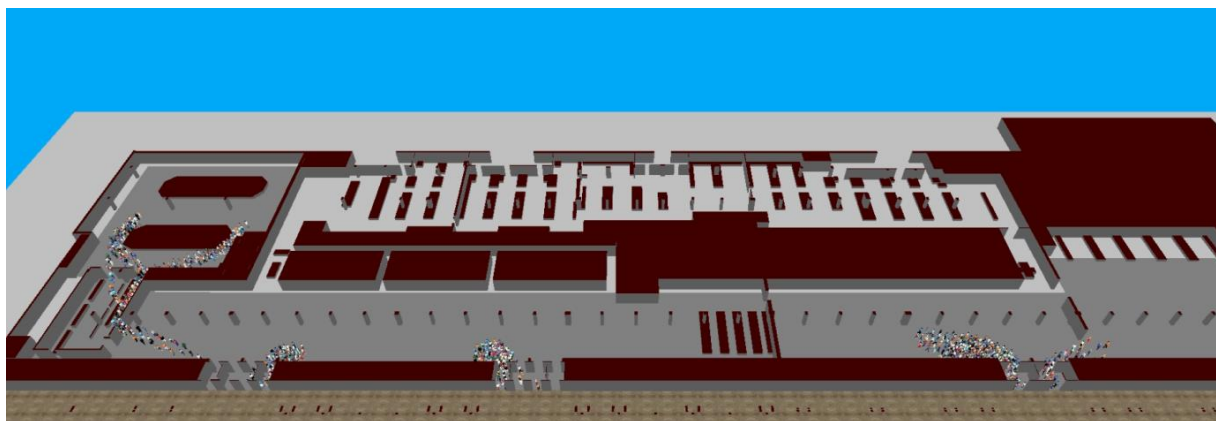




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΠΕΖΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ
ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΤΟΥ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ
ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ 'ΝΙΚΟΣ ΚΑΖΑΝΤΖΑΚΗΣ' ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ PTV VISWALK



ΦΑΤΣΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΜΑΤΘΑΙΟΣ Γ. ΚΑΡΛΑΥΤΗΣ

Μάιος 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές αυτής της διπλωματικής εργασίας κύριο Ματθαίο Γ. Καρλαύτη, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών και κυρία Ελένη Ι. Βλαχογιάννη, Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας. Αποτέλεσαν σπουδαίο στήριγμα και συνεχή έμπνευση όχι μόνο για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας αλλά και για την μελλοντική επαγγελματική μου σταδιοδρομία.

Δεν θα μπορούσα να μην απευθύνω τις ευχαριστίες μου προς τους γονείς μου, Καλλιόπη Δικιδίκη και Στέργιο Φάτση και την αδερφή μου Μαρία Φάτση για την υποστήριξή τους, την ηθική συμπαράσταση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν καθ' όλη διάρκεια των σπουδών μου.

ΣΥΝΟΨΗ

Η προσομοίωση της κίνησης των πεζών αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για το σχεδιασμό και τον έλεγχο χώρων που καλούνται να εξυπηρετήσουν μεγάλο αριθμό ατόμων όπου και απαιτείται να τηρούνται οι κανόνες ασφαλείας. Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι να προσομοιωθεί η κίνηση πεζών κατά τη διάρκεια εκκένωσης του κτιρίου επιβατών του αεροδρομίου Ηρακλείου ‘Νίκος Καζαντζάκης’ με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης σε μικροσκοπικό επίπεδο PTV Viswalk. Εξετάζεται η διαδικασία εκκένωσης τόσο με την παρούσα κτιριακή διάταξη όσο και μετά από ενδεχόμενες αλλαγές και προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά της ροής σε κάθε περίπτωση. Βάση των εξαγομένων αποτελεσμάτων προκύπτουν προτάσεις για την βελτίωση των συνθηκών εκκένωσης του κτιρίου.

ABSTRACT

The simulation of pedestrian traffic is a useful tool for planning and evaluating areas that are called to serve a large number of people and where it is necessary to comply with the safety rules . The aim of this thesis is to simulate the pedestrian traffic during evacuation of passengers at the airport of Heraklion “Nikos Kazantzakis” using the simulation software on a microscopic level PTV Viswalk. The evacuation process is examined onto the existing building layout and also after specific changes , and the characteristics of the traffic flow are determined. Based on the exported results , recommendations are generated for improving the conditions during evacuation.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προσομοίωση της κίνησης πεζών αποτελεί αντικείμενο μελέτης τα τελευταία χρόνια, τόσο σε κλειστούς χώρους όσο και στο πλαίσιο των οδικών δικτύων. Με την ανάπτυξη και συνεχή βελτίωση μαθηματικών προτύπων που περιγράφουν την κίνηση πεζών, υπάρχει η δυνατότητα προσομοίωσής της υπό ποικίλλες συνθήκες, με τα εξαγόμενα αποτελέσματα να αποτελούν σημαντικό βοήθημα για τον σχεδιασμό και έλεγχο υποδομών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε χρήση του λογισμικού PTV Viswalk που βασίζεται στο μαθηματικό πρότυπο Social Force Model. Στο περιβάλλον του λογισμικού σχεδιάστηκε το κτίριο επιβατών του αεροδρομίου Ηρακλείου 'Νίκος Καζαντζάκης' και με βάση την κίνηση και τον τρόπο λειτουργίας του αεροδρομίου καθορίστηκε η κατάλληλη ροή πεζών.

Η κίνηση πεζών προσομοιώθηκε υπό κανονικές συνθήκες, με βάση την πραγματική διάταξη εξόδων του κτιρίου και έπειτα από συγκεκριμένες αλλαγές στη διάταξη και στις διαστάσεις των θυρών, για άλλες δύο περιπτώσεις. Έχοντας εξετάσει συνολικά τρία σενάρια εκκένωσης, συλλέχθηκαν οι μετρήσεις και ακολούθησε η κατάλληλη επεξεργασία τους. Με βάση τα αποτελέσματα, υπολογίστηκαν τα κατάλληλα μεγέθη ώστε να γίνει πλήρης περιγραφή της κίνησης πεζών και στις τρεις περιπτώσεις. Χαραχτήκαν οι καμπύλες εκκένωσης, υπολογίστηκε η μοναδιαία ροή και οι στάθμες εξυπηρέτησης για κάθε έξοδο και για κάθε σενάριο. Επίσης έγινε σύγκριση συνολικά όλων των σεναρίων.

Με βάση τα εξαγόμενα αποτελέσματα, έγινε περιγραφή της διαδικασίας εκκένωσης υπό τις παρούσες συνθήκες αλλά και ο τρόπος με τον οποίο θα τροποποιείτο η διαδικασία αυτή σε περίπτωση αλλαγής της διάταξης των θυρών. Προέκυψε πως εφαρμόζοντας συγκεκριμένες αλλαγές βελτιώνονται οι συνθήκες εκκένωσης και με βάση τα αποτελέσματα αυτά έγιναν προτάσεις για βελτίωση.

Η χρησιμότητα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι πως δίνεται η δυνατότητα να αναδειχθεί η σημαντική συμβολή των προγραμμάτων προσομοίωσης κίνησης πεζών στο σχεδιασμό και τον έλεγχο ενός κτιρίου. Μέσω κατάλληλων μετρήσεων και επεξεργασίας, εξετάζεται η διάταξη του κτιρίου σε περίπτωση εκκένωσης μέσω της

προσομοίωσης της κίνησης των πεζών που βρίσκονται σε αυτό αλλά και εξετάζεται κατά πόσο βελτιώνεται η διαδικασία έπειτα από τις κατάλληλες αλλαγές. Τέλος δίνεται η δυνατότητα να επισημανθούν σημεία του κτιρίου στα οποία υπάρχει συνωστισμός, δημιουργία ουρών και κίνδυνος ατυχημάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΣΥΝΟΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
1.1: Γενική Ανασκόπηση	15
1.2: Στόχοι.....	16
1.3: Μεθοδολογία.....	16
1.4: Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	18
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	18
2.1: Προσομοίωση κίνησης πεζών σε κλειστούς χώρους	18
2.1.1: Προσομοίωση κίνησης πεζών σε σιδηροδρομικούς σταθμούς	18
2.1.2: Προσομοίωση κίνησης πεζών σε κτίρια επιβατών αεροδρομίων	24
2.1.3: Προσομοίωση κίνησης πεζών σε περιορισμένο χώρο	28
2.2 : Προσομοίωση κίνησης πεζών στο οδικό δίκτυο.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	32
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	32
3.1: Εισαγωγή στην προσομοίωση πεζών	32
3.2 : Το πρότυπο ‘Social Force Model’	33
3.2.1 : Η μαθηματική διατύπωση του ‘Social Force Model’	33
3.2.2: Εφαρμογές του ‘Social Force Model’	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	37
ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	37
4.1: Κρατικός Αερολιμένας Ηρακλείου ‘Νίκος Καζαντζάκης’	37
4.2: Συλλογή στοιχείων	38
4.3: Επεξεργασία Στοιχείων. Λογισμικό PTV Viswalk	39
4.3.1: Σχεδιασμός κτιρίου επιβατών	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	44
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	44
5.1: Μεθοδολογία.....	44

5.1.1 : Δεδομένα εισόδου στο λογισμικό	44
5.1.2: Περιγραφή σεναρίων	48
5.1.3: Αριθμός επαναλήψεων	54
5.2: Αποτελέσματα	55
5.2.1: Σενάριο 1 ‘Βασικό’	55
5.2.2: Σενάριο 2	70
5.2.3: Σενάριο 3	83
5.2.4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα τριών σεναρίων	96
5.3: Επιπρόσθετοι υπολογισμοί.....	104
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο	107
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	107
6.1: Εισαγωγή.....	107
6.2: Μεθοδολογία και Βασικά Συμπεράσματα	107
6.2: Προτάσεις - Περαιτέρω Έρευνα	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	113

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<u>Πίνακας 4.1:</u> Αρίθμηση περιοχών κτιρίου και περιγραφή.....	42
<u>Πίνακας 5.1 :</u> Παράμετροι κίνησης.....	45
<u>Πίνακας 5.2:</u> Κατανομή αφίξεων, Αφετηρία-Προορισμός.....	47
<u>Πίνακας 5.3:</u> Δεδομένα εισόδου, Σενάριο 1.....	48
<u>Πίνακας 5.4:</u> Διάταξη θυρών, Σενάριο 1.....	49
<u>Πίνακας 5.5:</u> Δεδομένα εισόδου, Σενάριο 2.....	50
<u>Πίνακας 5.6:</u> Διάταξη θυρών, Σενάριο 2.....	51
<u>Πίνακας 5.7:</u> Δεδομένα εισόδου, Σενάριο 3.....	52
<u>Πίνακας 5.8:</u> Διάταξη θυρών, Σενάριο 3.....	53
<u>Πίνακας 5.9:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών.....	56
<u>Πίνακας 5.10:</u> Αποτελέσματα μετρήσεων, Θύρες 1Α,1Β,1Γ,1Δ , Σενάριο 1.....	57
<u>Πίνακας 5.11:</u> Αποτελέσματα μετρήσεων, Θύρες 2Α,2Β,2Γ,2Δ , Σενάριο 1.....	61
<u>Πίνακας 5.12:</u> Αποτελέσματα μετρήσεων, Θύρες 3Α,3Β, Σενάριο 1.....	65
<u>Πίνακας 5.13:</u> Τελικά αποτελέσματα, Σενάριο 1.....	68
<u>Πίνακας 5.14:</u> Αποτελέσματα μετρήσεων, Θύρες 1Α,1Β, Σενάριο 2.....	71
<u>Πίνακας 5.15:</u> Αποτελέσματα μετρήσεων , Θύρες 2Α,2Β , Σενάριο 2.....	75
<u>Πίνακας 5.16:</u> Αποτελέσματα μετρήσεων , Θύρες 3Α,3Β , Σενάριο 2.....	78
<u>Πίνακας 5.17:</u> Τελικά αποτελέσματα, Σενάριο 2.....	81
<u>Πίνακας 5.18:</u> Αποτελέσματα μετρήσεων , Θύρες 1Α,1Β , Σενάριο 3.....	84
<u>Πίνακας 5.19:</u> Αποτελέσματα μετρήσεων , Θύρες 2Α,2Β , Σενάριο 3.....	88
<u>Πίνακας 5.20:</u> Αποτελέσματα μετρήσεων , Θύρες 3Α,3Β , Σενάριο 3.....	91
<u>Πίνακας 5.21:</u> Τελικά αποτελέσματα, Σενάριο 3.....	94
<u>Πίνακας 5.22:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών της Εξόδου 1 για τα Σενάρια 1,2 και 3.....	96
<u>Πίνακας 5.23:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών της Εξόδου 2 για τα Σενάρια 1,2 και 3.....	98
<u>Πίνακας 5.24:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών της Εξόδου 3 για τα Σενάρια 1,2 και 3.....	100
<u>Πίνακας 5.25:</u> Σύνολο εξερχόμενων πεζών για τα Σενάρια 1,2 και 3.....	102

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

<u>Διαγράμμα 2.1:</u> Διαγράμματα εκκένωσης σταθμών Cais do Sodre, Rossio, Carcavelos (Hoogendoorn S.P. et al., 2007).....	20
<u>Διάγραμμα 2.2:</u> Πυκνότητα [πεζοί/m ²] - Χρόνος εκκένωσης [s] (Πηγή: W. Lei et al.).....	22
<u>Διάγραμμα 2.3:</u> Πλάτος ανοίγματος εξόδου [m]- Χρόνος εκκένωσης [s] για διάφορες τιμές Πυκνότητας [πεζοί/m ²] (Πηγή: W. Lei et al.).....	22
<u>Διάγραμμα 2.4:</u> Χρόνος εκκένωσης [s]- Ποσοστό ατόμων που εκκένωσαν με ασφάλεια το χώρο [%] για διάφορες τιμές Πυκνότητας [πεζοί/m ²] (Πηγή: W. Lei et al.).....	22
<u>Διάγραμμα 2.5:</u> Αριθμός ατόμων που εγκατέλειψαν την αποβάθρα συναρτήσει του χρόνου (α) και αριθμός ατόμων που εγκατέλειψαν το χώρο συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου (β) για τα δέκα σενάρια που εξετάστηκαν (Πηγή: C. Shi et al.).....	24
<u>Διάγραμμα 2.6:</u> ποσοστό χρήσης των σημείων check-in (α) και αναλογία επιβατών σε αναμονή (β) για διάφορα ποσοστά πληρότητας (Πηγή: Takakuwa et al., 2003).....	26
<u>Διάγραμμα 2.7:</u> Συμφόρηση και χαμένες πτήσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας (Πηγή: Takakuwa et al., 2003).....	26
<u>Διάγραμμα 2.8:</u> Μέσος χρόνος εκκένωσης [s] συναρτήσει της επιθυμητής ταχύτητας [m/s] για το σύνολο των 200 ατόμων και για τα πρώτα 180 και 160 άτομα. (Πηγή: Parisi D.R. et al., 2005).....	28
<u>Διάγραμμα 2.9:</u> Αριθμός εξερχόμενων ατόμων συναρτήσει του χρόνου [s] για διαφορετικές τιμές επιθυμητής ταχύτητας.(Πηγή: Parisi D.R. et al., 2005).....	29
<u>Διάγραμμα 5.1:</u> Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 1.....	59
<u>Διάγραμμα 5.2:</u> Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 1.....	59
<u>Διάγραμμα 5.3:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 1.....	60

<u>Διάγραμμα 5.4:</u> Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 2,Σενάριο 1.....	63
<u>Διάγραμμα 5.5:</u> Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 2, Σενάριο 1.....	63
<u>Διάγραμμα 5.6:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 2,Σενάριο 1.....	64
<u>Διάγραμμα 5.7:</u> Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 3,Σενάριο 1.....	66
<u>Διάγραμμα 5.8:</u> Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο	66
<u>Διάγραμμα 5.9:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 3,Σενάριο 1.....	67
<u>Διάγραμμα 5.10:</u> Καμπύλη εκκένωσης κτιρίου-Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min], Σενάριο 1.....	69
<u>Διάγραμμα 5.11:</u> Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 1,Σενάριο 2.....	72
<u>Διάγραμμα 5.12:</u> Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 2.....	73
<u>Διάγραμμα 5.13:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 1,Σενάριο 2.....	73
<u>Διάγραμμα 5.14:</u> Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 2,Σενάριο 2.....	76
<u>Διάγραμμα 5.15:</u> Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 2, Σενάριο 2.....	76
<u>Διάγραμμα 5.16:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 2,Σενάριο 2.....	77
<u>Διάγραμμα 5.17:</u> Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 3,Σενάριο 2.....	79
<u>Διάγραμμα 5.18:</u> Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο 2.....	80
<u>Διάγραμμα 5.19:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 3,Σενάριο 2.....	80
<u>Διάγραμμα 5.20:</u> Καμπύλη εκκένωσης κτιρίου-Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min],Σενάριο 2.....	82

<u>Διάγραμμα 5.21:</u> Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 3.....	85
<u>Διάγραμμα 5.22:</u> Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 3.....	86
<u>Διάγραμμα 5.23:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 3.....	86
<u>Διάγραμμα 5.24:</u> Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 2, Σενάριο 3.....	89
<u>Διάγραμμα 5.25:</u> Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 2, Σενάριο 3.....	90
<u>Διάγραμμα 5.26:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 2, Σενάριο 3.....	90
<u>Διάγραμμα 5.27:</u> Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο 3.....	92
<u>Διάγραμμα 5.28:</u> Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο 3.....	93
<u>Διάγραμμα 5.29:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο 3.....	93
<u>Διάγραμμα 5.30:</u> Καμπύλη εκκένωσης κτιρίου-Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min], Σενάριο 3.....	95
<u>Διάγραμμα 5.31:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών της Εξόδου 1 για τα Σενάρια 1,2 και 3.....	97
<u>Διάγραμμα 5.32:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών της Εξόδου 2 για τα Σενάρια 1,2 και 3.....	99
<u>Διάγραμμα 5.33:</u> Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών της Εξόδου 3 για τα Σενάρια 1,2 και 3.....	101
<u>Διάγραμμα 5.34:</u> Καμπύλη εκκένωσης κτιρίου-Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τα Σενάρια 1,2 και 3.....	103

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Σχέδιο κάτοψης σιδηροδρομικού σταθμού Toulouse (Πηγή: www.simwalk.com).....	18
Εικόνα 2.2: Στάθμη εξυπηρέτησης (LOS)σιδηροδρομικού σταθμού Rossio (Hoogendoorn S.P.et al.,2007).....	19.
Εικόνα 2.3: Σχέδια υπόγειου σιδηροδρομικού σταθμού (Πηγή: W. Lei et al.)	21
Εικόνα 2.4: Εξέλιξη διαδικασίας εκκένωσης στα 0 sec (α), 30 sec (β) και 120 sec (γ) (Πηγή: C. Shi et al,2012.)	23
Εικόνα 2.5: Κτίριο επιβατών αεροδρομίου Kansai (Πηγή: Takakuwa et al., 2003)	25
Εικόνα 2.6: Σχηματική αναπαράσταση σημείων Check-in (Πηγή: Appelt et al.,2007)	27
Εικόνα 2.7: Φαινόμενο ‘Faster-is-slower’- συμφύρηση στην έξοδο λόγω σχηματισμού ανίδας. .(Πηγή: Parisi D.R. et al., 2005)	29
Εικόνα 2.8: Παρακαμπτήρια διαδρομή πεζών, Ζυρίχη (Πηγή: www.simwalk.com)	30
Εικόνα 2.9: Κάτοψη παρακαμπτήριας διαδρομής πεζών, Ζυρίχη (Πηγή: www.simwalk.com).....	31
Εικόνα 4.1: Κάτοψη κτιρίου επιβατών αερολιμένα Ηρακλείου.....	38
Εικόνα 4.2: Κάτοψη κτιρίου επιβατών στο PTV Viswalk.....	40
Εικόνα 4.3: Κτίριο επιβατών στο PTV Viswalk (3D).....	40
Εικόνα 4.4: Περιοχή στην οποία εφαρμόζεται η προσομοίωση εκκένωσης.....	41
Εικόνα 5.1 : Καθορισμός τύπου πεζών.....	44
Εικόνα 5.2: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Σενάριο 1.....	55
Εικόνα 5.3: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης ,Έξοδος 1, Σενάριο 1.....	57
Εικόνα 5.4: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης ,Έξοδος 2, Σενάριο 1.....	61
Εικόνα 5.5: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης ,Έξοδος 3, Σενάριο 1.....	65

<u>Εικόνα 5.6:</u> Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Σενάριο 2.....	70
<u>Εικόνα 5.7:</u> Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης ,Έξοδος 1, Σενάριο 2.....	71
<u>Εικόνα 5.8:</u> Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης ,Έξοδος 2, Σενάριο 2.....	75
<u>Εικόνα 5.9:</u> Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης ,Έξοδος 3, Σενάριο 2.....	78
<u>Εικόνα 5.10:</u> Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Σενάριο 3.....	83
<u>Εικόνα 5.11:</u> Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Έξοδος 1, Σενάριο 3.....	84
<u>Εικόνα 5.12:</u> Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Έξοδος 2, Σενάριο 3.....	88
<u>Εικόνα 5.13:</u> Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Έξοδος 3, Σενάριο 3.....	91
<u>Εικόνα 5.14:</u> Απεικόνιση μεταβολής πυκνότητας [$\text{πεζοί}/\text{m}^2$] κατά τη διάρκεια εκκένωσης του κτιρίου, Σενάριο 1.....	104
<u>Εικόνα 5.15:</u> Απεικόνιση μεταβολής πυκνότητας [$\text{πεζοί}/\text{m}^2$] κατά τη διάρκεια εκκένωσης του κτιρίου, Σενάριο 2.....	105
<u>Εικόνα 5.16:</u> Απεικόνιση μεταβολής πυκνότητας [$\text{πεζοί}/\text{m}^2$] κατά τη διάρκεια εκκένωσης του κτιρίου, Σενάριο 3.....	105
<u>Εικόνα 5.17:</u> Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Σενάριο 4.....	106
<u>Εικόνα 6.1 :</u> Περιοχές που αποτελούν αντικείμενο ενδεχόμενων αλλαγών.....	109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1: Γενική Ανασκόπηση

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που υπάρχουν στον τομέα της τεχνολογίας είναι η ανάλυση της ανθρώπινης δραστηριότητας σε πολυσύχναστα μέρη και χώρους με μεγάλη κινητικότητα, με το πρόβλημα να εστιάζεται όχι μόνο αρχικά στην ανάλυση της συμπεριφοράς των ανθρώπων ως ανεξάρτητα άτομα αλλά και το πώς η συμπεριφορά αυτή αλλάζει όταν κυριαρχούν συνθήκες συνωστισμού, πανικού ή επείγουσας εκκένωσης.

Το γεγονός πως η κίνηση πεζών παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με τη φυσική των ρευστών και το ότι πλέον υπάρχουν τα τεχνολογικά μέσα για την ψηφιακή συλλογή και επεξεργασία στοιχείων της ροής τους, συνέβαλαν στο να δημιουργηθούν μαθηματικές σχέσεις που περιγράφουν με μεγάλη ακρίβεια τη συμπεριφορά των ανθρώπων που κινούνται σε οποιοδήποτε χώρο κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες. Μετά από χρόνια ερευνών έχουν καταρτιστεί σχέσεις που περιγράφουν την κίνηση των πεζών είτε σε κλειστούς χώρους είτε στα οδικά δίκτυα. Με βάση αυτές τις μαθηματικές σχέσεις, έχουν σχεδιαστεί προγράμματα προσομοίωσης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή που απεικονίζουν τον τρόπο που κινούνται οι άνθρωποι σε ένα χώρο, με χαρακτηριστικά ροής που καθορίζονται από το χρήστη. Η προσομοίωση της συμπεριφοράς των πεζών παρουσιάζει όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον για πολλούς λόγους. Τα προγράμματα προσομοίωσης μπορούν να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες αλλά και οδηγίες σχετικά με τη μελέτη και τη σχεδίαση χώρων συγκέντρωσης πεζών όπως για παράδειγμα σταθμούς τρένων, αεροδρομίων, αθλητικών εγκαταστάσεων, εμπορικών κέντρων και εκθεσιακών χώρων. Η συμβολή τους είναι σημαντική όχι μόνο στο θέμα της πρόβλεψης πιθανών προβλημάτων κατά τη διάρκεια ενός έκτακτου συμβάντος αλλά και στην άμεση αναγνώριση κρίσεων σε χώρους με μεγάλο συνωστισμό που βοηθά και στην αντιμετώπιση τους.

Ένας από τους πιο σημαντικούς χώρους στους οποίους γίνονται έρευνες και έχουν εφαρμοστεί μοντέλα προσομοίωσης της κίνησης πεζών είναι τα κτίρια επιβατών των αεροδρομίων. Με τη ραγδαία αύξηση των αερομεταφορών, τα μεγαλύτερα αεροδρόμια σε όλο τον κόσμο δέχονται έναν μεγάλο αριθμό επιβατών σε ημερήσια βάση, κάτι που καθιστά αναγκαίο τον σωστό σχεδιασμό τους. Η συνεχής αύξηση της ροής των πεζών στα κτίρια επιβατών ενδέχεται να προκαλέσει προβλήματα τόσο στον τομέα ποιότητας υπηρεσιών όσο και στην ασφάλειά τους. Κατά συνέπεια, η επεξεργασία μοντέλων προσομοίωσης κτιρίων επιβατών αεροδρομίων αποτελεί ένα σημαντικό κεφάλαιο στο σχεδιασμό τους. Το φάσμα των δυνατοτήτων που δίνονται

είναι ευρύ και καλύπτει από την λύση των πιο απλών ζητημάτων, όπως το απαραίτητο πλήθος σημείων εξυπηρέτησης επιβατών για επίτευξη ταχύτερων διαδικασιών (σημεία παραλαβής και παράδοσης αποσκευών),μέχρι και των πιο σύνθετων. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα όχι μόνο να εξεταστεί η ροή πεζών ,το επίπεδο εξυπηρέτησης τους και τα κρίσιμα σημεία συμφόρησης υπό κανονικές συνθήκες αλλά και να σχεδιάζονται οι πιθανές διαδρομές εκκένωσης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

1.2: Στόχοι

Δεδομένης της μεγάλης σπουδαιότητας της εφαρμογής των προγραμμάτων προσομοίωσης κίνησης πεζών σε υφιστάμενα κτίρια επιβατών αεροδρομίων και της σημασίας των συμπερασμάτων που εξάγονται, πραγματοποιήθηκε η παρούσα Διπλωματική Εργασία. Έχοντας ως αντικείμενο έρευνας τον Κρατικό Αερολιμένα Ηρακλείου "Νίκος Καζαντζάκης" , ο στόχος είναι, μέσα από την επεξεργασία των μετρήσεων να δημιουργηθεί μία πλήρης εικόνα της κίνησης των επιβατών σε μία κατάσταση έκτακτης εκκένωσης. Σκοπός είναι τόσο να περιγραφεί η πορεία που ακολουθείται από τους πεζούς ανάλογα με την περιοχή του κτιρίου στην οποία βρίσκονται όσο και η επιρροή των ενδεχόμενων κτιριακών αλλαγών στα χαρακτηριστικά της ροής. Κατά συνέπεια, ο στόχος της Διπλωματικής Εργασίας είναι να γίνει μία έρευνα τόσο σε μακροσκοπικό όσο και σε μικροσκοπικό επίπεδο της κίνησης των πεζών σε κατάσταση έκτακτης εκκένωσης. Επιπλέον, στοχεύει στο να ερευνηθεί το κατά πόσο επηρεάζονται τα μεγέθη της κυκλοφοριακής ροής από ενδεχόμενες αλλαγές βασικών στοιχείων της κτιριακής υποδομής.

1.3: Μεθοδολογία

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η ροή πεζών στο κτίριο επιβατών του Κρατικού Αερολιμένα Ηρακλείου "Νίκος Καζαντζάκης". Αρχικά έγινε μία βιβλιογραφική ανασκόπηση και εντοπίστηκαν συναφείς έρευνες και μεθοδολογίες σχετικά με το αντικείμενο που εξετάζεται. Έπειτα από την έρευνα αυτή διαπιστώθηκε πως υπάρχουν μαθηματικές σχέσεις που εξετάζουν την ροή πεζών σε μακροσκοπικό, μικροσκοπικό επίπεδο αλλά και σε συνδυασμό αυτών. Στην παρούσα εργασία επιλέχτηκε το πρότυπο Social Force Model (Helbing et al.,1995) και ως λογισμικό για την προσομοίωση της κίνησης επιβατών χρησιμοποιήθηκε το PTV Viswalk το οποίο βασίζεται στο συγκεκριμένο πρότυπο.

Με δεδομένη την υφιστάμενη διάταξη των εγκαταστάσεων του κτιρίου, έγινε συλλογή στοιχείων σχετικά με την επιβατική κίνηση του αεροδρομίου και επιλογή του αριθμού επιβατών που θα χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση. Καθορίστηκαν

οι περιπτώσεις που θα ερευνηθούν και τα σενάρια τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στο πρόγραμμα προσομοίωσης καθώς και οι παράμετροι που κρίνονται κρίσιμες για την ορθή λειτουργία του προγράμματος σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζεται, δηλαδή στο πρότυπο Social Force Model.

1.4: Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η διπλωματική εργασία είναι χωρισμένη στα παρακάτω επιμέρους κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1^ο : Στο πρώτο κεφάλαιο εισάγεται η έννοια της προσομοίωσης κίνησης πεζών. Γίνεται γενική ανασκόπηση του αντικειμένου της εργασίας, καθορίζονται οι στόχοι και η μεθοδολογία.

Κεφάλαιο 2^ο : Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση. Αναφέρονται έρευνες και μεθοδολογίες σχετικές με την προσομοίωση κίνησης πεζών υπό διαφορετικές συνθήκες.

Κεφάλαιο 3^ο : Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο του λογισμικού που χρησιμοποιείται. Γίνεται ανάλυση των βασικών αρχών του Social Force Model στο οποίο βασίζεται το λογισμικό PTV Viswalk.

Κεφάλαιο 4^ο : Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει τη συλλογή στοιχείων για τη λειτουργία του αεροδρομίου Ηρακλείου και την επεξεργασία τους. Περιγράφονται τα εξεταζόμενα σενάρια και τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

Κεφάλαιο 5^ο: Γίνεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας. Αναλύεται με λεπτομέρεια το κάθε σενάριο, τα αποτελέσματα των μετρήσεων και παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι πίνακες και διαγράμματα.

Κεφάλαιο 6^ο: Στο κεφάλαιο έξι γίνεται η σύνοψη αποτελεσμάτων , εξάγονται τα συνολικά συμπεράσματα για τη διαδικασία της εκκένωσης στα τρία εξεταζόμενα σενάρια, γίνονται προτάσεις για τη βελτίωση της διαδικασίας και αναφέρεται η δυνατότητα περαιτέρω έρευνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1: Προσομοίωση κίνησης πεζών σε κλειστούς χώρους

Η προσομοίωση πεζών σε κλειστούς χώρους και σταθμούς μέσω μαζικής μεταφοράς αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας σε πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο, με τα κίνητρα, την μεθοδολογία και τα εξεγόμενα αποτελέσματα να ποικίλλουν.

2.1.1: Προσομοίωση κίνησης πεζών σε σιδηροδρομικούς σταθμούς

Πολλές έρευνες και μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί με αντικείμενο την ανάλυση της λειτουργίας σιδηροδρομικών σταθμών μέσω προσομοίωσης της κίνησης επιβατών κάτω από ποικίλες συνθήκες.

Ξεκινώντας από τον ευρωπαϊκό χώρο, στη Γαλλία ο οργανισμός Egis Rail , διεξήγαγε έρευνα σχετικά με την ροή πεζών στον κύριο σιδηροδρομικό σταθμό Toulouse-Matabiau ,κάνοντας χρήση του λογισμικού Simwalk (Egis Mobilite France,2010) .



Εικόνα 2.1: Σχέδιο κάτοψης σιδηροδρομικού σταθμού Toulouse (Πηγή: www.simwalk.com)

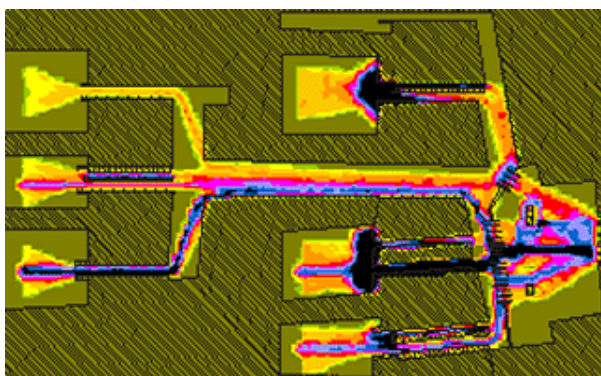
Ο σταθμός, αποτελούμενος από έξι αποβάθρες και τέσσερα σημεία πρόσβασης που συνδέονται μεταξύ τους μέσω υπόγειων διαβάσεων εξυπηρετεί μεγάλο αριθμό επιβατών ημερησίως, και εξετάστηκε για πιθανή αύξηση της ροής των πεζών.

Στην προσομοίωση, οι πεζοί χρειάστηκε να κατηγοριοποιηθούν αρχικά με βάση τον προορισμό τους , και στη συνέχεια με βάση τα χαρακτηριστικά της κίνησης τους, με την κάθε κατηγορία να έχει το κατάλληλο εύρος τιμών ταχύτητας και διαστάσεων ανάλογα με τα επί μέρους δεδομένα. Συνολικά προσομοιώθηκαν 11240 επιβάτες σε χρονικό διάστημα ογδόντα λεπτών. Οι κινήσεις τους μέσα στον σταθμό (είσοδος,

έξοδος, επιβίβαση, αναμονή, μετεπιβίβαση) συνδέθηκαν με την αλληλουχία αφίξεων και αναχωρήσεων των συρμών.

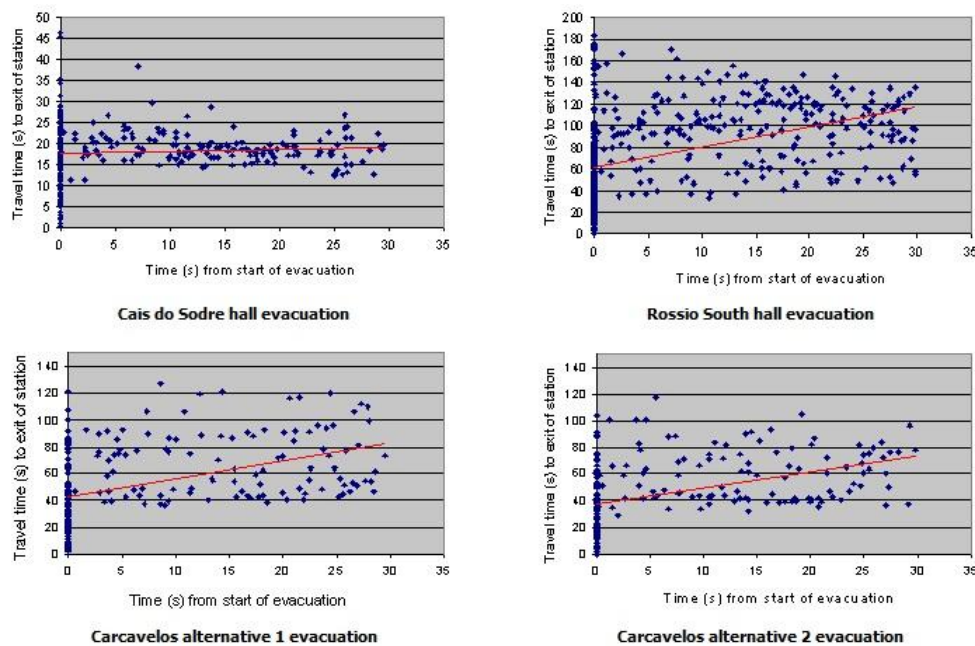
Μέσω των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης καθορίστηκαν πιθανά σημεία συμφόρησης χρονικά και χωρικά, μετά την ανάλυση των ταχυτήτων και πυκνοτήτων και την κατάταξη των χώρων ανάλογα με το επίπεδο εξυπηρέτησης. Τελικά, προτάθηκαν λύσεις προς τη βελτίωση τόσο των λειτουργιών του σταθμού όσο και της υποδομής του.

Σημαντικό έργο στον τομέα της αξιολόγησης της κτιριακής διάταξης σιδηροδρομικών σταθμών πραγματοποιήθηκε για φορείς του τομέα συγκοινωνιών της Πορτογαλίας. Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα ολοκληρώθηκε από το Delft University of Technology για λογαριασμό της Εταιρείας Σιδηροδρόμων της Πορτογαλίας CP Caminhos de Ferro Portugueses USGL (Hoogendoorn S.P.et al.,2007). Η μελέτη αυτή αφορά την εκτίμηση των επιπτώσεων εγκατάστασης ενός νέου συστήματος θυρών για τρεις σιδηροδρομικούς σταθμούς στη Λισσαβόνα της Πορτογαλίας (Cais do Sodre, Rossio, Carcavelos).



Εικόνα 2.2: Στάθμη εξυπηρέτησης (LOS)σιδηροδρομικού σταθμού Rossio (Hoogendoorn S.P.et al.,2007)

Ειδικότερα, εξετάστηκαν οι επιπτώσεις στη ροή των πεζών, στο επίπεδο εξυπηρέτησης και στην ασφάλεια, της εγκατάστασης πυλών πρόσβασης, με τελικό στόχο να προσδιοριστεί ο απαιτούμενος τύπος των πυλών, ο αριθμός των πυλών που απαιτούνται, και η θέση τους, με προκαθορισμένα κριτήρια σχεδιασμού. Επίσης με τη χρήση του Nomad, ενός λογισμικού προσομοίωσης πεζών, εξετάστηκαν σενάρια για την εκκένωση των σταθμών σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.



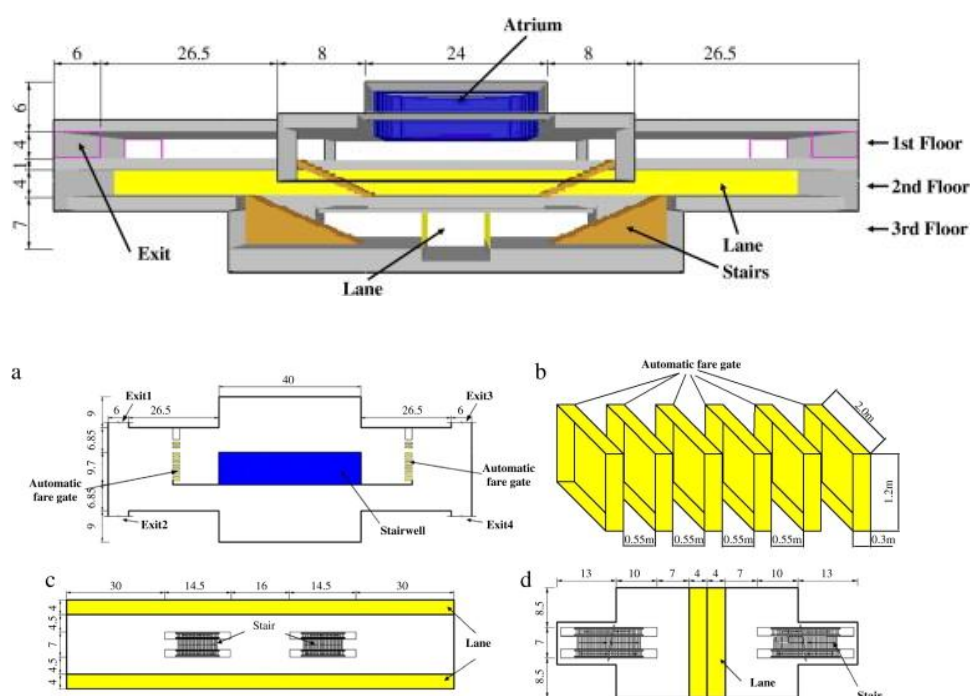
Διαγράμμα 2.1: Διαγράμματα εκκένωσης σταθμών Cais do Sodre, Rossio, Carcavelos (Hoogendoorn S.P. et al., 2007)

Με βάση τα εξαγόμενα αποτελέσματα της έρευνας και με γνώμονα την ασφάλεια των επιβατών και το επίπεδο εξυπηρέτησης έγιναν προτάσεις για τη διάταξη των πυλών για κάθε σταθμό ξεχωριστά ανάλογα με τη μορφολογία του. Αποδείχθηκε ότι μικρές αλλαγές στον σχεδιασμό πρόσφεραν ικανοποιητικό επίπεδο εξυπηρέτησης για τα μεταφορά τους πεζούς, και ότι οι πύλες θα μπορούσαν να εγκατασταθεί χωρίς να διακυβεύεται η ασφάλεια των επιβατών. Παρ' όλα αυτά, η ανάγκη για αλλαγή πορείας, η αναποτελεσματική χρήση κάποιας πύλης και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αντίθετα κινούμενων ροών πεζών προκάλεσε μικρές αλλά σημαντικές καθυστερήσεις στην κίνηση τους, κάτι που δεν θα μπορούσε να προβλεφθεί χωρίς τη χρήση ενός κατάλληλου προτύπου μικροσκοπικής προσομοίωσης.

Εκτός του ευρωπαϊκού χώρου, πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί σε αρκετές ασιατικές χώρες, με έμφαση στην προσομοίωση πλήθους σε σιδηροδρομικούς σταθμούς κατά τη διάρκεια εκκένωσης.

Δεδομένης της ραγδαίας ανάπτυξης της οικονομίας της Κίνας, του μεγάλου πληθυσμού που συγκεντρώνεται στα κυριότερα αστικά κέντρα έχουν ολοκληρωθεί αρκετές έρευνες που εξετάζουν την ασφαλή λειτουργία των σταθμών του υπόγειου σιδηροδρόμου. Μία τέτοια έρευνα διεξήχθη από το University of Architecture and Technology Xi' An σε συνεργασία με τον φορέα China Railway First Survey and Design Institute Group Ltd (Lei W et al., 2012). Ως αντικείμενο έρευνας ορίστηκε

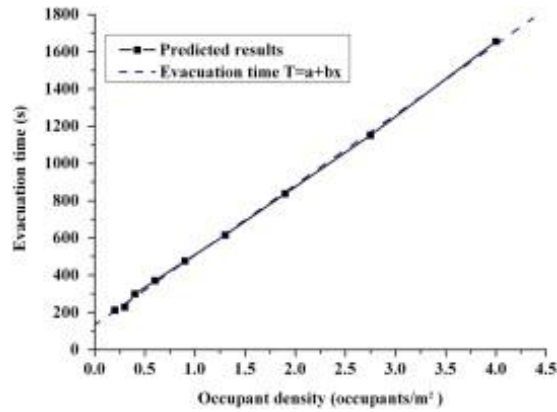
έναν υπόγειο σταθμό τριών επιπέδων ,επιφάνειας 4600 τετραγωνικών μέτρων, με τέσσερις εξόδους πλάτους έξι μέτρων η κάθε μία.



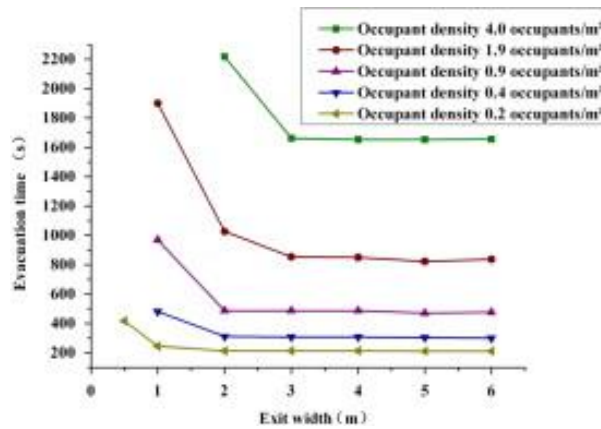
Εικόνα 2.3: Σχέδια υπόγειου σιδηροδρομικού σταθμού (Πηγή: W. Lei et al.)

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της κίνησης των πεζών κατά τη διάρκεια της εκκένωσης ονομάζεται FDS Evac και βασίστηκε στην θεωρία του Social Force Model , όπου εισάγεται η έννοια του διανύσματος της δύναμης που ασκείται ώστε να συντηρείται η απαραίτητη απόσταση των πεζών μεταξύ τους αλλά και σε σύγκριση με άλλα εμπόδια.

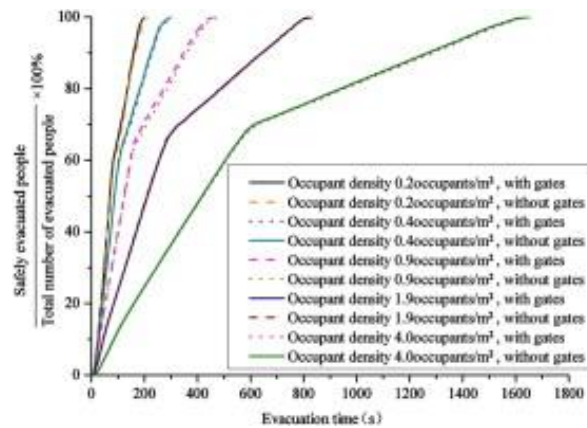
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έπειτα από την επεξεργασία τους, έδωσαν πληροφορίες τόσο για το ρόλο της πυκνότητας σε κάθε χώρο του σταθμού, όσο και του πλάτους των εξόδων και την ύπαρξη ή μη αυτόματων θυρών για την επικύρωση εισιτηρίων. Αρχικά, διαπιστώθηκε πως η πυκνότητα πεζών ήταν κρίσιμη για τον συνολικό χρόνο εκκένωσης, και πως τα μεγέθη συνδέονται με σχέση της μορφής $T=a+bx$. (Διάγραμμα 2.2) Επίσης, διαπιστώθηκε πως το πλάτος των εξόδων παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία εκκένωσης, ωστόσο με τις καμπύλες να έχουν την ίδια μορφή , σε διάφορες τιμές πυκνότητας πεζών (Διάγραμμα 2.3). Τέλος διαπιστώθηκε πως τα αποτελέσματα δεν είχαν σημαντικές διαφορές και στις δύο περιπτώσεις εκκένωσης, με ή δίχως αυτόματες θύρες επικύρωσης , καθώς η ύπαρξή τους δεν δυσχέρανε τη διαδικασία αλλά άλλαξε σε μικρό βαθμό τον τρόπο που αυτή ολοκληρώθηκε (Διάγραμμα 2.4).



Διάγραμμα 2.2: Πυκνότητα [πεζοί/m²] - Χρόνος εκκένωσης [s] (Πηγή: W. Lei et al.)

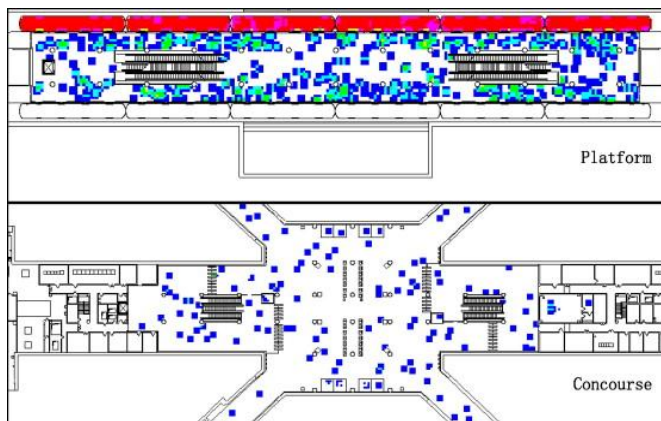


Διάγραμμα 2.3: Πλάτος ανοίγματος εξόδου [m]- Χρόνος εκκένωσης [s] για διάφορες τιμές Πυκνότητας [πεζοί/m²] (Πηγή: W. Lei et al.)

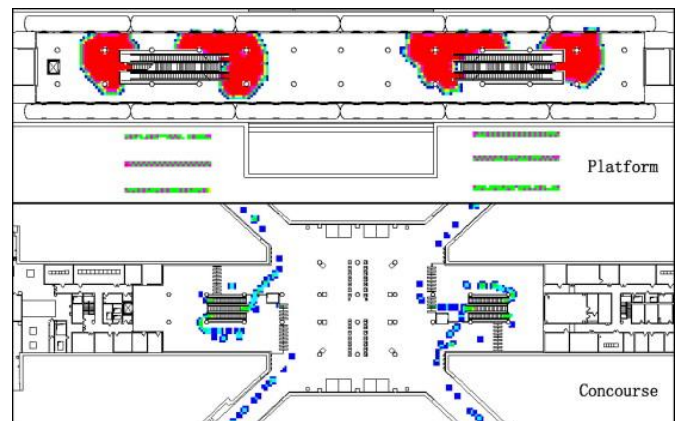


Διάγραμμα 2.4: Χρόνος εκκένωσης [s]- Ποσοστό ατόμων που εκκένωσαν με ασφάλεια το χώρο [%] για διάφορες τιμές Πυκνότητας [πεζοί/m²] (Πηγή: W. Lei et al.)

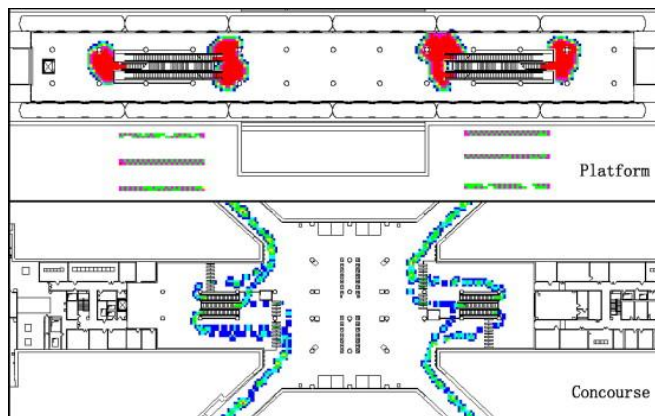
Μία άλλη μελέτη, σχετικά με τη διαμόρφωση στρατηγικής εκκένωσης σταθμού υπόγειου σιδηροδρόμου, ολοκληρώθηκε στην Κίνα (Shi C. ,et al, 2012). Σε αυτή την έρευνα δόθηκε βάση όχι μόνο στην προσομοίωση των επιβατών κατά τη διάρκεια εκκένωσης, αλλά εξετάστηκαν δεκαέξι σενάρια σύμφωνα με τα οποία η πυρκαγιά εκδηλώνεται σε διαφορετικά τμήματα του σταθμού. Καθορίστηκε ο αριθμός των επιβατών του κάθε σεναρίου και η διάταξη τους σύμφωνα με την ώρα αιχμής και χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση ένα πρότυπο agent - based, το BuildingExodus V4.0 (Gwynne et al., 1998).



(α)



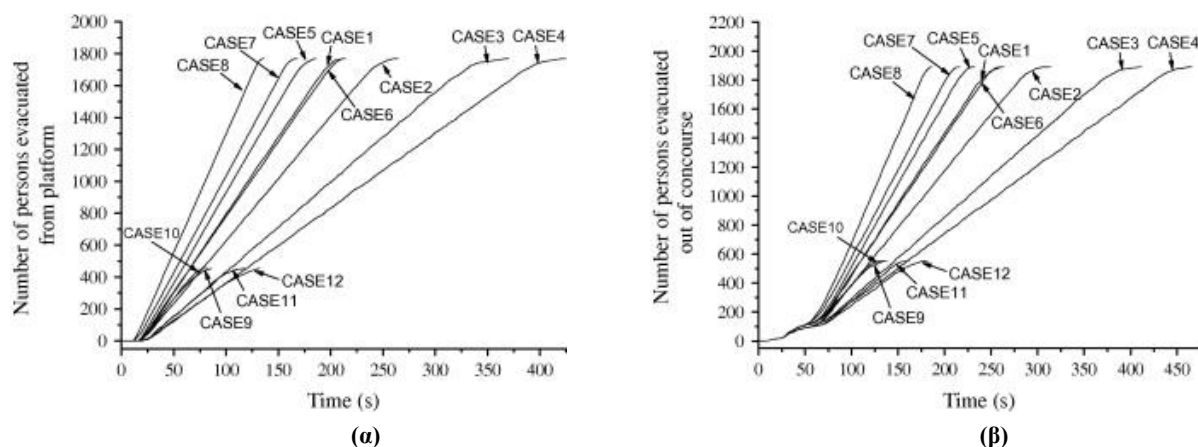
(β)



(γ)

Εικόνα 2.4: Εξέλιξη διαδικασίας εκκένωσης στα 0 sec (α), 30 sec (β) και 120 sec (γ) (Πηγή: C. Shi et al,2012.)

Σχεδιάστηκαν οι καμπύλες εκκένωσης για την αποβάθρα και για τον χώρο συγκέντρωσης σε κάθε μία από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν (Διάγραμμα 2.5) .



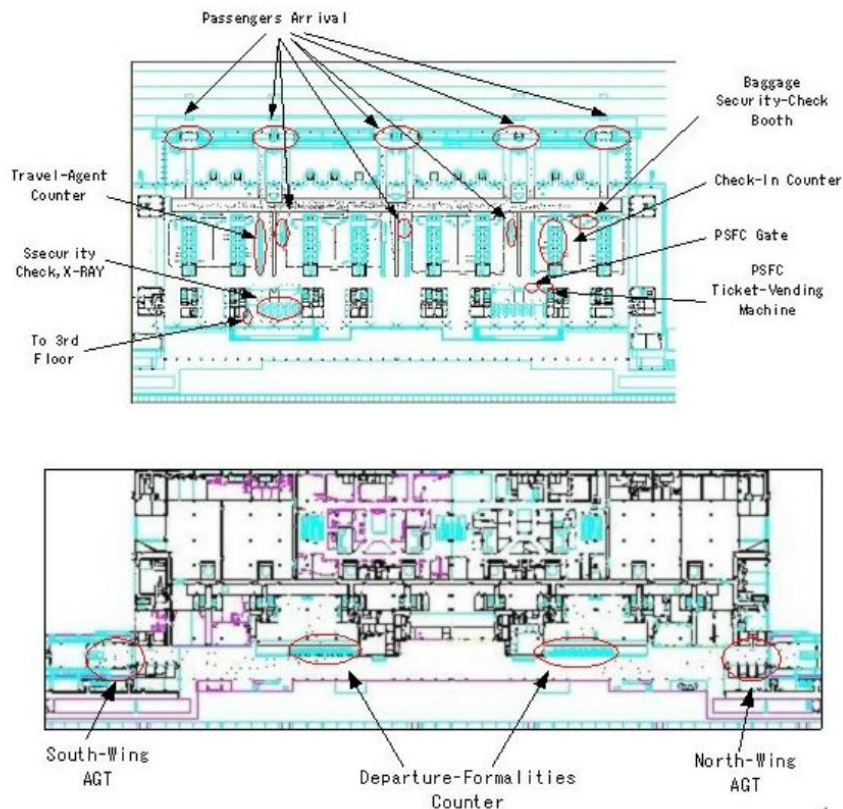
Διάγραμμα 2.5: Αριθμός ατόμων που εγκατέλειψαν την αποβάθρα συναρτήσει του χρόνου (α) και αριθμός ατόμων που εγκατέλειψαν το χώρο συγκέντρωσης συναρτήσει του χρόνου (β) για τα δέκα σενάρια που εξετάστηκαν (Πηγή: C. Shi et al.)

Οι ερευνητές πρότειναν τη στρατηγική εκκένωσης του σταθμού του μετρό, το οποίο περιλαμβάνει τη διαδρομή εκκένωσης, και το ασφαλές σημείο συγκέντρωσης για κάθε μία από τις εξεταζόμενες περιπτώσεις.

2.1.2: Προσομοίωση κίνησης πεζών σε κτίρια επιβατών αεροδρομίων

Δεδομένης της αύξησης των αερομεταφορών τις τελευταίες δεκαετίες, με τα μεγαλύτερα αεροδρόμια στον κόσμο να εξυπηρετούν εκατοντάδες χιλιάδες επιβάτες καθημερινά, η αναγκαιότητα για λεπτομερή ανάλυση των λειτουργιών τους και για προσομοίωση της κίνησης των επιβατών γίνεται ολοένα και πιο αισθητή. Σχετικές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί τόσο σε ασιατικές χώρες όσο και στις Ηνωμένες Πολιτείες.

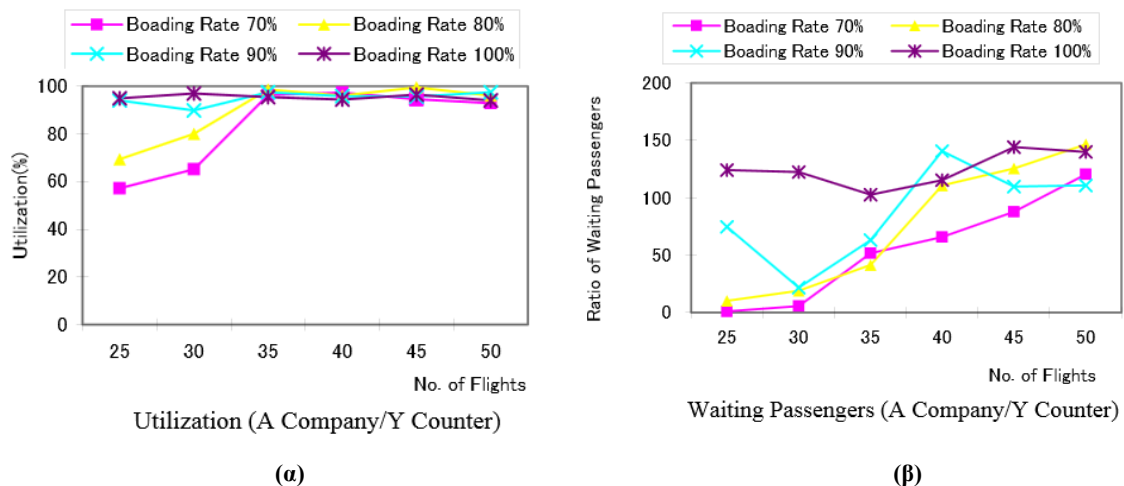
Στην Ιαπωνία, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον μία μελέτη σχετικά με την ανάλυση προσομοίωσης της κυκλοφοριακής ροής πεζών στον τομέα διεθνών αναχωρήσεων κτιρίου επιβατών αεροδρομίου Kansai. Σε αυτή την έρευνα (Takakuwa et al., 2003) προσομοιώθηκε η ροή των επιβατών στο κτίριο του αεροδρομίου με μεγάλη έμφαση στον τομέα των διεθνών αναχωρήσεων και τις χρονικές καθυστερήσεις που αντιμετωπίζουν οι επιβάτες. Για τον σκοπό αυτό σχεδιάστηκαν όλα τα επίπεδα του κτιρίου επιβατών του αεροδρομίου Kansai (Εικόνα 2.5) και η προσομοίωση έγινε με το λογισμικό Arena.



Εικόνα 2.5: Κτίριο επιβατών αεροδρομίου Kansai (Πηγή: Takakuwa et al., 2003)

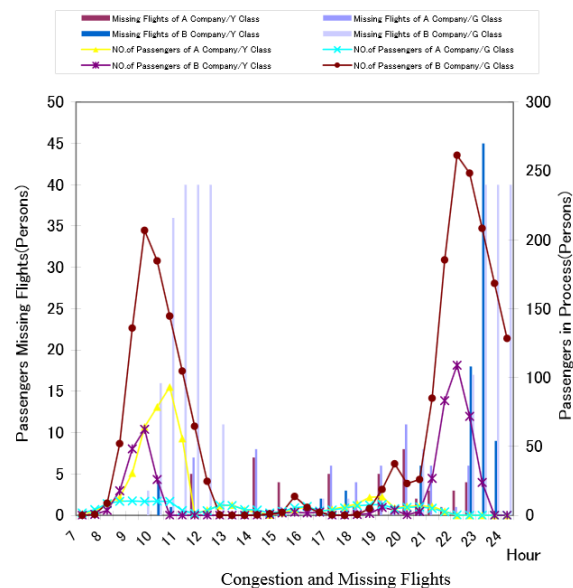
Έχοντας δεδομένο τον ποσοστιαίο καταμερισμό χρόνου που αφιερώνεται από τους επιβάτες στις διάφορες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο κτίριο πριν την αναχώρησή τους, όρισαν το διάγραμμα ροής τους. Έγινε χρήση γεννήτριας δεδομένων, στην οποία προσδιόριζαν τον εξεταζόμενο αριθμό πτήσεων αναχώρησης και το ποσοστό πληρότητάς τους και δημιουργείτο ένα ενδεικτικό ωριαίο πρόγραμμα πτήσεων το οποίο κατά συνέπεια προσδιόριζε και τον αριθμό των ατόμων που κινούνται στο κτίριο επιβατών.

Επιλέχτηκε για τις ανάγκες της έρευνας μία τυπική εταιρεία αερομεταφορών και εξετάστηκε τόσο η μορφολογία του τμήματος check-in όσο και οι λειτουργίες που εκτελούνται σε αυτό το χώρο. Έγιναν δέκα επαναλήψεις της προσομοίωσης, ο μέσος όρος των οποίων χρησιμοποιήθηκε στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Για ποσοστά πληρότητας πτήσης 70%, 80%, 90%, 100% και με ολοένα και αυξανόμενο αριθμό πτήσεων κατά τη διάρκεια της ημέρας εξετάστηκε το ποσοστό χρήσης των σημείων check-in και την αναλογία επιβατών σε αναμονή (Διάγραμμα 2.6).



Διάγραμμα 2.6: ποσοστό χρήσης των σημείων check-in (α) και αναλογία επιβατών σε αναμονή (β) για διάφορα ποσοστά πληρότητας (Πηγή: Takakuwa et al., 2003)

Με αυξανόμενο τον αριθμό πτήσεων την ημέρα, αυξάνεται το ποσοστό χρήσης των σημείων check-in φτάνοντας μέχρι και το 100%, όπως επίσης και ο αριθμός των επιβατών σε αναμονή, έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των επιβατών που δεν είχαν χρόνο να επιβιβαστούν. Εξετάστηκε και η σχέση αριθμού επιβατών που δεν είχαν χρόνο να επιβιβαστούν με τη συμφόρηση στο κτίριο επιβατών (Διάγραμμα 2.7).



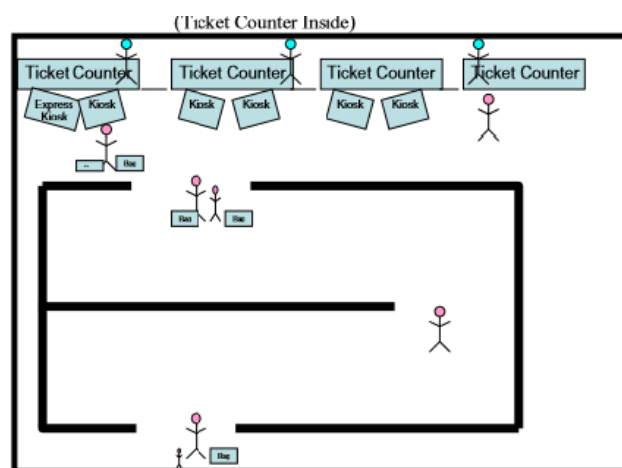
Διάγραμμα 2.7: Συμφόρηση και χαμένες πτήσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας (Πηγή: Takakuwa et al., 2003)

Για την αντιμετώπιση της καθυστέρησης, εξετάστηκαν δύο σενάρια, αφενός η αύξηση του προσωπικού για την εξυπηρέτηση και αφετέρου η κατηγοριοποίηση των σημείων check-in ανάλογα με τη θέση του κάθε επιβάτη, τα οποία έδειξαν πως με την

εφαρμογή των μέτρων αυτών είτε ξεχωριστά είτε σε συνδυασμό, ο αριθμός επιβατών που δεν έχουν χρόνο να επιβιβαστούν μειώνεται δραστικά.

Αντικείμενο της επόμενης έρευνας, είναι η προσομοίωση λειτουργιών σε αεροδρόμιο των Ηνωμένων Πολιτειών. Σε αυτή την έρευνα (Appelt et al.,2007) εξετάστηκε το αεροδρόμιο Buffalo Niagara International Airport, με σκοπό την αποτύπωση των καθυστερήσεων και τη διαμόρφωση σεναρίων για την βελτίωση των λειτουργιών.

Έγινε συλλογή στοιχείων για τη διαμόρφωση του μοντέλου προσομοίωσης, όπου επιλέχτηκε η πιο αντιπροσωπευτική μέρα αναφορικά με τον φόρτο και επιλέχτηκε μια συγκεκριμένη αεροπορική εταιρεία και ο χώρος στον οποίο γίνεται η διαδικασία του check-in. Διαμορφώθηκαν τρία εξεταζόμενα σενάρια, αντικατάσταση σημείου ταχέως check-in με κανονικό, αντικατάσταση του 10% των επί τόπου check-ins με διαδικτυακά και χρήση του σημείου αποκλειστικά για άλλες λειτουργίες.



Εικόνα 2.6: Σχηματική αναπαράσταση σημείων Check-in (Πηγή: Appelt et al.,2007)

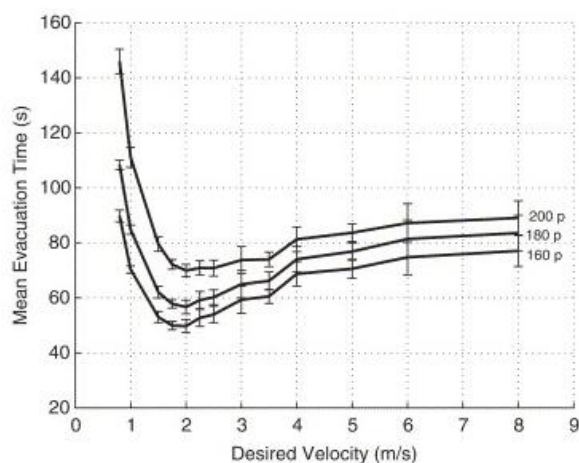
Έπειτα από τη σύγκριση των σεναρίων, επιλέχτηκε εκείνο που είναι πιο αποτελεσματικό για τη μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης των διαδικασιών και αποτέλεσε πρόταση προς την αεροπορική εταιρεία για τη βελτίωση της ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών.

2.1.3: Προσομοίωση κίνησης πεζών σε περιορισμένο χώρο

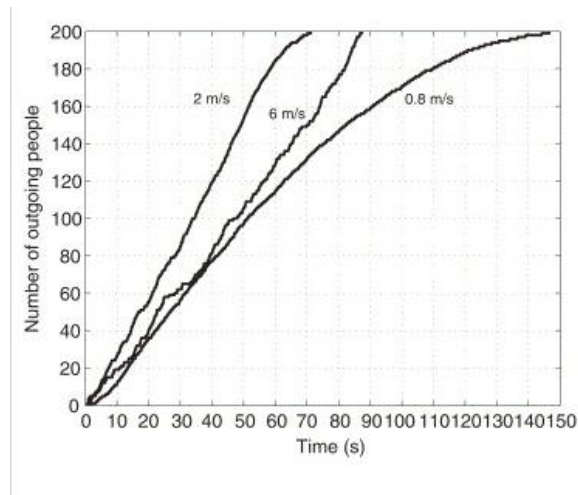
Εκτός από τις εφαρμογές σε αυστηρά κλειστούς και συγκεκριμένης μορφολογίας χώρους, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν έρευνες με αντικείμενο την ανάλυση φαινομένων που εμφανίζονται κατά την κίνηση πεζών.

Έτσι, στην παρακάτω εργασία (Parisi D.R. et al., 2005) εξετάστηκε η εκκένωση ενός δωματίου 20m x 20m, με προσομοίωση της κίνησης των πεζών βασισμένη στη θεωρία Social Force Model.

Πραγματοποιήθηκαν δεκατέσσερις επαναλήψεις στις οποίες οι πεζοί ήταν διακόσιοι και με την κάθε επανάληψη να έχει διαφορετική επιθυμητή ταχύτητα πεζού σε ένα εύρος από 0,8 m/s μέχρι 8m/s. Άλλες δεκατέσσερις επαναλήψεις πραγματοποιήθηκαν με ταχύτητα 4m/s, αριθμό πεζών να κυμαίνεται από 200 μέχρι 500 και πλάτος εξόδου από 1,2m έως 4,2m, και τα αποτελέσματα αυτών αποτυπώθηκαν σε αντίστοιχα γραφήματα .

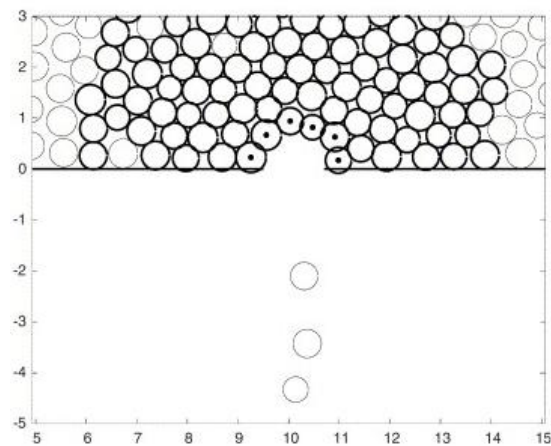


Διάγραμμα 2.8: Μέσος χρόνος εκκένωσης [s] συναρτήσει της επιθυμητής ταχύτητας [m/s] για το σύνολο των 200 ατόμων και για τα πρώτα 180 και 160 άτομα. (Πηγή: Parisi D.R. et al., 2005)



Διάγραμμα 2.9: Αριθμός εξερχόμενων ατόμων συναρτήσει του χρόνου [s] για διαφορετικές τιμές επιθυμητής ταχύτητας. (Πηγή: *Parisi D.R. et al., 2005*)

Διαπιστώθηκε πως αυξανόμενης της επιθυμητής ταχύτητας των πεζών να εκκενώσουν τον χώρο αυξάνεται και ο συνολικός χρόνος εκκένωσης, κάτι που οφείλεται στο αίσθημα πανικού, ο οποίος συνδέεται κυρίως με μεγάλες επιθυμητές ταχύτητες. Επίσης εξετάστηκε το ‘faster is slower effect’ με συνέπεια την έντονη συμφόρηση στην έξοδο. (Εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7: Φαινόμενο ‘Faster-is-slower’- συμφόρηση στην έξοδο λόγω σχηματισμού αψίδας. (Πηγή: *Parisi D.R. et al., 2005*)

2.2 : Προσομοίωση κίνησης πεζών στο οδικό δίκτυο

Η προσομοίωση πεζών έχει αποτελέσει βασικό βήμα στο σχεδιασμό πόλεων, γραμμών αστικών συγκοινωνιών, οδικών τμημάτων και διασταυρώσεων. Ένα καλό παράδειγμα αποτελεί η επόμενη έρευνα (ASE GmbH), που έχει ως αντικείμενο την ανάλυση επιπτώσεων κατασκευής παρακαμπτήριας διαδρομής για πεζούς, στην πόλη της Ζυρίχης στην Ελβετία.



Εικόνα 2.8: Παρακαμπτήρια διαδρομή πεζών, Ζυρίχη (Πηγή: www.simwalk.com)

Λόγω κατασκευής καινούριας σιδηροδρομικής γραμμής στον κεντρικό σταθμό της Ζυρίχης, κρίθηκε απαραίτητη η μετακίνηση μίας διάβασης πεζών σε άλλο σημείο και πραγματοποιήθηκε έρευνα των πιθανών επιπτώσεων αυτής της αλλαγής με τη βοήθεια προσομοίωσης .

Στόχος ήταν να διαπιστωθεί πιθανή αύξηση της πυκνότητας των πεζών, του χρόνου που χρειάζεται για να ολοκληρώσουν τη διαδρομή και συνολικές επιπτώσεις στη λειτουργία της διασταύρωσης λόγω αλλαγών στους φωτεινούς σηματοδότες. Για αυτό το σκοπό προσομοιώθηκε η κίνηση πριν και μετά τις επικείμενες αλλαγές. Έγινε ρύθμιση του μοντέλου έχοντας ως δεδομένα τα στοιχεία της μέχρι πρότινος διάταξης και συνεχίστηκε η έρευνα εφαρμόζοντας τις τροποποιήσεις που εξετάζονταν.



Εικόνα 2.9: Κάτοψη παρακαμπτήριας διαδρομής πεζών, Ζυρίχη (Πηγή: www.simwalk.com)

Διαπιστώθηκε πως κρίσιμο σημείο ήταν η αλλαγή ή μή της συχνότητας των φωτεινών σηματοδοτών, καθώς προσαρμόζοντας τους στα νέα δεδομένα, θα δημιουργείτο μεγάλη συμφόρηση πεζών κατά μήκος της νέας διαδρομής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1: Εισαγωγή στην προσομοίωση πεζών

Η κίνηση πεζών, εμπειρικά, έχει μελετηθεί για παραπάνω από τέσσερις δεκαετίες. Αρχικά, οι μέθοδοι εκτίμησης βασίζονταν σε απευθείας παρατήρηση και σε φωτογραφίες, είτε απλές είτε σε σύνολο λήψεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα (time-lapse films). Ο κύριος στόχος εκείνων των μελετών ήταν να προσδιοριστεί η έννοια της στάθμης εξυπηρέτησης και να μελετηθεί ο σχεδιασμός στοιχείων σε χώρους όπου υπάρχει κίνηση πεζών. Επίσης έγιναν βήματα προς τη δημιουργία κατασκευαστικών κατευθυντήριων γραμμών με τη μορφή σχέσεων αλληλεξάρτησης οι οποίες ωστόσο αποδείχτηκαν ανεπαρκείς, καθώς δεν ήταν δυνατή η εφαρμογή τους σε χώρους με ιδιαίτερη αρχιτεκτονική και κάτω από ιδιαίτερες συνθήκες εκκένωσης. Ως εκ τούτου, δημιουργήθηκαν πρότυπα προσομοίωσης με αντικείμενο τη μελέτη ουρών, τη μελέτη σε στοχαστικό επίπεδο και τον τρόπο επιλογής διαδρομής, τα οποία συνδέονταν μεταξύ τους.

Ωστόσο, κανένα από αυτά τα πρότυπα δεν λάμβαναν υπόψη τα φαινόμενα αυτό-οργάνωσης που παρατηρούνται σε χώρους όπου υπάρχει πλήθος πεζών. Η πρώτη προσέγγιση προς αυτή τη κατεύθυνση έγινε με την υπόθεση πως τα πλήθη πεζών συμπεριφέρονται παρόμοια με τα αέρια και τα υγρά. Αυτό θα μπορούσε να επιβεβαιωθεί μερικώς, όμως για να είναι ρεαλιστική μία τέτοια θεωρία για την κίνηση πεζών θα έπρεπε να περιλαμβάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις ώστε να λαμβάνονται υπόψη συγκεκριμένες κινήσεις αλληλεπίδρασης όπως την τάση αποφυγής άλλων πεζών και την επιβράδυνση λόγω ελιγμών. Παρόλο που μία τέτοια θεωρία είναι εφαρμόσιμη, πρακτικά είναι περισσότερο χρήσιμη η προσομοίωση της κίνησης του κάθε πεζού μεμονωμένα καθώς τότε υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία. Συνεπώς, η μελέτη της κίνησης των πεζών κυρίως εστιάζεται σε ‘agent-based’ πρότυπα, τα οποία εστιάζουν τόσο στην κίνησή τους μεμονωμένα όσο και στα φαινόμενα που παρατηρούνται στο σύνολό τους. Το πρότυπο ‘Social Force Model’ είναι το πιο διαδεδομένο από αυτά τα μαθηματικά πρότυπα και πάνω σε αυτό βασίζεται το λογισμικό PTV Viswalk το οποίο χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη Διπλωματική εργασία.

3.2 : Το πρότυπο ‘Social Force Model’

Ο πεζός, με δεδομένο το ότι είναι εξοικειωμένος με τις καταστάσεις τις οποίες αντιμετωπίζει συχνά, έχει αυτόματες αντιδράσεις και παίρνει αποφάσεις με βάση την πείρα. Λόγω αυτού, κατέστη δυνατή η ενσωμάτωση των κανόνων της συμπεριφοράς του στην εξίσωση κίνησής του. Οι αλλαγές στην επιθυμητή του ταχύτητα μπορούν να περιγραφούν με ένα διανυσματικό μέγεθος το οποίο ορίζεται ως Social Force. Το μέγεθος αυτό περιγράφει την επιρροή που έχει το περιβάλλον, όπως άλλοι πεζοί και εμπόδια, στη συμπεριφορά του. Είναι μία έννοια που περιγράφει την πρόθεση δράσης ως μία αντίδραση στις πληροφορίες που αντλεί ο πεζός από το περιβάλλον στο οποίο κινείται και προκαλεί τάσεις επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης. Ως αποτέλεσμα, ο πεζός θεωρείται πως δρα και κινείται όντας συνεχώς υπό την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων που τον επηρεάζουν.

3.2.1 : Η μαθηματική διατύπωση του ‘Social Force Model’

Μελετώντας την κίνηση ενός πεζού α , αναλύονται οι παράγοντες που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην κίνησή του.

Κίνηση προς τον επιθυμητό προορισμό

Αρχικά, ο πεζός α επιθυμεί να φτάσει στον προορισμό του με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη άνεση. Έτσι, υπό κανονικές συνθήκες επιλέγει την πιο σύντομη διαδρομή, η οποία έχει πολυγωνική μορφή, $\vec{r}_a^1, \dots, \vec{r}_a^n := \vec{r}_a^0$. Αν θεωρηθεί $\vec{r}_a^k$ η επόμενη κορυφή του πολυγώνου που πρέπει να συναντηθεί, η επιθυμητή φορά της κίνησης θα είναι:

$$\vec{e}_a(t) := [\vec{r}_a^k - \vec{r}_a(t)] / \| \vec{r}_a^k - \vec{r}_a(t) \| ,$$

με $\vec{r}_a(t)$ τη θέση του πεζού α τη χρονική στιγμή t .

Με την προϋπόθεση πως η κίνηση του πεζού δεν θα παρεμποδιστεί, θα κατευθυνθεί προς το επιθυμητό σημείο με την επιθυμητή ταχύτητα $\vec{v}_a^0(t) = v_a^0 \vec{e}_a(t)$. Η απόκλιση της επιθυμητής ταχύτητας από την πραγματική ταχύτητα $\vec{v}_a(t)$ λόγω τάσεων αποφυγής διάφορων εμποδίων και λόγω επιβράδυνσης, οδηγεί στην τάση προσέγγισης της επιθυμητής ταχύτητας μέσα σε χρόνο προσαρμογής τ_a και περιγράφεται μέσω της σχέσης :

$$\vec{F}_a^0(\vec{v}_a, v_a^0 \vec{e}_a) := \frac{1}{\tau_a} (v_a^0 \vec{e}_a - \vec{v}_a) \quad (1)$$

Αλληλεπίδραση με άλλους πεζούς

Η κίνηση ενός πεζού επηρεάζεται από την συνύπαρξή του στο χώρο με άλλους πεζούς. Πιο συγκεκριμένα, διατηρεί απόσταση από αυτούς η οποία εξαρτάται από την πυκνότητα (πεζοί ανά τετραγωνικό μέτρο) και από την επιθυμητή ταχύτητα $\vec{v}_a^0(t)$. Δημιουργείται η έννοια του προσωπικού χώρου του κάθε πεζού, ένα φαινόμενο προσπάθειας διαφύλαξης των νοητών ορίων του. Ο πεζός αισθάνεται δυσφορία όσο αυξάνεται η εγγύτητα σε άτομα άγνωστα σε αυτόν, κάτι που μπορεί να εκδηλωθεί και με επιθετικότητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση τάσεων απόθησης προς άλλους πεζούς β , και εκφράζεται μέσω της σχέσης:

$$\vec{F}_{a,\beta}(\vec{r}_{a,\beta}) := -\nabla_{\vec{r}_{a\beta}} V_{a\beta}[b(\vec{r}_{a\beta})] \quad (2)$$

Γίνεται η υπόθεση πως το δυναμικό απόθησης $V_{a\beta}(b)$ είναι μία φθίνουσα μονότονη συνάρτηση του b με ισοδυναμικές γραμμές με μορφή έλλειψης οι οποίες έχουν κατεύθυνση την κατεύθυνση της κίνησης. Αυτό συμβαίνει διότι κατά τη διάρκεια της κίνησης, ο πεζός χρειάζεται χώρο για το επόμενο βήμα και ο χώρος αυτός γίνεται αντιληπτός από τους πεζούς που τον περιβάλλουν. Το b συμβολίζει τον μικρό ημιάξονα της έλλειψης και δίνεται από τη σχέση:

$$2b := [(\|\vec{r}_{a\beta}\| + \|\vec{r}_{a\beta} - v_\beta \Delta t \vec{e}_\beta\|)^2 - (v_\beta \Delta t)^2]^{1/2},$$

Όπου $\vec{r}_{a\beta} = \vec{r}_a - \vec{r}_\beta$ και $v_\beta \Delta t$ είναι της τάξης μεγέθους του εύρους βηματισμού του πεζού β . Η προσέγγιση αυτή, παρά την απλότητά της, περιγράφει αρκετά ρεαλιστικά τους μηχανισμούς αποφυγής άλλων πεζών κατά τη διάρκεια της κίνησης.

Αλληλεπίδραση με σταθερά στοιχεία

Η κίνηση ενός πεζού, εκτός από τους υπόλοιπους πεζούς, επηρεάζεται και από την ύπαρξη σταθερών στοιχείων του χώρου στον οποίο βρίσκεται. Διατηρεί συγκεκριμένη απόσταση από τοίχους, υποστυλώματα και λοιπά εμπόδια. Η αίσθηση δυσφορίας γίνεται εντονότερη όσο πιο κοντά βρίσκεται στο εμπόδιο, καθώς πρέπει να καταβάλλει προσπάθεια να το αποφύγει ώστε ο κίνδυνος ατυχήματος να ελαχιστοποιηθεί. Συνεπώς, ένα εμπόδιο B προκαλεί τάση απόθησης η οποία περιγράφεται από τη σχέση :

$$\vec{F}_{aB}(\vec{r}_{aB}) := -\nabla_{\vec{r}_{aB}} U_{aB}(\|\vec{r}_{aB}\|) \quad , \quad (3)$$

Όπου $U_{aB}(\|\vec{r}_{aB}\|)$ μονότονα φθίνον δυναμικό απώθησης. Ως $\vec{r}_{aB}$ συμβολίζεται η διαφορά $\vec{r}_a - \vec{r}_B^a$, όπου $\vec{r}_B^a$ το σημείο του εμπόδιου B που είναι πιο κοντά στον πεζό α .

Αλληλεπίδραση με σημεία ενδιαφέροντος

Στο χώρο στον οποίο κινείται ένας πεζός συχνά συμβαίνει να υπάρχουν παράγοντες που αποσπούν την προσοχή του και έλκουν το ενδιαφέρον του, όπως καλλιτεχνικά δρώμενα, εκδηλώσεις, εκθέσεις. Αυτή η τάση έλξης $\vec{f}_{ai}$ προς το σημείο ενδιαφέροντος $\vec{r}_i$ περιγράφεται από μία αύξουσα μονότονη συνάρτηση έλξης $W_{ai}(\|\vec{r}_{ai}\|, t)$:

$$\vec{F}_{ai}(\|\vec{r}_{ai}\|, t) := -\nabla \vec{r}_{ai} W_{ai}(\|\vec{r}_{ai}\|, t) , \quad (4)$$

Η τάση έλξης έχει ομοιότητες με την τάση απώθησης. Ωστόσο η κυριότερη διαφορά είναι πως η τάση έλξης $\vec{f}_{ai}$ συνήθως μειώνεται με την πάροδο του χρόνου t καθώς το ενδιαφέρον του πεζού για το εκάστοτε σημείο εξασθενεί. Οι τάσεις έλξης, επιπλέον, ευθύνονται για το σχηματισμό ομάδων πεζών που κινούνται ταυτόχρονα προς συγκεκριμένα σημεία και θυμίζουν μοριακούς σχηματισμούς.

Γενικές παρατηρήσεις

Οι τάσεις έλξης και απώθησης, όπως περιγράφονται παραπάνω, ισχύουν σε περιπτώσεις που το σημείο ενδιαφέροντος ή το εμπόδιο γίνεται αντιληπτό καθώς ο πεζός κινείται προς τον επιθυμητό προορισμό του, κατά την επιθυμητή κατεύθυνση $\vec{e}_a(t)$. Περιστατικά τα οποία λαμβάνουν χώρα στην αντίθετη κατεύθυνση, όπισθεν του πεζού, έχουν πιο ασθενή επιρροή σε αυτόν, c , με $0 < c < 1$. Προκειμένου να συμπεριληφθεί αυτός ο παράγοντας στις εξισώσεις, δηλαδή η καθοριστική γωνία θέασης 2φ, εισήχθη το μέγεθος :

$$w(\vec{e}, \vec{f}) := \begin{cases} 1 & \text{αν } \vec{e} \cdot \vec{f} \geq \|\vec{f}\| \cos \varphi \\ c & \text{διαφορετικά} \end{cases} ,$$

Το οποίο εκφράζει το βαθμό επιρροής που έχει ένα γεγονός , ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται σε σχέση με τον κινούμενο πεζό. Επομένως, οι τάσεις έλξης και απώθησης στη συμπεριφορά ενός πεζού κατά τη διάρκεια της κίνησης του δίνονται από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned}\overrightarrow{F_{\alpha\beta}}(\overrightarrow{e_a}, \overrightarrow{r_a} - \overrightarrow{r_\beta}) &:= w(\overrightarrow{e_a}, -\overrightarrow{f_{\alpha\beta}}) \overrightarrow{f_{\alpha\beta}}(\overrightarrow{r_a} - \overrightarrow{r_\beta}) \\ \overrightarrow{F_{ai}}(\overrightarrow{e_a}, \overrightarrow{r_a} - \overrightarrow{r_i}, t) &:= w(\overrightarrow{e_a}, \overrightarrow{f_{ai}}) \overrightarrow{f_{ai}}(\overrightarrow{r_a} - \overrightarrow{r_i}, t)\end{aligned}\quad (5)$$

Κατά συνέπεια, έχοντας εκφράσει τις τάσεις που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της κίνησης ενός πεζού α λόγω διάφορων παραγόντων, τις 'Social Forces' μέσω των μαθηματικών σχέσεων 1,2,3,4 και 5, γίνεται η θεώρηση πως το άθροισμά τους επηρεάζει συνολικά την 'πρόθεση' του πεζού για κίνηση. Η 'πρόθεση' αυτή συμβολίζεται ως $\overrightarrow{F_a}(t)$ και ορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}\overrightarrow{F_a}(t) &:= \overrightarrow{F_a^0}(\overrightarrow{v_a}, v_a^0 \overrightarrow{e^a}) + \sum_{\beta} \overrightarrow{F_{\alpha\beta}}(\overrightarrow{e_a}, \overrightarrow{r_a} - \overrightarrow{r_\beta}) + \sum_B \overrightarrow{F_{aB}}(\overrightarrow{e_a}, \overrightarrow{r_a} - \overrightarrow{r_B^a}) \\ &+ \sum_i \overrightarrow{F_{ai}}(\overrightarrow{e_a}, \overrightarrow{r_a} - \overrightarrow{r_i}, t),\end{aligned}\quad (6)$$

Τελικά, το Social Force Model ορίζεται ως $\overrightarrow{F_a}(t) + \text{Διακυμάνσεις}$. Οι διακυμάνσεις αυτές προστίθενται ώστε να ληφθούν υπόψη κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κίνησης, αν για παράδειγμα σε κάποια εφαρμογή υπάρχει περιορισμός ως προς τον τρόπο που αποφεύγεται ένα εμπόδιο. Με την προσθήκη αυτού του όρου, συνεκτιμάται στο πρότυπο η ύπαρξη τυχαματικών ή σκόπιμων αποκλίσεων από τους βασικούς κανόνες που διέπουν την κίνηση.

Συμπερασματικά, με το Social Force Model περιγράφεται η πρόθεση του πεζού για κίνηση με δυνάμεις, όπως στη Νευτώνεια Μηχανική. Από τις κοινωνικές, ψυχολογικές και φυσικές δυνάμεις προκύπτει μία δύναμη η οποία επηρεάζει τη φυσική παράμετρο της επιτάχυνσης. Οι δυνάμεις αυτές που επηρεάζουν την κίνηση ενός πεζού οφείλονται τόσο στην πρόθεση του να φτάσει στον προορισμό του, όσο και σε άλλους πεζούς και σε εμπόδια.

3.2.2: Εφαρμογές του 'Social Force Model'

Την ανάπτυξη της μαθηματικής σχέσης (6) που περιγράφει τη δυναμική ενός πεζού α ακολούθησε η προσομοίωση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, της κίνησης μεγάλου αριθμού πεζών κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Παρά το γεγονός πως το πρότυπο Social Force βασίζεται σε απλές αρχές, περιγράφει αρκετά ρεαλιστικά τα φαινόμενα που έχουν παρατηρηθεί σε χώρους με πεζούς. Με βάση το μαθηματικό αυτό πρότυπο έχουν αναπτυχθεί εφαρμογές σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, ένα από αυτά τα λογισμικά είναι και το PTV Viswalk που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.1: Κρατικός Αερολιμένας Ηρακλείου ‘Νίκος Καζαντζάκης’

Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας είναι η προσομοίωση της κίνησης επιβατών κατά τη διάρκεια εκκένωσης του κτιρίου επιβατών του κρατικού αερολιμένα Ηρακλείου ‘Νίκος Καζαντζάκης’ και η ανάλυσή της σε μακροσκοπικό και μακροσκοπικό επίπεδο.

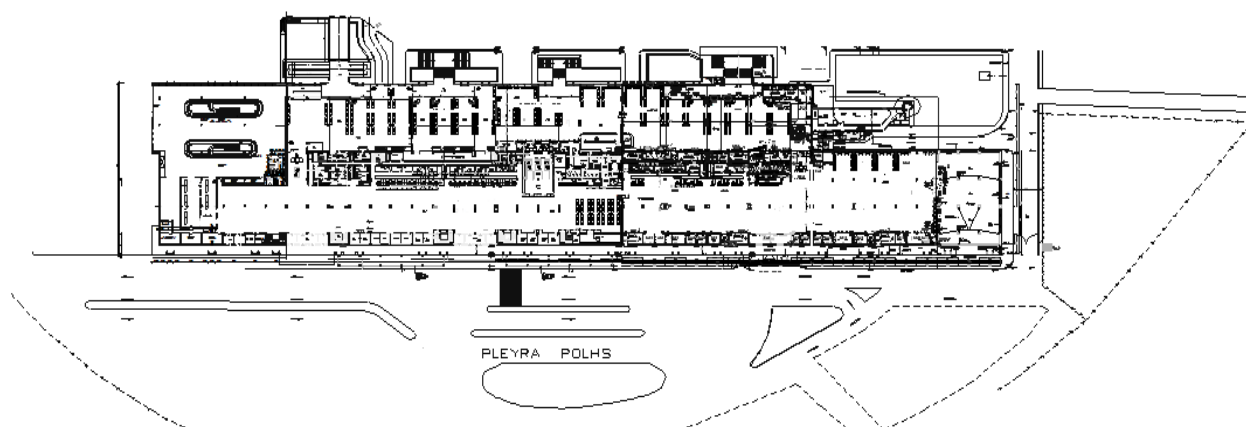
Αρχικά, η πόλη του Ηρακλείου είναι η μεγαλύτερη του νησιού, με τον δήμο Ηρακλείου σύμφωνα με την απογραφή του έτους 2012 να αριθμεί 173.993 κατοίκους, και με τον τουρισμό και το εμπόριο να αποτελούν τους κύριους οικονομικούς τομείς της. Ο λιμένας Ηρακλείου αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς στη Μεσόγειο με μεγάλη κίνηση τόσο εμπορευμάτων όσο και επιβατών. Επίσης, από το 2002, λειτουργεί ως σταθμός άφιξης και αναχώρησης κρουαζιερόπλοιων (Home Port) καθιστώντας το, το μοναδικό στον ελλαδικό χώρο εκτός από τον λιμένα του Πειραιά και αριθμώντας την εξυπηρέτηση δύο εκατομμύρια επιβατών και τριακοσίων χιλιάδων οχημάτων κάθε χρόνο. Το γεγονός αυτό έχει συμβάλει όχι μόνο στην οικονομική ανάπτυξη της περιοχής αλλά και στην αύξηση της επιβατικής κίνησης του αερολιμένα Ηρακλείου, με τον προγραμματισμό απευθείας πτήσεων από όλη την Ευρώπη και μελέτη για μελλοντική αναδιάταξη των λειτουργιών του αεροδρομίου με σκοπό την άμεση εξυπηρέτηση των επιβατών των πλοίων κρουαζιέρας.

Κατά συνέπεια, η λειτουργία του αερολιμένα Ηρακλείου αποτελεί βασικό τμήμα της ζωής του νησιού αλλά και της χώρας ως σύνολο, όντας ο δεύτερος σημαντικότερος αερολιμένας στην Ελλάδα. Οφείλει το όνομά του στον συγγραφέα Νίκο Καζαντζάκη και ιδρύθηκε το έτος 1937. Η απόσταση του από το κέντρο της πόλης του Ηρακλείου είναι τέσσερα χιλιόμετρα, και από τον λιμένα δύο χιλιόμετρα. Η επιφάνεια του αεροσταθμού ανέρχεται στα σαράντα τρεις χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα, και βρίσκονται σε λειτουργία δύο διάδρομοι απογείωσης και προσγείωσης.

Η κάτοψη του κτιρίου επιβατών φαίνεται στην Εικόνα 4.1. Στη Διπλωματική εργασία θα γίνει προσομοίωση της εκκένωσης των χώρων παραλαβής αποσκευών, των σημείων Check in και του χώρου αναμονής μέσω των τριών πυλών που υπάρχουν προς την πλευρά της πόλης. Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PTV Viswalk το οποίο βασίζεται στο Social Force Model και εξετάστηκαν τρία σενάρια εκκένωσης.

4.2: Συλλογή στοιχείων

Με σκοπό την ακριβή αποτύπωση και μεταφορά των πραγματικών διαστάσεων του χώρου του κτιρίου επιβατών του αερολιμένα για την προσομοίωση της κίνησης των επιβατών, έγινε χρήση του σχεδίου κάτοψης του κτιρίου. Με βάση αυτό σχεδιάστηκε το περιβάλλον στο λογισμικό PTV Viswalk ώστε να είναι πιστό στις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν.



Εικόνα 4.1: Κάτοψη κτιρίου επιβατών αερολιμένα Ηρακλείου

Στη συνέχεια, έγινε έρευνα σχετικά με την κίνηση του αεροδρομίου. Συλλέχθηκαν επίσης στοιχεία από αρμόδιους φορείς, αλλά έγινε και προσωπική έρευνα μετά από επικοινωνία με τους υπεύθυνους για τη λειτουργία του αεροδρομίου. Πιο συγκεκριμένα, για την κατάρτιση των κατάλληλων σεναρίων προσομοίωσης, ήταν απαραίτητο να καθοριστεί το μέγεθος του φόρτου που αντιστοιχεί τη μέρα αιχμής στον αερολιμένα Ηρακλείου. Συνεπώς, από τα δημοσιευμένα στατιστικά στοιχεία της αεροπορικής κίνησης της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (βλ. παράρτημα), υπολογίστηκε πως για το έτος 2012 ο μήνας αιχμής ήταν ο Αύγουστος, με τη μέση ημέρα του μήνα αυτού να εξυπηρετούνται 17,000 επιβάτες. Την ώρα αιχμής της συγκεκριμένης ημέρας θεωρήθηκε πως εξυπηρετήθηκε το 9%, δηλαδή 1530 επιβάτες (Συστήματα Αεροδρομίων, Neufville R., 2003). Μετά από επικοινωνία με το κέντρο διαχείρισης του Αερολιμένα, έγινε συλλογή επιπρόσθετων πληροφοριών ώστε να συμπληρωθεί η εικόνα της κίνησης των επιβατών. Επισημάνθηκε πως την μέρα αιχμής του μήνα Αυγούστου του έτους 2013 (4/8) ο αριθμός των επιβατών έφτασε τις 21,800. Επίσης, σημειώθηκε πως κατά μέσο όρο οι επιβάτες κάθε πτήσης φτάνουν τους 150 σε αριθμό κατά μέσο όρο και δόθηκαν χρήσιμες πληροφορίες για τον τρόπο λειτουργίας του αεροδρομίου και τις διαδικασίες που ακολουθούνται. Όλες οι παραπάνω πληροφορίες συνέβαλαν στη μετέπειτα διαδικασία της μόρφωσης των σεναρίων κίνησης στο κτίριο επιβατών.

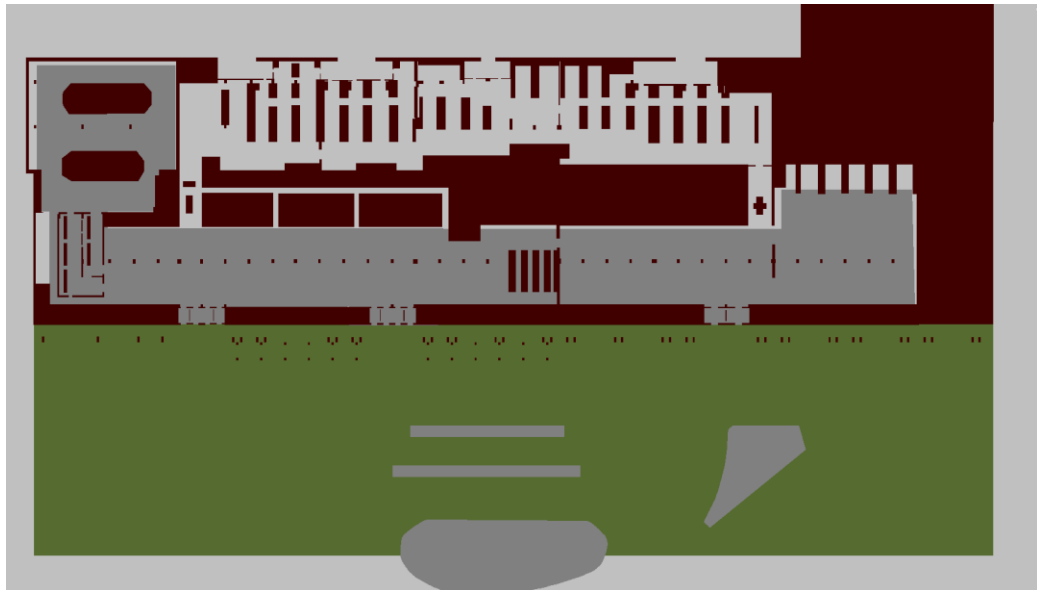
4.3: Επεξεργασία Στοιχείων. Λογισμικό PTV Viswalk

Για την προσομοίωση της κίνησης των επιβατών στο κτίριο επιβατών του Αερολιμένα, και πιο συγκεκριμένα για την προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, έγινε χρήση του λογισμικού PTV Viswalk. Με αυτό το λογισμικό δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης και ανάλυσης της κίνησης πεζών τόσο σε κλειστούς όσο και σε ανοιχτούς χώρους, με τον χρήστη να έχει πλήρη ελευθερία σχεδιασμού.

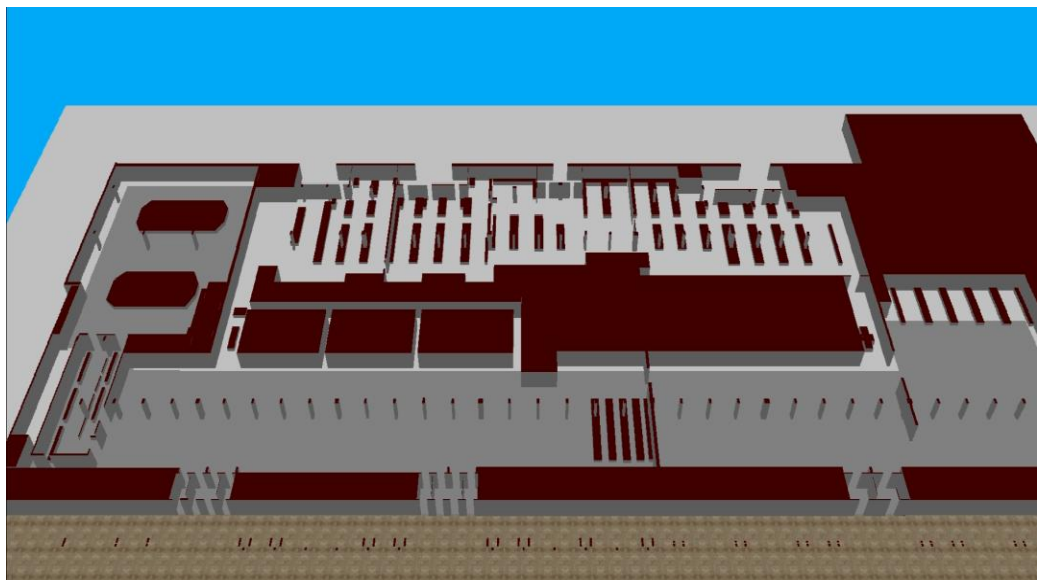
Το λογισμικό βασίζεται στη θεωρία των Social Forces. Πιο συγκεκριμένα, είναι λογισμικό προσομοίωσης σε μικροσκοπικό επίπεδο και έχει ως βάση το Social Force Model, δηλαδή όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, θεωρεί πως η κίνηση του πεζού επηρεάζεται από κοινωνικές, ψυχολογικές και φυσικές δυνάμεις οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν την παράμετρο της επιτάχυνσής του. Έχοντας αυτό ως θεμελιώδη αρχή, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να διαμορφώσει σύμφωνα με τις προδιαγραφές που εκείνος θέτει, το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιείται η κίνηση. Καθορίζονται οι διαστάσεις των χώρων, οι θέσεις των εμποδίων, η εσωτερική διαμόρφωση, οι πιθανές διαδρομές που θα επιλεγθούν. Δίνονται οι επιθυμητές παράμετροι τόσο σχετικά με τη συμπεριφορά της ομάδας πεζών που προσομοιώνεται όσο και με τα φυσικά χαρακτηριστικά τους, αν για παράδειγμα υπάρχουν παιδιά, ηλικιωμένοι, άνδρες ή γυναίκες και σε τι ποσοστό επί του συνόλου. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις δυνατότητες που δίνονται μέσω του λογισμικού, ακολούθησε ο σχεδιασμός του χώρου και των βασικών χαρακτηριστικών της κίνησης που εξετάζεται.

4.3.1: Σχεδιασμός κτιρίου επιβατών

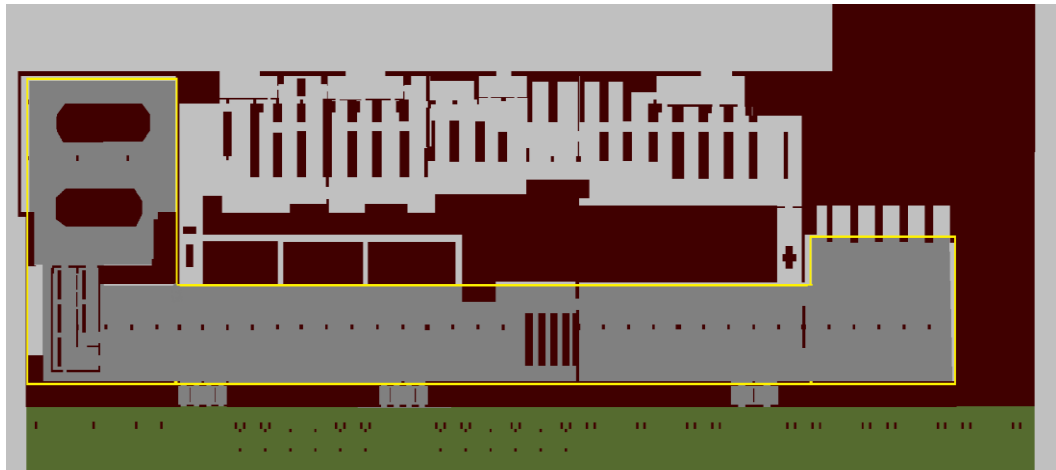
Με βάση τα σχέδια κάτοψης του κτιρίου επιβατών του κρατικού αερολιμένα Ηρακλείου σχεδιάστηκε το πρότυπο για τη χρήση του στο λογισμικό Viswalk. Αποτυπώθηκε με λεπτομέρεια η διάταξη όλων των χωρισμάτων, τοιχίων, υποστυλωμάτων, οι διαστάσεις των χώρων, των εμποδίων όπως επίσης και τα σημεία εισόδου εξόδου, όπως είναι στην πραγματικότητα (Εικόνα 4.2,4.3).



Εικόνα 4.2: Κάτοψη κτιρίου επιβατών στο PTV Viswalk



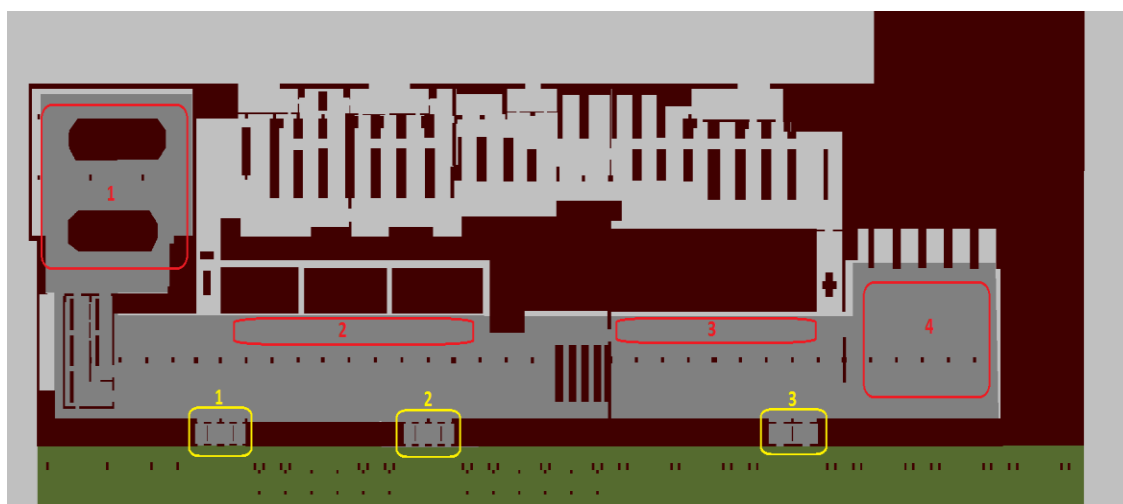
Εικόνα 4.3: Κτίριο επιβατών στο PTV Viswalk (3D)



Εικόνα 4.4: Περιοχή στην οποία εφαρμόζεται η προσομοίωση εκκένωσης

Ορίστηκαν οι περιοχές στις οποίες μπορούν να κινηθούν οι πεζοί (Εικόνα 4.4), και σχεδιάστηκαν με ακρίβεια τα εμπόδια τα οποία επηρεάζουν την κίνησή τους, όπως διαχωριστικά τοιχία, καθίσματα και άλλες κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, έγινε προσομοίωση εκκένωσης του τμήματος του κτιρίου, όπως φαίνεται στο σχήμα.

Πιο συγκεκριμένα, προσομοιώθηκε η κίνηση στο τμήμα του κτιρίου που περιλαμβάνει τον χώρο παραλαβής αποσκευών, τους χώρους check in, τον χώρο αναμονής. Οι χώροι οι οποίοι ορίστηκαν ως σημείο αφετηρίας της κίνησης των διάφορων ομάδων πεζών είναι τέσσερις, και τα σημεία εισόδου-εξόδου από το κτίριο τρία.



Πίνακας 4.1: Αρίθμηση περιοχών κτιρίου και περιγραφή

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Χώρος παραλαβής αποσκευών
2	Χώρος Check in (1)
3	Χώρος Check in (2)
4	Χώρος αναμονής
5	Ασφαλής χώρος
1	Έξοδος 1
2	Έξοδος 2
3	Έξοδος 3

Τα τρία σενάρια που εξετάστηκαν βασίζονται στον ίδιο πίνακα Αφετηρίας-Προορισμού, οι ομάδες πεζών διατηρούν τα ίδια χαρακτηριστικά μορφολογίας και συμπεριφοράς και η εκκένωση γίνεται υπό τις ίδιες συνθήκες. Ο πίνακας αυτός μετά την συλλογή στοιχείων σχετικά με τη λειτουργία του κτιρίου διαμορφώνεται ως εξής:

ΑΦΕΤΗΡΙΑ	ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΖΩΝ
1: Χώρος αποσκευών	5: Ασφαλής χώρος	300
2: Χώρος Check in (1)		300
3: Χώρος Check in (2)		300
4: Χώρος αναμονής		50

Με βάση αυτό τον αριθμό πεζών θα γίνει η εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό για την προσομοίωση εκκένωσης. Τα σενάρια που εξετάστηκαν, αναφέρονται επιγραμματικά παρακάτω.

Σενάριο 1

Το πρώτο σενάριο που εξετάστηκε είναι το βασικό, καθώς η διάταξη του κτιρίου που χρησιμοποιήθηκε είναι ακριβώς εκείνη που υποδεικνύεται από την κάτοψη του. Προσομοιάζει τη διαδικασία εκκένωσης, όπως θα πραγματοποιείτο υπό τις παρούσες συνθήκες.

Σενάριο 2

Στο δεύτερο σενάριο εξετάστηκε η εξέλιξη της διαδικασίας εκκένωσης σε περίπτωση που υπήρχαν αλλαγές στις διαστάσεις των θυρών στα σημεία εξόδου 1,2 και 3. Πιο συγκεκριμένα, σε περίπτωση μείωσης του αριθμού των θυρών με ταυτόχρονη αύξηση του πλάτους τους στα σημεία εξόδου 1 και 2 και αύξησης του πλάτους των θυρών της εξόδου 3.

Σενάριο 3

Στο τρίτο σενάριο εξετάστηκε πως επηρεάζεται η διαδικασία εκκένωσης σε περίπτωση περαιτέρω αύξησης του πλάτους των θυρών των σημείων εξόδου 1,2 και 3.

Αναλυτικότερη περιγραφή των σεναρίων γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

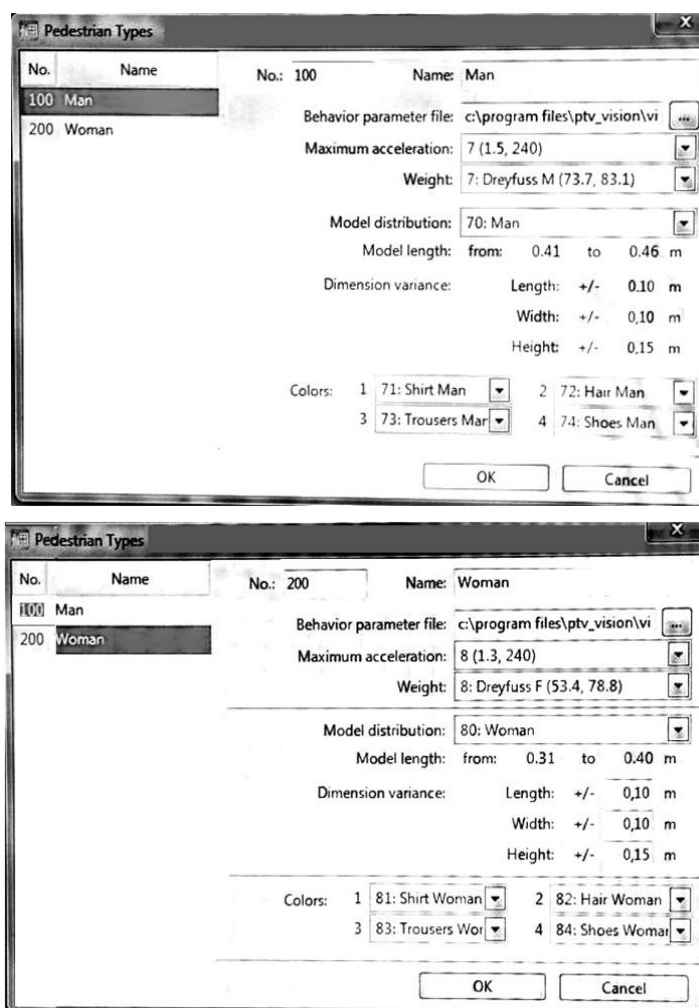
5.1: Μεθοδολογία

5.1.1 : Δεδομένα εισόδου στο λογισμικό

Κατηγορίες πεζών

Μετά το σχεδιασμό στο περιβάλλον του λογισμικού Viswalk, του κτιρίου επιβατών, καθορίστηκε ο τύπος των πεζών που θα χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση.

Ορίστηκαν δύο τύποι, άνδρες και γυναίκες, με την κάθε κατηγορία να έχει τα δικά της φυσικά χαρακτηριστικά. Η αναλογία ανδρών γυναικών ορίστηκε 1:1.



Εικόνα 5.1 : Καθορισμός τύπου πεζών

Παράμετροι κίνησης

Στο ‘Behavior Parameter File’ ,το οποίο τέθηκε ίδιο και για τα δύο φύλα, δόθηκαν τιμές στις παραμέτρους συμπεριφοράς, όπως αυτές ορίζονται από το Social Force Model και έχουν εισαχθεί στο λογισμικό Viswalk. Οι παράμετροι αυτές είναι οι παρακάτω .

Πίνακας 5.1 : Παράμετροι κίνησης

Παράμετρος	Τιμή	Ελάχιστο
<i>By pedestrian type</i>		
tau (τ)	0,4	0,06
lambda_mean (λ_mean)	0,3	0
A_soc_isotropic	1,6	
B_soc_isotropic	0,2	
A_soc_mean	0,4	
B_soc_mean	2,8	
VD	3	
noise	1,2	0
react_to_n	8	
queue_order	0,7	0
queue_straightness	0,6	0
side_preference	0	
<i>Global</i>		
grid_size	5	
routing_large_grid	7	
routing_step	4	
routing_accuracy	1	0
routing_obstacle_dist	0,5	0
routing_cell_size	0,15	0,01
Use_cache	0	
never_walk_back	0	
Dynamic_potential_average_f	0	
Dynamic_potential_cell_size	0,2	
Dynamic_potential_g	1,5	
Dynamic_potential_h	0,7	
Dynamic_potential_direction_change_clipping	1	
Dynamic_potential_direction_change_p	4	

Με την κάθε παράμετρο να ορίζεται ως εξής:

tau (τ) : Είναι ο χρόνος αντίδρασης, ή αλλιώς ο χρόνος προσαρμογής της παρούσας ταχύτητας στην επιθυμητή.

lambda_mean (λ_mean): Καθορίζει το πόσο επηρεάζει η κάθε δύναμη έλξης ή απώθησης την κίνηση του πεζού, ψυχολογικά και κοινωνικά, ανάλογα με τη θέση και γωνία θέασης του κάθε γεγονότος που προκαλεί τη συγκεκριμένη δύναμη.

A_soc_isotropic, B_soc_isotropic, A_soc_mean, B_soc_mean, VD: Αυτές οι παράμετροι καθορίζουν τις δυνάμεις μεταξύ δύο πεζών, δηλαδή το μέγεθος, το εύρος λαμβάνοντας υπόψη τη σχετική τους θέση και την ταχύτητα.

noise: Όσο αυξάνεται η τιμή αυτής της παραμέτρου, τόσο περισσότερο αυξάνεται η επίδραση που έχουν οι δυνάμεις έλξης ή απώθησης πάνω του, κυρίως όταν για αρκετή ώρα διατηρεί ταχύτητα πολύ μικρότερη της επιθυμητής.

react_to_n: Εκφράζει πόσοι πεζοί (n) που βρίσκονται γύρω από τον επηρεαζόμενο, έχουν επίδραση στην κίνησή του.

queue_order, queue_straightness: Ορίζουν το σχηματισμό ουρών. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή τους, τόσο πιο οργανωμένα σχηματίζεται η ουρά.

side_preference: Καθορίζει εάν οι κινούμενοι πεζοί προτιμούν να κινούνται στη δεξιά ή στην αριστερή μεριά από αυτούς που κινούνται προς την αντιθετη κατεύθυνση.

grid_size, routing_large_grid: Αφορούν την ακτίνα επιρροής του κάθε πεζού.

Routing_step, routing_accuracy, routing_obstacle_dist, routing_cell_size, use_cache: Καθορίζουν τον τρόπο που το λογισμικό υπολογίζει την πορεία του κάθε πεζού.

never_walk_back: Καθορίζει εάν οι πεζοί θα σταματήσουν να κινούνται, σε περίπτωση που η κατεύθυνση κίνησης έχει απόκλιση 90 μοιρών από την επιθυμητή κατεύθυνση.

Dynamic Potentials: Είναι παράμετροι που έχουν να κάνουν με την επιλογή πορείας κατά τη διάρκεια της κίνησης.

Η επιθυμητή ταχύτητα ορίστηκε στα 5km/h (1.3 m/s) με διακύμανση ± 1 km/h.

Πίνακας Αφετηρίας-Προορισμού

Βασικό κεφάλαιο των δεδομένων εισόδου στο πρόγραμμα αποτελεί ο καθορισμός του πίνακα Αφετηρίας-Προορισμού (OD matrix) δηλαδή σε ποιες περιοχές υπάρχει άφιξη πεζών στο χώρο, τα χαρακτηριστικά αυτής της άφιξης και ο προορισμός τους.

Λόγω της στοχαστικότητας του μοντέλου, η άφιξη εισάγεται με τη μορφή κατανομής, με το χρήστη να καθορίζει τη ροή της άφιξης των πεζών σε μονάδες [πεζοί/h] και το χρόνο εισόδου (time interval) . Έτσι καθορίζεται από το χρήστη περίπου πόσοι άνθρωποι βρίσκονται στο συγκεκριμένο χώρο στην αρχή της προσομοίωσης. Σε κάθε εκτέλεση, πάντα στα πλαίσια των δεδομένων εισόδου, υπάρχουν μικρές διαφοροποιήσεις στη ροή άφιξης και το γεγονός αυτό συμβάλει στην αποτελεσματικότητα του μοντέλου και οδηγεί σε πιο ασφαλή συμπεράσματα.

Στην εφαρμογή αυτή, ορίστηκαν τέσσερις χώροι ως ‘Αφετηρία’ τεσσάρων ομάδων πεζών αντίστοιχα και ένας χώρος, κοινός, ως ‘Προορισμός’. Ο χρόνος εισόδου ορίστηκε στο 1 sec και η κατανομή αφίξεων όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2: Κατανομή αφίξεων, Αφετηρία-Προορισμός

ΑΦΕΤΗΡΙΑ	ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΣ	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΦΙΞΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΠΕΖΟΙ
1: Χώρος αποσκευών	5: Ασφαλής χώρος	1080000 πεζοί/h	0-1 sec	~300
2: Χώρος Check in (1)		1080000 πεζοί/h	0-1 sec	~300
3 Χώρος Check in (2)		1080000 πεζοί/h	0-1 sec	~300
4: Χώρος αναμονής		180000 πεζοί/h	0-1 sec	~50

5.1.2: Περιγραφή σεναρίων

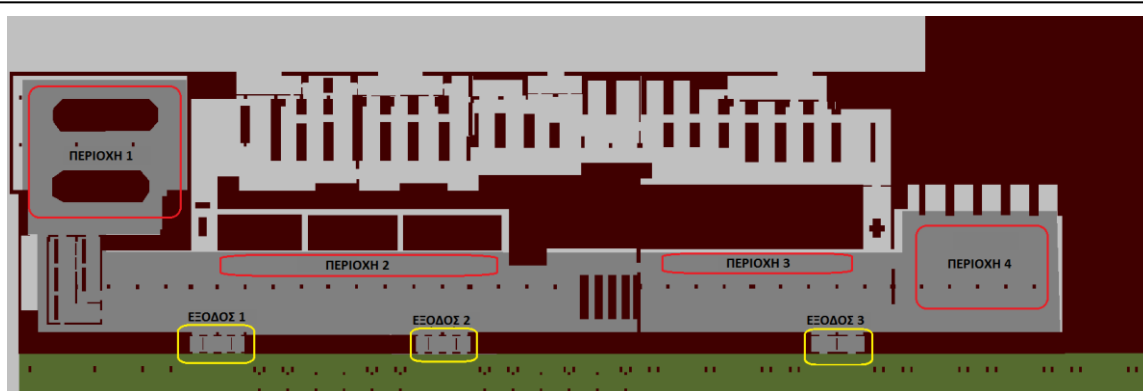
Για το σκοπό της Διπλωματικής Εργασίας, εξετάστηκαν τρία σενάρια.

Σενάριο 1: 'Βασικό'

Το πρώτο σενάριο το οποίο εξετάστηκε, χαρακτηρίζεται βασικό, καθώς το κτίριο επιβατών που εξετάζεται έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτά που προκύπτουν από τα σχέδια κάτοψης.

Οι τρεις εισοδοί που χρησιμοποιούνται έχουν τις διαστάσεις που υποδεικνύονται από τα σχέδια κάτοψης. Οι χώροι οι οποίοι ορίστηκαν ως αφετηρία για κάθε ομάδα πεζών όπως και οι διαστάσεις των θυρών σε κάθε έξοδο φαίνονται στον πίνακα.

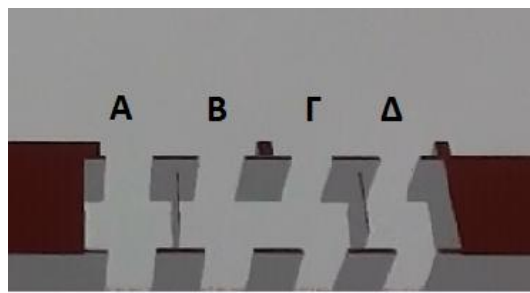
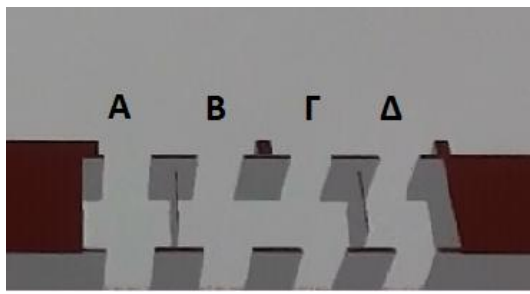
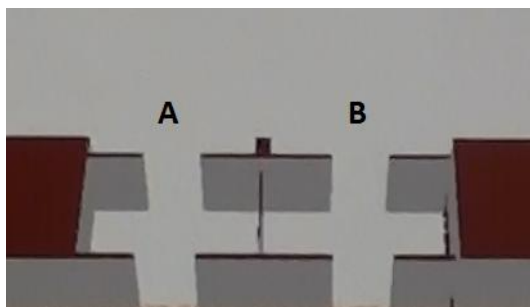
Πίνακας 5.3: Δεδομένα εισόδου, Σενάριο 1



	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ	1	Χώρος παραλαβής αποσκευών
	2	Χώρος Check in (1)
	3	Χώρος Check in (2)
	4	Χώρος αναμονής
	5	Ασφαλής χώρος
ΕΞΟΔΟΣ	1	Έξοδος 1
	2	Έξοδος 2
	3	Έξοδος 3

ΑΦΕΤΗΡΙΑ	ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΣ	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΦΙΞΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΠΕΖΟΙ
1: Χώρος αποσκευών	5: Ασφαλής χώρος	1080000 πεζοί/h	0-1 sec	~300
2: Χώρος Check in (1)		1080000 πεζοί/h	0-1 sec	~300
3 Χώρος Check in (2)		1080000 πεζοί/h	0-1 sec	~300
4: Χώρος αναμονής		180000 πεζοί/h	0-1 sec	~50

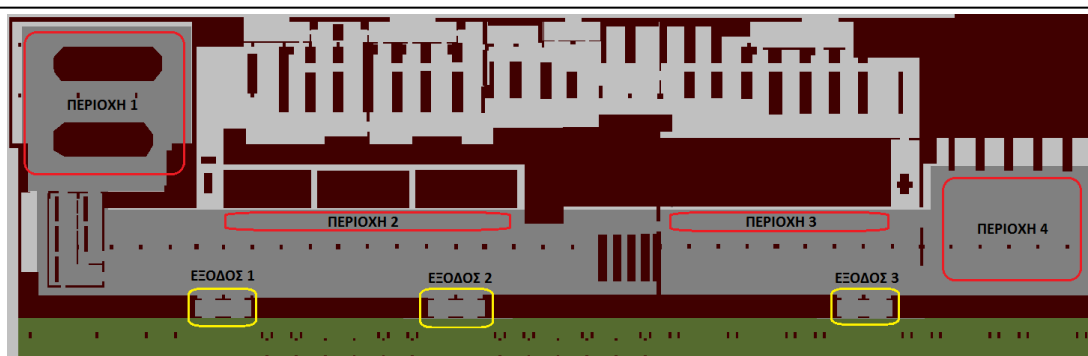
Πίνακας 5.4: Διάταξη θυρών, Σενάριο 1

Έξοδος	Πλάτος θυρών (m)			
	Θύρα			
		Εσωτερική	Εξωτερική	
1	A	1,5	1,5	
	B	1,5	1,5	
	Γ	1,5	1,5	
	Δ	1,5	1,5	
2	A	1,5	1,5	
	B	1,5	1,5	
	Γ	1,5	1,5	
	Δ	1,5	1,5	
3	A	1,8	1,8	
	B	1,8	1,8	

Σενάριο 2

Στο δεύτερο σενάριο που εξετάστηκε, τα δεδομένα εισόδου είναι ίδια με τα δεδομένα του βασικού σεναρίου. Ωστόσο, σε αυτό το σενάριο εξετάζεται πόσο επηρεάζεται η εκκένωση του κτιρίου εάν μειωθεί ο αριθμός των θυρών των Εξόδων 1 και 2 με ταυτόχρονη αύξηση του πλάτους και εάν γίνει αύξηση του πλάτους των θυρών της Εξόδου 3.

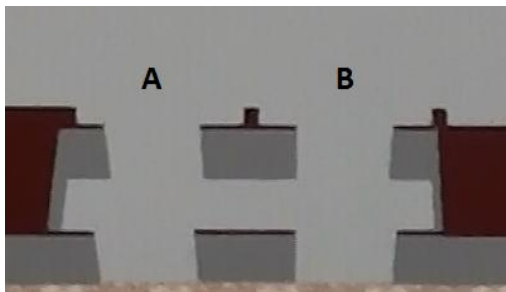
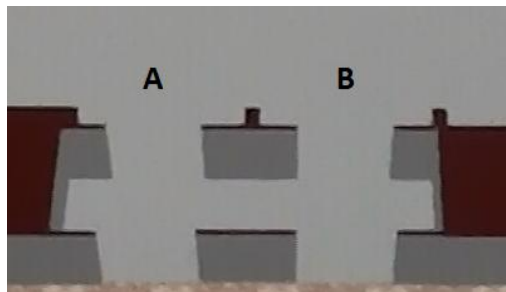
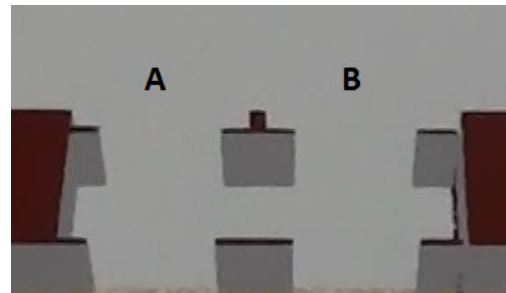
Πίνακας 5.5: Δεδομένα εισόδου, Σενάριο 2



	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ	1	Χώρος παραλαβής αποσκευών
	2	Χώρος Check in (1)
	3	Χώρος Check in (2)
	4	Χώρος αναμονής
	5	Ασφαλής χώρος
ΕΞΟΔΟΣ	1	Έξοδος 1
	2	Έξοδος 2
	3	Έξοδος 3

ΑΦΕΤΗΡΙΑ	ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΣ	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΦΙΞΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΠΕΖΟΙ
1: Χώρος αποσκευών	5: Ασφαλής χώρος	1080000 πεζοί/h	0-1 sec	~300
2: Χώρος Check in (1)		1080000 πεζοί/h	0-1 sec	~300
3 Χώρος Check in (2)		1080000 πεζοί/h	0-1 sec	~300
4: Χώρος αναμονής		180000 πεζοί/h	0-1 sec	~50

Πίνακας 5.6: Διάταξη θυρών, Σενάριο 2

Έξοδο ς	Πλάτος θυρών (m)			
	Θύρα			
		Εσωτερική	Εξωτερική	
1	A	3,0	3,0	
	B	3,0	3,0	
2	A	3,0	3,0	
	B	3,0	3,0	
3	A	3,6	3,6	
	B	3,6	3,6	

Σενάριο 3

Στο τρίτο σενάριο που εξετάστηκε, τα δεδομένα εισόδου είναι ίδια με τα δεδομένα του βασικού σεναρίου. Ωστόσο, σε αυτό το σενάριο εξετάζεται πόσο επηρεάζεται η εκκένωση του κτιρίου εάν μειωθεί περαιτέρω το πλάτος θυρών των Εξόδων 1,2 και 3, σε σχέση με τα πλάτη του δεύτερου σεναρίου.

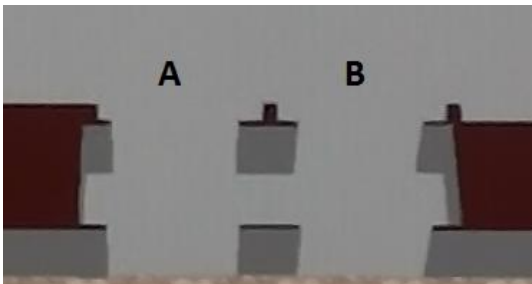
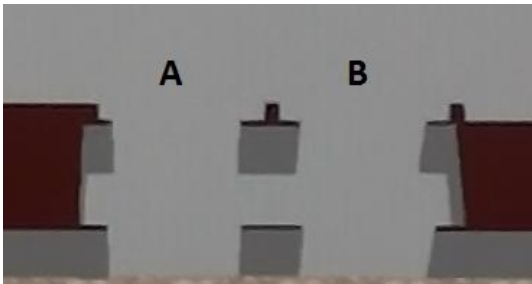
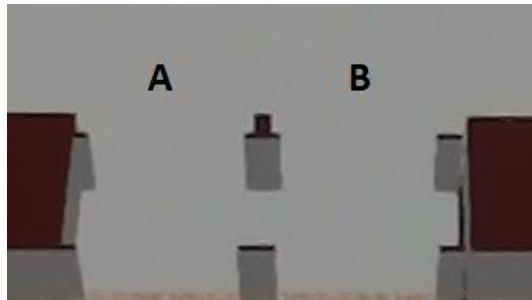
Πίνακας 5.7: Δεδομένα εισόδου, Σενάριο 3



	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ	1	Χώρος παραλαβής αποσκευών
	2	Χώρος Check in (1)
	3	Χώρος Check in (2)
	4	Χώρος αναμονής
	5	Ασφαλής χώρος
ΕΞΟΔΟΣ	1	Έξοδος 1
	2	Έξοδος 2
	3	Έξοδος 3

ΑΦΕΤΗΡΙΑ	ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΣ	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΦΙΞΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΠΕΖΟΙ
1: Χώρος αποσκευών	5: Ασφαλής χώρος	1080000 πεζοί/h	0-1 sec	~300
2: Χώρος Check in (1)		1080000 πεζοί/h	0-1 sec	~300
3 Χώρος Check in (2)		1080000 πεζοί/h	0-1 sec	~300
4: Χώρος αναμονής		180000 πεζοί/h	0-1 sec	~50

Πίνακας 5.8: Διάταξη θυρών, Σενάριο 3

	Πλάτος θυρών (m)			
Έξοδο ς	Θύρα			
		Εσωτερική	Εξωτερική	
1	A	4,0	4,0	
	B	4,0	4,0	
2	A	4,0	4,0	
	B	4,0	4,0	
3	A	4,6	4,6	
	B	4,6	4,6	

5.1.3: Αριθμός επαναλήψεων

Τα μικροσκοπικά μοντέλα προσομοίωσης κυκλοφορίας έχουν το χαρακτηριστικό ότι έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν υπόψη τυχαίες διακυμάνσεις στη συμπεριφορά της κίνησης η οποία εξετάζεται. Αυτή η τυχαιότητα μπορεί να παρουσιαστεί σε πολλές διαδικασίες της προσομοίωσης όπως η διαδικασία εισόδου των πεζών στο κτίριο που προσομοιάζεται, όπως επίσης και στην κατανομή των χαρακτηριστικών των ατόμων που κινούνται στο δίκτυο. Ωστόσο, ενώ αυτή η ιδιαιτερότητα του μοντέλου είναι πολύ χρήσιμη καθώς η προσομοίωση που εφαρμόζεται πλησιάζει αρκετά την πραγματικότητα λόγω της τυχαιότητας αυτής, υπάρχει το ενδεχόμενο αποκλίσεων στα αποτελέσματα αν γίνουν δύο διαδοχικές επαναλήψεις.

Προκειμένου τα εξαγόμενα αποτελέσματα να είναι πιο αξιόπιστα και να μειωθεί η πιθανότητα σφάλματος, είναι απαραίτητο να γίνονται παραπάνω από μία επαναλήψεις και τα αποτελέσματα να λαμβάνονται ως μέσος όρος όλων. Έτσι, στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν πέντε επαναλήψεις της προσομοίωσης και τα αποτελέσματα λήφθηκαν ως ο μέσος όρος αυτών, για κάθε εξεταζόμενο μέγεθος, σύμφωνα με τη μαθηματική σχέση (Toledo T. et al.,2003)

$$N(m) = \left(\frac{S(m)t_{m-1,1-\alpha/2}}{\bar{X}(m)\varepsilon} \right)^2$$

Όπου υπολογίζεται ο απαιτούμενος αριθμός επαναλήψεων.

5.2: Αποτελέσματα

Σε κάθε σενάριο τα αποτελέσματα ελήφθησαν από μετρητές κατάλληλα τοποθετημένους, ανάλογα με το μέγεθος που μετρήθηκε. Πραγματοποιήθηκαν πέντε επαναλήψεις της προσομοίωσης σε κάθε σενάριο και ως τελικές τιμές των μεγεθών ορίστηκε ο μέσος όρος των τιμών από τις πέντε αυτές επαναλήψεις. Οι μετρήσεις ελήφθησαν σε διαστήματα των δέκα δευτερολέπτων.

5.2.1: Σενάριο 1 ‘Βασικό’



Εικόνα 5.2: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Σενάριο 1

Οι μετρητές μέσω των οποίων έγιναν οι μετρήσεις τοποθετήθηκαν στις τρεις εισόδους, σε κάθε εσωτερική θύρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά δέκα δευτερόλεπτα. Μετρήθηκε ο αριθμός των ατόμων που εξέρχονται από κάθε θύρα, στο εκάστοτε χρονικό διάστημα και στη συνέχεια συμπληρώθηκε ο πίνακας κάθε θύρας.

Σε κάθε θύρα, δεδομένου του αριθμού των ατόμων που εξέρχονται ανά δέκα δευτερόλεπτα, υπολογίστηκε ο συνολικός αριθμός ατόμων που έχουν εξέλθει συνολικά, με την πάροδο του χρόνου.

Υπολογίστηκε στη συνέχεια η Ροή πεζών ανά δέκα δευτερόλεπτα, διαιρώντας το αριθμό πεζών με 10 sec . Οι μονάδες ροής είναι πεζοί/sec.

Προκειμένου να περιγραφεί πληρέστερα η ροή σε κάθε θύρα, υπολογίστηκε το μέγεθος Μοναδιαία Ροή, διαιρώντας τη Ροή με το πλάτος ανοίγματος της κάθε θύρας. Οι μονάδες της Μοναδιαίας Ροής είναι πεζοί/sec/m . Συνεπώς, η Μοναδιαία Ροή για τις θύρες των Εξόδων 1 και 2 προέκυψε διαιρώντας τη Ροή με το πλάτος ανοίγματος 1,5 m. και για την Έξοδο 3 διαιρώντας με πλάτος 1,8 m.

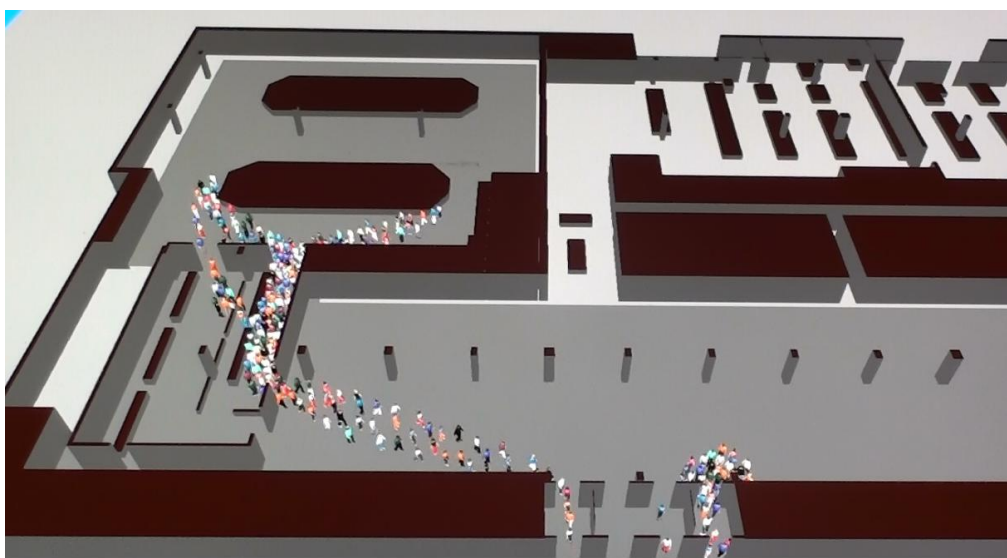
Η στάθμη εξυπηρέτησης υπολογίστηκε σύμφωνα με τον πίνακα (Διαχείριση Κυκλοφορίας, Ι.Φρατζεσκάκης Μ.Χ. ,Πιτσιάβα-Λατινοπούλου, Δ.Α.Τσαμπούλας) :

Πίνακας 5.9: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]
A	<0,11
B	<0,38
C	<0,55
D	<0,82
E	<1,37
F	Μεταβλητό

Σε περιοχή με στάθμη εξυπηρέτησης Α, οι πεζοί κινούνται ελεύθερα, χωρίς να υποχρεούνται να αλλάξουν την πορεία τους λόγω άλλων πεζών. Η ταχύτητα βαδίσματος επιλέγεται ελεύθερα και η πιθανότητα σύγκρουσης πεζών είναι μηδαμινή. Στη στάθμη Β, υπάρχει αρκετός χώρος ώστε να μπορούν οι πεζοί να επιλέγουν ελεύθερα ταχύτητα βαδίσματος, να προσπερνούν και να αποφεύγουν συγκρούσεις μεταξύ τους, ωστόσο αρχίζουν να αντιλαμβάνονται άλλους πεζούς και αντιδρούν στην παρουσία τους επιλέγοντας την κατάλληλη πορεία. Στη στάθμη C, υπάρχει αρκετός χώρος ώστε να μπορούν οι πεζοί να επιλέγουν ελεύθερα ταχύτητα βαδίσματος ωστόσο υπάρχει ενδεχόμενο μικρών συγκρούσεων και τόσο η ταχύτητα όσο και ο αριθμός πεζών που μπορούν να εξυπηρετηθούν σε μία επιφάνεια μειώνονται. Στη στάθμη D, περιορίζεται η ελευθερία επιλογής της ταχύτητας βαδίσματος και η δυνατότητα προσπέρασης άλλων πεζών. Η αποφυγή σύγκρουσης απαιτεί συχνές αλλαγές στην ταχύτητα και θέση. Στη στάθμη E, σχεδόν όλοι οι πεζοί έχουν περιορίσει την ταχύτητα βαδίσματος και οι φόρτοι σχεδιασμού πλησιάζουν τα όρια της κυκλοφοριακής ικανότητας με αποτέλεσμα συχνές στάσεις και διακοπές ροής. Τέλος στη στάθμη F, η ταχύτητα περιορίζεται πάρα πολύ και η κίνηση γίνεται μόνο με απλό βάδισμα. Υπάρχει αναπόφευκτη επαφή με άλλους πεζούς, η ροή είναι σποραδική και ασταθής και η διαθέσιμη επιφάνεια πλησιάζει αυτή των περιπτώσεων πεζών που δημιουργούν ουρά.

Έξοδος 1



Εικόνα 5.3: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Έξοδος 1, Σενάριο 1

Πίνακας 5.10: Αποτελέσματα μετρήσεων, Θύρες 1Α,1Β,1Γ,1Δ, Σενάριο 1

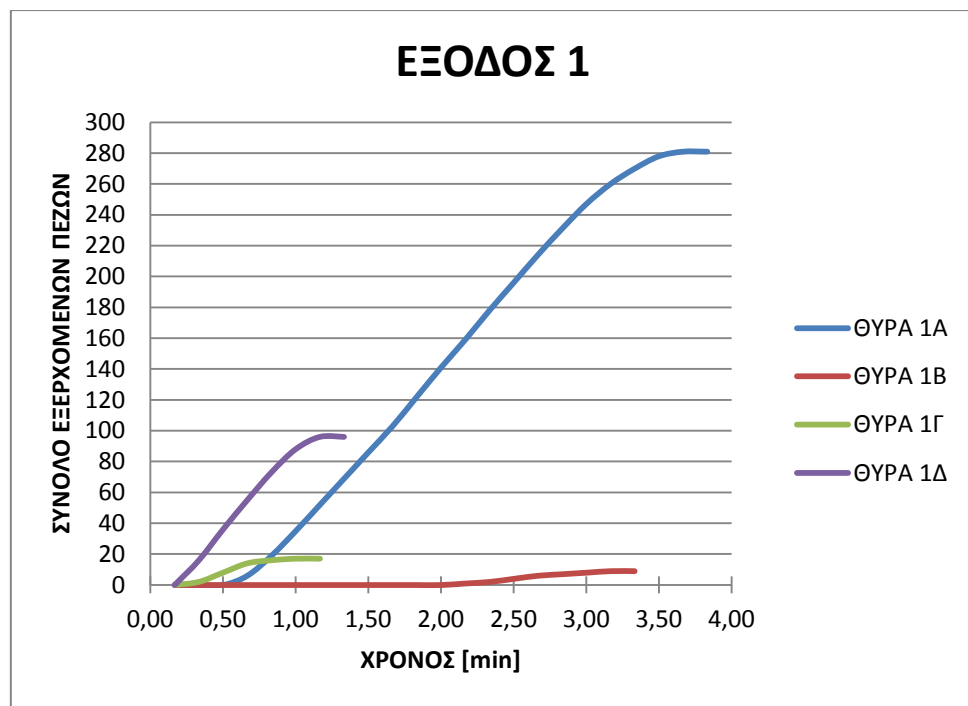
ΘΥΡΑ 1Α						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέ- τησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	0	0	0,00	0,00	A
0,50	21 έως 30	0	0	0,00	0,00	A
0,67	31 έως 40	6	6	0,60	0,40	C
0,83	41 έως 50	13	19	1,30	0,87	E
1,00	51 έως 60	16	35	1,60	1,07	E
1,17	61 έως 70	17	52	1,70	1,13	E
1,33	71 έως 80	17	69	1,70	1,13	E
1,50	81 έως 90	17	86	1,70	1,13	E
1,67	91 έως 100	17	103	1,70	1,13	E
1,83	101 έως 110	19	122	1,90	1,27	E
2,00	111 έως 120	19	141	1,90	1,27	E
2,17	121 έως 130	18	159	1,80	1,20	E
2,33	131 έως 140	19	178	1,90	1,27	E
2,50	141 έως 150	18	196	1,80	1,20	E
2,67	151 έως 160	18	214	1,80	1,20	E
2,83	161 έως 170	17	231	1,70	1,13	E
3,00	171 έως 180	16	247	1,60	1,07	E
3,17	181 έως 190	13	260	1,30	0,87	E
3,33	191 έως 200	10	270	1,00	0,67	D

3,50	201 έως 210	8	278	0,80	0,53	C
3,67	211 έως 220	3	281	0,30	0,20	B
3,83	221 έως 230	0	281	0,00	0,00	A
ΘΥΡΑ 1Β						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέ- τησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	
...	...	...	...	...	...	...
2,00	111 έως 120	0	0	0,00	0,00	A
2,17	121 έως 130	1	1	0,10	0,07	A
2,33	131 έως 140	1	2	0,10	0,07	A
2,50	141 έως 150	2	4	0,20	0,13	B
2,67	151 έως 160	2	6	0,20	0,13	B
2,83	161 έως 170	1	7	0,10	0,07	A
3,00	171 έως 180	1	8	0,10	0,07	A
3,17	181 έως 190	1	9	0,10	0,07	A
3,33	191 έως 200	0	9	0,00	0,00	A

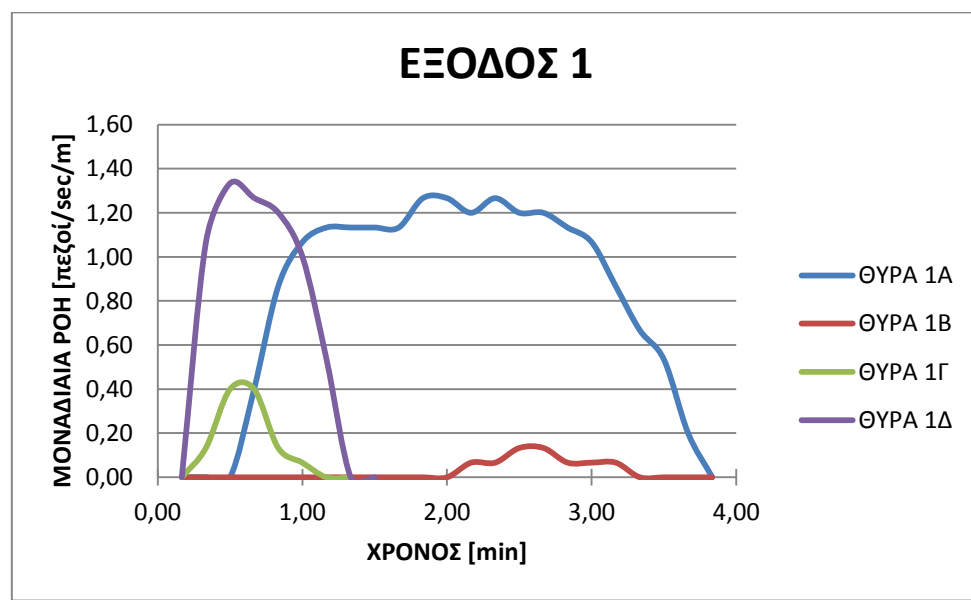
ΘΥΡΑ 1Γ						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέ- τησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	2	2	0,20	0,13	B
0,50	21 έως 30	6	8	0,60	0,40	C
0,67	31 έως 40	6	14	0,60	0,40	C
0,83	41 έως 50	2	16	0,20	0,13	B
1,00	51 έως 60	1	17	0,10	0,07	A
1,17	61 έως 70	0	17	0,00	0,00	A

ΘΥΡΑ 1Δ						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέ- τησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	16	16	1,60	1,07	E
0,50	21 έως 30	20	36	2,00	1,33	E
0,67	31 έως 40	19	55	1,90	1,27	E
0,83	41 έως 50	18	73	1,80	1,20	E
1,00	51 έως 60	15	88	1,50	1,00	E
1,17	61 έως 70	8	96	0,80	0,53	C
1,33	71 έως 80	0	96	0,00	0,00	A

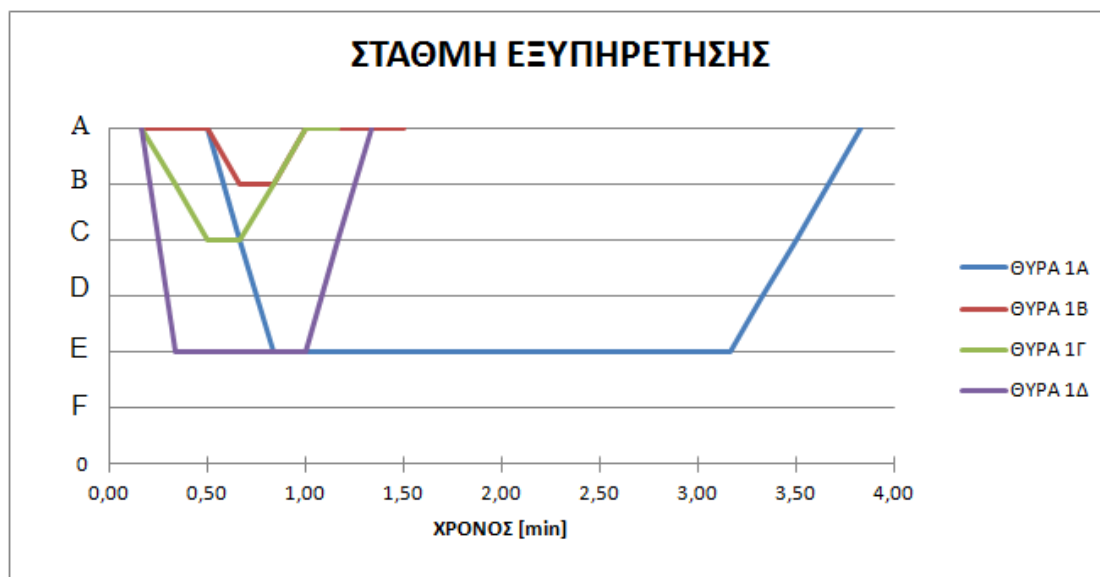
Διαγράμματα



Διάγραμμα 5.1: Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 1.



Διάγραμμα 5.2: Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 1.



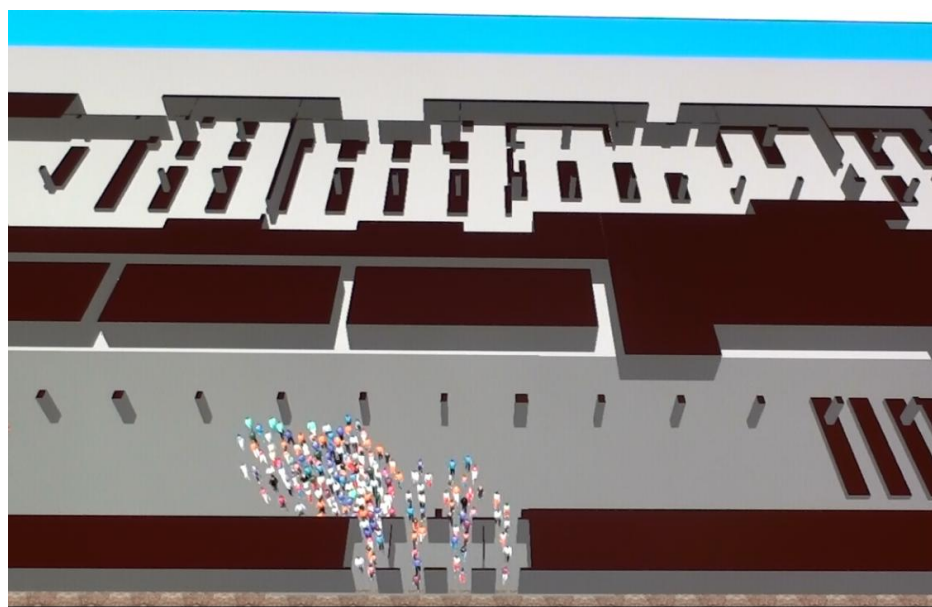
Διάγραμμα 5.3: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 1.

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα του βασικού σεναρίου, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία τους και την κατασκευή διαγραμμάτων δίνουν μία πλήρη εικόνα της λειτουργίας της Εξόδου 1.

Πιο αναλυτικά, η θύρα η οποία χρησιμοποιείται περισσότερο είναι η 1Α, στην οποία η ροή διαρκεί περισσότερο χρόνο και εξυπηρετεί περισσότερους πεζούς. Η λειτουργία της χαρακτηρίζεται από στάθμη εξυπηρέτησης Ε κατά τη διάρκεια της εκκένωσης, με τους πεζούς να περιορίζουν την κανονική ταχύτητα βαδίσματος. Από τη θύρα 1Α εξέρχονται 281 πεζοί από την αρχή της προσομοίωσης έως το 220ό δευτερόλεπτο. Από την 1Β εξέρχονται συνολικά 9 πεζοί με στάθμη εξυπηρέτησης Β, από την 1Γ 17 με στάθμη εξυπηρέτησης C και από την 1Δ 96 πεζοί με στάθμη εξυπηρέτησης Ε.

Έξοδος 2



Εικόνα 5.4: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Έξοδος 2, Σενάριο 1

Πίνακες

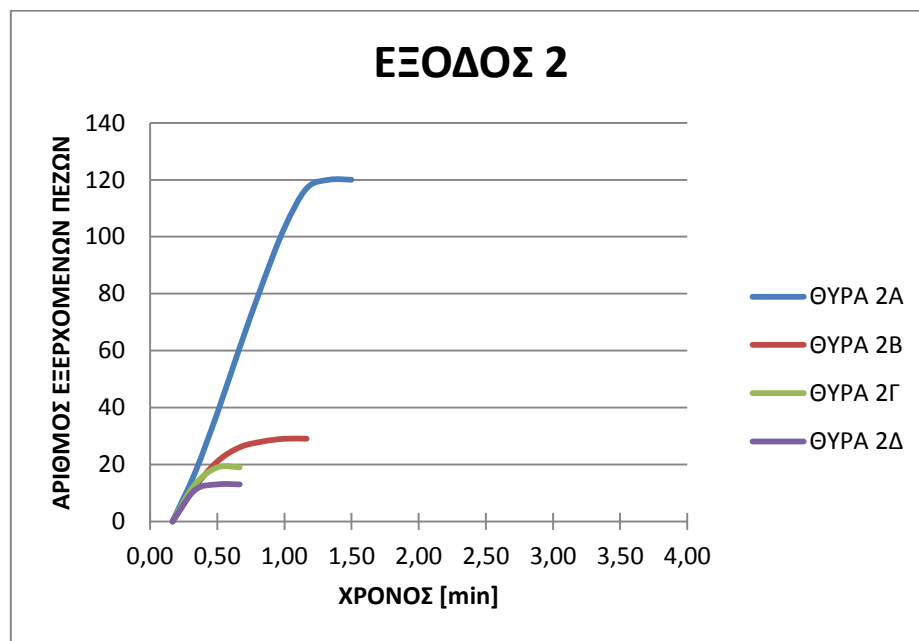
Πίνακας 5.11: Αποτελέσματα μετρήσεων , Θύρες 2Α,2Β,2Γ,2Δ , Σενάριο 1

ΘΥΡΑ 2Α						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	17	17	1,70	1,13	E
0,50	21 έως 30	21	38	2,10	1,40	F
0,67	31 έως 40	23	61	2,30	1,53	F
0,83	41 έως 50	22	83	2,20	1,47	F
1,00	51 έως 60	20	103	2,00	1,33	E
1,17	61 έως 70	14	117	1,40	0,93	E
1,33	71 έως 80	3	120	0,30	0,20	B
1,50	81 έως 90	0	120	0,00	0,00	A

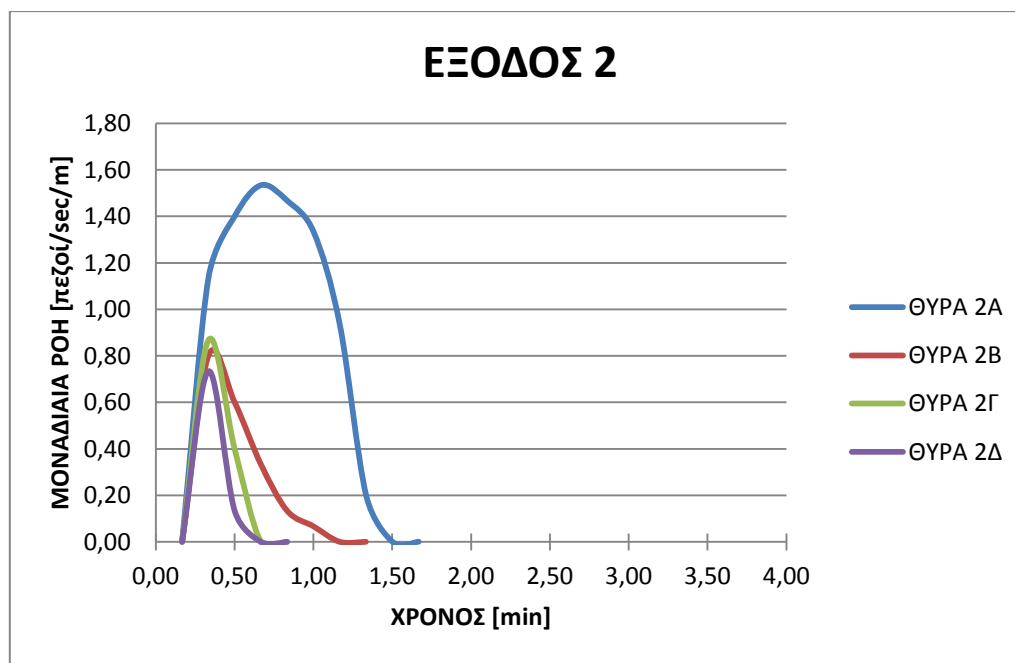
ΘΥΡΑ 2Β						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	12	12	1,20	0,80	D
0,50	21 έως 30	9	21	0,90	0,60	D
0,67	31 έως 40	5	26	0,50	0,33	B
0,83	41 έως 50	2	28	0,20	0,13	B
1,00	51 έως 60	1	29	0,10	0,07	A
1,17	61 έως 70	0	29	0,00	0,00	A
ΘΥΡΑ 2Γ						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	13	13	1,30	0,87	E
0,50	21 έως 30	6	19	0,60	0,40	C
0,67	31 έως 40	0	19	0,00	0,00	A

ΘΥΡΑ 2Δ						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	11	11	1,10	0,73	D
0,50	21 έως 30	2	13	0,20	0,13	B
0,67	31 έως 40	0	13	0,00	0,00	A

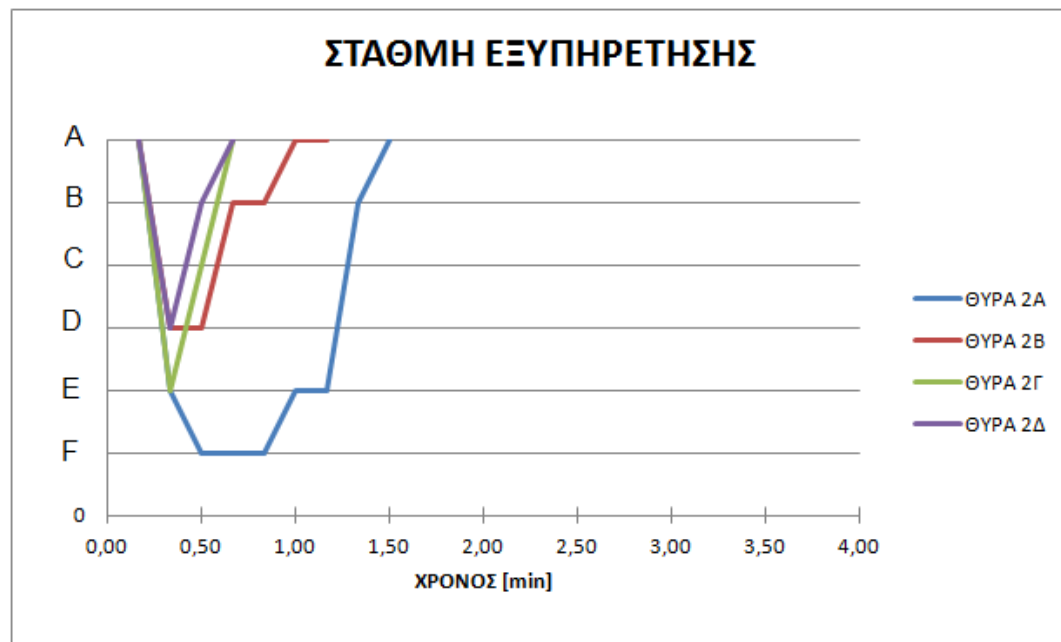
Διαγράμματα



Διάγραμμα 5.4: Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 2, Σενάριο 1.



Διάγραμμα 5.5: Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 2, Σενάριο 1.

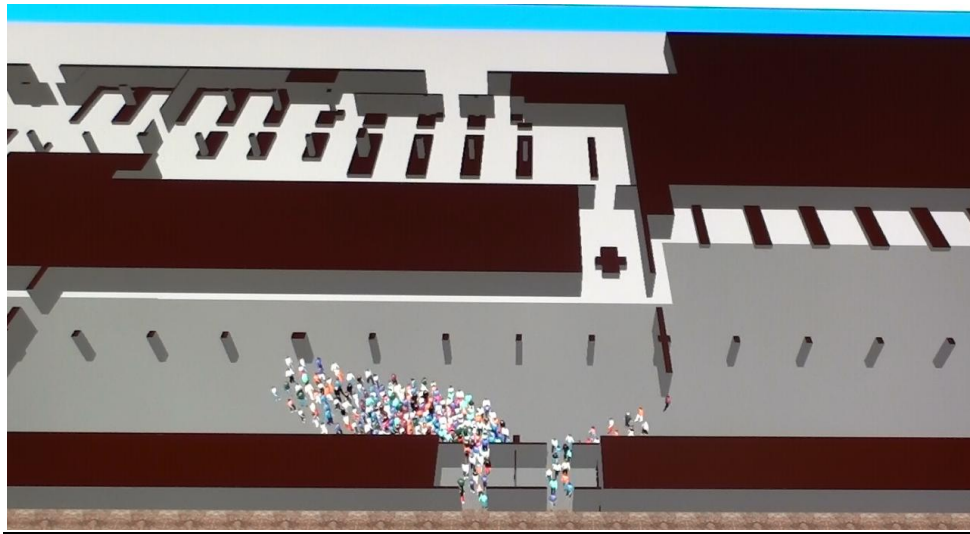


Διάγραμμα 5.6: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 2, Σενάριο 1.

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Μετά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτει πως η θύρα που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι η 2Α, από την οποία εξέρχονται 120 πεζοί συνολικά έως το 90ό δευτερόλεπτο. Η στάθμη εξυπηρέτησης της θύρας αυτής χαρακτηρίζεται F καθώς η Μοναδιαία Ροή ξεπερνά την τιμή 1,37 πεζοί/sec/m. Η θύρα 2Β εξυπηρετεί 29 πεζούς έως το 70ό δευτερόλεπτο και χαρακτηρίζεται με στάθμη εξυπηρέτησης D. Στη συνέχεια η θύρα 2Γ εξυπηρετεί 19 πεζούς έως το 30ό δευτερόλεπτο και είναι στάθμης εξυπηρέτησης E ενώ η θύρα 2Δ εξυπηρετεί 13 πεζούς με στάθμη εξυπηρέτησης D.

Έξοδος 3



Εικόνα 5.5: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Έξοδος 3, Σενάριο 1

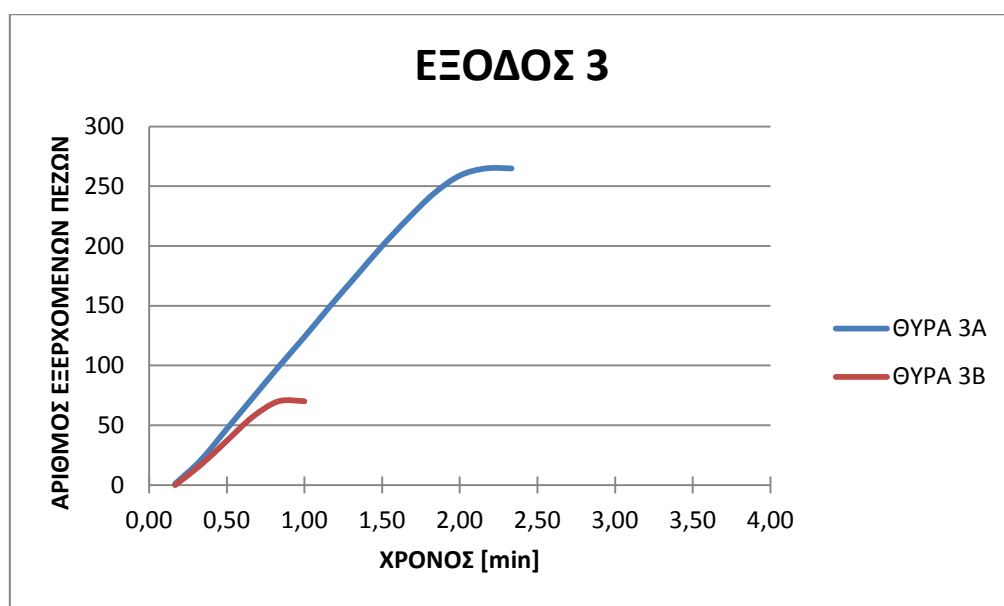
Πίνακες

Πίνακας 5.12: Αποτελέσματα μετρήσεων , Θύρες 3Α,3Β , Σενάριο 1

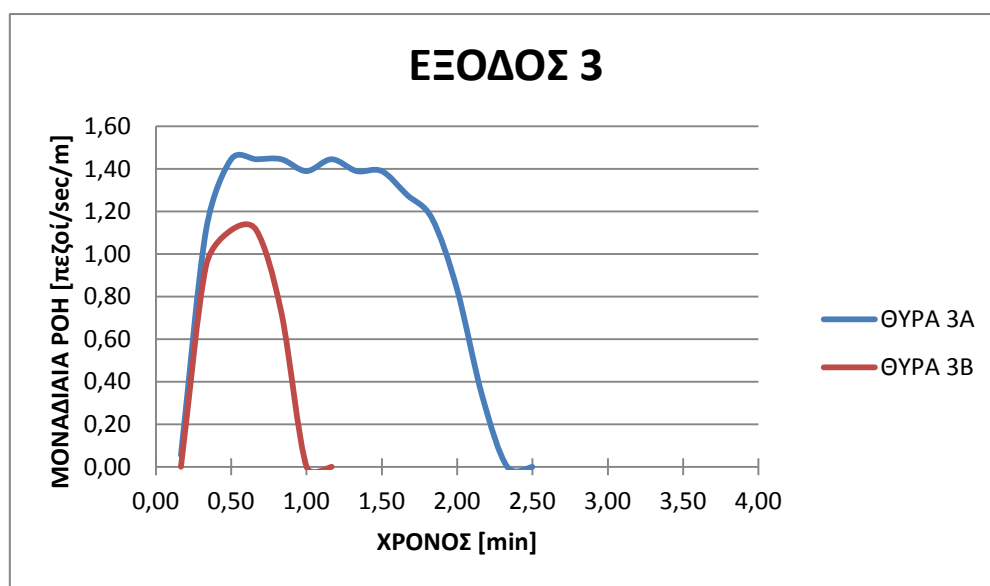
ΘΥΡΑ 3Α						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων n πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	1	1	0,10	0,06	A
0,33	11 έως 20	20	21	2,00	1,11	E
0,50	21 έως 30	26	47	2,60	1,44	F
0,67	31 έως 40	26	73	2,60	1,44	F
0,83	41 έως 50	26	99	2,60	1,44	F
1,00	51 έως 60	25	124	2,50	1,39	F
1,17	61 έως 70	26	150	2,60	1,44	F
1,33	71 έως 80	25	175	2,50	1,39	F
1,50	81 έως 90	25	200	2,50	1,39	F
1,67	91 έως 100	23	223	2,30	1,28	E
1,83	101 έως 110	21	244	2,10	1,17	E
2,00	111 έως 120	15	259	1,50	0,83	E
2,17	121 έως 130	6	265	0,60	0,33	B
2,33	131 έως 140	0	265	0,00	0,00	A

ΘΥΡΑ 3B						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων v πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	17	17	1,70	0,94	E
0,50	21 έως 30	20	37	2,00	1,11	E
0,67	31 έως 40	20	57	2,00	1,11	E
0,83	41 έως 50	13	70	1,30	0,72	D
1,00	51 έως 60	0	70	0,00	0,00	A

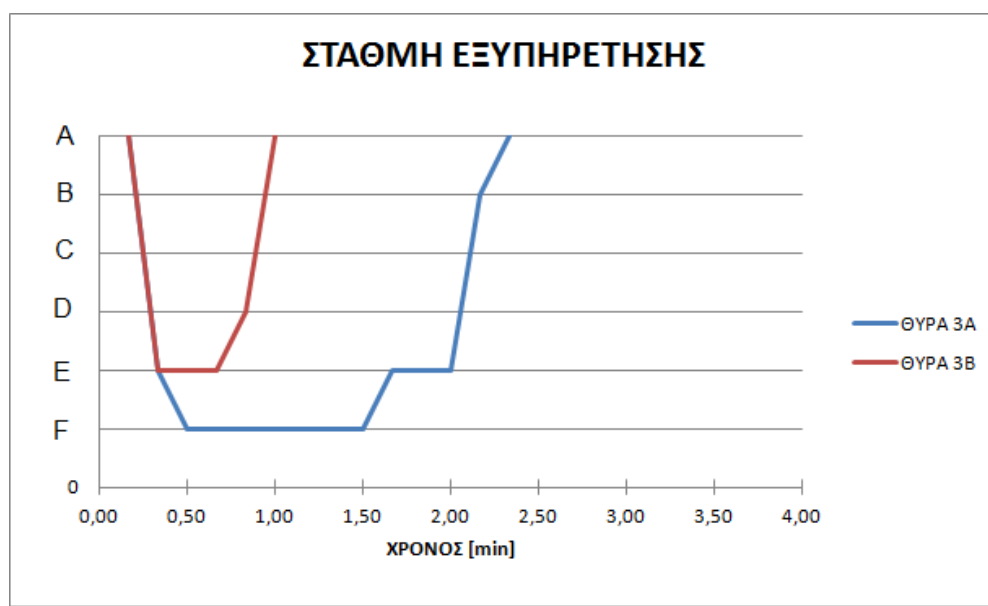
Διαγράμματα



Διάγραμμα 5.7: Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο 1



Διάγραμμα 5.8: Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο 1.



Διάγραμμα 5.9: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο 1.

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

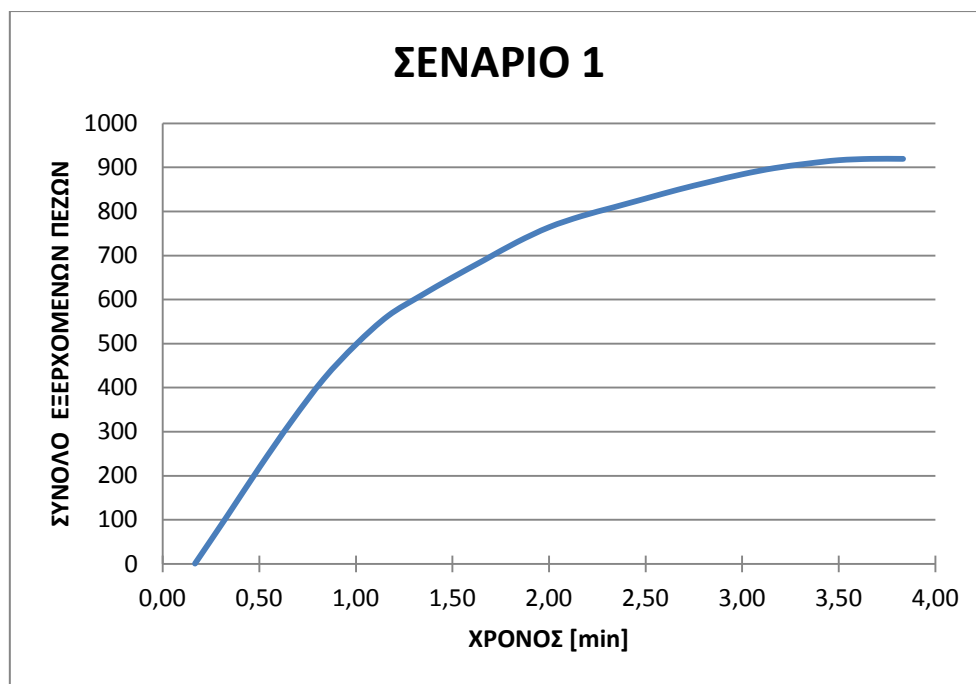
Μετά την επεξεργασία των μετρήσεων είναι φανερό πως η λειτουργία της θύρας 3A παρουσιάζει πρόβλημα. Μέσω αυτής εξέρχονται 265 πεζοί έως το 130ό δευτερόλεπτο κάτι που οδηγεί σε στάθμη εξυπηρέτησης F. Η ταχύτητα βαδίσματος περιορίζεται πολύ και η κίνηση γίνεται μόνο με αργό βάδισμα. Η ροή είναι σποραδική και ασταθής και δημιουργείται ουρά.

Η θύρα 3B εξυπηρετεί 70 πεζούς και έχει στάθμη εξυπηρέτησης E.

Τελικά αποτελέσματα διαδικασίας εκκένωσης του κτιρίου

Πίνακας 5.13: Τελικά αποτελέσματα, Σενάριο 1

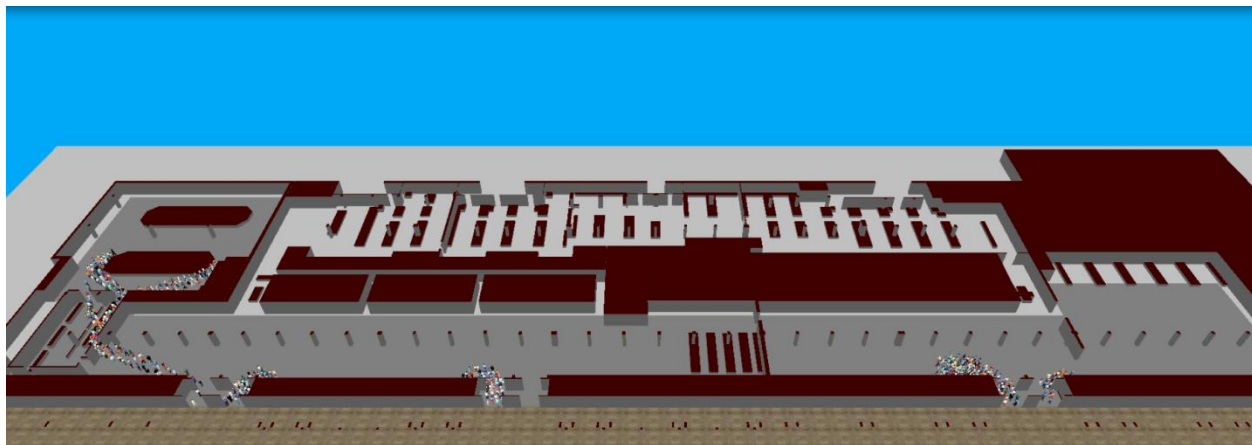
<u>ΣΕΝΑΡΙΟ 1</u>			
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμε ων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών
0,17	0 έως 10	1	1
0,33	11 έως 20	108	109
0,50	21 έως 30	110	219
0,67	31 έως 40	105	324
0,83	41 έως 50	96	420
1,00	51 έως 60	78	498
1,17	61 έως 70	65	563
1,33	71 έως 80	45	608
1,50	81 έως 90	42	650
1,67	91 έως 100	40	690
1,83	101 έως 110	40	730
2,00	111 έως 120	34	764
2,17	121 έως 130	25	789
2,33	131 έως 140	20	809
2,50	141 έως 150	20	829
2,67	151 έως 160	20	849
2,83	161 έως 170	18	867
3,00	171 έως 180	17	884
3,17	181 έως 190	14	898
3,33	191 έως 200	10	908
3,50	201 έως 210	8	916
3,67	211 έως 220	3	919
3,83	221 έως 230	0	919



Διάγραμμα 5.10: Καμπύλη εκκένωσης κτιρίου-Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min], Σενάριο 1

Η διαδικασία εκκένωσης του κτιρίου στο Σενάριο 1 μέσω των Εξόδων 1, 2 και 3 διαρκεί 220 δευτερόλεπτα, δηλαδή 3 λεπτά και 40 δευτερόλεπτα. Οι πεζοί που εκκενώνουν το κτίριο είναι 919 και η καμπύλη εκκένωσης φαίνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα.

5.2.2: Σενάριο 2



Εικόνα 5.6: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Σενάριο 2

Οι μετρητές μέσω των οποίων έγιναν οι μετρήσεις τοποθετήθηκαν στις τρεις εισόδους, σε κάθε εσωτερική θύρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά δέκα δευτερόλεπτα. Μετρήθηκε ο αριθμός των ατόμων που εξέρχονται από κάθε θύρα, στο εκάστοτε χρονικό διάστημα και στη συνέχεια συμπληρώθηκε ο πίνακας κάθε θύρας. Σε κάθε θύρα, δεδομένου του αριθμού των ατόμων που εξέρχονται ανά δέκα δευτερόλεπτα, υπολογίστηκε ο συνολικός αριθμός ατόμων που έχουν εξέλθει συνολικά, με την πάροδο του χρόνου.

Υπολογίστηκε στη συνέχεια η Ροή πεζών ανά δέκα δευτερόλεπτα, διαιρώντας το αριθμό πεζών με 10 sec . Οι μονάδες ροής είναι πεζοί/sec.

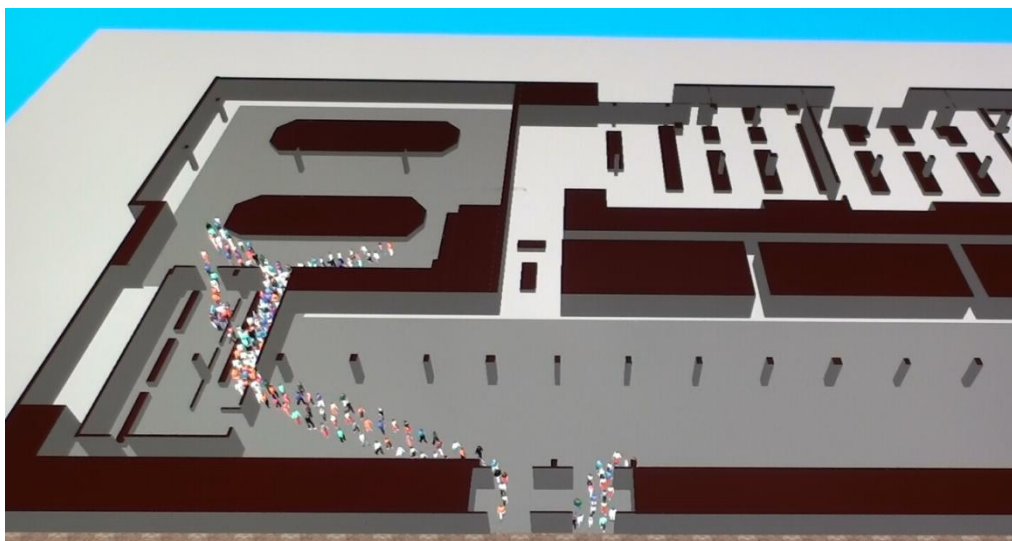
Προκειμένου να περιγραφεί πληρέστερα η ροή σε κάθε θύρα, υπολογίστηκε το μέγεθος Μοναδιαία Ροή, διαιρώντας τη Ροή με το πλάτος ανοίγματος της κάθε θύρας. Οι μονάδες της Μοναδιαίας Ροής είναι πεζοί/sec/m . Συνεπώς, η Μοναδιαία Ροή για τις θύρες των Εξόδων 1 και 2 προέκυψε διαιρώντας τη Ροή με το πλάτος ανοίγματος 3 m. και για την Έξοδο 3 διαιρώντας με πλάτος 3,6 m.

Η στάθμη εξυπηρέτησης υπολογίστηκε σύμφωνα με τον πίνακα (Διαχείριση Κυκλοφορίας, Ι.Φρατζεσκάκης Μ.Χ. ,Πιτσιάβα-Λατινοπούλου, Δ.Α.Τσαμπούλας) :

Πίνακας 5.9: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]
A	<0,11
B	<0,38
C	<0,55
D	<0,82
E	<1,37
F	Μεταβλητό

Έξοδος 1



Εικόνα 5.7: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Έξοδος 1, Σενάριο 2

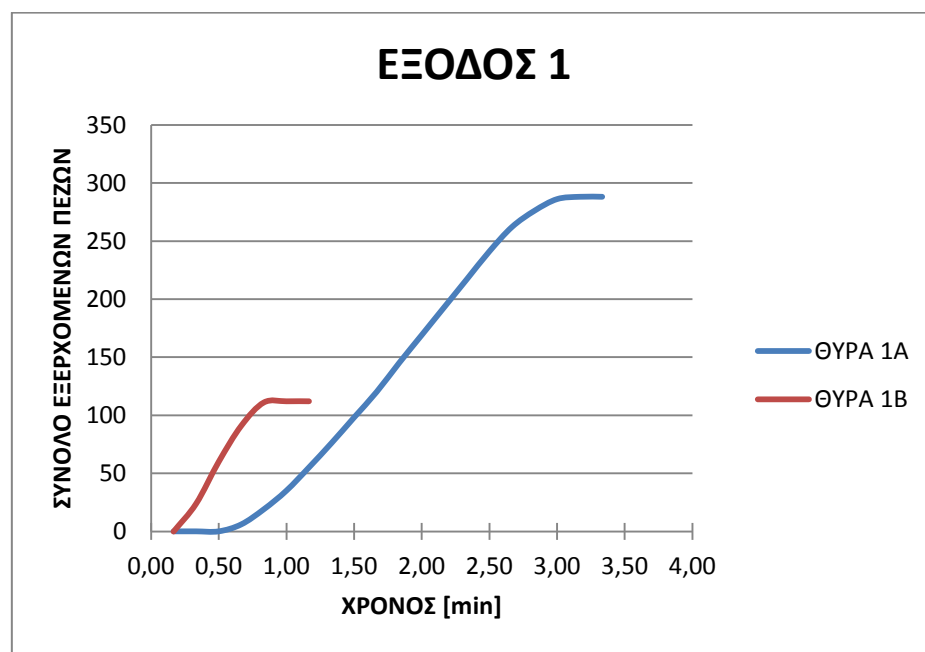
Πίνακες

Πίνακας 5.14: Αποτελέσματα μετρήσεων , Θύρες 1Α,1Β, Σενάριο 2

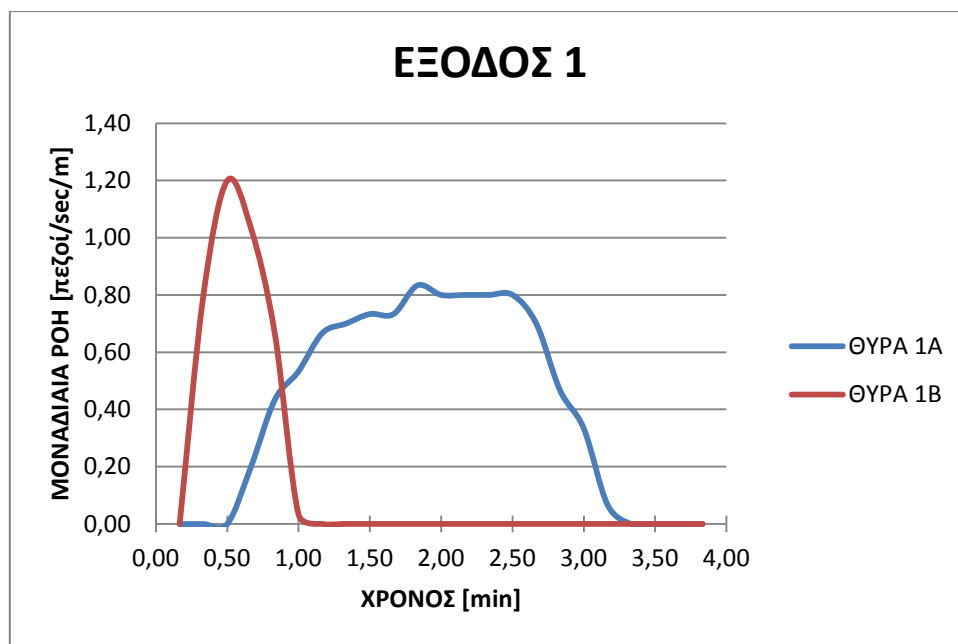
ΘΥΡΑ 1Α						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	
0,33	11 έως 20	0	0	0,00	0,00	
0,50	21 έως 30	0	0	0,00	0,00	A
0,67	31 έως 40	6	6	0,60	0,20	B
0,83	41 έως 50	13	19	1,30	0,43	C
1,00	51 έως 60	16	35	1,60	0,53	C
1,17	61 έως 70	20	55	2,00	0,67	D
1,33	71 έως 80	21	76	2,10	0,70	D
1,50	81 έως 90	22	98	2,20	0,73	D
1,67	91 έως 100	22	120	2,20	0,73	D
1,83	101 έως 110	25	145	2,50	0,83	E
2,00	111 έως 120	24	169	2,40	0,80	D
2,17	121 έως 130	24	193	2,40	0,80	D
2,33	131 έως 140	24	217	2,40	0,80	D
2,50	141 έως 150	24	241	2,40	0,80	D
2,67	151 έως 160	21	262	2,10	0,70	D
2,83	161 έως 170	14	276	1,40	0,47	C
3,00	171 έως 180	10	286	1,00	0,33	B
3,17	181 έως 190	2	288	0,20	0,07	A
3,33	191 έως 200	0	288	0,00	0,00	A

ΘΥΡΑ 1B						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	24	24	2,40	0,80	D
0,50	21 έως 30	36	60	3,60	1,20	E
0,67	31 έως 40	31	91	3,10	1,03	E
0,83	41 έως 50	20	111	2,00	0,67	D
1,00	51 έως 60	1	112	0,10	0,03	A
1,17	61 έως 70	0	112	0,00	0,00	A

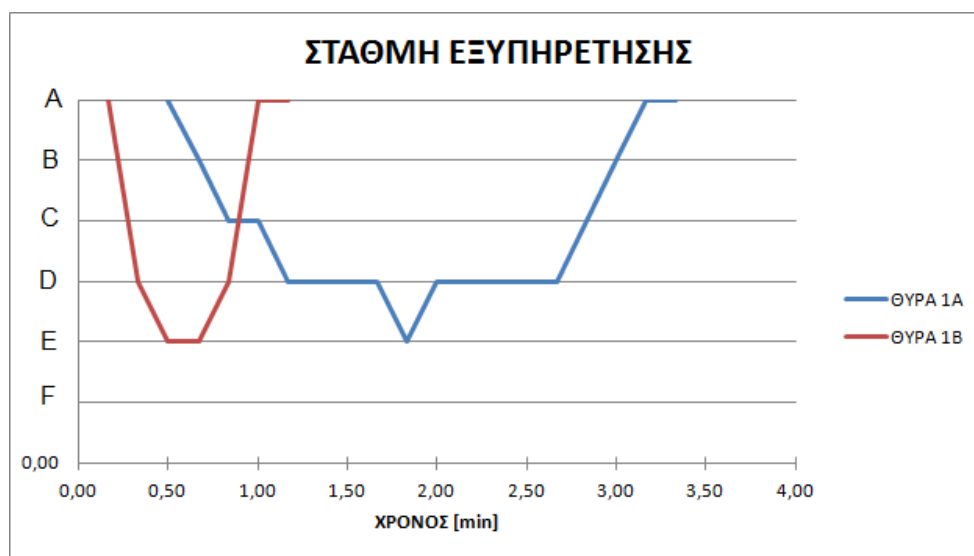
Διαγράμματα



Διάγραμμα 5.11: Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 2



Διάγραμμα 5.12: Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 2.

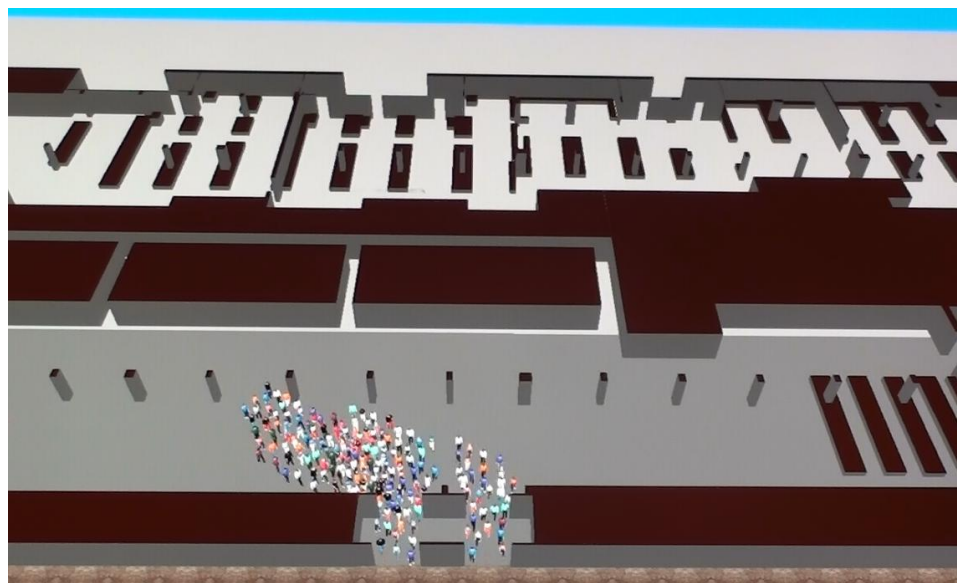


Διάγραμμα 5.13: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 2.

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Σε αυτό το σενάριο εξετάστηκε η περίπτωση η έξοδος 1 να έχει 2 θύρες με πλάτος ανοίγματος 3m η κάθε μία. Μετά την επεξεργασία των μετρήσεων φαίνεται πως η λειτουργία της εξόδου ως σύνολο είναι καλύτερη από αυτή του βασικού σεναρίου. Η θύρα 1A εξυπηρετεί το μεγαλύτερο ποσοστό πεζών, δηλαδή 288 συνολικά έως το 190ό δευτερόλεπτο και η στάθμη εξυπηρέτησης χαρακτηρίζεται Ε, ωστόσο το χρονικό διάστημα στο οποίο έχει αυτή τη στάθμη εξυπηρέτησης είναι πολύ μικρότερο από αυτό του σεναρίου 1. Η θύρα 1B εξυπηρετεί 112 πεζούς έως το 60ό δευτερόλεπτο και έχει στάθμη εξυπηρέτησης Ε.

Έξοδος 2



Εικόνα 5.8: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Έξοδος 2, Σενάριο 2

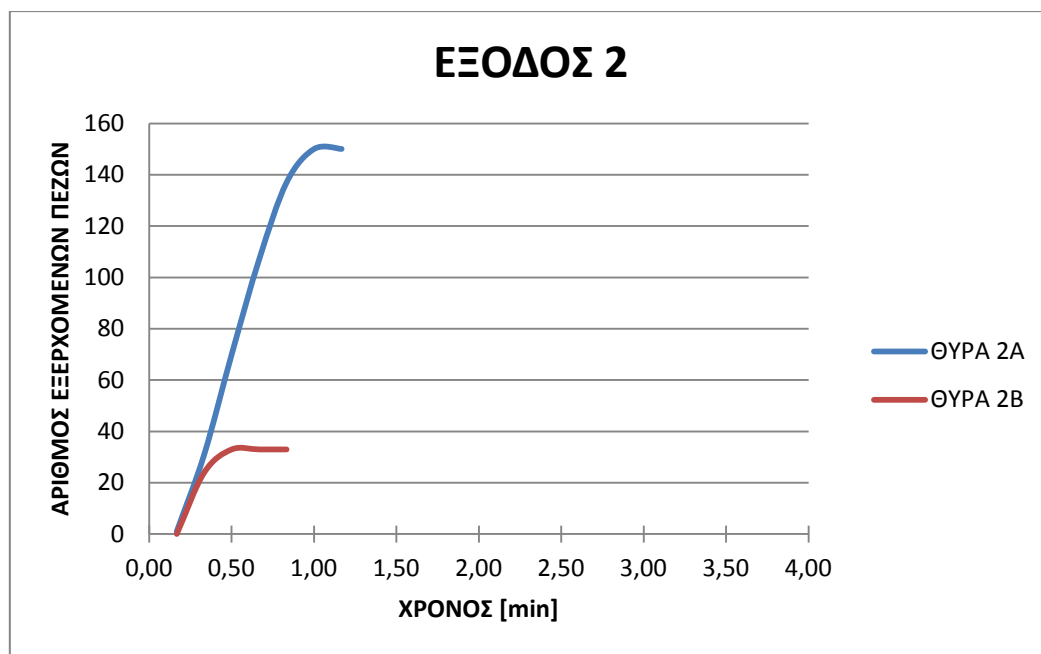
Πίνακες

Πίνακας 5.15: Αποτελέσματα μετρήσεων, Θύρες 2Α,2Β, Σενάριο 2

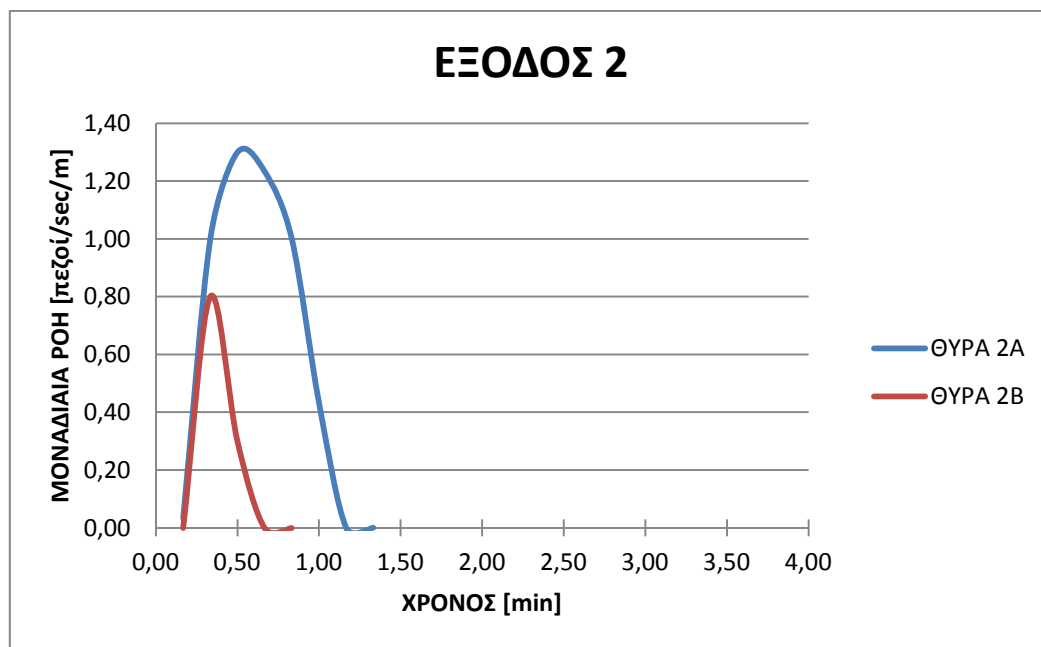
ΘΥΡΑ 2Α						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	1	1	0,10	0,03	A
0,33	11 έως 20	30	31	3,00	1,00	E
0,50	21 έως 30	39	70	3,90	1,30	E
0,67	31 έως 40	37	107	3,70	1,23	E
0,83	41 έως 50	30	137	3,00	1,00	E
1,00	51 έως 60	13	150	1,30	0,43	C
1,17	61 έως 70	0	150	0,00	0,00	A

ΘΥΡΑ 2Β						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων v πεζών	Σύνολο εξερχόμενων v πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	24	24	2,40	0,80	D
0,50	21 έως 30	9	33	0,90	0,30	B
0,67	31 έως 40	0	33	0,00	0,00	A

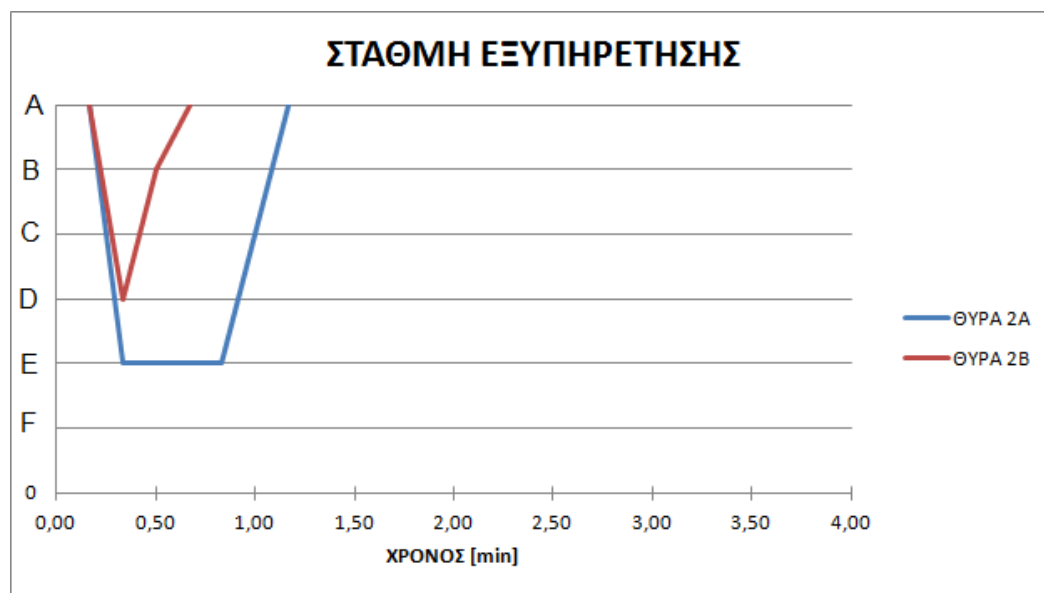
Διαγράμματα



Διάγραμμα 5.14: Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 2, Σενάριο 2



Διάγραμμα 5.15: Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 2, Σενάριο 2.

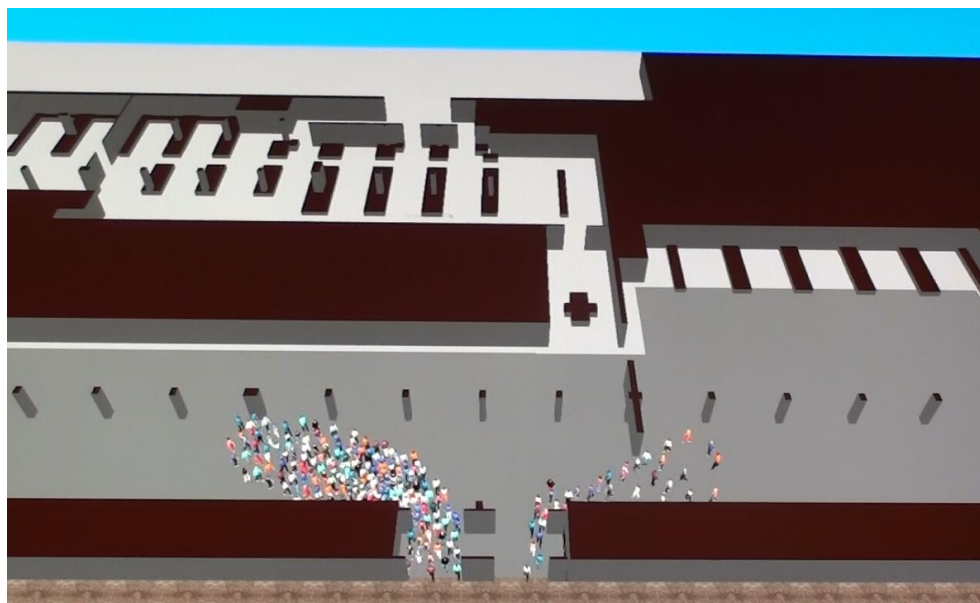


Διάγραμμα 5.16: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου2, Σενάριο 2.

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Σε αυτό το σενάριο εξετάστηκε η περίπτωση η Έξοδος 2 να έχει 2 θύρες με πλάτος ανοίγματος 3m η κάθε μία. Η θύρα 2A εξυπηρετεί 150 πεζούς έως το 60ό δευτερόλεπτο και η στάθμη εξυπηρέτησης της χαρακτηρίζεται E . Από τη θύρα 2B εξέρχονται 33 πεζοί και η στάθμη εξυπηρέτησης είναι D.

Έξοδος 3



Εικόνα 5.9: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Έξοδος 3, Σενάριο 2

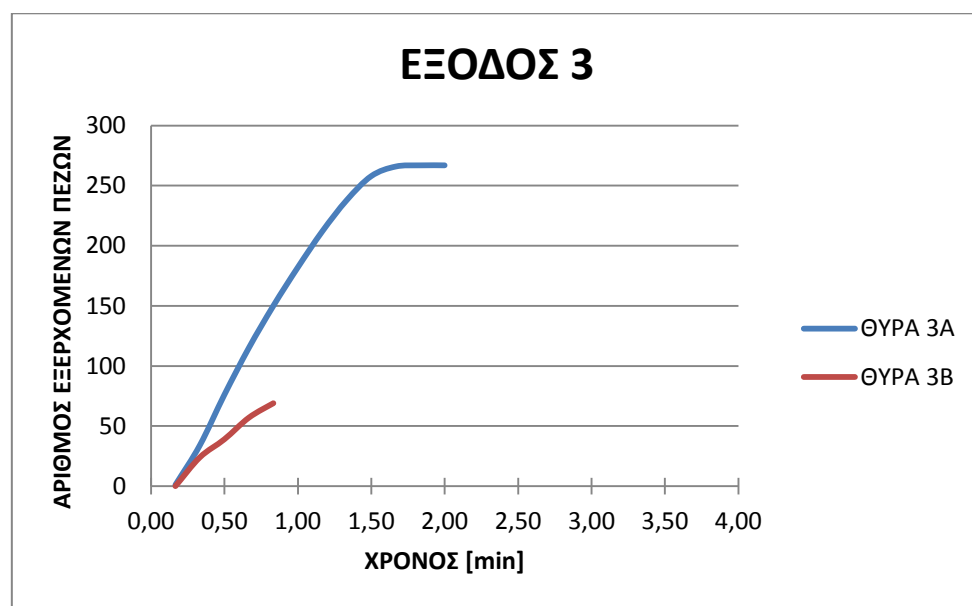
Πίνακες

Πίνακας 5.16: Αποτελέσματα μετρήσεων , Θύρες 3Α,3Β , Σενάριο 2

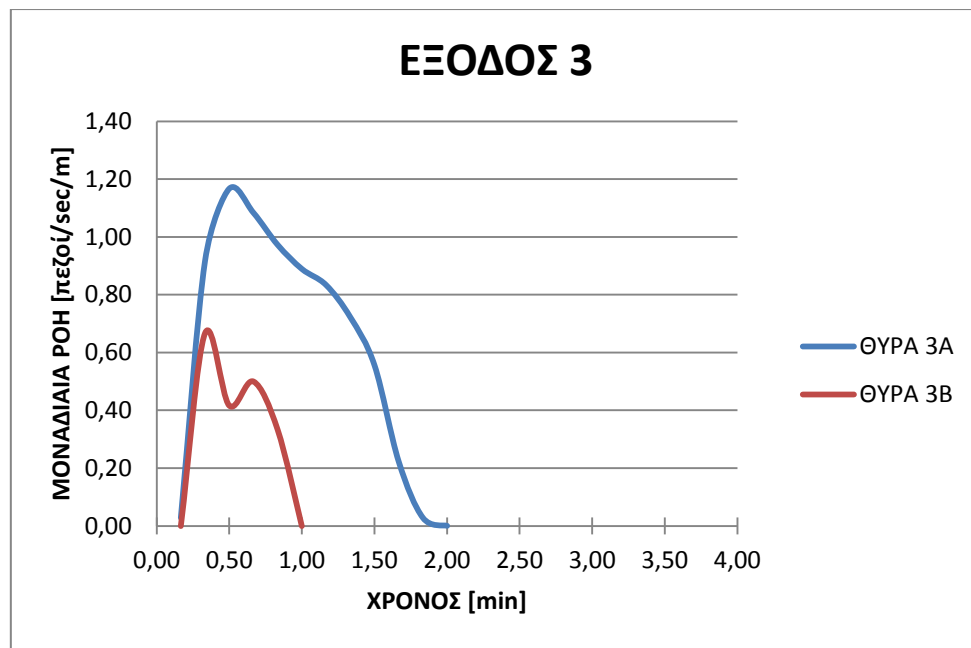
ΘΥΡΑ 3Α						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	1	1	0,10	0,03	A
0,33	11 έως 20	33	34	3,30	0,92	E
0,50	21 έως 30	42	76	4,20	1,17	E
0,67	31 έως 40	39	115	3,90	1,08	E
0,83	41 έως 50	35	150	3,50	0,97	E
1,00	51 έως 60	32	182	3,20	0,89	E
1,17	61 έως 70	30	212	3,00	0,83	E
1,33	71 έως 80	26	238	2,60	0,72	D
1,50	81 έως 90	20	258	2,00	0,56	D
1,67	91 έως 100	8	266	0,80	0,22	B
1,83	101 έως 110	1	267	0,10	0,03	A
2,00	111 έως 120	0	267	0,00	0,00	A

ΘΥΡΑ 3B						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	24	24	2,40	0,67	D
0,50	21 έως 30	15	39	1,50	0,42	C
0,67	31 έως 40	18	57	1,80	0,50	C
0,83	41 έως 50	12	69	1,20	0,33	B
1,00	51 έως 60	0	69	0,00	0,00	A

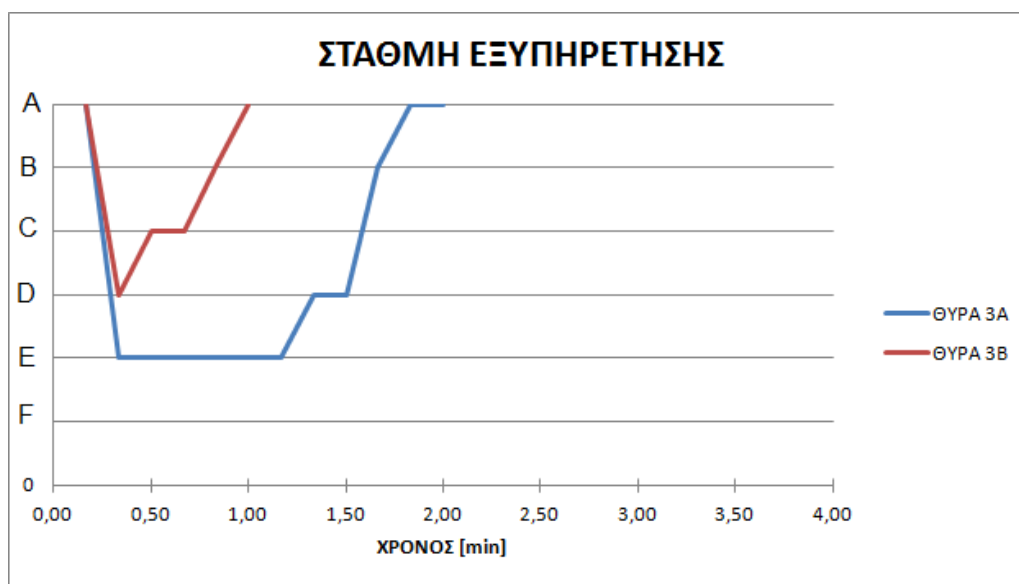
Διαγράμματα



Διάγραμμα 5.17: Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο 2



Διάγραμμα 5.18: Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο 2.



Διάγραμμα 5.19: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο 2.

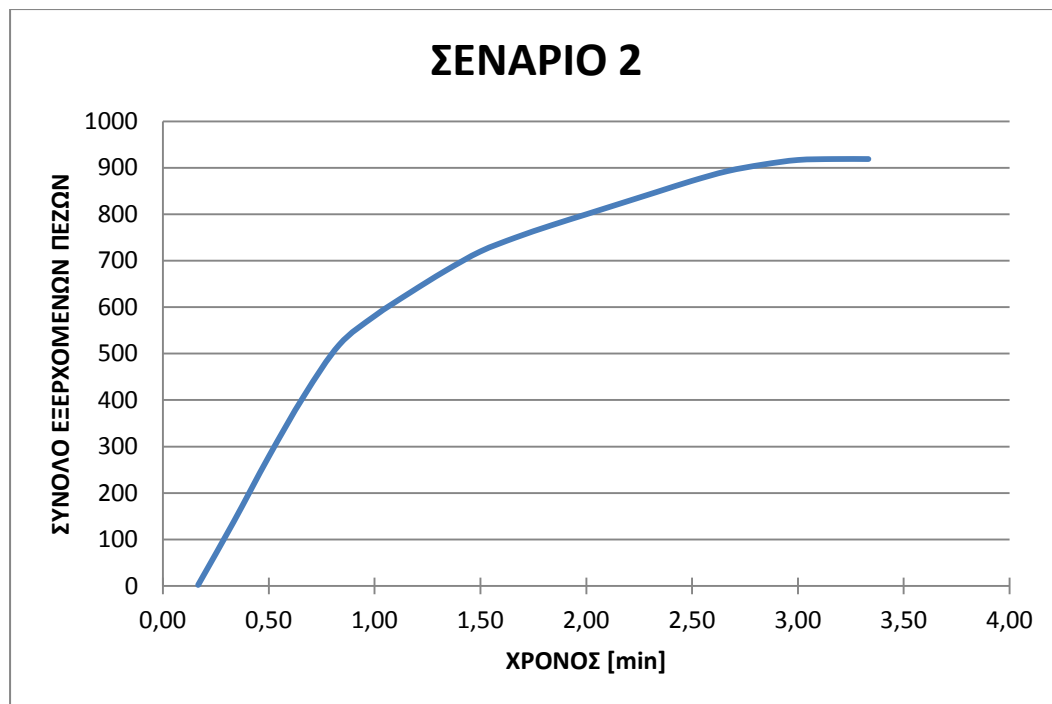
Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Η θύρα 3A εξυπηρετεί 267 πεζούς έως το 110ό δευτερόλεπτο εκκένωσης και η στάθμη εξυπηρέτησης της είναι E. Η θύρα 3B εξυπηρετεί 69 πεζούς έως το 50ό δευτερόλεπτο και η στάθμη εξυπηρέτησης χαρακτηρίζεται D.

Τελικά αποτελέσματα διαδικασίας εκκένωσης του κτιρίου

Πίνακας 5.17: Τελικά αποτελέσματα, Σενάριο 2

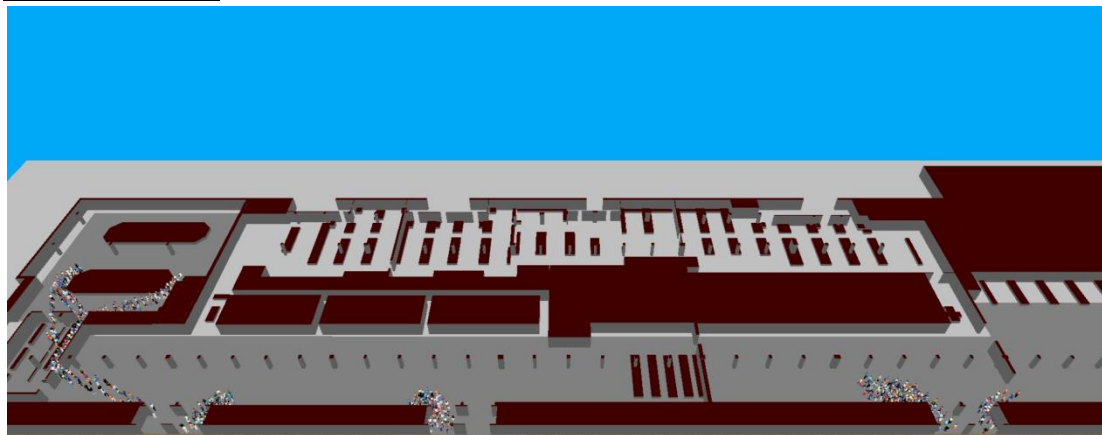
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών
0,17	0 έως 10	2	2
0,33	11 έως 20	135	137
0,50	21 έως 30	141	278
0,67	31 έως 40	131	409
0,83	41 έως 50	110	519
1,00	51 έως 60	62	581
1,17	61 έως 70	50	631
1,33	71 έως 80	47	678
1,50	81 έως 90	42	720
1,67	91 έως 100	30	750
1,83	101 έως 110	26	776
2,00	111 έως 120	24	800
2,17	121 έως 130	24	824
2,33	131 έως 140	24	848
2,50	141 έως 150	24	872
2,67	151 έως 160	21	893
2,83	161 έως 170	14	907
3,00	171 έως 180	10	917
3,17	181 έως 190	2	919
3,33	191 έως 200	0	919



Διάγραμμα 5.20: Καμπύλη εκκένωσης κτιρίου-Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min], Σενάριο 2

Η διαδικασία εκκένωσης του κτιρίου στο Σενάριο 2 μέσω των Εξόδων 1, 2 και 3 διαρκεί 190 δευτερόλεπτα, δηλαδή 3 λεπτά και 10 δευτερόλεπτα. Οι πεζοί που εκκενώνουν το κτίριο είναι 919 και η καμπύλη εκκένωσης φαίνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα.

5.2.3: Σενάριο 3



Εικόνα 5.10: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Σενάριο 3

Οι μετρητές μέσω των οποίων έγιναν οι μετρήσεις τοποθετήθηκαν στις τρεις εισόδους, σε κάθε εσωτερική θύρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά δέκα δευτερόλεπτα. Μετρήθηκε ο αριθμός των ατόμων που εξέρχονται από κάθε θύρα, στο εκάστοτε χρονικό διάστημα και στη συνέχεια συμπληρώθηκε ο πίνακας κάθε θύρας. Σε κάθε θύρα, δεδομένου του αριθμού των ατόμων που εξέρχονται ανά δέκα δευτερόλεπτα, υπολογίστηκε ο συνολικός αριθμός ατόμων που έχουν εξέλθει συνολικά, με την πάροδο του χρόνου.

Υπολογίστηκε στη συνέχεια η Ροή πεζών ανά δέκα δευτερόλεπτα, διαιρώντας το αριθμό πεζών με 10 sec . Οι μονάδες ροής είναι πεζοί/sec.

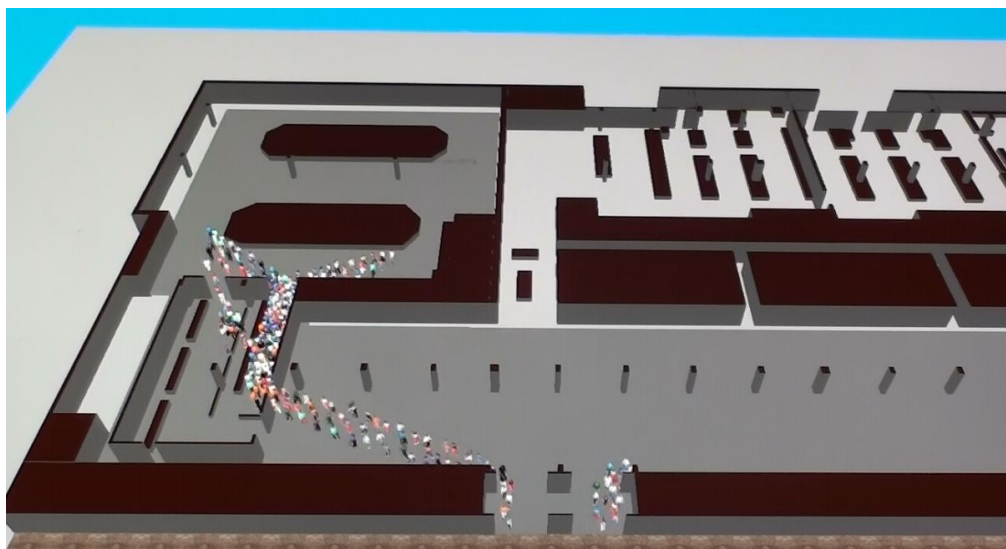
Προκειμένου να περιγραφεί πληρέστερα η ροή σε κάθε θύρα, υπολογίστηκε το μέγεθος Μοναδιαία Ροή, διαιρώντας τη Ροή με το πλάτος ανοίγματος της κάθε θύρας. Οι μονάδες της Μοναδιαίας Ροής είναι πεζοί/sec/m . Συνεπώς, η Μοναδιαία Ροή για τις θύρες των Εξόδων 1 και 2 προέκυψε διαιρώντας τη Ροή με το πλάτος ανοίγματος 4 m. και για την Έξοδο 3 διαιρώντας με πλάτος 4,6 m.

Η στάθμη εξυπηρέτησης υπολογίστηκε σύμφωνα με τον πίνακα (Διαχείριση Κυκλοφορίας, Ι.Φρατζεσκάκης Μ.Χ. ,Πιτσιάβα-Λατινοπούλου, Δ.Α.Τσαμπούλας)

Πίνακας 5.9: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών

ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]
A	<0,11
B	<0,38
C	<0,55
D	<0,82
E	<1,37
F	Μεταβλητό

Έξοδος 1



Εικόνα 5.11: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Έξοδος 1, Σενάριο 3

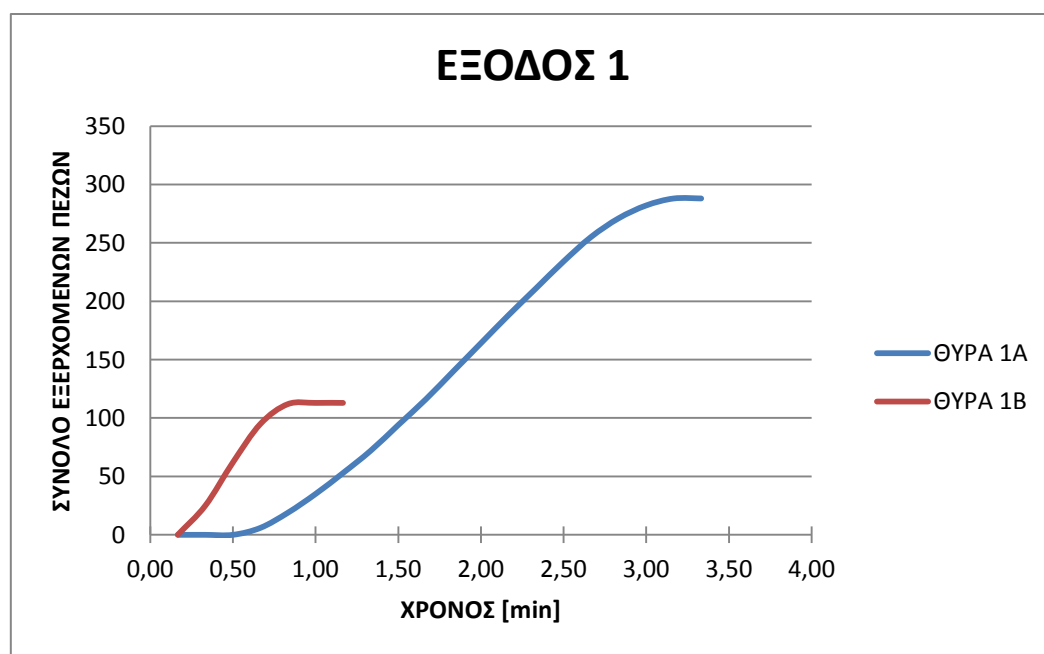
Πίνακες

Πίνακας 5.18: Αποτελέσματα μετρήσεων , Θύρες 1Α,1Β , Σενάριο 3

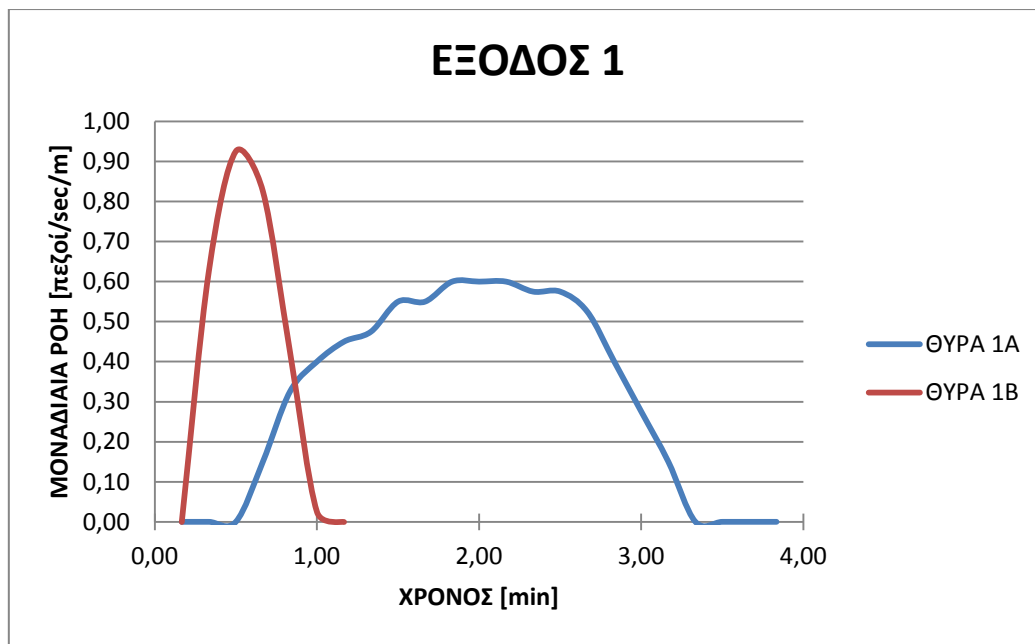
ΘΥΡΑ 1Α						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	
0,33	11 έως 20	0	0	0,00	0,00	
0,50	21 έως 30	0	0	0,00	0,00	A
0,67	31 έως 40	6	6	0,60	0,15	B
0,83	41 έως 50	13	19	1,30	0,33	B
1,00	51 έως 60	16	35	1,60	0,40	C
1,17	61 έως 70	18	53	1,80	0,45	C
1,33	71 έως 80	19	72	1,90	0,48	C
1,50	81 έως 90	22	94	2,20	0,55	C
1,67	91 έως 100	22	116	2,20	0,55	C
1,83	101 έως 110	24	140	2,40	0,60	D
2,00	111 έως 120	24	164	2,40	0,60	D
2,17	121 έως 130	24	188	2,40	0,60	D
2,33	131 έως 140	23	211	2,30	0,58	D
2,50	141 έως 150	23	234	2,30	0,58	D
2,67	151 έως 160	21	255	2,10	0,53	C
2,83	161 έως 170	16	271	1,60	0,40	C
3,00	171 έως 180	11	282	1,10	0,28	B

3,17	181 έως 190	6	288	0,60	0,15	B
3,33	191 έως 200	0	288	0,00	0,00	A
ΘΥΡΑ 1B						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	25	25	2,50	0,63	D
0,50	21 έως 30	37	62	3,70	0,93	E
0,67	31 έως 40	33	95	3,30	0,83	E
0,83	41 έως 50	17	112	1,70	0,43	C
1,00	51 έως 60	1	113	0,10	0,03	A
1,17	61 έως 70	0	113	0,00	0,00	A

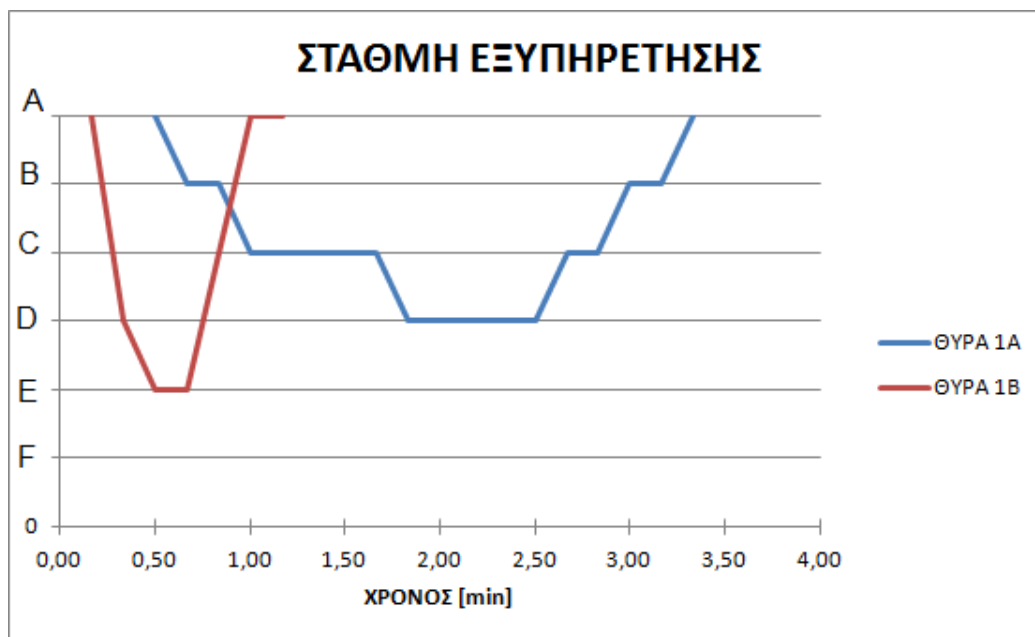
Διαγράμματα



Διάγραμμα 5.21: Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 3



Διάγραμμα 5.22: Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 3.

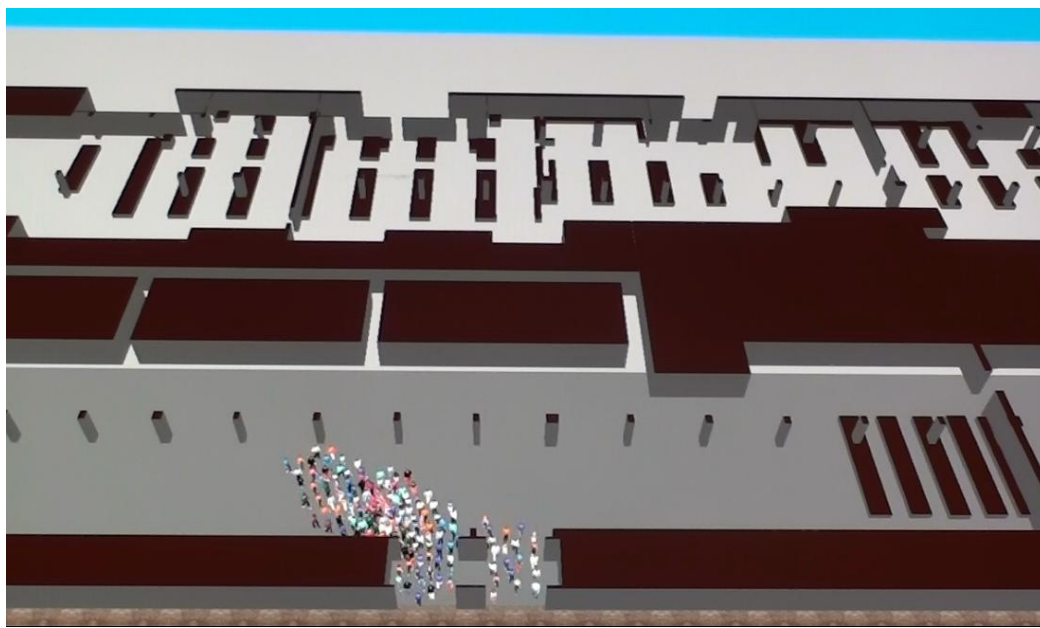


Διάγραμμα 5.23: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 1, Σενάριο 3.

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Από τη θύρα 1Α εξέρχονται 288 πεζοί έως το 190ό δευτερόλεπτο και η στάθμη εξυπηρέτησης είναι D. Από τη θύρα 1Β εξέρχονται 113 άτομα έως το 60ό δευτερόλεπτο και η στάθμη είναι E.

Έξοδος 2



Εικόνα 5.12: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Έξοδος 2, Σενάριο 3

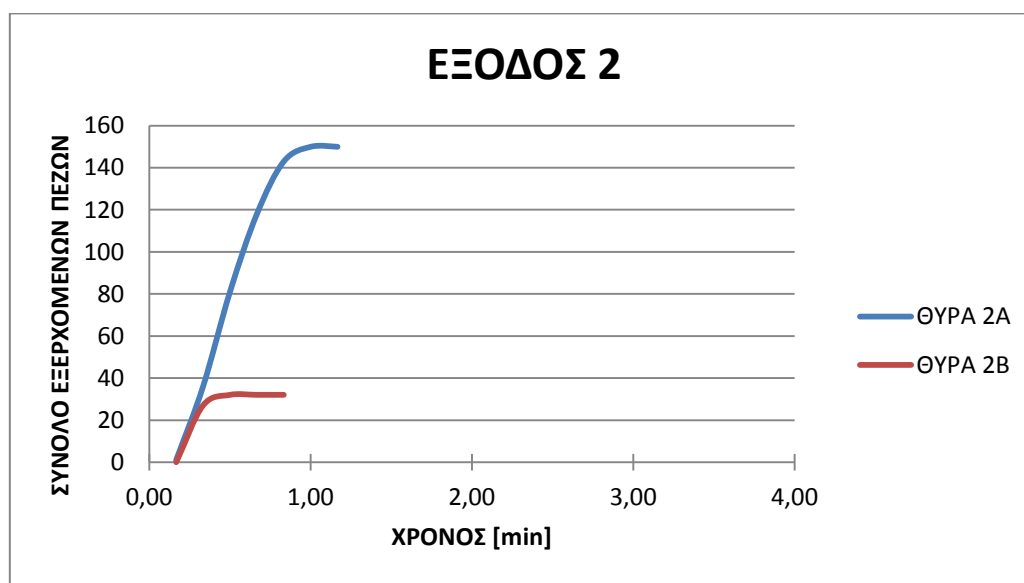
Πίνακες

Πίνακας 5.19: Αποτελέσματα μετρήσεων , Θύρες 2Α,2Β , Σενάριο 3

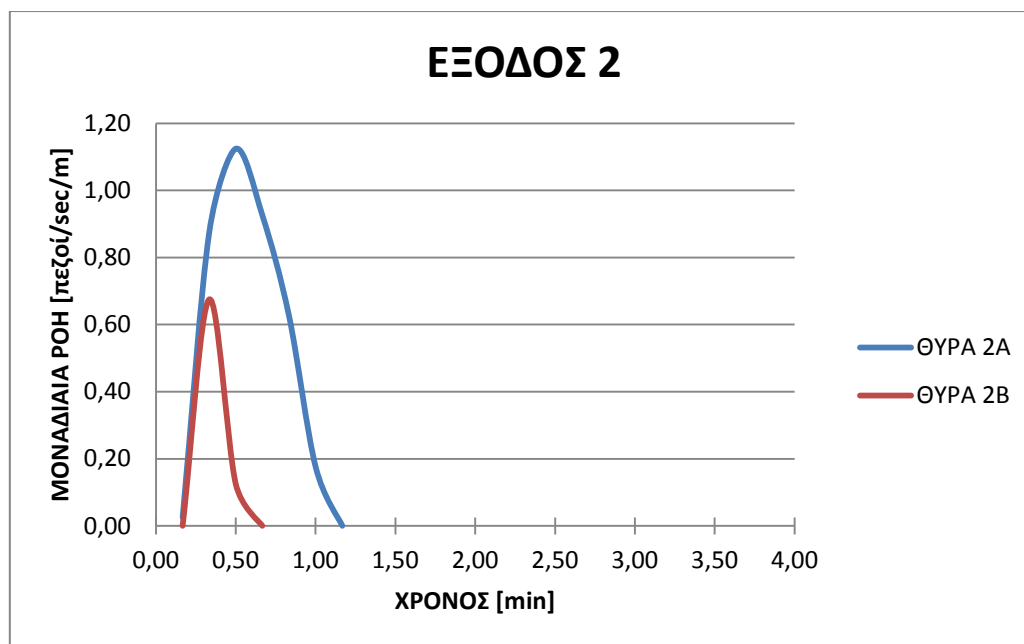
ΘΥΡΑ 2Α						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	1	1	0,10	0,03	A
0,33	11 έως 20	35	36	3,50	0,88	E
0,50	21 έως 30	45	81	4,50	1,13	E
0,67	31 έως 40	37	118	3,70	0,93	E
0,83	41 έως 50	25	143	2,50	0,63	D
1,00	51 έως 60	7	150	0,70	0,18	B
1,17	61 έως 70	0	150	0,00	0,00	A

ΘΥΡΑ 2B						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	27	27	2,70	0,68	D
0,50	21 έως 30	5	32	0,50	0,13	B
0,67	31 έως 40	0	32	0,00	0,00	A

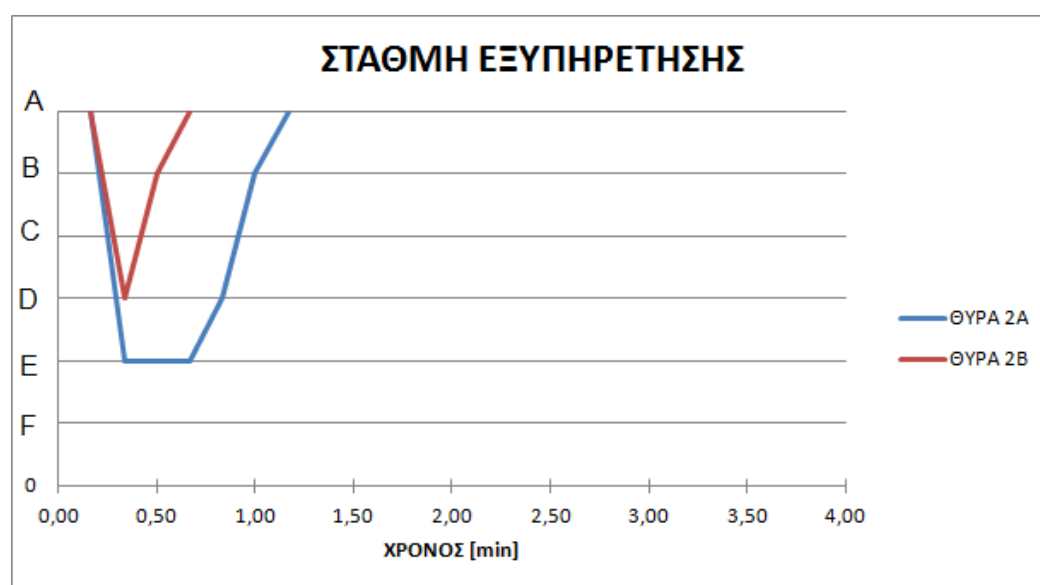
Διαγράμματα



Διάγραμμα 5.24: Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 2, Σενάριο 3



Διάγραμμα 5.25: Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 2, Σενάριο 3.



Διάγραμμα 5.26: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 2, Σενάριο 3.

Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Από τη θύρα 2A εξέρχονται 150 πεζοί έως το 60ό δευτερόλεπτο και η στάθμη εξυπηρέτησης χαρακτηρίζεται Ε. Από τη θύρα 2B εξέρχονται 32 πεζοί και η στάθμη χαρακτηρίζεται D.

Έξοδος 3



Εικόνα 5.13: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Έξοδος 3, Σενάριο 3

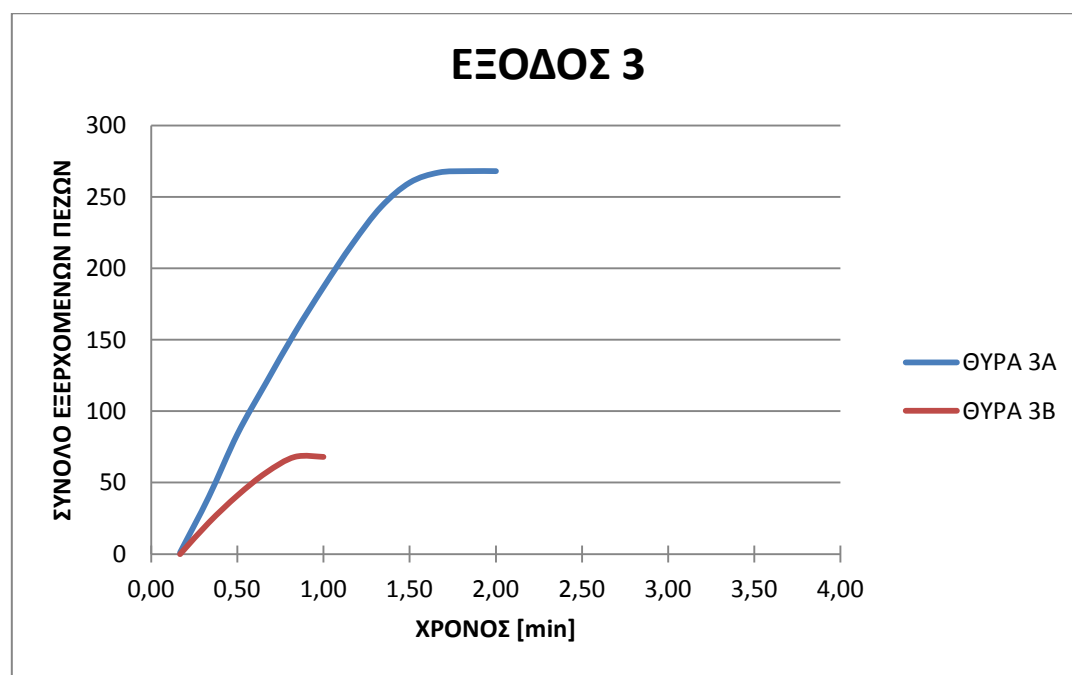
Πίνακες

Πίνακας 5.20: Αποτελέσματα μετρήσεων , Θύρες 3Α,3Β , Σενάριο 3

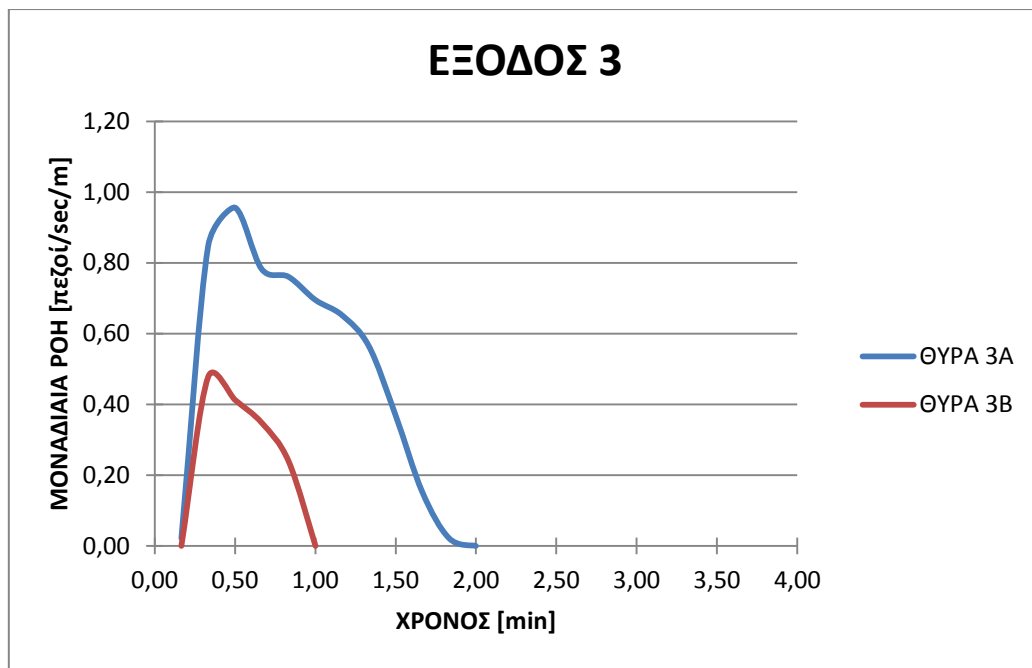
ΘΥΡΑ 3Α						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	1	1	0,10	0,02	A
0,33	11 έως 20	39	40	3,90	0,85	E
0,50	21 έως 30	44	84	4,40	0,96	E
0,67	31 έως 40	36	120	3,60	0,78	D
0,83	41 έως 50	35	155	3,50	0,76	D
1,00	51 έως 60	32	187	3,20	0,70	D
1,17	61 έως 70	30	217	3,00	0,65	D
1,33	71 έως 80	26	243	2,60	0,57	D
1,50	81 έως 90	17	260	1,70	0,37	C
1,67	91 έως 100	7	267	0,70	0,15	B
1,83	101 έως 110	1	268	0,10	0,02	A
2,00	111 έως 120	0	268	0,00	0,00	A

ΘΥΡΑ 3B						
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών	Ροή [πεζοί/sec]	Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m]	Στάθμη εξυπηρέτησης
0,17	0 έως 10	0	0	0,00	0,00	A
0,33	11 έως 20	22	22	2,20	0,48	C
0,50	21 έως 30	19	41	1,90	0,41	C
0,67	31 έως 40	16	57	1,60	0,35	B
0,83	41 έως 50	11	68	1,10	0,24	B
1,00	51 έως 60	0	68	0,00	0,00	A

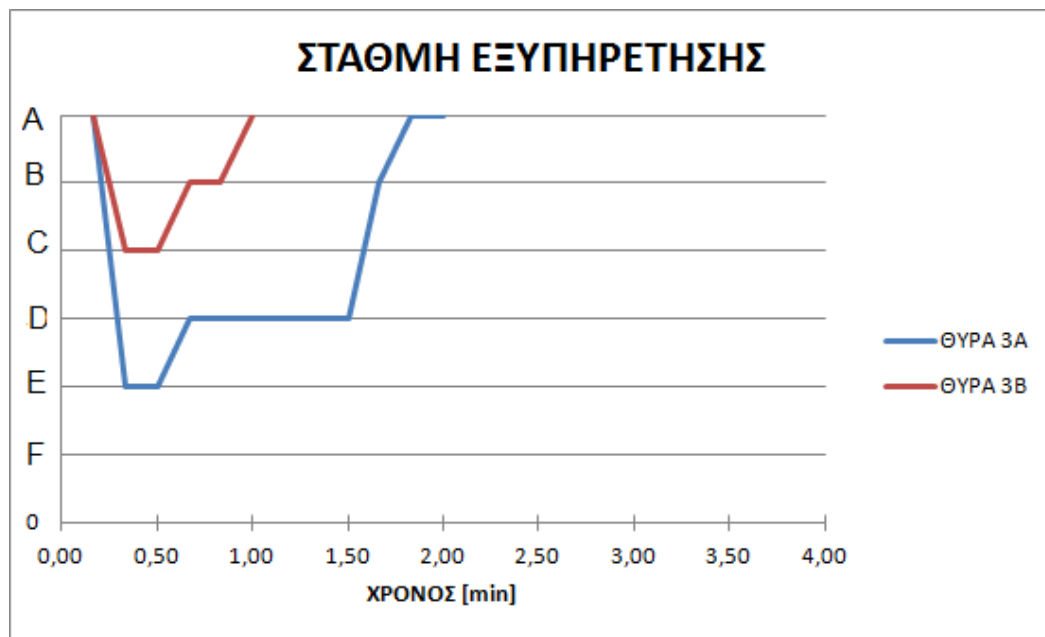
Διαγράμματα



Διάγραμμα 5.27: Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο 3



Διάγραμμα 5.28: Μοναδιαία ροή [πεζοί/sec/m] συναρτήσει χρόνου [min] για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο 3.



Διάγραμμα 5.29: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών για τις θύρες της Εξόδου 3, Σενάριο 3.

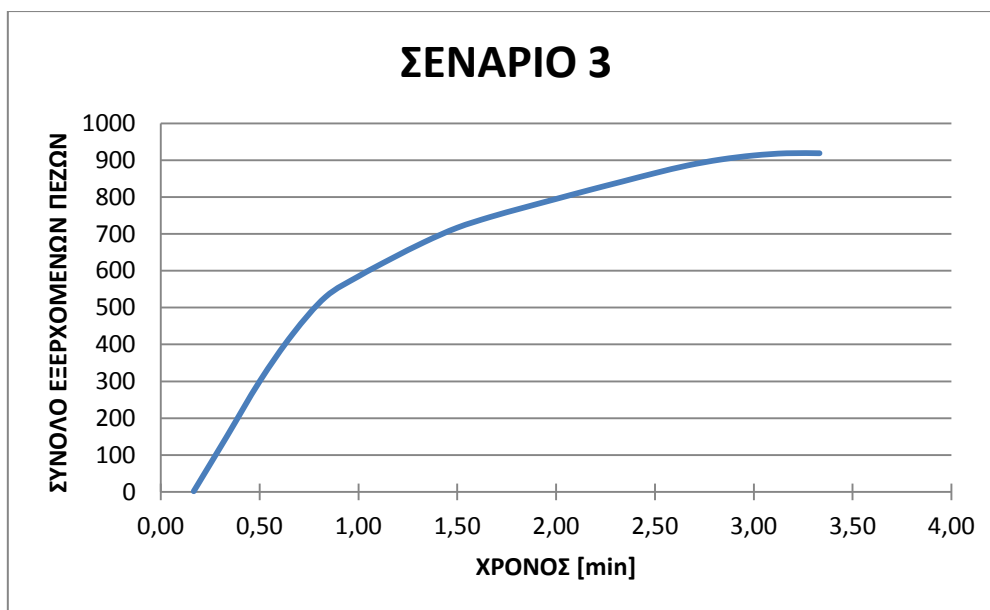
Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Από τη θύρα 3Α εξέρχονται 268 πεζοί έως το 110ό δευτερόλεπτο και η στάθμη εξυπηρέτησης χαρακτηρίζεται Ε. Από τη θύρα 2Β εξέρχονται 68 πεζοί έως το 50ό δευτερόλεπτο και η στάθμη χαρακτηρίζεται C.

Τελικά αποτελέσματα διαδικασίας εκκένωσης του κτιρίου

Πίνακας 5.21: Τελικά αποτελέσματα, Σενάριο 3

<u>ΣΕΝΑΡΙΟ 3</u>			
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Αριθμός εξερχόμενων πεζών	Σύνολο εξερχόμενων πεζών
0,17	10	2	2
0,33	20	148	150
0,50	30	150	300
0,67	40	128	428
0,83	50	101	529
1,00	60	56	585
1,17	70	48	633
1,33	80	45	678
1,50	90	39	717
1,67	100	29	746
1,83	110	25	771
2,00	120	24	795
2,17	130	24	819
2,33	140	23	842
2,50	150	23	865
2,67	160	21	886
2,83	170	16	902
3,00	180	11	913
3,17	190	6	919
3,33	200	0	919



Διάγραμμα 5.30: Καμπύλη εκκένωσης κτιρίου-Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min],
Σενάριο 3

Η διαδικασία εκκένωσης του κτιρίου στο Σενάριο 3 μέσω των Εξόδων 1, 2 και 3 διαρκεί 190 δευτερόλεπτα, δηλαδή 3 λεπτά και 10 δευτερόλεπτα. Οι πεζοί που εκκενώνουν το κτίριο είναι 919 και η καμπύλη εκκένωσης φαίνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα.

5.2.4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα τριών σεναρίων

Μετά την επεξεργασία των μετρήσεων για τα επιμέρους σενάρια, συγκεντρώνονται όλα τα αποτελέσματα με σκοπό τη διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη διαδικασία εκκένωσης σε κάθε περίπτωση και την αξιολόγηση τους.

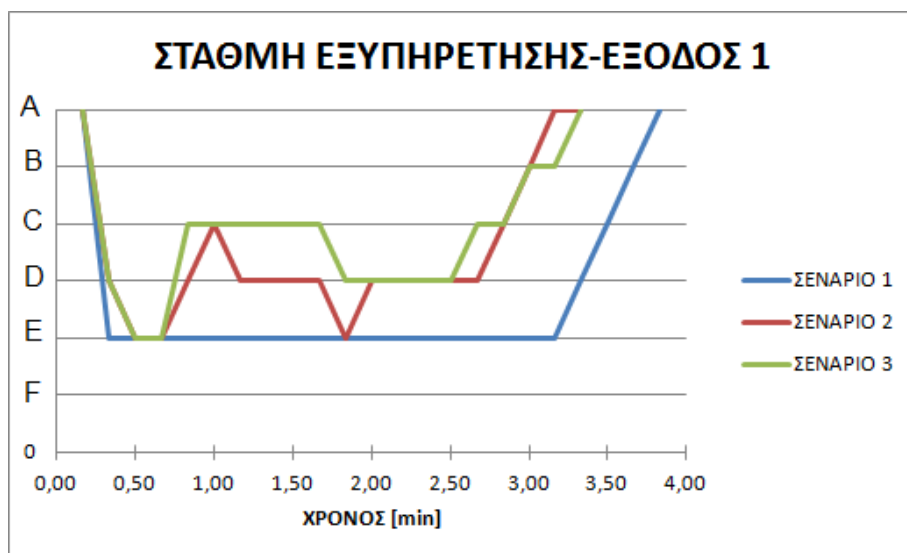
Στάθμη εξυπηρέτησης εξόδων

Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο έγινε ανάλυση της στάθμης εξυπηρέτησης κάθε θύρας σε κάθε έξοδο ανά σενάριο. Προκειμένου να γίνει σύγκριση της λειτουργίας των εξόδων σα σύνολο, ακολουθεί μία περαιτέρω επεξεργασία, όπου υπολογίζεται η περιβάλλουσα καμπύλη η οποία χαρακτηρίζει την κάθε έξοδο, με βάση πάντα τη λειτουργία των θυρών της. Σε κάθε διάστημα των 10 δευτερολέπτων, συνεπώς, η στάθμη εξόδου θεωρείται η χαμηλότερη στάθμη εκ των θυρών της.

Έξοδος 1

Πίνακας 5.22: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών της Εξόδου 1 για τα Σενάρια 1,2 και 3

		Έξοδος 1		
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
0,17	0 έως 10	A	A	A
0,33	11 έως 20	E	D	D
0,50	21 έως 30	E	E	E
0,67	31 έως 40	E	E	E
0,83	41 έως 50	E	D	C
1,00	51 έως 60	E	C	C
1,17	61 έως 70	E	D	C
1,33	71 έως 80	E	D	C
1,50	81 έως 90	E	D	C
1,67	91 έως 100	E	D	C
1,83	101 έως 110	E	E	D
2,00	111 έως 120	E	D	D
2,17	121 έως 130	E	D	D
2,33	131 έως 140	E	D	D
2,50	141 έως 150	E	D	D
2,67	151 έως 160	E	D	C
2,83	161 έως 170	E	C	C
3,00	171 έως 180	E	B	B
3,17	181 έως 190	E	A	B
3,33	191 έως 200	D	A	A
3,50	201 έως 210	C		
3,67	211 έως 220	B		
3,83	221 έως 230	A		



Διάγραμμα 5.31: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών της Εξόδου 1 για τα Σενάρια 1,2 και 3

Η λειτουργία της Εξόδου 1 φαίνεται στον πίνακα και στο διάγραμμα, για κάθε ένα από τα σενάρια. Στο Σενάριο 1, από το 11ο δευτερόλεπτο της εκκένωσης έως το 190ό χαρακτηρίζεται με στάθμη εξυπηρέτησης E.

Στο Σενάριο 2, η συγκεκριμένη Έξοδος παρουσιάζει βελτίωση ως προς τη λειτουργία της. Χαρακτηρίζεται με Στάθμη E, ωστόσο η βελτίωση σε σχέση με το βασικό σενάριο βρίσκεται στο γεγονός πως διατηρεί τη στάθμη αυτή μόνο στα διαστήματα 21 έως 40 και 101 έως 110 δευτερόλεπτα. Επίσης, ενώ στο Σενάριο 1 η στάθμη είναι για πολύ χρόνο E, στο Σενάριο 2 κατά την ίδια χρονική περίοδο ανεβαίνει έως και τη στάθμη C.

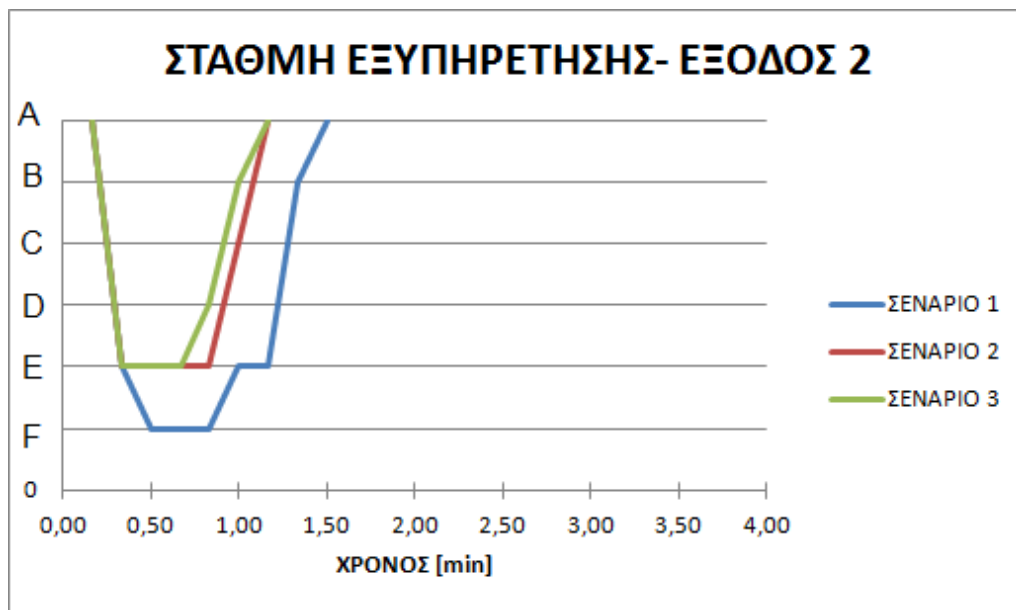
Στο Σενάριο 3 παρατηρείται περαιτέρω βελτίωση της λειτουργίας της εξόδου αν και εξακολουθεί να χαρακτηρίζεται με στάθμη εξυπηρέτησης E. Μεταξύ του 21ου και 40ου δευτερολέπτου διατηρεί στάθμη E, ωστόσο για μεγάλα διαστήματα βρίσκεται στη στάθμη C και D.

Επίσης παρατηρείται πως η εκκένωση μέσω της Εξόδου 1 ολοκληρώνεται στο 220ό δευτερόλεπτο ενώ στα Σενάρια 2 και 3 στο 190ό.

Έξοδος 2

Πίνακας 5.23: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών της Εξόδου 2 για τα Σενάρια 1,2 και 3

		Έξοδος 2		
Λεπτό [min]	Λευτ/τα [sec]	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
0,17	0 έως 10	A	A	A
0,33	11 έως 20	E	E	E
0,50	21 έως 30	F	E	E
0,67	31 έως 40	F	E	E
0,83	41 έως 50	F	E	D
1,00	51 έως 60	E	C	B
1,17	61 έως 70	E	A	A
1,33	71 έως 80	B		
1,50	81 έως 90	A		
1,67	91 έως 100			
1,83	101 έως 110			
2,00	111 έως 120			
2,17	121 έως 130			
2,33	131 έως 140			
2,50	141 έως 150			
2,67	151 έως 160			
2,83	161 έως 170			
3,00	171 έως 180			
3,17	181 έως 190			
3,33	191 έως 200			
3,50	201 έως 210			
3,67	211 έως 220			
3,83	221 έως 230			



Διάγραμμα 5.32: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών της Εξόδου 2 για τα Σενάρια 1,2 και 3

Η λειτουργία της Εξόδου 2 φαίνεται στον πίνακα και στο διάγραμμα, για κάθε ένα από τα σενάρια.

Στο Σενάριο 1 χαρακτηρίζεται από στάθμη εξυπηρέτησης F την οποία διατηρεί στα δευτερόλεπτα 21 έως 50.

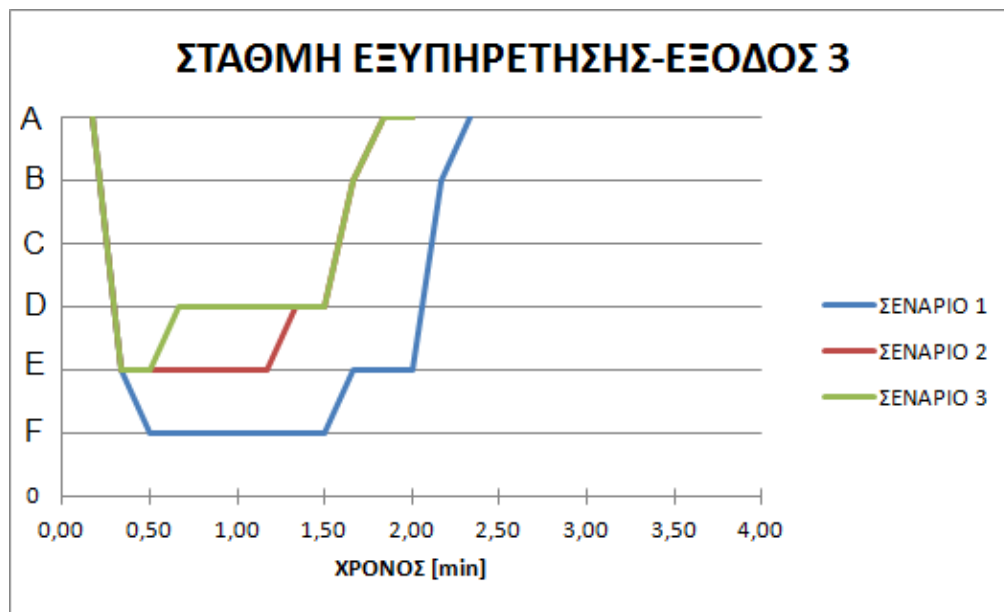
Η λειτουργία της στα Σενάρια 2 και 3 παρουσιάζει πολλές ομοιότητες όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Και στα δύο σενάρια, η στάθμη εξυπηρέτησης χαρακτηρίζεται E.

Η εκκένωση μέσω της Εξόδου 2 ολοκληρώνεται κατά το Σενάριο 1 στο 80ό δευτερόλεπτο ενώ κατά τα Σενάρια 2 και 3 στο 60ό.

Έξοδος 3

Πίνακας 5.24: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών της Εξόδου 3 για τα Σενάρια 1,2 και 3

		Έξοδος 3		
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
0,17	0 έως 10	A	A	A
0,33	11 έως 20	E	E	E
0,50	21 έως 30	F	E	E
0,67	31 έως 40	F	E	D
0,83	41 έως 50	F	E	D
1,00	51 έως 60	F	E	D
1,17	61 έως 70	F	E	D
1,33	71 έως 80	F	D	D
1,50	81 έως 90	F	D	D
1,67	91 έως 100	E	B	B
1,83	101 έως 110	E	A	A
2,00	111 έως 120	E	A	A
2,17	121 έως 130	B		
2,33	131 έως 140	A		
2,50	141 έως 150			
2,67	151 έως 160			
2,83	161 έως 170			
3,00	171 έως 180			
3,17	181 έως 190			
3,33	191 έως 200			
3,50	201 έως 210			
3,67	211 έως 220			
3,83	221 έως 230			



Διάγραμμα 5.33: Στάθμη εξυπηρέτησης πεζών της Εξόδου 3 για τα Σενάρια 1,2 και 3

Η λειτουργία της Εξόδου 3 φαίνεται στον πίνακα και στο διάγραμμα, για κάθε ένα από τα σενάρια.

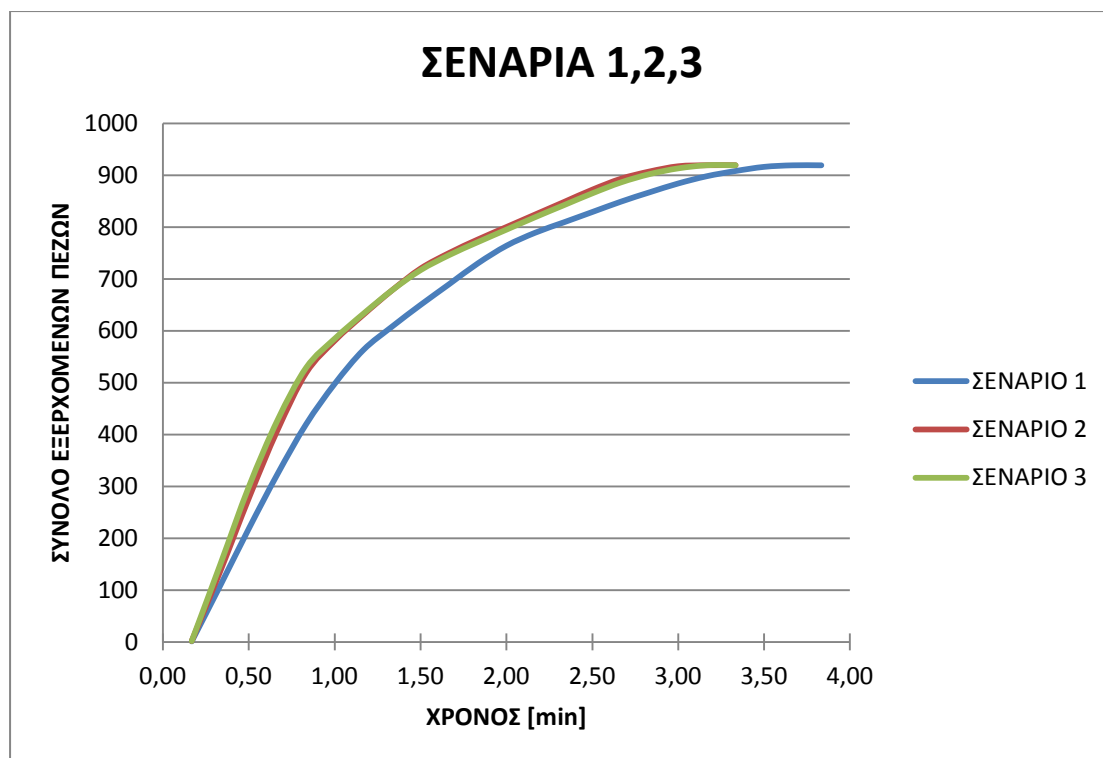
Η λειτουργία της Εξόδου 3 κατά το Σενάριο 1 χαρακτηρίζεται με στάθμη εξυπηρέτησης F. Αυτή τη στάθμη τη διατηρεί από το 21ο έως το 90ό δευτερόλεπτο. Στα σενάρια 2 και 3 η Έξοδος χαρακτηρίζεται από στάθμη E, ωστόσο στο Σενάριο 2 τη διατηρεί για περισσότερο χρόνο ενώ την ίδια περίοδο κατά το σενάριο 3 φτάνει έως και τη στάθμη D.

Η εκκένωση μέσω της Εξόδου 3 διαρκεί 130 δευτερόλεπτα κατά το Σενάριο 1 ενώ στα άλλα δύο σενάρια 110.

Διαδικασία εκκένωσης

Πίνακας 5.25: Σύνολο εξερχόμενων πεζών για τα Σενάρια 1,2 και 3

		<u>Σύνολο εξερχόμενων πεζών</u>		
Λεπτό [min]	Δευτ/τα [sec]	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
0,17	0 έως 10	1	2	2
0,33	11 έως 20	109	137	150
0,50	21 έως 30	219	278	300
0,67	31 έως 40	324	409	428
0,83	41 έως 50	420	519	529
1,00	51 έως 60	498	581	585
1,17	61 έως 70	563	631	633
1,33	71 έως 80	608	678	678
1,50	81 έως 90	650	720	717
1,67	91 έως 100	690	750	746
1,83	101 έως 110	730	776	771
2,00	111 έως 120	764	800	795
2,17	121 έως 130	789	824	819
2,33	131 έως 140	809	848	842
2,50	141 έως 150	829	872	865
2,67	151 έως 160	849	893	886
2,83	161 έως 170	867	907	902
3,00	171 έως 180	884	917	913
3,17	181 έως 190	898	919	919
3,33	191 έως 200	908	919	919
3,50	201 έως 210	916		
3,67	211 έως 220	919		
3,83	221 έως 230	919		



Διάγραμμα 5.34: Καμπύλη εκκένωσης κτιρίου-Σύνολο εξερχόμενων πεζών συναρτήσει χρόνου [min] για τα Σενάρια 1,2 και 3

Στο παραπάνω πίνακα και διάγραμμα φαίνεται συνολικά η διαδικασία της εκκένωσης και στα τρία σενάρια.

Στο Σενάριο 1 ο ρυθμός εκκένωσης είναι μικρότερος και η εκκένωση διαρκεί 220 δευτερόλεπτα, δηλαδή 3 λεπτά και 40 δευτερόλεπτα κατά τη διάρκεια των οποίων οδηγούνται σε ασφαλές μέρος 919 άτομα.

Στα Σενάρια 2 και 3 η εκκένωση ολοκληρώνεται με παρόμοιο τρόπο. Οι καμπύλες εκκένωσης σχεδόν ταυτίζονται, έχουν την ίδια κλίση και ολοκληρώνεται η διαδικασία στο 190ό δευτερόλεπτο. Διαρκεί 3 λεπτά και 10 δευτερόλεπτα και 919 πεζοί εγκαταλείπουν το κτίριο.

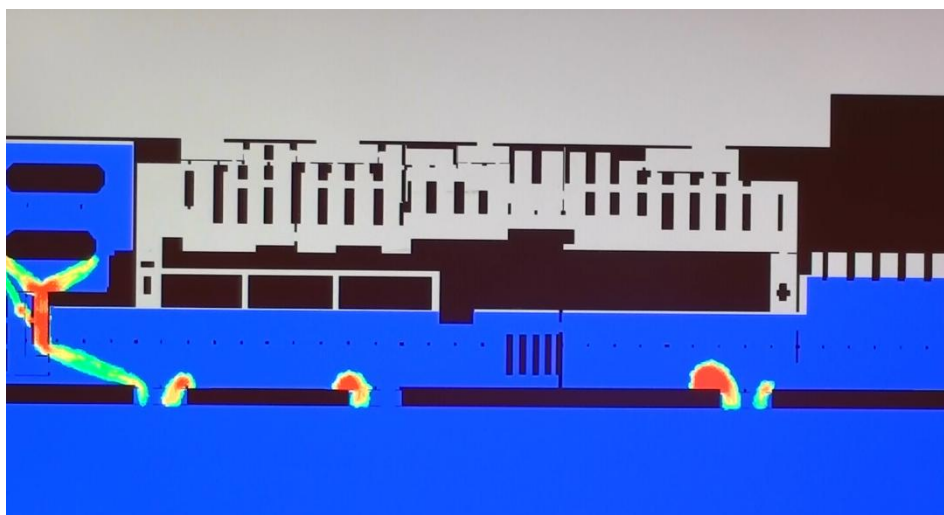
5.3: Επιπρόσθετοι υπολογισμοί

Εκτός από τα βασικά σενάρια που εξετάστηκαν, στα πλαίσια της εργασίας και για τη δημιουργία μίας πλήρους εικόνας της λειτουργίας του κτιρίου έγιναν κάποιες επιπλέον μετρήσεις και υπολογισμοί οι οποίοι δεν συμπεριλήφθησαν στις κύριες μετρήσεις, αξίζει όμως να αναφερθούν.

Με τη χρήση του προγράμματος, εκτός από την απλή προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε, για κάθε σενάριο έγινε και μία επιπλέον προσομοίωση η οποία οπτικά έδωσε τη γενική εικόνα των σημείων του κτιρίου όπου υπάρχει μεγάλη πυκνότητα (πεζοί/m²) και το πώς μεταβάλλεται η στάθμη εξυπηρέτησης ,με βάση αυτό το μέγεθος. Για πυκνότητα μεγαλύτερη των 1,8 πεζοί/m² η στάθμη χαρακτηρίζεται F και συμβολίζεται με κόκκινο χρώμα. Με κίτρινο συμβολίζεται η στάθμη A. Ακολουθούν κάποιες εικόνες από τις προσομοιώσεις αυτές για κάθε σενάριο.



Εικόνα 5.14: Απεικόνιση μεταβολής πυκνότητας [πεζοί/m²] κατά τη διάρκεια εκκένωσης του κτιρίου, Σενάριο 1



Εικόνα 5.15: Απεικόνιση μεταβολής πυκνότητας [πεζοί/m²] κατά τη διάρκεια εκκένωσης του κτιρίου, Σενάριο 2

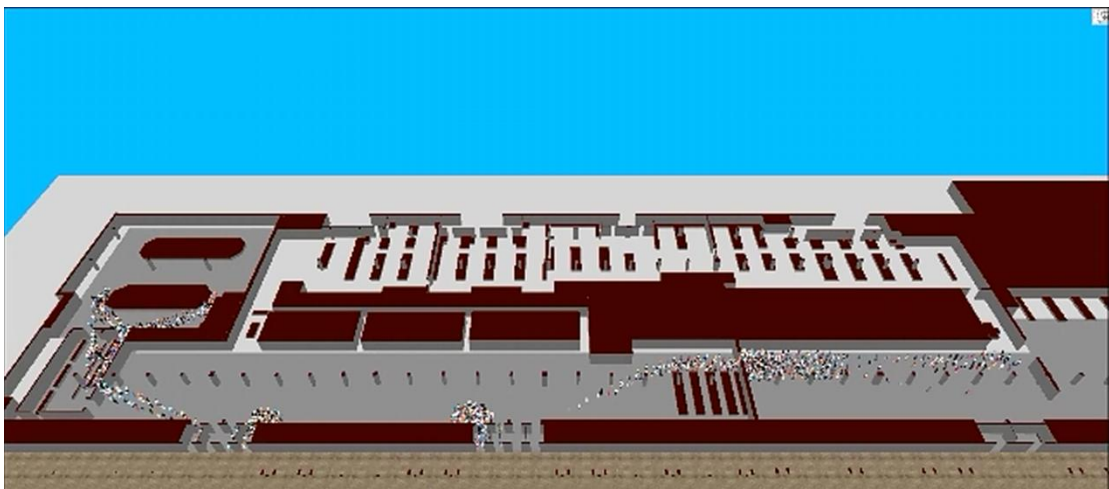


Εικόνα 5.16: Απεικόνιση μεταβολής πυκνότητας [πεζοί/m²] κατά τη διάρκεια εκκένωσης του κτιρίου, Σενάριο 3

Εκτός λοιπόν από τη δυνατότητα που δίνεται να αξιολογηθούν οι θύρες και οι εξόδοι, γίνεται δυνατό να έχουμε μία εικόνα για την πυκνότητα των πεζών, σε ποια σημεία υπάρχει συνωστισμός και περίπτωση ατυχήματος.

Επίσης εκτός από την περιοχή των εξόδων, διαπιστώνεται πως μεγάλες πυκνότητες παρουσιάζονται στην περιοχή 1, όπου οι πεζοί υποχρεούνται να περάσουν από διαδρόμους, στους οποίους και στις 3 περιπτώσεις φυσικά αφού δεν άλλαξε κάτι σε αυτό το σημείο του κτιρίου, υπάρχει κίνδυνος τραυματισμών.

Επιπλέον, εκτός των παραπάνω τριών σεναρίων που αναφέρθηκαν, κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστεί και ένα επιπλέον Σενάριο 4. Κρίνοντας από τη διάταξη του κτιρίου, διαπιστώθηκε πως η Έξοδος 3 εξυπηρετεί μεγάλο τμήμα του κτιρίου επιβατών το οποίο συνδέεται με το υπόλοιπο μέσω ενός μικρού ανοίγματος. Έτσι δημιουργήθηκε ο προβληματισμός του τρόπου εκκένωσης του δεξιού τμήματος του κτιρίου σε περίπτωση που η Έξοδος 3 δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως όχι μόνο ο χρόνος εκκένωσης των Περιοχών 3 και 4 αυξάνεται, αλλά λόγω μεγάλων πυκνοτήτων στο ενδιάμεσο πέρασμα υπάρχει μεγάλος κίνδυνος τραυματισμού.



Εικόνα 5.17: Προσομοίωση διαδικασίας εκκένωσης, Σενάριο 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1: Εισαγωγή

Η ανθρώπινη κίνηση αποτελούσε πάντα αντικείμενο ερευνών. Τις τελευταίες δεκαετίες, με την ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων που περιγράφουν με λεπτομέρεια την κίνηση αυτή υπό διαφορετικές συνθήκες, σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχουν συμβάλει στην ολοένα και πιο ρεαλιστική αναπαράστασή της.

Η προσομοίωση της κίνησης των πεζών αποτελεί σημαντικό αντικείμενο μελέτης καθώς αποτελεί σπουδαίο βοήθημα για τον σχεδιασμό και τον έλεγχο χώρων και συστημάτων όπου υπάρχει συγκέντρωση πεζών. Με τη χρήση των κατάλληλων λογισμικών και μετά την απαραίτητη επεξεργασία των μετρήσεων εξάγονται συμπεράσματα για τη λειτουργία του εκάστοτε χώρου και δίνεται η δυνατότητα πρόβλεψης ατυχημάτων και σύγκρισης ενδεχομένων λύσεων.

Σε αυτή τη Διπλωματική Εργασία, συνδυάζοντας υπάρχοντα στοιχεία και δεδομένα και με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης PTV Viswalk έγινε η προσπάθεια τόσο να προσομοιωθεί η κίνηση πεζών υπό συνθήκες εκκένωσης όσο και να προσδιοριστούν τα μεγέθη ροής υπό πολλές διαφορετικές συνθήκες.

6.2: Μεθοδολογία και Βασικά Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε η διαδικασία εκκένωσης του κτιρίου επιβατών του αεροδρομίου Ηρακλείου ‘Νίκος Καζαντζάκης’. Αρχικά, έγινε συλλογή στοιχείων σχετικών με τη λειτουργία του αεροδρομίου, τον φόρτο που εξυπηρετεί και την κτιριακή του διάταξη. Καθορίστηκαν τα δεδομένα εισόδου που σχετίζονται με τον τύπο των πεζών και τα χαρακτηριστικά κίνησης τους. Με βάση πραγματικά δεδομένα κίνησης του αεροδρομίου καθορίστηκε η κατανομή αφίξεων των επιβατών στον χώρο σχεδίασης. Σχεδιάστηκε το περιβάλλον προσομοίωσης αρχικά όπως είναι στην πραγματικότητα διατεταγμένο το κτίριο επιβατών – Σενάριο 1- και στη συνέχεια εξετάστηκαν τα υποθετικά Σενάρια 2 και 3 στα οποία έγιναν αλλαγές βελτίωσης των συνθηκών εκκένωσης. Πιο συγκεκριμένα στα Σενάρια 2 και 3 εξετάστηκε ο τρόπος που επηρεάζεται η ροή, σε ενδεχόμενη αύξηση πλάτους ανοίγματος των θυρών σε κάθε Έξοδο του κτιρίου.

Για λόγους πληρότητας εξετάστηκαν και σενάρια τα οποία δεν συμπεριλήφθησαν στο υπολογιστικό μέρος της εργασίας, ωστόσο συνέβαλαν στη διαμόρφωση σφαιρικής άποψης για τη λειτουργία του κτιρίου. Εξετάστηκε ένα τέταρτο σενάριο,

δυσμενέστερο, σύμφωνα με το οποίο η μία εκ των τριών εξόδων τίθεται εκτός λειτουργίας.

Κάνοντας πέντε επαναλήψεις για κάθε σενάριο, συλλέχθηκαν με ικανοποιητική ακρίβεια μετρήσεις και έγινε η επεξεργασία τους. Διαμορφώθηκαν οι αντίστοιχοι πίνακες και σχεδιάστηκαν διαγράμματα μοναδιαίας ροής, στάθμης εξυπηρέτησης και καμπύλες εκκένωσης για κάθε σενάριο που εξετάστηκε. Προέκυψε πως τροποποιώντας κατάλληλα τη διάταξη των θυρών στις εξόδους όχι μόνο βελτιώθηκε ο χρόνος εκκένωσης αλλά και οι στάθμες εξυπηρέτησης. Αναλυτικότερα, με τη μείωση των χωρισμάτων των θυρών και συνεπώς την αύξηση του πλάτους ανοίγματος προέκυψε αρχικά αύξηση του ρυθμού εκκένωσης, ολοκλήρωση της διαδικασίας σε μικρότερο χρόνο και τη βελτίωση της στάθμης εξυπηρέτησης των πεζών συνολικά (Σενάριο 2). Με περαιτέρω αύξηση του πλάτους των θυρών δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στο χρόνο και ρυθμό εκκένωσης, ωστόσο βελτιώθηκε η λειτουργία της κάθε εξόδου, από την άποψη της στάθμης εξυπηρέτησης πεζών.

Επιπλέον, σχηματίστηκε μία εικόνα για την κατανομή πυκνοτήτων κατά τη διάρκεια της εκκένωσης και εντοπίστηκαν σημεία τα οποία ενδεχομένως δυσχεραίνουν τη διαδικασία και στα οποία υπάρχει μεγάλος συνωστισμός και κίνδυνος ατυχήματος, όπως οι διάδρομοι προ της Εξόδου 1. Επίσης, το γεγονός μη επαρκούς σύνδεσης του χώρου της Εξόδου 3 με το υπόλοιπο κτίριο δημιουργεί ερωτηματικά σχετικά με την ασφαλή εκκένωση των ατόμων σε περίπτωση μη λειτουργίας αυτής της εξόδου.

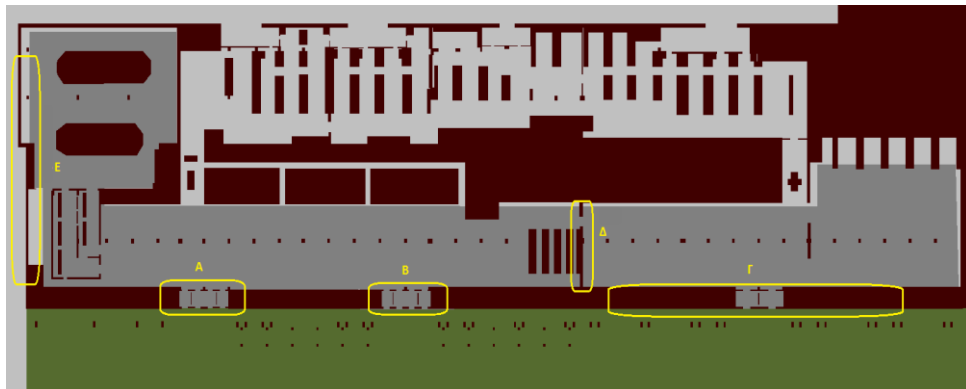
6.2: Προτάσεις - Περαιτέρω Έρευνα

Με βάση τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων κάθε σεναρίου προκύπτουν κάποιες προτάσεις που θα μπορούσαν να βελτιώσουν τη λειτουργία του κτιρίου.

Αρχικά, καλό θα ήταν η διάταξη των θυρών να τροποποιηθεί και να πάρει τη μορφή τουλάχιστον του Σεναρίου 2. Δηλαδή, να μειωθούν τα χωρίσματα και ο αριθμός των θυρών των δύο πρώτων εξόδων και ως σύνολο να αυξηθούν όλα τα πλάτη ανοίγματος. Με αυτή την αλλαγή υπάρχει σημαντική βελτίωση σε πολλά σημεία. Μειώνεται ο χρόνος εκκένωσης, βελτιώνεται η λειτουργία κάθε εξόδου και μειώνονται οι πιθανότητες τραυματισμών λόγω των πολλών χωρισμάτων που υπάρχουν αρχικά. Εάν υπάρχει η ανάγκη περαιτέρω βελτίωσης της στάθμης εξυπηρέτησης, θα μπορούσε η διάταξη να ακολουθήσει τη λογική του Σεναρίου 3.

Στη συνέχεια, θα είχε ενδιαφέρον να εξεταστεί εάν υπάρχει περιθώριο βελτίωσης των συνθηκών που επικρατούν στο δεξί μέρος του κτιρίου, της περιοχής δηλαδή που

εξυπηρετεί η Έξοδος 3. Θα μπορούσε να εξεταστεί είτε μία ενδεχόμενη διαμόρφωση με βάση τη διάταξη των δύο άλλων εξόδων είτε να δημιουργηθεί-εάν υπάρχει κατασκευαστική δυνατότητα- μία επιπλέον έξοδος στο τμήμα αυτό(Εικόνα 6.1-Αλλαγή Γ). Επίσης, θα είχε ενδιαφέρον να εξεταστεί η αλλαγή την σύνδεσης της περιοχής αυτής με το υπόλοιπο μέρος του κτιρίου ώστε να διαπιστωθεί εάν η κίνηση θα γίνεται με μεγαλύτερη ασφάλεια(Εικόνα 6.1-Αλλαγή Δ). Τέλος προκειμένου οι πεζοί της περιοχής 1 , σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης να μην υποχρεούνται να κινηθούν σε διαδρόμους και να μπορέσουν να διαφύγουν σε μικρότερο χρόνο, προτείνεται να εξεταστεί η δημιουργία εξόδων κινδύνου στην περιοχή E (Εικόνα 6.1-Αλλαγή E).



Εικόνα 6.1 : Περιοχές που αποτελούν αντικείμενο ενδεχόμενων αλλαγών

Είναι φανερό πως με τη χρήση του λογισμικού δίνονται απεριόριστες δυνατότητες για περαιτέρω έρευνα της λειτουργίας του κτιρίου. Θα μπορούσε να ερευνηθεί ποιες άλλες ενέργειες μπορούν να γίνουν ώστε να γίνεται ασφαλής εκκένωση υπό διαφορετικές συνθήκες, αλλάζοντας τη ροή των πεζών και τη διάταξη του κτιρίου, όπως επίσης θα μπορούσε να επεκταθεί το εύρος του αντικειμένου της παρούσας εργασίας με την προσομοίωση των λειτουργιών στο σύνολο του κτιρίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Appelt S. ,Batta R., Lin L., Drury C. (2007)“Simulation Of Passenger Check-In At A Medium Sized US Airport”,Department of Industrial and Systems Engineering, University of Buffalo,NY, Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference
- Ase GmbH “Impact Analysis of a Pedestrian Detour for a New Railway Line” Case Study, www.simwalk.com
- Burghout W. “A Note on the Number of Replication Runs in Stochastic Traffic Simulation Models”
- Chawdhry P.K.(2009) “Risk Modeling and Simulation of Airport Passenger Departures Process”, Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference
- Daamen, W.(2002) “SimPed: a Pedestrian Simulation Tool for Large Pedestrian Areas”Conference Proceedings EuroSIW
- Diaz E.,Pedro J. (2008) “Check-in Process at Lisbon Airport” Instituto Superior Tecnico, Universidade Tecnica de Lisboa
- Egis Mobilite, Egis Rail Organisation(2010) “Toulouse Railway Station Simulation” Case Study, www.simwalk.com
- Egis Rail Organisation “Metro Underground Safety Simulation” Case Study, www.simwalk.com
- Ernst Basler + Partner AG Organisation “Improving Train Design”, Case Study www.simwalk.com
- Gatersleben M.R., Weij S.W. (1999)“Analysis and Simulation of Passenger Flows in an Airport Terminal”, Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference
- Helbing D.,Farkas I.J. , Molnár P., Vicsek T.(2002) “Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations
- Helbing D., Johansson J. “Pedestrian (2011) Crowd and Evacuation Dynamics” Springer New York

- Helbing D., Molnár P., Farkas I., and Bolay K. (2001) “Self-organizing pedestrian movement. *Environment and Planning B* 28, 361-383
- Helbing D., Molnár P. (1995)“Social Force Model for Pedestrian Dynamics” *Physical Review E*, Volume 51,Number 5
- Hoogendoorn S.P., Hauser M., Rodrigues N. (2007)“Applying Microscopic Pedestrian Flow Simulation to Railway Station Design Evaluation in Lisbon, Portugal”, *Transportation Research Board of the National Academies*
- Kleinschmidt T., Guo X., Ma W., Yarlagadda P. (2011)“Including Airport Duty-free Shopping in Arriving Passenger Simulation and the Opportunities This Presents” , *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*
- Kovacs G., Maraczy P.“Comparison of Methods for Passenger Flow Simulation of an Airport Terminal’ , *Recent Researches in applied Information Science*
- Lei W.,Li A., Gao R.,Hao X., Deng B..(2012) “Simulation of Pedestrian Crowds’ Evacuation In A Huge Transit Terminal Subway Station” *Physica A* 391 Elsevier Journal
- Ma W., Kleinschmidt T, Fookes C. Yarlagadda P, (2011)“Check-in Processing: Simulation of Passengers with Advanced Traits”, *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*
- Mehran R., Oyama A., Shah M.(2009)“Abnormal Crowd Behavior Detection using Social Force Model”
- Moussaïd M., Helbing D., Theraulaz G. (2011) “How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters” *PNAS* 108 (17) 6884-6888
- Parisi D.R. , Dorso C.O.(2005)“Microscopic Dynamics of Pedestrian Evacuation”, *Physica A* 354 606-618
- Schultz M., Fricke H.(2011) “Managing Passenger Handling at Airport Terminals”, *Ninth USA/Europe Air Traffic Management and Development Seminar ATM*
- Shi C., Zhong M., Nong X., He L., Shi J., Feng G.(2012)“Modeling and Safety Strategy of Passenger Evacuation In a Metro Station in China”, *Safety Science* 50

- Takakuwa S., Oyama T. (2003)“Simulation Analysis of International Departure Passenger Flows In An Airport Terminal” Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference
- Toledo T., Koutsopoulos H., Davol A., Ben-Akiva M. E., Burghout W., Andreasson I.,Johansson T., Lundin C. (2003) “Calibration and Validation of Microscopic Traffic. Simulation Tools: Stockholm Case Study.” Transportation Research Record (1831): 65-75.
- TY Lin International Organisation, “Lima Metro: Station Evacuation Study” Case study, www.simwalk.com
- Wang D., Sherry L., Donohue G., Hackney B.(2008) “Passenger Flow Simulation (PFS) In A Complex Networked Transportation System” , International Conference on Research in Air Transportation ICRAAT
- Zhong M., Shi C., Tu X., Fu T., He L. (2008).“Study of The Human Evacuation Simulation of Metro Fire Safety Analysis in China” Journal of Loss Prevention in the Process Industries 21
- Neufville R., Odoni A. ‘Συστήματα Αεροδρομίων: Μελέτη, Σχεδιασμός, Διαχείριση’ Απόδοση και Προσαρμογή: Ψαράκη-Καλουπτσίδη Β. ,Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2009
- Φρατζεσκάκης Ι., Πιτσιάβα-Λατινοπούλου Μ., Τσαμπούλας Δ. ‘Διαχείριση Κυκλοφορίας’, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1997

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

- **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι**

ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

- **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ**

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ (*CIVIL AVIATION
AUTHORITY*)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΣΕΝΑΡΙΟ 1											
3A	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	3B	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5
EvalNo	SourceVol					EvalNo	SourceVol				
9	1	1	1	1	0	10	0	1	0	0	0
9	21	19	21	20	20	10	18	17	19	17	16
9	26	28	25	25	25	10	22	19	20	18	20
9	25	26	24	29	26	10	20	21	22	19	20
9	26	28	25	25	25	10	13	17	16	9	10
9	27	24	25	26	24	10	0	0	0	0	0
9	24	26	27	26	27	10	0	0	0	0	0
9	25	27	25	25	25	10	0	0	0	0	0
9	26	23	26	27	24	10	0	0	0	0	0
9	25	24	21	24	22	10	0	0	0	0	0
9	21	24	20	23	16	10	0	0	0	0	0
9	18	21	11	21	4	10	0	0	0	0	0
9	5	11	0	16	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	2	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0

ΣΕΝΑΡΙΟ 2											
1A	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	1B	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5
EvalNo	SourceVol					EvalNo	SourceVol				
2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	4	23	24	25	23	26
2	0	0	0	0	0	4	35	34	39	35	39
2	7	5	7	6	6	4	33	26	34	28	34
2	13	12	14	13	13	4	22	10	25	20	23
2	16	16	17	17	16	4	0	0	4	0	2
2	21	19	19	19	21	4	0	0	0	0	0
2	25	20	22	20	20	4	0	0	0	0	0
2	21	23	21	24	21	4	0	0	0	0	0
2	21	22	22	23	22	4	0	0	0	0	0
2	26	25	25	23	26	4	0	0	0	0	0
2	24	23	26	23	25	4	0	0	0	0	0
2	23	23	26	23	24	4	0	0	0	0	0
2	26	24	24	25	23	4	0	0	0	0	0
2	24	23	25	24	23	4	0	0	0	0	0
2	23	20	24	22	16	4	0	0	0	0	0
2	23	2	24	21	0	4	0	0	0	0	0
2	19	0	20	10	0	4	0	0	0	0	0
2	4	0	5	0	0	4	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0

ΣΕΝΑΡΙΟ 3													
EvalNo:	1=1A	2=1B	RUN1										
EvalNo:	SourceVol	EvalNo:	SourceVol	EvalNo:	SourceVol	EvalNo:	SourceVol						
2	0	2	19	2	22	2	14						
4	0	4	0	4	0	4	0						
2	0	2	20	2	25	2	0						
4	23	4	0	4	0	4	0						
2	0	2	22	2	23								
4	36	4	0	4	0								
2	7	2	22	2	24								
4	34	4	0	4	0								
2	13	2	24	2	22								
4	20	4	0	4	0								
2	16	2	22	2	21								
4	0	4	0	4	0								
RUN2							RUN3						
2	0	2	16	2	24		2	0	2	16	2	24	
4	0	4	0	4	0		4	0	4	0	4	0	
2	0	2	19	2	23		2	0	2	19	2	23	
4	25	4	0	4	0		4	25	4	0	4	0	
2	0	2	21	2	22		2	0	2	22	2	22	
4	33	4	0	4	0		4	33	4	0	4	0	
2	5	2	21	2	20		2	5	2	21	2	20	
4	28	4	0	4	0		4	28	4	0	4	0	
2	13	2	24	2	9		2	13	2	24	2	9	
4	8	4	0	4	0		4	8	4	0	4	0	
2	16	2	24	2	0		2	16	2	24	2	0	
4	0	4	0	4	0		4	0	4	0	4	0	

ΣΕΝΑΡΙΟ 3							
EvalNo:	1=1A	2=1B	RUN4				
EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo
2	0	2	20	2	24	2	0
4	0	4	0	4	0	4	0
2	0	2	19	2	22	2	0
4	23	4	0	4	0	4	0
2	0	2	23	2	23		
4	35	4	0	4	0		
2	6	2	22	2	23		
4	32	4	0	4	0		
2	13	2	24	2	19		
4	16	4	0	4	0		
2	15	2	25	2	15		
4	0	4	0	4	0		

ΣΕΝΑΡΙΟ 3							
EvalNo:	1=1A	2=1B	RUN5				
EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo
2	0	2	18	2	26	2	0
4	0	4	0	4	0	4	0
2	0	2	19	2	21	2	0
4	27	4	0	4	0	4	0
2	0	2	21	2	24	2	
4	41	4	0	4	0	4	
2	7	2	23	2	16	2	
4	35	4	0	4	0	4	
2	13	2	22	2	6	2	
4	19	4	0	4	0	4	
2	17	2	23	2	0	2	
4	2	4	0	4	0	4	

ΣΕΝΑΡΙΟ 3									
EvalNo:	6=2A	8=2B							
EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo
RUN1		RUN2		RUN3		RUN4		RUN5	
6	1	6	0	6	1	6	0	6	1
8	1	8	0	8	0	8	0	8	0
6	36	6	35	6	36	6	33	6	35
8	27	8	26	8	27	8	22	8	29
6	44	6	45	6	46	6	40	6	47
8	5	8	6	8	7	8	2	8	10
6	36	6	36	6	35	6	36	6	33
8	0	8	0	8	0	8	0	8	0
6	29	6	26	6	27	6	18	6	30
8	0	8	0	8	0	8	0	8	0
6	12	6	7	6	10	6	0	6	12
8	0	8	0	8	0	8	0	8	0
6	0	6	0	6	0	6	0	6	0
8	0	8	0	8	0	8	0	8	0

ΣΕΝΑΡΙΟ 3									
EvalNo:	10=3A	28=3B							
EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo	EvalNo:	SourceVo
RUN1		RUN2		RUN3		RUN4		RUN5	
10	1	10	1	10	1	10	1	10	1
28	1	28	0	28	0	28	0	28	0
10	40	10	38	10	40	10	41	10	36
28	20	28	22	28	19	28	22	28	17
10	46	10	47	10	43	10	44	10	40
28	15	28	12	28	16	28	11	28	13
10	37	10	36	10	36	10	36	10	33
28	16	28	18	28	14	28	14	28	14
10	35	10	34	10	37	10	34	10	36
28	9	28	13	28	15	28	7	28	9
10	31	10	34	10	32	10	33	10	30
28	0	28	1	28	0	28	0	28	0
10	29	10	31	10	28	10	31	10	29
28	0	28	0	28	0	28	0	28	0
10	25	10	29	10	24	10	28	10	23
28	0	28	0	28	0	28	0	28	0
10	19	10	21	10	10	10	23	10	11
28	0	28	0	28	0	28	0	28	0
10	7	10	11	10	0	10	16	10	0
28	0	28	0	28	0	28	0	28	0
10	0	10	0	10	0	10	3	10	0
28	0	28	0	28	0	28	0	28	0

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ (*CIVIL AVIATION
AUTHORITY*)

	FLIGHTS	PASSENGERS				MAIL				CARGO		
DOMESTIC	TOTAL	ARRIVALS	DEPARTURES	TRANSIT	ARRIVALS	DEPARTURES	TRANSIT	ARRIVALS	DEPARTURES	TRANSIT		
JANUARY	1017	30,797	31,046		13,781	3,022		53,704	11,595			
FEBRUARY	925	28,345	28,765		12,302	7,725		51,001	14,772			
MARCH	1003	33,264	32,913	10	9,771	3,716		58,049	10,306			
APRIL	1085	37,607	36,857		10,259	1,665		28,029	8,649		815	
MAY	1124	31,498	33,055	11	2,542	763		15,287	3,946			
JUNE	1024	34,596	37,361	167	3,398	496		8,285	3,611			
JULY	1106	39,520	41,435	3	2,630	778		4,512	2,797			
AUGUST	1152	36,653	42,956		880	833		2,631	1,253			
SEPTEMBER	1102	37,175	42,318		2,608	999		4,397	5,394			
OCTOBER	1052	33,020	41,362	16	3,580	1,515		3,220	4,353			
NOVEMBER	1010	30,406	35,334		485	1,583		17,603	2,361			
DECEMBER	938	32,223	34,249		662	1,391		14,367	1,794			
TOTAL	12538	405,104	437,651	207	62,898	24,486		261,085	70,831		815	

SCHEDULED	FLIGHTS	PASSENGERS				MAIL				CARGO		
INTER/NAL	TOTAL	ARRIVALS	DEPARTURES	TRANSIT	ARRIVALS	DEPARTURES	TRANSIT	ARRIVALS	DEPARTURES	TRANSIT		
JANUARY	43	1,713	1,222	486		365		60	342			
FEBRUARY	45	1,277	1,361	299								
MARCH	60	2,370	1,614	352								
APRIL	216	13,862	10,150	496								
MAY	430	29,722	24,524	255								
JUNE	412	31,343	28,649	614								
JULY	606	47,858	44,603	511								
AUGUST	567	43,172	44,706	493								
SEPTEMBER	449	31,636	34,981	876								
OCTOBER	295	17,260	21,819	400								
NOVEMBER	52	1,261	2,159									
DECEMBER	42	1,224	1,523	18								
TOTAL	3217	222,698	217,311	4,800		365		60	342			

NO SCHED	P A S S E N G E R S				M A I L			C A R G O		
INTER/NAL	TOTAL	ARRIVALS	DEPARTURES	TRANSIT	ARRIVALS	DEPARTURES	TRANSIT	ARRIVALS	DEPARTURES	TRANSIT
JANUARY	36'	4'	4'	119'						2,092'
FEBRUARY	24'	113'	292'	25'						
MARCH	65'	3,188'	1,062'	457'						
APRIL	1035'	75,299'	43,988'	2,158'						
MAY	2734'	212,507'	169,029'	9,760'					60'	
JUNE	4082'	318,869'	288,786'	9,904'						
JULY	4954'	407,620'	379,046'	8,810'						
AUGUST	5333'	420,229'	435,867'	9,429'						
SEPTEMBER	4373'	329,387'	359,760'	10,154'						
OCTOBER	2281'	122,408'	190,418'	5,008'						
NOVEMBER	156'	837'	9,916'	560'						
DECEMBER	28'	342'	308'	473'						
TOTAL	25101'	1,890,803'	1,878,476'	56,857'					60'	2,092'

SCED+NO SC'FLIGHTS'		P A S S E N G E R S				M A I L			C A R G O		
INTER/NAL	TOTAL	ARRIVALS	DEPARTURES	TRANSIT	ARRIVALS	DEPARTURES	TRANSIT	ARRIVALS	DEPARTURES	TRANSIT	
JANUARY	79'	1,717'	1,226'	605'		365'		60'	342'	2,092'	
FEBRUARY	69'	1,390'	1,653'	324'							
MARCH	125'	5,558'	2,676'	809'							
APRIL	1251'	89,161'	54,138'	2,654'							
MAY	3164'	242,229'	193,553'	10,015'					60'		
JUNE	4494'	350,212'	317,435'	10,518'							
JULY	5560'	455,478'	423,649'	9,321'							
AUGUST	5900'	463,401'	480,573'	9,922'							
SEPTEMBER	4822'	361,023'	394,741'	11,030'							
OCTOBER	2576'	139,668'	212,237'	5,408'							
NOVEMBER	208'	2,098'	12,075'	560'							
DECEMBER	70'	1,566'	1,831'	491'							
TOTAL	28318'	2,113,501'	2,095,787'	61,657'		365'		60'	402'	2,092'	

DOMESTIC+	'FLIGHTS'		PASSENGERS			'M A I L'			'C A R G O'		
INTER/NAL	'TOTAL	'ARRIVALS	'DEPARTURES'	TRANSIT	'ARRIVALS	'DEPARTURES'	TRANSIT	'ARRIVALS	'DEPARTURES'	TRANSIT	
JANUARY	'1096'	32,514'	32,272'	605'	13,781'	3,387'	'	53,764'	11,937'	2,092'	
FEBRUARY	'994'	29,735'	30,418'	324'	12,302'	7,725'	'	51,001'	14,772'	'	
MARCH	'1128'	38,822'	35,589'	819'	9,771'	3,716'	'	58,049'	10,306'	'	
APRIL	'2336'	126,768'	90,995'	2,654'	10,259'	1,665'	'	28,029'	8,649'	815'	
MAY	'4288'	273,727'	226,608'	10,026'	2,542'	763'	'	15,287'	4,006'	'	
JUNE	'5518'	384,808'	354,796'	10,685'	3,398'	496'	'	8,285'	3,611'	'	
JULY	'6666'	494,998'	465,084'	9,324'	2,630'	778'	'	4,512'	2,797'	'	
AUGUST	'7052'	500,054'	523,529'	9,922'	880'	833'	'	2,631'	1,253'	'	
SEPTEMBER	'5924'	398,198'	437,059'	11,030'	2,608'	999'	'	4,397'	5,394'	'	
OCTOBER	'3628'	172,688'	253,599'	5,424'	3,580'	1,515'	'	3,220'	4,353'	'	
NOVEMBER	'1218'	32,504'	47,409'	560'	485'	1,583'	'	17,603'	2,361'	'	
DECEMBER	'1008'	33,789'	36,080'	491'	662'	1,391'	'	14,367'	1,794'	'	
TOTAL	'40856'	2,518,605'	2,533,438'	61,864'	62,898'	24,851'	'	261,145'	71,233'	2,907'	