ανάμεσα στις ταχύτητες και το συνολικό χρόνο εξόδου. Όπως φαίνεται από τους Πίνακες 17 και 18 οι μεταβολές των μέσων ταχυτήτων διαφέρουν από αυτές των συνολικών χρόνων σε κάθε περίπτωση που μελετήθηκε.

Εικόνα 39 *: Σενάριο No.12 case 1,με την επιλογή της ρύθμισης Follow occupant στο Pathfinder Results Viewer*