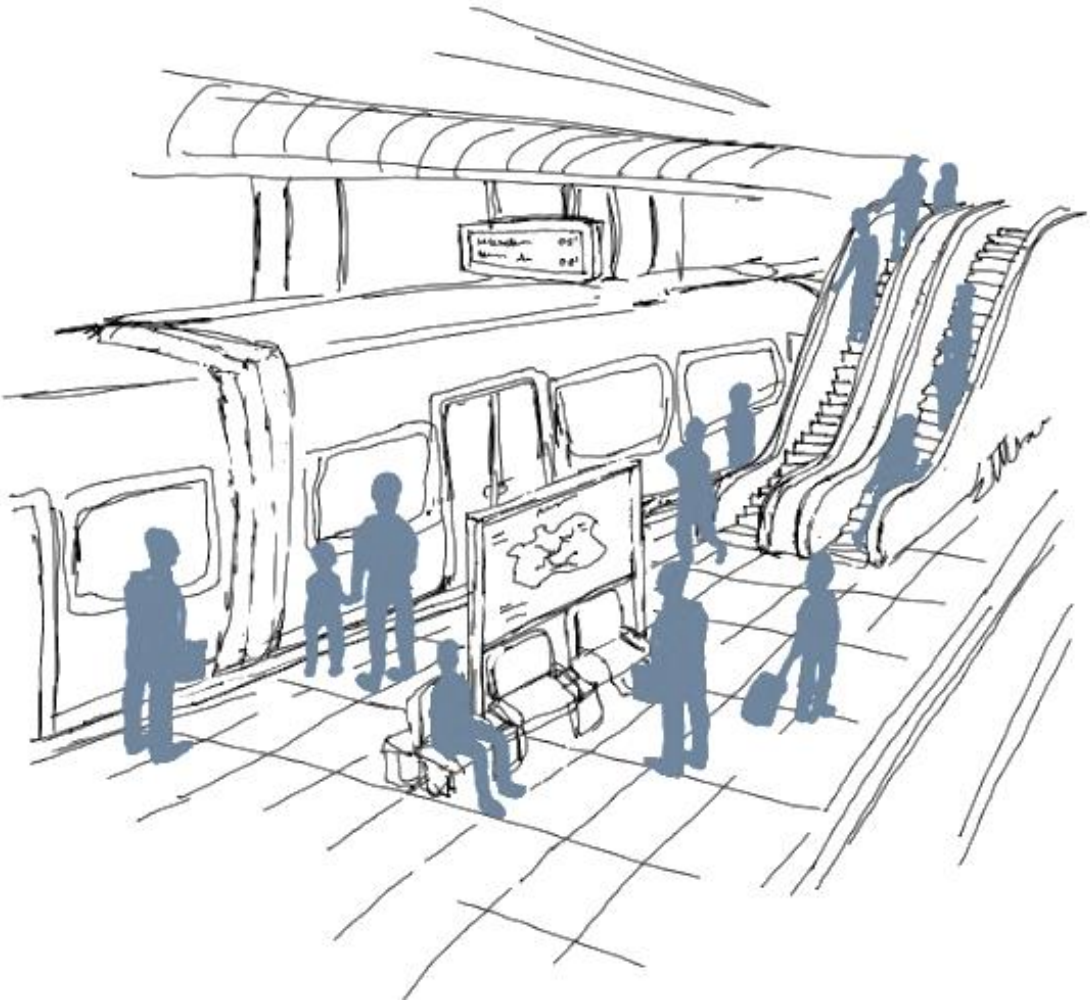
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
& ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Διπλωματική Εργασία:

Μελέτη Κίνησης Πλήθους Σε Σταθμό Του Μετρό Με Χρήση Λογισμικού Προσομοίωσης



Στυλιανή Πατεράκη

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτριος Ναθαναήλ

Αθήνα, 12/02/2022

Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος σπουδών μου στην σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον κύριο Δημήτρη Ναθαναήλ, για την καθοδήγηση και τις συμβουλές του, αλλά και όλους τους καθηγητές μου που συνέβαλαν στην πολύτιμη διαφωτιστική εμπειρία μου στην σχολή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συνεχόμενη στήριξή της.

1 Περιεχόμενα

1 ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ 7

2 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ 8

2.1 Περίληψη 8

2.2 Abstract 9

2.3 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας 10

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ 11

3.1 Θεωρία Συστημάτων 11
3.1.1 Από Την Φιλοσοφία Στα Πολύπλοκα Προσαρμοστικά Συστήματα 11
3.1.2 Μελέτη Πολύπλοκου Προσαρμοστικού Συστήματος 13
3.1.2.1 Εσωτερικοί Μηχανισμοί 14
3.1.2.2 Περιβάλλον 15
3.1.2.3 Συν-Εξέλιξη 16

3.2 Το Σύστημα Του Σταθμού 17
3.2.1 Περιγραφή Συστήματος 17
3.2.1.1 Ανθρώπινοι Δράστες 17
3.2.1.2 Υποδομές 18
3.2.1.3 Τεχνολογικά Συστήματα 18
3.2.2 Στόχος Μελέτης Συστήματος 20

3.3 Σενάριο Πυρκαγιάς 20
3.3.1 Ιστορικά Στοιχεία 21
3.3.2 Πιθανές Αιτίες Πυρκαγιάς 22
3.3.3 Άλλες Αιτίες Εκκένωσης 25
3.3.3.1 Τρομοκρατική Επίθεση 25
3.3.3.2 Πλημμύρα 26
3.3.3.3 Σεισμός 27
3.3.4 Χαρακτηριστικά Φωτιάς Και Επιπτώσεις 27
3.3.5 Επιπτώσεις Φωτιάς 28
3.3.6 Νομοθεσία Και Πρότυπα 29
3.3.6.1 Νομοθεσία Πυροπροστασίας Κτιρίων Στην Ελλάδα 30
3.3.6.2 Προδιαγραφές Πυροπροστασίας Και Σχεδιασμού 30
3.3.7 Πρόληψη Και Ρόλος Του Προσωπικού Του Σταθμού 32

4 ΜΕΘΟΔΟΙ 34

4.1 Περί Προβλέψεων 34
4.1.1 Ισχυρή και Ασθενής Πρόβλεψη 34
4.1.2 Προγνωστικές Μέθοδοι 35
4.1.2.1 Μέθοδοι Πρόγνωσης Βάσει Προδιαγραφών 35
4.1.2.2 Μέθοδοι Βάσει Απόδοσης Και Μελέτη Πλήθους 37
4.1.2.3 Ο Παράγοντας Του Πανικού 38

4.1.2.4 Διαθέσιμα Λογισμικά 38

4.2 Το Λογισμικό LEGION 39
4.2.1 Γενικές Πληροφορίες 39
4.2.2 Τυπική Ροή Εργασιών 40
4.2.3 Έννοιες Του LEGION 42
4.2.3.1 Οντότητες 42
4.2.3.2 Κίνηση Οντοτήτων Μέσα Στον Χώρο 42
4.2.4 LEGION Model Builder 48
4.2.4.1 Γενικές Πληροφορίες 48
4.2.4.2 Τα Εργαλεία Του LEGION Model Builder 49
4.2.5 LEGION Simulator 51
4.2.5.1 Δυνατότητες Προσομοίωσης 51

5 ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ 53

5.1 Γενικές Πληροφορίες 53

5.2 Σχεδιαστικές Προδιαγραφές 54
5.2.1 Ανελκυστήρες 54
5.2.2 Αποβάθρες 55
5.2.3 Κυλιόμενες Κλίμακες 56
5.2.4 Σταθερές Κλίμακες 56
5.2.5 Διάδρομοι 57
5.2.6 Πύλες Ελέγχου Εισιτηρίων και Κομίστρου: 57

5.3 Δεδομένα – Στοιχεία Μοντελοποίησης 60

5.4 Πρότυπα Μελέτης Σε Συνθήκες Έκτακτης Ανάγκης 62

6 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ 65

6.1 Γενικές Πληροφορίες 65

6.2 Στάδιο 1ο 65
6.2.1 Γεωμετρία Χώρου 66
6.2.2 Κυλιόμενες Κλίμακες 69
6.2.3 Σταθερές Κλίμακες 70
6.2.4 Ανελκυστήρες 71
6.2.5 Πύλες Εισόδου/Εξόδου 71
6.2.6 Αυτόματοι Πωλητές Εισιτηρίων 71
6.2.7 Γραφεία Έκδοσης Εισιτηρίων 71
6.2.8 Πετάσματα 72

6.3 Στάδιο 2ο 73
6.3.1 Σύγκριση Προδιαγραφών/ Τροποποιήσεις 74
6.3.2 Excel Data Sheet 75
6.3.2.1 Καρτέλα 1:Entity Profiles 76
6.3.2.2 Καρτέλα 2: Entities 78
6.3.2.3 Καρτέλα 3: OD Matrix 81
6.3.2.4 Καρτέλα 4: Data Profiles 82

6.3.2.5 Καρτέλα 5: Origin Settings 87
6.3.2.6 Καρτέλα 6: Platform-Train Settings 87
6.3.3 Μέσα Στο LEGION Model Builder - Εισαγωγή Των Objects Και Data 88
6.3.3.1 Είσοδοι και Έξοδοι – Entrances and Exits 89
6.3.3.2 Βαγόνια και Συρμοί - Train Carriages & Trains 91
6.3.3.3 Αποβάθρες – Platforms 92
6.3.3.4 Υπηρεσίες Δρομολογίων – Train Service 92
6.3.3.5 Σταθερές Κλίμακες - Stairs 93
6.3.3.6 Κυλιόμενες Κλίμακες - Escalators 95
6.3.3.7 Πύλες Επικύρωσης - Gates 96
6.3.3.8 Ανελκυστήρες 99
6.3.3.9 Αυτόματοι Πωλητές Εισιτηρίων 102
6.3.3.10 Γραφεία Έκδοσης Εισιτηρίων 108
6.3.3.11 Έλεγχος Συμπεριφοράς Επιβατών 111
6.3.3.12 Πρόσθετα Στοιχεία Μοντελοποίησης 132
6.3.3.13 Εκδοχές Του Μοντέλου 134

6.4 Στάδιο 3ο 136
6.4.1 Προσομοίωση Ώρας Αιχμής 136
6.4.1.1 Δοκιμή 1 (01+a) 137
6.4.1.2 Δοκιμή 2 (01+b) 137
6.4.1.3 Δοκιμή 3 (01+c) 139
6.4.1.4 Δοκιμή 4 (02+a) 143
6.4.1.5 Δοκιμή 5 (02+c) 144
6.4.1.6 Δοκιμή 6 (03+a) 148
6.4.1.7 Δοκιμή 7 (03+c) 150
6.4.1.8 Σύνοψη 151
6.4.2 Λειτουργία Εκκένωσης 151
6.4.2.1 Μετατροπή Excel Data Sheet 152
6.4.2.2 Μετατροπή Μοντέλου 153
6.4.2.3 Τοποθέτηση Επιβατών Στο Μοντέλο 170
6.4.2.4 Δοκιμές 179
6.4.3 Βελτιώσεις Μοντέλου 185
6.4.3.1 Θύρες Έκτακτης Ανάγκης 186
6.4.3.2 Βήματα Προς Βελτίωση Και Δοκιμές 189
6.4.3.3 Δοκιμές Στο Τελικό Μοντέλο 197

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 198

8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ 199

8.1 Παράρτημα 1 199

9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 202

9.1 Βιβλιογραφικές Αναφορές 202

9.2 Προτεινόμενη Βιβλιογραφία 204

1 ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΜ	Αττικό Μετρό ΑΕ
ΑμεΑ	Άτομα με αναπηρία
ΑΜΕΕ	Αυτόματα μηχανήματα έκδοσης εισιτηρίων
ΕΣ	Εγχειρίδιο Σχεδιασμού
BS	British Standard
CAD	Computer-aided design
CFPA	Confederation of Fire Protection Associations
DM	Direction Modifier
DP	Delay Point
DS	Data Sheet
FN	Focal Node
FTO	Fast ticket office
IFC	Industry Foundation Classes
LMB	Legion Model Builder
LS	Legion Simulator
LU	London Underground
MTZ	Mesoscopic Transit Zone
NFPA	National Fire Protection Association
OD Matrix	Origin – Destination Matrix
QG	Queue Group
STO	Slow ticket office
TO	Ticket Office
UI	User Interface

2 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την αναλυτική μοντελοποίηση ενός σταθμού του μετρό και την μελέτη της επιβατικής κίνησης μέσα σε αυτόν με τη χρήση λογισμικού προσομοίωσης κίνησης πεζών. Ο σταθμός είναι έργο της Αττικό Μετρό ΑΕ και βρίσκεται ακόμα σε στάδιο σχεδιασμού.

Στα πρώτα κεφάλαια ορίζεται το θεωρητικό πλαίσιο μέσα στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η μελέτη κίνησης επιβατών μέσα στον σταθμό. Γίνεται αναφορά στην Θεωρία Συστημάτων και την ερμηνεία του σταθμού σύμφωνα με αυτή, ενώ αναφέρονται μέθοδοι πρόβλεψης και λογισμικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μελέτες κίνησης πλήθους. Στη συνέχεια δίνονται πληροφορίες για τις δυνατότητες και την λογική λειτουργίας πίσω από το LEGION, που είναι και το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί.

Στον κορμό της εργασίας αρχικά αναλύονται προδιαγραφές που ορίζονται από το Εγχειρίδιο Σχεδιασμού της ΑΜ και σχετίζονται με την δομή και τα λειτουργικά δεδομένα του σταθμού. Με βάση τις προδιαγραφές αυτές αξιολογούνται τα πρώιμα αρχιτεκτονικά σχέδια που έχουν δημοσιευθεί στην ιστοσελίδα της ΑΜ και πραγματοποιούνται κατάλληλες τροποποιήσεις για την εξάλειψη οποιασδήποτε απόκλισης.

Τόσο ο σταθμός όσο και οι αναμενόμενοι επιβάτες του μοντελοποιούνται εντός του λογισμικού με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων και μέχρι το επίπεδο λεπτομέρειας που κρίνεται ότι είναι απαραίτητο για την ασφαλή διεξαγωγή αποτελεσμάτων. Δημιουργούνται διαφορετικά σενάρια της πρωινής ώρας αιχμής προκειμένου να δοκιμαστεί η ικανότητα του σταθμού να διαχειριστεί διαφορετικής έντασης ροές επιβατών. Ανάλογα με την έκβαση των προσομοιώσεων στην ώρα αιχμής προκύπτουν συμπεράσματα για την καταλληλότητα της δομής του σταθμού και πραγματοποιούνται αλλαγές όπου χρειάζεται.

Στη συνέχεια γίνονται κατάλληλες μετατροπές του μοντέλου προκειμένου να πραγματοποιηθούν δοκιμές του σταθμού σε λειτουργία εκκένωσης. Οι δοκιμές αυτές αποκαλύπτουν τα αδύναμα σημεία του σταθμού, κάτι που μας επιτρέπει να προχωρήσουμε σε προτάσεις βελτίωσης και να πετύχουμε κάλυψη των προδιαγραφών που έχουν οριστεί από την ΑΜ.

2.2 Abstract

The present thesis regards the detailed modeling of a metro station and the study of crowd movement within it, using pedestrian simulation software. The station is an Attiko Metro SA project and is still at early design stage.

The first chapters establish the theoretical framework that is used to carry out the study of passenger movement within the station. There is a brief description of Systems Theory and how it applies to the station, and also a report of forecasting methods and available software that can be used for crowd simulation studies. The chapters include information about the features and the operating logic behind LEGION, which is the software that will be used.

The core body of this project begins with a detailed enumeration of specifications that are defined by the Design Manual of AM and are related to the structure and the operational data of the station. Based on these specifications, there is an evaluation of the early-stage architectural plans that have been published on AM's website. Based on this evaluation, appropriate modifications are made to eliminate any inconsistency.

Both the station and its expected passengers are modeled within the software using appropriate tools, while adding whatever level of detail is deemed necessary to acquire accurate results. In order to test the station's ability to handle different passenger flows, different peak hour scenarios are created. Depending on the outcome of the simulations at peak hour, we can draw conclusions about the suitability of the station and then make changes where necessary.

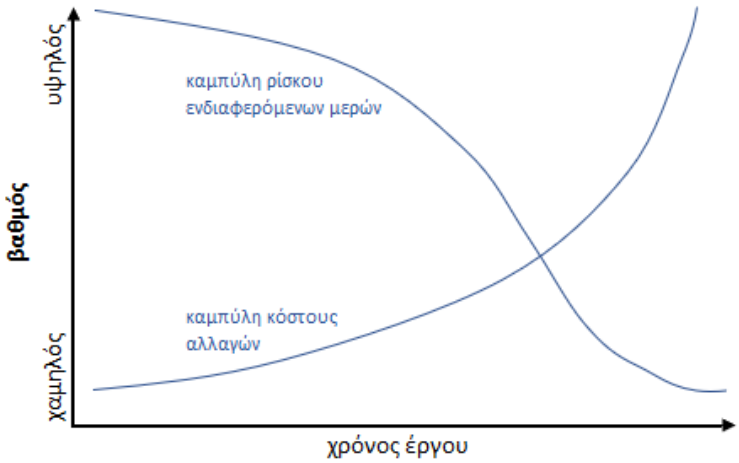
The next step is to make appropriate modifications to the model in order to test the station in evacuation mode. These tests reveal the weak points of the station, which allows us to proceed with improvement proposals and ultimately comply with the specifications set by AM.

2.3 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει τους ακόλουθους στόχους:

- Τον έλεγχο αντιστοιχίας των υπαρχόντων αρχιτεκτονικών σχεδίων του σταθμού «Γαλάτσι» με τις αντίστοιχες προδιαγραφές που περιέχονται στο Εγχειρίδιο Σχεδιασμού της Αττικό Μετρό ΑΕ.
- Την απόκτηση γνώσης για τις δυνατότητες του σταθμού σε σχέση με την διαχείριση των αναμενόμενων επιβατικών ροών στην ώρα αιχμής, τον εντοπισμό αδύναμων σημείων και τον καθορισμό των ορίων εντός των οποίων μπορεί ο σταθμός να λειτουργεί ομαλά.
- Τον έλεγχο κάλυψης των προδιαγραφών που δίνει η ΑΜ όσον αφορά τους επιθυμητούς χρόνους εκκένωσης των διαφορετικών επιπέδων του σταθμού σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, καθώς η διπλωματική εργασία βασίζεται σε πρώιμα αρχιτεκτονικά σχέδια, αφορά ένα υποθετικά σενάριο και δεν έχει απευθείας εφαρμογή στον τελικό σταθμό του μετρό στο Γαλάτσι. Τέτοιες μελέτες, ωστόσο, καλό είναι να γίνονται ούτως ή αλλιώς σε πρώιμο στάδιο. Είναι δεδομένο ότι όσο πιο μετά στον κύκλο ενός έργου γίνονται αλλαγές, τόσο μεγαλύτερη είναι το κόστος τους.



Διάγραμμα 1: Η επίδραση των αλλαγών με το πέρασμα του χρόνου

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

3.1 Θεωρία Συστημάτων

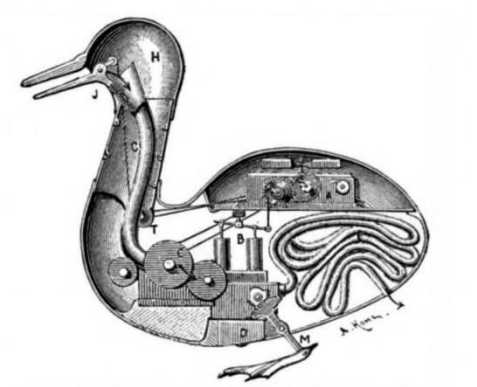
3.1.1 Από Την Φιλοσοφία Στα Πολύπλοκα Προσαρμοστικά Συστήματα

Η σύγχρονη επιστήμη με όλους τους κλάδους της είναι το αποτέλεσμα εκατοντάδων ετών παρατήρησης, πειραμάτων και θεωριών. Τα πρώτα βήματα της ανθρωπότητας στην προσπάθεια να ερμηνεύσουν τα φαινόμενα γύρω τους ξεκινούν από την φιλοσοφία.

Αργότερα η επιστήμη διαχωρίστηκε από την φιλοσοφία και άρχισε να χρησιμοποιείται για την δημιουργία έργων με σκοπό την εξυπηρέτηση πραγματικών καθημερινών αναγκών.

Τα σύγχρονα τεχνολογικά συστήματα δημιουργούνται προκειμένου να επιτελέσουν έναν τέτοιον σκοπό: την επίλυση πραγματικών προβλημάτων, απλών και πολύπλοκων, με την συνδυαστική εφαρμογή θεωριών, μοντέλων και κανόνων. Για να γίνει αυτό με επιτυχία είναι απαραίτητη τόσο η γνώση γύρω από τον κόσμο της εφαρμογής όσο και ο τρόπος αξιοποίησής της.

Ο κόσμος της εφαρμογής δεν είναι παρά αυτό που αποκαλούμε σύστημα. Η ανάγκη οριοθέτησης ενός αντικειμένου, προκειμένου να μελετηθεί με ευκολία, υπάρχει εδώ και αιώνες. Ο Δημόκριτος (470-400 π.Χ.), μέσω της Ατομικής Θεωρίας, υποστήριζε ότι ο κόσμος αποτελείται από θεμελιώδεις μονάδες (άτομα) και κενά που βρίσκονται ανάμεσά τους, ενώ για τις περιγραφές του χρησιμοποιούσε μαθηματικά και γεωμετρικούς συμβολισμούς. Η θεώρηση του Δημόκριτου μπορεί να παραλληλιστεί με την **αναγωγή** ως μέθοδο ανάλυσης ενός συστήματος, κατά την οποία μπορεί να γίνει αποσύνθεση κάθε συστήματος σε θεμελιώδη στοιχεία.



Εικόνα 1: Ο Καρτέσιος ισχυρίστηκε ότι τα ζώα εκτός του ανθρώπου θα μπορούσαν να εξηγηθούν αναγωγικά ως αυτόματα, γεγονός που σημαίνει ότι αναφέρονται σε μηχανικά πιο πολύπλοκες εκδοχές αυτής

Ο Αριστοτέλης από την άλλη (384-322 π.Χ.) θεωρούσε ότι τα αντικείμενα έχουν έναν συγκεκριμένο σκοπό στον κόσμο και ότι η συμπλοκή των μερών (των ατόμων δηλαδή του Δημόκριτου) συχνά αποδίδει στο όλο (τα αντικείμενα) διαφορετικό σκοπό από εκείνον που κάθε ένα μέρος μπορεί ατομικά να έχει[2] [3]. Η θεώρηση του Αριστοτέλη μπορεί να ταυτιστεί με την φιλοσοφική κίνηση του **ολισμού**, και κατ' επέκταση την **συστημική σκέψη**, κατά την οποία τα κομμάτια ενός συνόλου δεν δύναται να απομονωθούν και να μελετηθούν ξεχωριστά.

Οι δύο παραπάνω θεωρήσεις είναι οι δύο ισχυρότερες τάσεις στην θεώρηση των συστημάτων σήμερα.

Η συστημική σκέψη χρησιμοποιείται ευρέως και έχει επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα σε πολλούς επιστημονικούς κλάδους όπως η κοινωνιολογία, η μοριακή βιολογία, η τεχνητή νοημοσύνη και η ρομποτική. Επίσης, έδωσε κατεύθυνση στην μελέτη συστημάτων οδηγώντας στην ανάπτυξη της **Θεωρίας Γενικών Συστημάτων**. Σκοπός της θεωρίας αυτής

ήταν να μπορεί να εφαρμόζεται σε όλα τα συστήματα, ανεξάρτητα από το επιστημονικό πεδίο όπου μελετώνται (von Bertalanffy, 1968). Η θεωρία καθαυτή παρουσίαζε αδυναμίες που δεν επέτρεψαν την ανάδειξη αρχών και κανόνων κατάλληλων για αυτόν τον σκοπό. Παρ' όλα αυτά αποδείχθηκε σημαντικό βήμα, καθώς διαχώρισε την θεωρητική από την πρακτική εφαρμογή της συστημικής σκέψης. Συνέβαλλε στο να προκύψουν μεθοδολογίες (π.χ. Μηχανική Συστημάτων) και οδήγησε στην προσπάθεια για σχεδιασμό συστημάτων τεχνολογικών, κοινωνικών ή ανθρώπινης δραστηριότητας. Επιπλέον, ενέπνευσε την ανάπτυξη ενωτικών θεωριών σε συνδυαστικούς κλάδους (π.χ. θεωρία κοινωνικό-τεχνικών συστημάτων) και έφερε την μελέτη συστημάτων στο παρασκήνιο για επιστήμες που ασχολούνται με πρακτικά σύγχρονα τεχνολογικά προβλήματα.

Στα πλαίσια αυτά γεννώνται οι **θεωρίες της πολυπλοκότητας**. Σε κάθε σύστημα, αναλόγως τη φύση του, μπορούν να εφαρμοστούν μία ή περισσότερες θεωρίες πολυπλοκότητας, που όμως βασίζονται σε ένα κοινό επιστημονικό παράδειγμα: το **παράδειγμα της πολυπλοκότητας** (complexity paradigm). Σύμφωνα με αυτό, ο κόσμος του προβλήματος αποτελείται από ολότητες και, όπως πίστευε και ο Αριστοτέλης, το όλο είναι περισσότερο από το άθροισμα των μερών. Ο τρόπος που το όλο είναι περισσότερο ορίζεται μέσα από την θεώρηση της ιεραρχικής δομής του πολύπλοκου συστήματος και τη θεώρηση των μηχανισμών της ανάδυσης και της αυτοργάνωσης ως μηχανισμούς λειτουργίας και εξέλιξης[4].

Η **επιστήμη της πολυπλοκότητας** έχει στόχο την μελέτη σύγχρονων και τεχνικών προβλημάτων, την αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας του σύγχρονου κόσμου τόσο σε φυσικά όσο σε τεχνητά περιβάλλοντα. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται να πλαισιωθεί με μεθοδολογίες, ορισμούς και πρακτικές. Ωστόσο, έχει ήδη γίνει αποδεκτό ότι ο αναγωγισμός δεν μπορεί επιλύσει πολύπλοκα προβλήματα, και άρα τίθεται ο προβληματισμός: προκειμένου να επιλύσουμε σύγχρονα προβλήματα μικρής κλίμακας, θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψιν μας κάθε είδους ολότητα που απαντάται στον κόσμο; Ως λύση σε αυτό, Simon (1996) κάνει αναφορά σε **σχεδόν αναγωγήσιμα συστήματα**. Προκειμένου να θεωρηθεί ένα σύστημα αναγωγήσιμο, θα πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Η βραχυπρόθεσμη συμπεριφορά καθενός από τα επιμέρους μέρη του όλου θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη από την βραχυπρόθεσμη συμπεριφορά των άλλων μερών.
- Μακροπρόθεσμα, η συμπεριφορά κάθε μέρους θα πρέπει να εξαρτάται μόνο με συνολικό τρόπο από την συμπεριφορά άλλων μερών.

Οι ιδιότητες που ορίζει ο Simon επιτρέπουν την προσέγγιση ποικιλίας πολύπλοκων συστημάτων, μεταξύ των οποίων είναι και τα κοινωνικό-τεχνικά συστήματα. Η σχεδόν αναγωγησιμότητα μας επιτρέπει να καθορίσουμε το ελάχιστο δυνατό υποσύστημα, και να ενσωματώσουμε έτσι την μελέτη στο επιθυμητό πεδίο εφαρμογής.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι δεν έχει εδραιωθεί επίσημη ορολογία για τον όρο του πολύπλοκου συστήματος, ωστόσο έχουν εκφραστεί διάφορες απόψεις από μελετητές που συνδυαστικά μπορούν να σχηματίσουν μια αρκετά πλήρη εικόνα. Θα απαριθμήσουμε τις ιδιότητες που καθορίζουν ένα σύστημα ως πολύπλοκο, σύμφωνα με τον Simon (1996), τον Cilliers (1998), τον Holland (1992, 1995, 1998) και τον Kauffman 1995:

1. Αποτελείται από πολλά μέρη, τα οποία αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Στην περίπτωση τεχνολογικών συστημάτων, τα μέρη αυτά, ονομάζονται δράστες (agents) ή δρώντες (actors), ανάλογα με την περίπτωση και το πεδίο της εφαρμογής.

2. Τα πολύπλοκα συστήματα είναι ανοιχτά στο περιβάλλον τους.
3. Τα μέρη βρίσκονται μέσα σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο (δηλαδή δυναμικό) περιβάλλον και αλληλοεπιδρούν με αυτό. Η δυναμική αλληλεπίδρασή τους υπακούει στο στόχο της επιβίωσης των μερών και γίνεται μέσω κατάλληλων μετασχηματισμών στην εσωτερική δομή του συστήματος. Αυτή η αλλαγή στη δομή, η οποία προκαλείται από τις αλλαγές του περιβάλλοντος, είναι γνωστή και ως προσαρμογή (adaptation).
4. Τα πολύπλοκα συστήματα είναι ιεραρχικά.
5. Η συνολική συμπεριφορά του συστήματος είναι αποτέλεσμα των αλληλεπιδράσεων σε τοπικό επίπεδο, και η συλλογική συμπεριφορά είναι το αποτέλεσμα που προέρχεται από την ανάδυση ιδιοτήτων σε κάποιο άλλο επίπεδο.
6. Οι αλληλεπιδράσεις είναι μη-γραμμικές. Μικρές αλλαγές στη συμπεριφορά ενός μέρους, μπορούν να οδηγήσουν - μέσω προσαρμογής - σε συλλογική συμπεριφορά με μεγάλες αποκλίσεις και αντίστροφα.
7. Τα μέρη έχουν γενικά την ικανότητα της μάθησης.
8. Τα μέρη έχουν γενικά μνήμη και η μακροπρόθεσμη συμπεριφορά είναι συνάρτηση της ιστορίας του συστήματος.
9. Τελικά, η συλλογική συμπεριφορά του συστήματος είναι μη ντετερμινιστική. Αυτή η ιδιότητα καθιστά την πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους αδύνατη[4].

Όσα πολύπλοκα συστήματα έχουν και ιδιότητες σχεδόν αναγωγησιμότητας, κατατάσσονται στην κατηγορία των **Πολύπλοκων Προσαρμοστικών Συστημάτων**. Αυτά, κατά τον Simon (1996), αποτελούν μία αναγωγή του κόσμου μέχρι το σημείο που οι αλληλοεπιδράσεις μεταξύ των μερών είναι σημαντικά ασθενείς

3.1.2 Μελέτη Πολύπλοκου Προσαρμοστικού Συστήματος

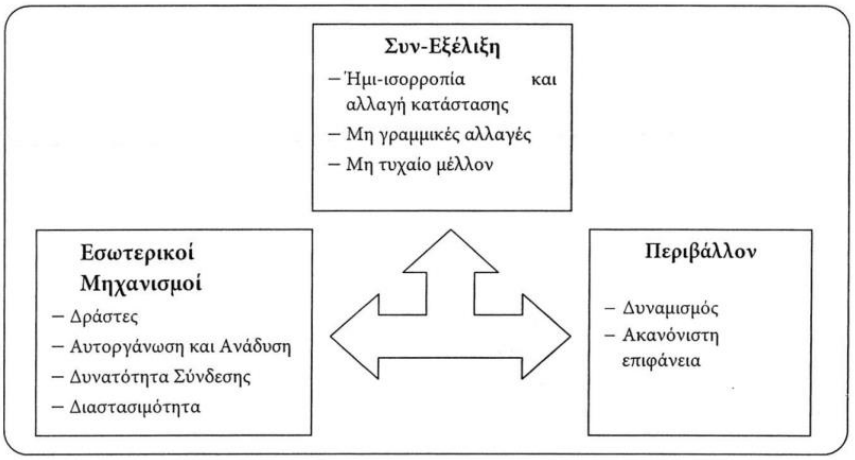
Το ΠΠΣ σαν κατηγοριοποίηση ορίζει τα πλαίσια μέσα στα οποία μπορούν να μελετηθούν πολύπλοκα συστήματα. Ο τρόπος που αντιδρά στις αλλαγές του περιβάλλοντος ορίζεται από εσωτερικούς μηχανισμούς προσαρμογής. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, για να οριστεί (και άρα να μελετηθεί) ένα ΠΠΣ θα πρέπει να γίνει αναγωγή από το επίπεδο του κόσμου μέχρι το επίπεδο του προβλήματος. Το σύστημα απομονώνεται από το γενικότερο περιβάλλον σε πολύ μεγάλο βαθμό, ωστόσο παραμένουν συνδέσεις με το στενό περιβάλλον με το οποίο αλληλοεπιδρά. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το στενό περιβάλλον είναι μέρος της ιεραρχίας του συστήματος[4].

Τα όρια μεταξύ συστήματος και περιβάλλοντος κρίνονται από την αρχή της σχεδόν αναγωγησιμότητας, οι ιδιότητες της οποίας θα πρέπει να ισχύουν σε κάθε περίπτωση. Κρίνονται επίσης από το είδος της μελέτης που πραγματοποιείται και τους στόχους αυτής (δεν υπάρχει νόημα στην μελέτη ενός πολύ λεπτομερούς συστήματος εάν τα επιθυμητά αποτελέσματα μπορούν να προκύψουν και από ένα πιο απλό σύστημα).

Η σχέση του συστήματος με το στενό περιβάλλον είναι άκρως καθοριστική, καθώς μέσω αυτής επιφέρονται οι αλλαγές στο πολύπλοκο σύστημα. Πρέπει επομένως η σχέση αυτή να καθοριστεί με ακρίβεια, με έναν τρόπο που να είναι συμβατός με την υπόλοιπη δομή του συστήματος. Μπορούμε να περιγράψουμε αυτή τη σχέση με την διαδικασία της **προσαρμογής**, η οποία κατά τον Holland (1992) αφορά την αλλαγή κάποιας ή όλων των δομών. Στην διαδικασία εμπλέκονται **τροποποιητές**, οι οποίοι δρουν πάνω στις δομές όλων των επιπέδων ενός συστήματος. Σε κάθε σύστημα δρα μείγμα τροποποιητών, και το σύνολο των παραγόντων που ελέγχουν αυτό το μείγμα ονομάζεται **προσαρμοστικό σχέδιο**. Ένα

προσαρμοστικό σχέδιο, λοιπόν, περικλείει τις πιθανές αλλαγές που μπορεί να υποστεί το σύστημα λόγω του περιβάλλοντος και κατ' επέκταση καθορίζει τις δυνατές δομές που μπορούν να προκύψουν από αυτές τις αλλαγές.

Κατά τον Choi et al. (2001) το σύστημα αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον του με 3 διαφορετικούς τρόπους, οι οποίοι περιγράφονται διαγραμματικά στην εικόνα 2 και θα αναλυθούν στην συνέχεια.



Εικόνα 2: Οι αλληλοεπιδράσεις σε ένα ΠΠΣ (Choi et al., 2001)[4]

3.1.2.1 Εσωτερικοί Μηχανισμοί

Στην συνέχεια ακολουθεί περιγραφή των εσωτερικών μηχανισμών ενός ΠΠΣ.

3.1.2.1.1 <u>Δράστες</u>

Κατά τον Choi et al., δράστες ονομάζονται οι οντότητες που οικίζουν ένα πολύπλοκο σύστημα και συμμετέχουν στην διαδικασία της αλλαγής της συμπεριφοράς του συστήματος αυτού. Οι δράστες μπορεί να είναι μέρη του συστήματος ή δομικά στοιχεία των μερών, ανάλογα με το επίπεδο ανάλυσης. Ως δράστες μπορούν να θεωρηθούν άνθρωποι, ομάδες ομοειδών αντικειμένων, οργανισμοί, οργανώσεις κλπ. Όλοι οι δράστες συνδέονται μεταξύ τους με μη γραμμικές σχέσεις σε διάφορους βαθμούς, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατο να μειωθεί η συμπεριφορά του συστήματος σε επίπεδο ατομικών μεμονωμένων συμπεριφορών (Holland, Choi και άλλοι).

Ο τρόπος που οι δράστες αντιλαμβάνονται και αντιδρούν στα ερεθίσματα του περιβάλλοντός τους, συνθέτει την έννοια του σχήματος. Το σχήμα αναφέρεται σε πρότυπα, αξίες, πεποιθήσεις και υποθέσεις που είναι κοινές μεταξύ των δραστών. Από αυτό εξαρτώνται οι πιθανές κινήσεις των δραστών, προκειμένου να βελτιώσουν το ταίριασμα του συστήματος στις αλλαγές του περιβάλλοντος. Συνήθως υπάρχουν λίγα κυρίαρχα σχήματα ανά σύστημα, τα οποία καθορίζουν την συλλογική συμπεριφορά.

3.1.2.1.2 <u>Ανάδυση Και Αυτοργάνωση</u>

Ανάδυση είναι το αποτέλεσμα της τοπικής αλληλεπίδρασης δύο ή περισσοτέρων δραστών, περιοριζόμενο από ένα ανώτερο επίπεδο, όταν (το αποτέλεσμα) είναι εμφανές στο ανώτερο επίπεδο αυτό. Σε ένα πολύπλοκο σύστημα, η ανάδυση περιγράφει το γεγονός ότι οι ολότητες έχουν αμοιβαίες συσχετίσεις που δεν μπορούν να εντοπιστούν σε μεμονωμένα μέρη, ότι δηλαδή οι ιδιότητες των μερών δεν είναι ενσωματωμένες σε αυτά.

Αυτοργάνωση ορίζουμε το μηχανισμό εκείνο που υποκινεί την εξέλιξη και προσαρμογή ενός συστήματος , σε κάποιο ερέθισμα, μέσα από δομικές αλλαγές στο εσωτερικό του. Στην περίπτωση των ΠΠΣ, με τον όρο αυτό περιγράφουμε τις ταυτόχρονες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δραστών, με τις οποίες αλλάζουν τις δομές του συστήματος ώστε να προσαρμοστούν στις αλλαγές του περιβάλλοντος.

Η αυτοργάνωση πραγματοποιείται μέσω της ανάδυσης ιδιοτήτων στο ανώτερο επίπεδο, ιδιοτήτων που είναι αποτελέσματα αλληλεπίδρασης των δραστών, Ουσιαστικά, τα αποτελέσματα απλών κανόνων ενός χαμηλότερου επιπέδου εμφανίζονται στο επίπεδο ανάδυσης ως νέοι κανόνες, διαφορετικοί από τους πρώτους.

3.1.2.1.3 Δυνατότητα Σύνδεσης

Οι δράστες αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους στο βασικό επίπεδο με τρόπο που εξαρτάται από τις συνδέσεις μεταξύ τους. Ο βαθμός της σύνδεσης μεταξύ των δραστών μπορεί να αποτελέσει ένδειξη του βαθμού πολυπλοκότητας του συστήματος. Εξίσου σημαντικός είναι ο τρόπος που καθορίζεται η δυναμική των συνδέσεων αυτών.

Στα ΠΠΣ υπάρχει μια κρίσιμη τιμή σύζευξης, μέτρο της δυναμικής και του πλήθους των συνδέσεων μεταξύ των δραστών, μετά το πέρας της οποίας οι αλληλοσυνδέσεις μεταξύ δραστών αλλάζουν σημαντικά, και κατ' επέκταση αλλάζει σημαντικά και η συνολική συμπεριφορά του συστήματος (Choi et al.).

Υψηλότερος αριθμός συνδέσεων σημαίνει ότι περισσότεροι δράστες αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, και άρα το σύστημα έχει υψηλότερη πολυπλοκότητα. Η κρίσιμη τιμή σύνδεσης δε, είναι εκείνος ο βαθμός σύζευξης, γύρω από τον οποίο το σύστημα εμφανίζει μια ιδιαίτερη συμπεριφορά[4].

3.1.2.1.4 Διαστασιμότητα

Η διαστασιμότητα του συστήματος αναφέρεται στο βαθμό ελευθερίας που έχουν οι μεμονωμένοι δράστες, προκειμένου να εκδηλώσουν αυτόνομη συμπεριφορά, εντός των ορίων του συστήματος (Dooley & van de Ven, 1999). Σε ένα κοινωνικό-τεχνικό σύστημα, οι κανονισμοί και οι λοιποί κανόνες, μειώνουν τη διαστασιμότητα του συστήματος, και επομένως περιορίζουν την αυτονομία των δραστών[4].

3.1.2.2 Περιβάλλον

Παρακάτω περιγράφονται οι παράμετροι που μας βοηθούν να ερμηνεύσουμε τον τρόπο με τον οποίο αλληλοεπιδρά το σύστημα με το περιβάλλον του.

3.1.2.2.1 Δυναμισμός

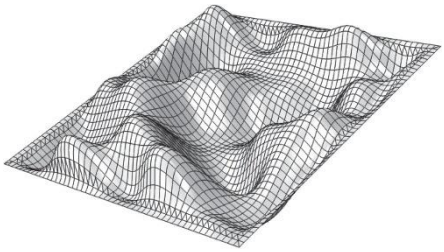
Ένα περιβάλλον αλλάζει συνεχώς, επιδρώντας δυναμικά πάνω στο σύστημα που περιβάλλει. Ένας τρόπος που γίνεται αυτό είναι μέσω της αλλαγής των συνόρων περιβάλλοντος – συστήματος, μέσω προσθαφαίρεσης συνδέσεων. Επιπλέον, το περιβάλλον μπορεί να θέσει νέους κανόνες, αλλάζοντας έτσι τα σχήματα και μεταβάλλοντας δυναμικά τη διαδικασία της προσαρμογής. Επομένως, το δυναμικό περιβάλλον, προκαλεί αντίστοιχα δυναμικές αλλαγές στην εσωτερική δομή του συστήματος.

Αντίστροφα, το ΠΠΣ μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στο περιβάλλον του και να λάβει την αντίδραση του περιβάλλοντος ως ερέθισμα. Το ΠΠΣ αντιδρά σε αυτά τα ερεθίσματα και προσαρμόζεται.

Από αυτή την διαδικασία προκύπτει ότι κάθε ΠΠΣ που αλληλοεπιδρά με ένα δυναμικό περιβάλλον, είναι και αυτό δυναμικό.

3.1.2.2.2 Ακανόνιστη Επιφάνεια

Η προσαρμογή ενός συστήματος στο περιβάλλον του μπορεί να παρομοιωθεί με διαδικασία βελτιστοποίησης, κατά την προσπάθεια εύρεσης της οποίας η συμπεριφορά του συστήματος αγγίζει τοπικά μέγιστα και ένα ολικό μέγιστο. Το σύνολο των δυνατών καταστάσεων του συστήματος μπορεί να αναπαρασταθεί από μια ακανόνιστη επιφάνεια. Κάθε ερέθισμα του περιβάλλοντος αλλάζει αυτή την επιφάνεια οδηγεί τους δράστες του συστήματος στην αναζήτηση του νέου ολικού μέγιστου. Όσο πιο πολύπλοκο είναι ένα σύστημα (περισσότερες αλληλεπιδράσεις), και όσο πιο στενή η σύζευξη μεταξύ των μερών του, τόσο πιο ακανόνιστη είναι η επιφάνεια.



Εικόνα 3: Ακανόνιστη Επιφάνεια[5]

Επομένως, οι επιφάνειες, μπορεί να είναι ακανόνιστες και διαρκώς μεταβαλλόμενες, αναγκάζοντας τα μέλη τον συστήματος να εκμεταλλεύονται τόσο την υπάρχουσα γνώση, όσο και να αναζητούν καινούργια γνώση (March, 1994), ώστε να υπερνικούν την αβεβαιότητα που τίθεται από το περιβάλλον και να διασφαλίζουν την επιβίωση (Choi και άλλοι, 2001) [4].

3.1.2.3 Συν-Εξέλιξη

Το περιβάλλον και το σύστημα αλληλοεπηρεάζονται ανάλογα με την μεταξύ τους σχέση, η οποία μπορεί να προσδιοριστεί μέσα από την έννοια της συν-εξέλιξης. Η Συν-εξέλιξη έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

3.1.2.3.1 Ήμι-ισορροπία και Αλλαγή Κατάστασης

Ένα σύστημα υπό κανονικές συνθήκες ισορροπεί μεταξύ πλήρους τάξης και μερικής αταξίας (Goldstein 1994). Η κατάσταση αυτή επιτρέπει στο σύστημα να διατηρείται μεν σε τάξη, αλλά και να μπορεί να αντιδρά στα ερεθίσματα του περιβάλλοντός του (Choi και άλλοι, 2001).

3.1.2.3.2 Μη-γραμμικές αλλαγές

Στις μη γραμμικές αλλαγές ένα μικρό ερέθισμα μπορεί να προκαλέσει μεταβολή μεγάλου μεγέθους και αντίστροφα. Στα ΠΠΣ η συλλογική συμπεριφορά είναι το αποτέλεσμα πολλαπλών μη γραμμικών αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στα μέρη του, σε κάποιο επίπεδο (Holland 1992, 1998, Kauffman 1995, Choi et al., 2001). Λόγω της συνολικά μη γραμμικής συμπεριφοράς των συστημάτων σε αλλαγές του περιβάλλοντός τους, είναι εξαιρετικά δύσκολο να γίνουν συσχετίσεις μεταξύ αίτιων και αιτιατών. Επιπλέον, τυχόν μικρές αλλαγές με σκοπό την διόρθωση μιας συμπεριφοράς μπορεί τελικά να έχουν αρνητικές συνέπειες. Το ΠΠΣ δεν μπορεί να μελετηθεί μέσω παραμετρικών μοντέλων και χρήση στατιστικών μεθόδων (Choi et al., 2001).

3.1.2.3.3 Μη-τυχαίο Μέλλον

Τα ΠΠΣ διαθέτουν μηχανισμούς ανάδυσης και αυτοργάνωσης με βάση τους οποίους οι ολότητες που τα αποτελούν αλληλοεπιδρούν και αλλάζουν την δομή του συστήματος προκειμένου να επιβιώσουν μέσα στο δυναμικό περιβάλλον. Για αυτό, οι αλλαγές που

γίνονται δεν είναι ποτέ τυχαίες, αλλά έχουν σκοπό (ανεξάρτητα από την δυσκολία πρόβλεψης της συμπεριφορά τους) [4].

3.2 Το Σύστημα Του Σταθμού

Ο σταθμός «Γαλάτσι» χωροθετείται στη συμβολή της Λεωφόρου Ομορφοκκλησιάς (Βεΐκου) και επί της συνέχειας αυτής, οδό Αγ. Γλυκερίας με την Λεωφόρο Γαλατσίου στον Δήμο Γαλατσίου. Θα εξυπηρετεί την Γραμμή 4 του Αττικού Μετρό, και συγκεκριμένα το τμήμα Α της γραμμής αυτής. Πρόκειται για μια γραμμή δύο κατευθύνσεων (Μ4-1 και Μ4-2), όπου Η Μ4-1 αφορά την διαδρομή του συρμού από το Άλσος Βεΐκου στον σταθμό, ενώ Η Μ4-2 αφορά την ακριβώς αντίστροφή της.

Στο τμήμα Α της Γραμμής 4 συμπεριλαμβάνονται οι 15 σταθμοί: Βεΐκου, Γαλάτσι, Ελικώνος, Κυψέλη, Δικαστήρια, Αλεξάνδρας, Εξάρχεια, Ακαδημίας, Κολωνάκι, Ευαγγελισμός, Καισαριανή, Πανεπιστημιούπολη, Ιλίσια, Ζωγράφου και Γουδή.

3.2.1 Περιγραφή Συστήματος

Το σύστημα του σταθμού περιλαμβάνει τους ανθρώπινους δράστες, το τεχνολογικό σύστημα και τις υποδομές.

3.2.1.1 Ανθρώπινοι Δράστες

Οι ανθρώπινοι δράστες είναι όλα τα άτομα που είτε κυκλοφορούν μέσα στο σύστημα (φυσική παρουσία) είτε επηρεάζουν με κάποιον άλλον τρόπο τις εξελίξεις μέσα σε αυτό από μία απομακρυσμένη θέση. Οι δράστες που ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία είναι:

- Οι επιβάτες που χρησιμοποιούν τον σταθμό για τις μετακινήσεις τους. Αυτοί είτε εισέρχονται από τις εισόδους και κατευθύνονται στις αποβάθρες, είτε αποβιβάζονται από τους συρμούς και κινούνται προς τις διαθέσιμες εξόδους. Έχουν φυσική παρουσία μέσα στον χώρο, η οποία αποτελεί και το βασικό αντικείμενο της μελέτης του συστήματος.
  Οι επιβάτες μέσα στο σύστημα έχουν ενδιάμεσους στόχους (π.χ. επίσκεψη στα γραφεία έκδοσης), τελικό προορισμό (π.χ. επιβίβαση στον συρμό που κατευθύνεται προς την στάση «Βεΐκου»), και προσωπικές προτιμήσεις (π.χ. χρήση ανελκυστήρα έναντι κλιμάκων). Αυτά είναι δεδομένα εξαρχής. Αυτό που καθιστά την συμπεριφορά τους μη ντετερμινιστική είναι ο αλγόριθμος που υπολογίζει το κάθε βήμα τους, αφού όπως είδαμε χρησιμοποιεί την τυχαιότητα προκειμένου να αποδώσει την απρόβλεπτη ανθρώπινη συμπεριφορά.
- Οι άνθρωποι που εργάζονται στο μετρό. Οι άνθρωποι αυτοί εξυπηρετούν απευθείας τους επιβάτες στα εκδοτήρια εισιτηρίων, χειρίζονται τα συστήματα του σταθμού (π.χ. κυλιόμενες κλίμακες), ελέγχουν την κατάσταση στους διάφορους χώρους μέσω συστημάτων παρακολούθησης και βρίσκονται σε επιφυλακή ώστε αν προκύψει κάποια ανάγκη να παρέμβουν άμεσα. Μπορούν για παράδειγμα να σπεύσουν σε βοήθεια ατόμου που την χρειάζεται, ή να εμποδίσουν ανθρώπους να εισέλθουν στον σταθμό σε περίπτωση που προκύψει ανάγκη εκκένωσης. Στην προκειμένη μελέτη δεν λαμβάνεται υπόψιν η φυσική παρουσία τους μέσα στο σύστημα, παρά μόνο τα αποτελέσματα των πράξεών τους, τα οποία φαίνονται πρακτικά μέσω των αλλαγών στον χώρο όπου κινούνται οι επιβάτες (π.χ. οι κυλιόμενες κλίμακες ρυθμίζονται από τους υπαλλήλους με βάση τις ανάγκες του σταθμού).

3.2.1.2 Υποδομές

Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται όλα τα χωρικά στοιχεία με τα οποία αλληλοεπιδρούν οι επιβάτες. Στην μελέτη του συστήματος θα συμπεριληφθούν τα ακόλουθα:

- Όλοι οι κοινόχρηστοι χώροι που προορίζονται για την κίνηση των επιβατών (δηλαδή το διαθέσιμο έδαφος στο οποίο μπορεί να κινηθεί ένας επιβάτης, όπως αυτό ορίζεται από τους εσωτερικούς τοίχους του σταθμού, τις γραμμές πυλών επικύρωσης, τις κλίμακες κλπ.)
- Σταθερές κλίμακες
- Κυλιόμενες κλίμακες
- Χειρολισθήρες και κιγκλιδώματα
- Ανελκυστήρες (χονδρικά)
- Αυτόματα εκδοτήρια εισιτηρίων
- Σημεία εξυπηρέτησης γραφείων έκδοσης
- Πύλες επικύρωσης εισιτηρίων
- Χώρος αποβάθρων
- Συρμοί (χονδρικά)

Τα παραπάνω είναι προκαθορισμένα ως προς την δομή και την λειτουργία τους, και η σχέση τους με τους επιβάτες θα παρουσιαστεί αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια. Υπάρχουν ακόμα μερικά στοιχεία που στην πραγματικότητα αποτελούν μέρος του σταθμού μεν, αλλά στην μελέτη δεν θα μοντελοποιηθούν με κάποιον τρόπο. Αυτά είναι:

- Σημάνσεις
- Πετάσματα με θύρες επί των αποβάθρων
- Καθίσματα (στις αποβάθρες και στους συρμούς)
- Οθόνες πληροφοριών και διαφήμισης
- Πυροσβεστικές φωλιές
- Γραφεία Υπεύθυνου Σταθμού και υπαλλήλων
- Χώροι Υγιεινής
- Αποθήκες

  κλπ.

Τα παραπάνω τα εξαιρούμε είτε διότι κρίνεται ότι θα έχουν αμελητέα επίδραση σε σύγκριση με τα υπόλοιπα στοιχεία (πχ χώροι υγιεινής), είτε διότι για να γίνει σωστή απόδοσή τους απαιτείται διαδικασία που εντάσσεται σε άλλο αντικείμενο από αυτό που πραγματεύεται η παρούσα εργασία (πχ σημάνσεις).

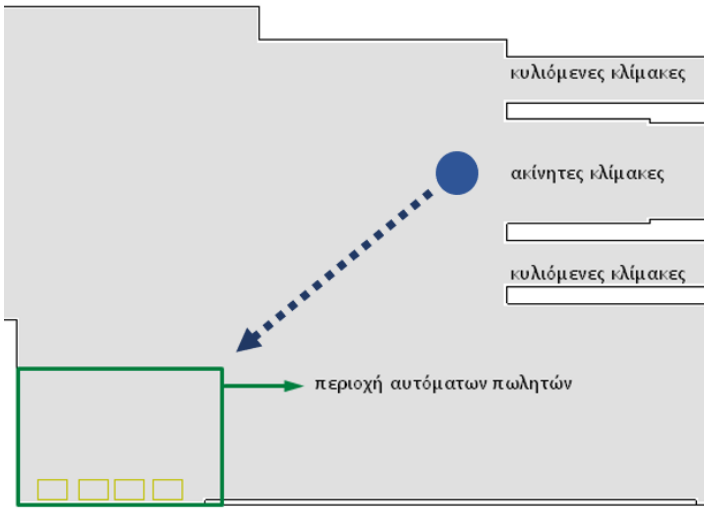
3.2.1.3 Τεχνολογικά Συστήματα

Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν συστήματα που αποτελούν βοηθήματα για την καλή λειτουργία του σταθμού. Ο σταθμός διαθέτει συστήματα για την ενδοεπικοινωνία μεταξύ υπαλλήλων του, χειριστών και οδηγών. Υπάρχουν συστήματα ελέγχου των συρμών και ελέγχου του εξοπλισμού στον σταθμό, όπως και συστήματα επιτήρησης των χώρων. Αυτά και πολλά ακόμα είναι αναγκαία για την ομαλή λειτουργία του σταθμού και, ενώ δεν πρόκειται να μοντελοποιηθούν αυτά καθαυτά στην συνέχεια, η συμβολή τους στο σύστημα θα είναι αισθητή μέσω της συμπεριφοράς ορισμένων χωρικών στοιχείων. Σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς στον σταθμό, για παράδειγμα, κάποιος υπεύθυνος θα εντοπίσει το συμβάν μέσω

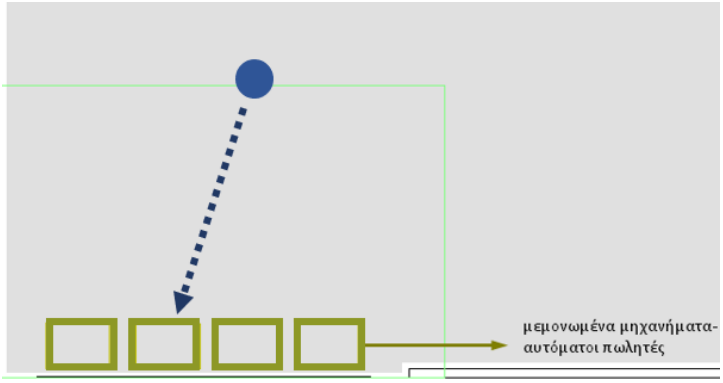
κάμερας παρακολούθησης και στην συνέχεια θα χρησιμοποιήσει το σύστημα ενδοεπικοινωνίας για να ενημερώσει τον οδηγό ερχόμενου συρμού. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα να μη σταματήσει ο συρμός στον σταθμό.

Με δεδομένα τα παραπάνω ο Σταθμός «Γαλάτσι», όπως και όλοι οι σταθμοί του μετρό, μπορεί να αντιμετωπιστεί ως πολύπλοκο σύστημα αφού διακρίνεται από τις ακόλουθες ιδιότητες (σε αντιστοιχία με την σελίδα):

1. Αποτελείται από πολλά διαφορετικά μέρη, αφού χιλιάδες επιβάτες διέρχονται μέσα από αυτόν καθημερινά.
2. Είναι προφανώς σύστημα ανοιχτό στο περιβάλλον του.
3. Το περιβάλλον συνεχώς αλλάζει και οι επιβάτες αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και με αυτό. Κοινός στόχος όλων των δραστών είναι να φτάσουν στον προορισμό τους αποφεύγοντας όσο είναι δυνατόν να αυξήσουν τον δείκτη δυσαρέσκειάς τους (όπως περιγράφεται αργότερα στο κεφάλαιο). Αλληλεπιδράσεις σε τοπικό επίπεδο επηρεάζουν την συλλογική εικόνα σε βάθος χρόνου
4. Μπορούν να παρατηρηθούν διάφορα επίπεδα ιεραρχίας στον σταθμό. Για παράδειγμα, ένας επιβάτης που εισέρχεται στον σταθμό με σκοπό να αγοράσει εισιτήρια, αντιμετωπίζει αρχικά την ομάδα των (π.χ. τεσσάρων) πωλητών ως μια ενιαία οντότητα προς την οποία κινείται (εικόνα 4: ανώτερο επίπεδο). Ωστόσο, κάθε επιβάτης τελικά εξυπηρετείται από έναν από τους αυτόματους πωλητές, τον οποίο θα πρέπει να επιλέξει όταν πλησιάσει αρκετά την περιοχή όπου βρίσκονται (εικόνα 5: κατώτερο επίπεδο).



Εικόνα 4: Ανώτερο Επίπεδο



Εικόνα 5: Κατώτερο Επίπεδο

5. Η συνολική συμπεριφορά του συστήματος είναι αποτέλεσμα των αλληλεπιδράσεων σε τοπικό επίπεδο. Για παράδειγμα, εάν θεωρήσουμε τοπικό επίπεδο την γραμμή πυλών, είναι σίγουρο ότι η συμπεριφορά των επιβατών σε εκείνο το σημείο (ο σχηματισμός ουρών, η επιλογή πύλης κλπ.) θα καθορίσει την ταχύτητα με την οποία προχωρούν επιβάτες προς τις αποβάθρες, το οποίο με τη σειρά του επηρεάζει το πόσοι επιβάτες θα προλάβουν τον συρμό που περιμένει στην αποβάθρα. Αυτό θα επηρεάσει το μέγεθος του πλήθους επιβατών που θα περιμένει για τον επόμενο συρμό, και ούτω καθεξής.
6. Οι αλληλεπιδράσεις είναι μη γραμμικές. Για να αποδειχθεί αυτό αρκεί να αναφερθούμε στην έντονη και καθοριστική παρουσία του ανθρώπινου παράγοντα στο σύστημα. Οι αντιδράσεις κάθε ανθρώπου στις συνθήκες που παρουσιάζονται μπορούν να διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με μια πληθώρα παραγόντων που είναι αδύνατον να εντοπίσουμε και να συμπεριλάβουμε στην μελέτη (προσωπικές εμπειρίες, χαρακτήρας, στόχοι κλπ.).
7. Οι άνθρωποι έχουν την ικανότητα της μάθησης.
8. Οι άνθρωποι έχουν επίσης μνήμη και προσαρμόζουν την συμπεριφορά τους με βάση προηγούμενες εμπειρίες τους μέσα στο σύστημα.
9. Η συλλογική συμπεριφορά του συστήματος, σύμφωνα και με τα παραπάνω, είναι μη ντετερμινιστική.

3.2.2 Στόχος Μελέτης Συστήματος

Με τον καθορισμό του συστήματος του σταθμού στοχεύουμε στην επίλυση δύο προβλημάτων.

Το πρώτο πρόβλημα είναι η έλλειψη γνώσης για την συμπεριφορά των ανθρώπινων δραστών μέσα στο σύστημα ενώ αυτό βρίσκεται σε ισορροπία. Στοχεύουμε να αποκτήσουμε μια καλή εικόνα για το κατά πόσο είναι ο σταθμός σε θέση να χειριστεί τις αναμενόμενες επιβατικές ροές, σύμφωνα με τα δεδομένα πρώιμα αρχιτεκτονικά σχέδια που έχουν κοινοποιηθεί στην ιστοσελίδα της Αττικό Μετρό ΑΕ (Οκτώβριος 2021).

Το δεύτερο πρόβλημα είναι η έλλειψη γνώσης σχετικά με τον χρόνο εκκένωσης που μπορεί να επιτευχθεί υπό συγκεκριμένες συνθήκες, όπως προδιαγράφονται από το Εγχειρίδιο Σχεδιασμού του έργου της γραμμής 4.

Η επίλυση των προβλημάτων αυτών ισοδυναμεί με την πραγματοποίηση μιας ασθενούς πρόβλεψης, η οποία πρόκειται να πραγματοποιηθεί με την χρήση του λογισμικού που αναφέρθηκε.

3.3 Σενάριο Πυρκαγιάς

Η πυρκαγιά αποτελεί δύσκολα ελέγξιμο φαινόμενο που μπορεί να εξελιχθεί σε καταστροφή με ανυπολόγιστες απώλειες.

Το Ελληνικό Πυροσβεστικό Σώμα έχει καταγράψει 1.561 θανάτους από αστικές πυρκαγιές στην Ελλάδα μεταξύ ετών 2014 και 2020.

Έτος	Θάνατοι
2020	196
2019	182

2018	209
2017	258
2016	228
2015	234
2014	253

Πίνακας 1: Θάνατοι Από Αστικές Πυρκαγιές[6]

Για τις πυρκαγιές του 2021 (λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία από τις πυρκαγιές του 2007 και των επιπτώσεων που εκδηλώθηκαν το 2008) το συνολικό άμεσο κόστος υπολογίστηκε στα 1 δισ. ευρώ, ενώ το πραγματικό (με τις άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις σε κλάδους και νοικοκυριά) ανήλθε στα 3 δισ. ευρώ. Ενδεικτικά, σύμφωνα με μελέτη της Τράπεζας της Ελλάδος, αναφέρονται τα εξής κόστη που συνδέονται με τις πυρκαγιές:

- Διαχείριση δασών και πυρόσβεση: 400 εκατ. ευρώ.
- Έργα αποκατάστασης: 160 εκατ. ευρώ.
- Ζημία στην κτηνοτροφία και τις ζωοτροφές: 160 έως 300 εκατ. ευρώ.

Στο σενάριο που μελετάμε, δηλαδή την λειτουργία εκκένωσης σταθμού του μετρό, η πυρκαγιά θεωρείται η πιθανότερη αιτία που μπορεί να οδηγήσει σε ανάγκη εκκένωσης.

3.3.1 Ιστορικά Στοιχεία

Οι περισσότεροι σταθμοί μετρό είναι περιορισμένοι υπόγειοι χώροι. Σε περίπτωση πυρκαγιάς εντός τέτοιων χώρων, ο καπνός που θα δημιουργηθεί από την καύση των συνθετικών υλικών μπορεί να δυσκολέψει τον εντοπισμό ασφαλούς δρόμου διαφυγής, ενώ μπορεί να είναι τοξικός για τους επιβάτες.

Στο παρελθόν έχουν εκδηλωθεί διάφορα μεμονωμένα περιστατικά, κάποια από τα οποία οδήγησαν σε εκατοντάδες θανάτους και τραυματισμούς.

Η πυρκαγιά που ξέσπασε τον Οκτώβριο 1995 σε τούνελ του μετρό του Μπακού, πρωτεύουσας του Αζερμπαϊτζάν, έχει καταγραφεί ως η πιο θανατηφόρα πυρκαγιά σε μετρό μέχρι σήμερα. Πιστεύεται ότι η φωτιά μπορεί να προκλήθηκε από δυσλειτουργία του ηλεκτρικού κυκλώματος στο 4^{ο} βαγόνι του συρμού, αν και υπήρξαν υποψίες για εγκληματική ενέργεια. Καθώς ήταν ώρα αιχμής, όλα τα βαγόνια ήταν γεμάτα. Η υποτιθέμενη βλάβη ανάγκασε τον συρμό να σταματήσει μέσα στο τούνελ, όπου ο καπνός και οι τοξικές αναθυμιάσεις από τα φλεγόμενα υλικά γέμισαν τον χώρο επηρεάζοντας τους επιβάτες. Ένα από τα βαγόνια αντιμετώπιζε πρόβλημα με το άνοιγμα των θυρών, οπότε οι επιβάτες του αναγκάστηκαν να εκκενώσουν την περιοχή περνώντας πρώτα μέσα από γειτονικά βαγόνια. Περίπου 15 λεπτά μετά την εκδήλωση του περιστατικού, το σύστημα εξαερισμού άλλαξε λειτουργία (exhaust mode) οδηγώντας μεγάλο μέρος του καπνού προς την κατεύθυνση εκκένωσης. Πολλοί άνθρωποι έπαθαν ηλεκτροπληξία ενώ προσπαθούσαν να κρατηθούν από καλώδια σε μια προσπάθεια να απομακρυνθούν από την φωτιά του συρμού. Η πλειοψηφία των θυμάτων (συμπεριλαμβανομένων ανηλίκων) ήταν άνθρωποι που έχασαν την ζωή τους μέσα στα βαγόνια επειδή χτυπήθηκαν ή πατήθηκαν από άλλους επιβάτες. Ο αριθμός των νεκρών σύμφωνα με τις αρχές ήταν 289 άνθρωποι (286 επιβάτες και 3 διασώστες).

Αντίστοιχα θανατηφόρο περιστατικό έχει συμβεί στην Νταεγκού της Νότιας Κορέας. Τον Φεβρουάριο του 2003, εμπρηστής έβαλε φωτιά σε βαγόνι την ώρα που ο συρμός έφτανε στον σταθμό Jungangno. Η φωτιά εξαπλώθηκε σε 6 βαγόνια μέσα σε λίγα λεπτά, μέσω της μόνωσης που βρισκόταν ανάμεσα στα φύλα αλουμινίου από τα οποία ήταν κατασκευασμένα τα βαγόνια. Παράλληλα ο αέρας γέμισε με πυκνό καπνό καθώς τα συνθετικά υλικά τον βαγονιών καιγόντουσαν. Λόγω αδυναμίας έγκαιρης ενημέρωσης του προσωπικού του σταθμού, ένας δεύτερος συρμός εισήλθε 4 λεπτά μετά στον σταθμό και σταμάτησε δίπλα στον πρώτο, φλεγόμενο συρμό. Οι θύρες άνοιξαν στιγμιαία όμως ξαναέκλεισαν, το οποίο εκτιμάται ότι έγινε εκείνη τη στιγμή για να εμποδίσει τοξικό καπνό από το να εισέλθει στα βαγόνια. Αμέσως μετά, το σύστημα εντοπισμού πυρκαγιάς απενεργοποίησε αυτόματα την παροχή ενέργειας εμποδίζοντας τον δεύτερο συρμό να απομακρυνθεί από τον σταθμό. Ο οδηγός του έδωσε οδηγία στους επιβάτες να παραμείνουν στις θέσεις τους μέχρι να του δοθεί εντολή από τους ανωτέρους του. Τελικά η εντολή ήταν να σβήσει την μηχανή και να εκκενώσει άμεσα τον συρμό, οπότε ο οδηγός άνοιξε την θύρα του και βγήκε, παίρνοντας μαζί του όμως το κλειδί και απενεργοποιώντας τις μπαταρίες του συρμού που ήταν αναγκαίες για το άνοιγμα των θυρών. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να παγιδευτούν όσοι επιβάτες βρισκόντουσαν μέσα στον δεύτερο συρμό και να χάσουν την ζωή τους. Πολλοί επιβάτες από τον πρώτο συρμό πέθαναν από ασφυξία μέσα στον σταθμό στην προσπάθειά τους να βρουν την έξοδο. Από το περιστατικό αυτό συνολικά προκλήθηκαν 192 θάνατοι, ενώ πολλά από τα θύματα ήταν νεαρές γυναίκες και παιδιά. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα βαγόνια των συρμών στο μετρό της Νταεγκού δεν ήταν εξοπλισμένα με πυροσβεστήρες. Στους σταθμούς υπήρχε έλλειψη συστημάτων ψεκαστήρων πυρόσβεσης και φωτεινών σημάνσεων έκτακτης ανάγκης, ενώ το σύστημα εξαερισμού αποδείχθηκε ανεπαρκές.

Ακόμα ένα παράδειγμα που αξίζει να αναφερθεί είναι η πυρκαγιά που ξέσπασε στον σταθμό King’s Cross στο Λονδίνο. Στις 18 Νοεμβρίου του 1987, προς το τέλος της απογευματινής ώρας αιχμής, ένα αναμμένο σπίρτο έπεσε στο κενό ανάμεσα σε ξύλινες κυλιόμενες κλίμακες του σταθμού και στο πλαίσιο αυτών. Το λιπαντικό και τα απορρίμματα που βρισκόντουσαν στο κενό ανεφλέγησαν και η φωτιά εξαπλώθηκε ραγδαία. Η αίθουσα με τις πύλες διέλευσης γέμισε με καπνό, κάτι που περιόρισε πολύ την ορατότητα για όσους προσπαθούσαν να βρουν την έξοδο. Οι πυροσβεστικές δυνάμεις χρειάστηκαν περίπου δυόμισι ώρες για να θέσουν την πυρκαγιά υπό έλεγχο, και άλλες τέσσερις ώρες για να την σβήσουν. Η πυρκαγιά στοίχησε την ζωή 31 ανθρώπων και αποτέλεσε αφορμή για δραστική αναθεώρηση των μέχρι τότε εφαρμοζόμενων κανόνων πυροπροστασίας.

3.3.2 Πιθανές Αιτίες Πυρκαγιάς

Στον πίνακα 2[7] παρουσιάζονται συγκεντρωμένα 42 περιστατικά πυρκαγιάς σε μετρό, από το 1969 έως το 2016.

Date	City	Cause	Deaths	Injuries
1969.11.11	Beijing	electric locomotive failure	6	200
1973.03.27	Paris	arson	2	0
1974.01	Montréal	short circuit	0	0
1975.07	Boston	lighting line failure in tunnel	0	0
1976.05	Lisbon	locomotive failure	0	0

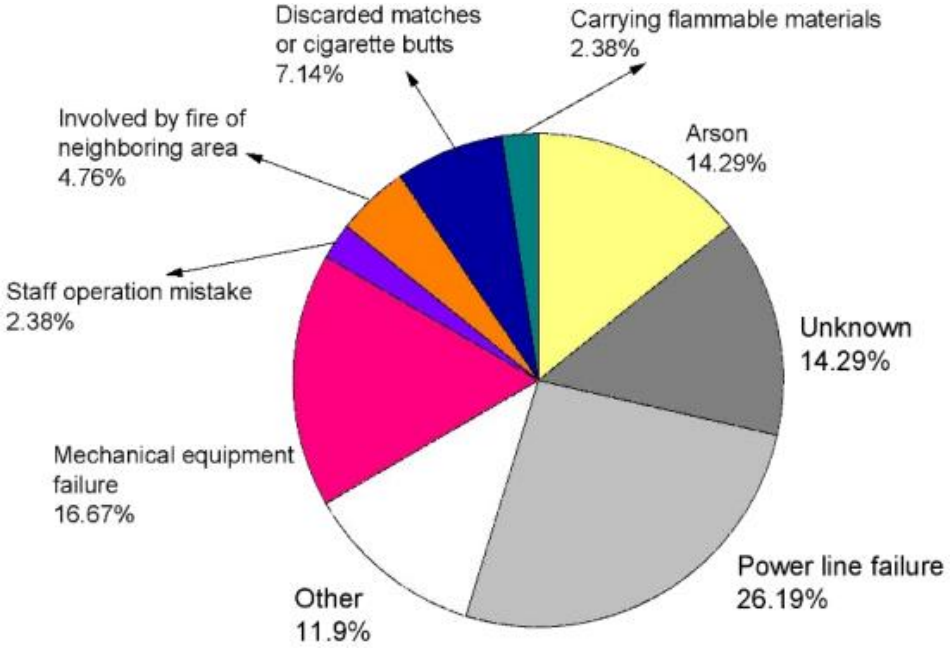
1976.10	Toronto	arson	0	0
1978.10	Cologne	cigarette butts	0	8
1979.01	San Francisco	short circuit	1	56
1979.03	Paris	short circuit of car	0	26
1979.09.	Philadelphia	transformer failure	0	178
1979.09	New York	cigarette butts	0	4
1980.04	Hamburg	seat catch fire	0	4
1980.06	London	cigarette butts	1	0
1981.06	Moscow	circuit failure	7	0
1981.09	Bonn	staff operation mistake	0	0
1982.03	New York	transmission equipment failure	0	86
1982.06	New York	arson	0	0
1982.08	London	short circuit	0	15
1983.08	Nagoya	rectifier failure	3	3
1983.09	Munich	circuit failure	0	7
1984.09	Hamburg	seat catch fire	0	1
1984.11	London	warehouse catch fire	0	18
1985.04.12	Paris	garbage on fire	0	6
1985,09	Tokyo	locomotive bearing failure	0	0
1987.11.18	London	technical failure	32	over 100
1991.04.16	Zurich	short circuit of subway locomotive	0	58
1991,06	Berlin	arson	0	18
1994,06	Taipei	substation catch fire	0	3
1995.10.28	Baku	caused by electrical malfunction	289	270
1995.04.28	Daegu	gas pipeline leakage	103	230
2001.08.30	Sao Paulo	unknown	1	27
2003.02.18	Daegu	arson in the subway train	192	148
2003.12.30	Shanghai	the fire of neighboring mall	0	0
2004.01.05	Hong Kong	arson in the car	0	14
2005.08.26	Beijing	unknown	0	0
2006.08.16	New York	unknown	0	15
2012.03.14	Kiev	chandelier line catch fire	0	0
2013.06.05	Moscow	short circuit	0	52
2014.01.05	Nanjing	flammable material brought by passenger	0	0
2015.01.12	Washington	unknown	1	2

2016.01.22	Shanghai	neighboring shop catch fire	0	0
2016.01.26	Tokyo	something burns at vent	0	0

Πίνακας 2: Περιστατικά Πυρκαγιάς Σε Μετρό[7]

Όπως φαίνεται και στον πίνακα, υπάρχει ποικιλία παραγόντων που μπορούν να αποτελέσουν αιτία για ξέσπασμα φωτιάς. Η αστοχία ηλεκτρικού δικτύου, η αστοχία μηχανολογικού εξοπλισμού και ο εμπρησμός είναι οι 3 πιο συνηθισμένες αιτίες πυρκαγιάς μέσα σε μετρό. Οι σταθμοί του μετρό εξοπλίζονται με μεγάλη ποικιλία δικτύων προκειμένου να επιτελέσουν τις λειτουργίες τους. Βραχυκυκλώματα, υψηλά φορτία, διαρροές ρεύματος και αστοχίες μηχανολογικών εξοπλισμών μπορούν να εξελιχθούν σε καταστροφικές πυρκαγιές εάν δεν ληφθούν απαραίτητα μέτρα, όπως είναι η διεκπεραίωση τακτικών ελέγχων και συντήρησης όλων των δικτύων και του εξοπλισμού. Είναι επίσης ύψιστης σημασίας να εμποδίζεται η είσοδος εύφλεκτων υλικών στους σταθμούς, κάτι που απαιτεί επανδρωμένο σύστημα ασφαλείας.

Τα ποσοστά των αιτιών αυτών, όπως και άλλων λιγότερο συχνών αιτιών, φαίνονται αναλυτικά στην εικόνα 6[7].



Εικόνα 6: Αιτίες Εμφάνισης Πυρκαγιάς Σε Σταθμούς Μετρό[7]

3.3.3 Άλλες Αιτίες Εκκένωσης

Όπως αναφέρθηκε, η εκδήλωση πυρκαγιάς είναι ο συνηθέστερος λόγος για ανάγκη εκκένωσης ενός σταθμού. Αξίζει να αναφερθούν ωστόσο και άλλες πιθανές που έχουν προκύψει στο πέρασμα των χρόνων.

3.3.3.1 Τρομοκρατική Επίθεση

Οι σταθμοί του μετρό είναι κλειστοί χώροι με υψηλή πυκνότητα ανθρώπων και περιορισμένη πρόσβαση σε εξόδους, μπορούν επομένως να θεωρηθούν ιδανικοί στόχοι για επιθέσεις από τρομοκράτες. Οι τρείς συνηθέστερες μέθοδοι που ακολουθούνται είναι η τοποθέτηση εκρηκτικών, οι βομβιστικές επιθέσεις αυτοκτονίας και η απελευθέρωση τοξικών αερίων. Στον πίνακα 3[7] φαίνονται περιστατικά τρομοκρατικής επίθεσης σε μετρό από το 1976 έως το 2016.

Date	City	Tactics	Deaths	Injuries
1976.01.12	New York	explosives	0	0
1977.01.08	Moscow	explosives	7	37
1986.09.04	Paris	explosives	0	0
1990.07.06	London	explosives	0	0
1994.03.19	Baku	suicide bombings	14	49
1994.06.03	Baku	remote-detonated explosive	13	42
1995.03.20	Tokyo	deadly gas sarin	12	near 6000
1995.07.25	Paris	explosives	8	80
1995.08.26	Lyon	explosives	0	0
1995.10.17	Paris	explosives	0	29
1998.01.01	Moscow	remote-detonated explosive	0	3
1998.06.03	Caracas	explosives	0	0
1998.07.02	Caracas	explosives	0	0
1999.02.17	Istanbul	fire or firebomb	0	0
1999.04.11	Moscow	explosives	0	0
2000.08.20	Caracas	explosives	0	0
2000.08.23	Caracas	explosives	0	0
2001.08.02	Caracas	explosives	0	0
2001.08.14	Rome	explosives	0	0
2001.09.02	Montréal	poisonous gas	0	over 40
2002.03.02	Medellin	explosives	0	9
2002.05.12	Milan	Gas canister for the kitchen	0	0
2002.06.02	Lyubertsky	remote-detonated explosive	0	1
2002.12.01	Caracas	explosives	0	0

2003.07.16	Moscow	explosives	0	0
2004.02.06	Moscow	suicide bombings	40	120
2004.03.11	Madrid	explosives	192	2050
2004.08.31	Moscow	explosives	10	50
2005.07.07	London	suicide bombings	56	784
2006.07.11	Bombay	explosives	209	over 700
2008.11.25	St. Petersburg	explosives	3	2
2010.03.29	Moscow	suicide bombings	40	102
2011.04.11	Minsk	explosives	15	204
2014.06.25	Cairo	explosives	7	over 100
2014.09.08	Santiago	explosives	0	14
2015.12.01	Istanbul	explosives	2	1
2016.03.22	Brussels	suicide bombings	35	340
2016.09.28	Tokyo	unknown gas	0	9

Πίνακας 3: Περιστατικά Τρομοκρατικής Επίθεσης Σε Μετρό[7]

3.3.3.2 Πλημμύρα

Σε χώρες που πλήττονται συχνά από ακραία καιρικά φαινόμενα, η υπερχείλιση των συστημάτων απορροής μπορεί να οδηγήσει σε πλημμύρες. Καθώς τα δίκτυα του μετρό κατασκευάζονται κυρίως υπογείως, σημαντικές ποσότητες νερού μπορούν να εισέλθουν μέσα στους σταθμούς και τα τούνελ, θέτοντας εκτός λειτουργίας σταθμούς ή ακόμα και ολόκληρες γραμμές. Στον πίνακα 4[7] φαίνονται 13 τέτοια περιστατικά.

Date	City	Cause	Consequence
2001.09.17	Taipei	Typhoon	Water flew into stations and shopping area via tunnel.
2002.08	Prague	Rainfall	About 20 km of lines and 19 stations were soaked.
2004.09.09	New York	Hurricane	Water in stations, several subway lines were closed.
2007.08.08	New York	Rainstorm	The subway system heavily flooded.
2008.07.06	Beijing	Rainstorm	Line 2 out of service.
2011.06.23	Beijing	Rainstorm	Cable was soaked in rain water, causing a short circuit.
2011.08.23	Nanjing	Rainstorm	Water flew into the tunnel.
2012.07.21	Beijing	Rainstorm	Water caused the induction board work improperly.
2012.10.30	New York	Hurricane	Many subway tunnels were inundated with floodwater.
2014.08.25	Busan	Rainstorm	Some sections of line1, line2 and Line4 were flooded.
2014.08.31	New York	Rainstorm	Some subway stations flooded.

2016.05.10	Guangzhou	Rainstorm	Water flow into Changban station through entrance.
2016.07.06	Wuhan	Rainstorm	Several stations of Line 4 were flooded.

Πίνακας 4: Περιστατικά Πλημμύρας Σε Μετρό[7]

3.3.3.3 Σεισμός

Έχει αποδειχθεί ότι ένας σεισμός υψηλής ισχύος είναι ικανός να προκαλέσει ζημιά σε υπόγειους σταθμούς και τούνελ. Είναι επομένως αναγκαίο να λαμβάνονται προληπτικά μέτρα, να γίνεται εκ των προτέρων ενημέρωση των πολιτών και να σχεδιάζονται πρωτόκολλα ανάγκης προκειμένου να διαφεύγουν ασφαλείς οι επιβάτες σε τέτοιες περιπτώσεις.

Στον πίνακα 5[7] παρουσιάζονται μερικά περιστατικά σεισμών στο παρελθόν με τις επιπτώσεις που είχαν σε σταθμούς του μετρό.

Date	Location	Magnitude	Consequence
1985.09.19	Mexico City	8,1	All lines of metro were out of service.
1995.01.17	Kobe, Japan	7,3	5 stations damaged, about 3km tunnel collapsed.
2003.05.26	Sendai, Japan	7	Sendai Subway were out of service.
2014.05.11	Hualien, Taiwan	5,9	Taipei MRT were out of service.
2015.05.25	Kanto, Japan	5,6	Tokyo subway were out of service.
2015.10.26	Afghanistan	7,8	Delhi subway out of service, some people trapped.

Πίνακας 5: Περιστατικά Σεισμού Σε Μετρό[7]

3.3.4 Χαρακτηριστικά Φωτιάς Και Επιπτώσεις

Όπως είδαμε, η εμφάνιση πυρκαγιάς είναι η κυρία πιθανή αιτία για άμεση εκκένωση ενός σταθμού. Η φωτιά αποτελεί πολύπλοκο δυναμικό φαινόμενο. Προκειμένου να την περιγράψουμε, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα πλήθος μεταβλητών. Ενδεικτικά:

- σημείο ανάφλεξης: το σημείο από το οποίο ξεκινά η φωτιά
- ατμόσφαιρα καύσης: το περιβάλλον μέσα στο οποίο συντελείται η καύση των υλικών
- ζώνη αναπνοής: η περιοχή πλησίον της φωτιάς, στην οποία δύναται να βρεθούν άνθρωποι και η οποία βρίσκεται σε δυναμική αλληλεπίδραση με την ποιότητα της ατμόσφαιρας της καύσης[4].

Άλλοι παράμετροι που σχετίζονται με την καύση είναι:

- Η καμπύλη συγκέντρωσης - χρόνου, η οποία εκφράζει το ρυθμό μεταβολής της τοξικότητας της ατμόσφαιρας της καύσης, μέσα από το ρυθμό παραγωγής προϊόντων καύσης.
- Η οπτική πυκνότητα του καπνού, η οποία επηρεάζει τη δυνατότητα όρασης των ανθρώπων.

- Η θερμότητα που εκλύει η φωτιά, στη ζώνη αναπνοής, καθώς και η θερμοκρασία του αέρα.
- Η καμπύλη εξάπλωσης φωτιάς, η οποία εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο εξαπλώνεται η φωτιά.
- Ο ρυθμός απώλειας ποσότητας του καύσιμου που καίγεται και του όγκου στον οποίο το καύσιμο διασκορπίζεται.
- Η απόδοση των τοξικών προϊόντων καπνού και θερμότητας στη φωτιά (π.χ. κιλά CO ανά κιλό υλικού που καίγεται).
- Ο ρυθμός παραγωγής καπνού[4].

Τέλος, αξίζει να αναφερθούν και ορισμένες παράμετροι που έχουν να κάνουν με το καύσιμο. Αυτές είναι:

- Η ευκολία ανάφλεξης του καύσιμου (θερμοκρασία ανάφλεξης, απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου κτλ.)
- Η ποσότητα υλικού στο χώρο της καύσης
- Οι ιδιότητες της καύσης του υλικού, όπως π.χ. η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου προκειμένου για τέλεια καύση του, ο ρυθμός παραγωγής καπνού, θερμότητας κτλ.
- Η γεωμετρία του υλικού και ο όγκος της ζώνης της καύσης
- Ο βαθμός εγγύτητας του υλικού σε σχέση με άλλα παρόμοια υλικά, το οποίο επηρεάζει την εξέλιξη και το ρυθμό εξάπλωσης ολόκληρου του φαινομένου της φωτιάς, ειδικά εκείνων οι οποίες είναι ελεγχόμενες από το καύσιμο
- Η ευκολία πυρόσβεσης και η παρουσία ή μη συστημάτων πυρόσβεσης[4].

Η γνώση των παραπάνω είναι αναγκαία για τον κατάλληλο σχεδιασμό και την σωστή επιλογή υλικών σε οποιαδήποτε εγκατάσταση.

3.3.5 Επιπτώσεις Φωτιάς

Η φωτιά καθαυτή παράγει (κυρίως) δύο άμεσες συνέπειες: την θερμότητα και τον καπνό.

Μέρος της παραγόμενης θερμότητας επιστρέφει στην πηγή της φωτιάς και προκαλεί την αποσύνθεση περισσότερου καυσίμου και έτσι η φωτιά μεγαλώνει αλυσιδωτά, συνεχίζοντας να καίει το καύσιμο (εφόσον υπάρχει επαρκής ποσότητα καυσίμου και αέρα). Σε μια κυμαινόμενη πυρκαγιά, η θερμότητα μπορεί επίσης να καταστήσει απαγορευτικά τα περάσματα που βρίσκονται κοντά σε φλόγες, αποκλείοντας μονοπάτια διαφυγής από τους ανθρώπους που αναζητούν έξοδο. Αν και σίγουρα επιδρά σε έναν βαθμό στον ανθρώπινο οργανισμό, για τους περισσότερους που επιχειρούν να απομακρυνθούν από φωτιά συνήθως η ίδια η θερμότητα δεν είναι ο πιο άμεσος κίνδυνος που αντιμετωπίζουν[4].

Ο καπνός, αντιθέτως, εξαπλώνεται ταχύτατα σε κλειστούς χώρους και επιδρά άμεσα στους επιβάτες. Όσο η φωτιά καίει, ο καπνός δημιουργεί ένα στρώμα στο ταβάνι της σήραγγας το οποίο ολοένα και αυξάνει το πάχος του. Αρχικά περιορίζει κατά πολύ την ορατότητα με αποτέλεσμα να δυσκολεύει το εγχείρημα εντοπισμού εξόδου. Ο καπνός, ανάλογα με τα υλικά από την καύση των οποίων προέρχεται, περιέχει αέρια που προκαλούν ανικανότητα, με το να εμποδίζουν την οξυγόνωση των ιστών του ανθρωπίνου σώματος. Μπορεί επίσης να αποβεί τοξικός, οδηγώντας σε συνέπειες ανάλογες του μεγέθους και των υλικών καύσης της φωτιάς. Τα πιο βλαβερά αέρια που μπορούν να βρεθούν στον καπνό είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και το υδροκυάνιο (HCN) [4].

Ο συνδυασμός της τοξικότητας του καπνού, του περιορισμού ορατότητας και της θερμότητας επιδρούν στον ανθρώπινο οργανισμό και επηρεάζουν τόσο την φυσιολογία, όσο και την ψυχολογική κατάσταση των ανθρώπων που εκτίθενται σε περιβάλλοντα καύσης.

3.3.6 Νομοθεσία Και Πρότυπα

Υπάρχει φανερή ανάγκη εφαρμογής θεσμών και κανόνων τόσο στον σχεδιασμό των κτιρίων όσο και στην εκπαίδευση του κοινού και των εργαζομένων. Η πυρασφάλεια είναι σε κάθε περίπτωση ύψιστης σημασίας.

Οι κανονισμοί πυροπροστασίας ορίζουν τις ελάχιστες απαιτήσεις που θα πρέπει να εφαρμόζονται στον σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων και άλλων κατασκευών. Στην θεματολογία αυτών των κανονισμών συμπεριλαμβάνονται η δομική αντοχή, η πυραντοχή, τα μέσα εξόδου, ο φωτισμός, η διαχείριση απορριμμάτων, ο εξαερισμός και τα υλικά σε επιφάνειες εσωτερικών χώρων. Περιέχονται επίσης οδηγίες για την σωστή συντήρηση και λειτουργία κτιρίων.

Οι κανονισμοί έχουν νομική ισχύ σε μια χώρα μόνο εφόσον αναγνωριστούν από το κράτος και τους εκάστοτε τοπικούς αρμόδιους. Επιπλέον, ένα κράτος μπορεί να δημιουργήσει δικούς του κανονισμούς. Κρατικοί και τοπικοί αρχηγοί της αστυνομίας και της πυροσβεστικής, όπως και τοπικοί επιθεωρητές κτιρίων είναι υπεύθυνοι για την επιβολή των κανονισμών αυτών (Cote 1998).

Παρά την εφαρμογή των κανονισμών, κατά καιρούς εμφανίζονται περιστατικά πυρκαγιάς που οδηγούν σε σημαντικές απώλειες. Συχνά τα περιστατικά αυτά αποτελούν αφορμή για αναθεώρηση και ανανέωση των κανονισμών, σε μια προσπάθεια να αποφεύγονται ίδια λάθη.

Ένα από τα χαρακτηριστικότερα παραδείγματα αυτού ήταν ένα περιστατικό που διαδραματίστηκε το 1942 σε νυχτερινό κέντρο της Βοστώνης[8]. Το κτίριο ήταν διώροφο και την βραδιά του ατυχήματος βρισκόντουσαν εκεί 750 πελάτες. Κάποιος σερβιτόρος του κέντρου άγγιξε από λάθος έναν τεχνητό φοίνικα με αναμμένο σπίρτο, προκαλώντας πυρκαγιά που εξαπλώθηκε άμεσα. Το κτίριο είχε μόνο μια είσοδο τύπου περιστρεφόμενης θύρας (και άλλη μια πόρτα, η οποία ήταν κλειδωμένη). Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα πολλοί πελάτες να ποδοπατηθούν και να πέσουν στην προσπάθειά τους να βγουν γρήγορα. Με την ταχεία εξάπλωση της φωτιάς και τα πεσμένα σώματα να εμποδίζουν την μοναδική έξοδο, το περιστατικό οδήγησε σε 492 θανάτους. Σαν αποτέλεσμα αυτού του δυστυχήματος, ο Δήμαρχος και το δημοτικό συμβούλιο θέσπισαν μια σειρά κανονισμών που αφορούσαν:

- χρήση άφλεκτων υλικών
- επιλογή θυρών που ανοίγουν προς τα έξω
- αντικατάσταση περιστρεφόμενων θυρών από κανονικές θύρες
- καθορισμό συστήματος αξιολόγησης μέγιστη επιτρεπτής χωρητικότητας κτιρίων
- τοποθέτηση ψεκαστήρων πυρόσβεσης σε όλα τα δημόσια κτίρια

Πολλά παραδείγματα σαν αυτό έχουν συμβάλει στο να λάβουν οι υπάρχοντες κανονισμοί ανά τον κόσμο την σημερινή μορφή τους.

3.3.6.1 Νομοθεσία Πυροπροστασίας Κτιρίων Στην Ελλάδα

Όπως αναφέρθηκε, για την εξασφάλιση ασφαλών συνθηκών των ανθρώπων κατά την παραμονή τους σε κτίρια και την μείωση πιθανών υλικών απωλειών σε περίπτωση πυρκαγιάς, κάθε χώρα δημιουργεί το δικό της νομοθετικό πλαίσιο.

Στην Ελλάδα, η νομοθεσία που σχετίζεται με θέματα πυροπροστασίας σε κτίρια ορίζεται (κατά το CFPA Europe) από τα ακόλουθα:

- Τον Νέο Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων (Προεδρικό Διάταγμα 41/2018)
- Ένα τμήμα του Παλιού Κανονισμού Πυροπροστασίας Κτιρίων (Προεδρικό Διάταγμα 71/1988), το οποίο αφορά ήδη υπάρχοντα ξενοδοχεία αλλά και κτήρια που κτίστηκαν πριν τις 07/08/2018 και παραμένουν ως κτίστηκαν χωρίς να έχει γίνει εξωτερική ή εσωτερική διαμόρφωση ή αλλαγή της χρήσης τους. Σε περίπτωση που γίνονται σημαντικές διαμορφώσεις ή αλλαγές στην χρήση παλαιών κτιρίων, τότε η επίσημη άδεια θα πρέπει να είναι σε συμμόρφωση με τον Νέο Κανονισμό Πυροπροστασίας Κτιρίων (Προεδρικό Διάταγμα 41/2018).
- Τους κανονισμούς που αναφέρονται από το Ελληνικό Ινστιτούτο Πυροπροστασίας Κατασκευών (ΕΛ.Ι.ΠΥ.ΚΑ), οι οποίοι λειτουργούν κυρίως ως επεξηγηματικές οδηγίες για συγκεκριμένες περιπτώσεις εφαρμογής μίας εκ των παραπάνω δύο περιπτώσεων. Παρέχουν και άλλες οδηγίες, που δεν είναι όμως υποχρεωτικό από τον νόμο να ακολουθηθούν[9].

Κάθε έργο που διεκπεραιώνεται σε ελληνικά εδάφη θα πρέπει να βρίσκεται εντός των παραπάνω πλαισίων. Εφόσον τα παραπάνω καλύπτονται, είναι στην κρίση του κυρίου του έργου εάν επιθυμεί να συμπεριλάβει στην σύμβαση του έργου επιπλέον προδιαγραφές.

3.3.6.2 Προδιαγραφές Πυροπροστασίας Και Σχεδιασμού

Ανά τα χρόνια έχουν δημιουργηθεί διάφοροι οργανισμοί για την παραγωγή και διάθεση προτύπων και προδιαγραφών. Κανένα πρότυπο δεν είναι υποχρεωτικό σε κανένα κράτος, εκτός εάν η νομοθεσία του κράτους αυτού παραπέμπει σε αυτό. Τα πρότυπα μπορούν να περιέχουν τεχνικές οδηγίες για την διεκπεραίωση οποιουδήποτε θέματος, συμπεριλαμβανομένων και ζητημάτων που αφορούν πυροπροστασία και σχεδιασμό σταθμών.

Όπως θα δούμε και σε αντίστοιχο κεφάλαιο, το Εγχειρίδιο Σχεδιασμού του παρόντος έργου περιλαμβάνει προτάσεις από τα NFPA Standards.

3.3.6.2.1 NFPA Standards

Η National Fire Protection Association (NFPA) είναι ένας αμερικανικός μη κερδοσκοπικός οργανισμός αφιερωμένος στην εξάλειψη θανάτων, τραυματισμών, περιουσιακών και οικονομικών ζημιών λόγω πυρκαγιάς, ηλεκτρικής ενέργειας και συναφών κινδύνων.

Ένα από τα διαθέσιμα standards της NFPA που αφορά άμεσα την παρούσα μελέτη είναι το NFPA 130: Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems. Το NFPA 130 αποτελεί μέρος μιας συλλογής εγγράφων που έχουν κατασκευασθεί σύμφωνα με παραδοχές εγκεκριμένες από το ANSI (American National Standards Institute). Η συλλογή αυτή είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας εθελοντών ειδικευόμενων σε διαφορετικά πεδία και αποσκοπεί στην ύπαρξη κοινών παραδοχών σε ζητήματα πυρκαγιάς και άλλων θεμάτων ασφαλείας.

Το NFPA 130 περιέχει οδηγίες για την προστασία από πυρκαγιά σε μέσα συγκοινωνίας και σε σιδηροδρομικά συστήματα μεταφοράς επιβατών. Στη θεματολογία που αφορά η συγκεκριμένη προδιαγραφή περιλαμβάνονται σταθμοί, σιδηρόδρομοι, συστήματα εξαερισμού έκτακτης ανάγκης, οχήματα, πρωτόκολλα έκτακτης ανάγκης, συστήματα επικοινωνιών και ελέγχου.

Στο Εγχειρίδιο Σχεδιασμού γίνεται επίσης αναφορά σε προτάσεις από το εγχειρίδιο του London Underground (LU) "Σχεδιασμός Σταθμών, σταθερότυπα και οδηγίες" ("Station Planning, Standards and Guidelines").

3.3.6.2.2 LU: Station Planning, Standards and Guidelines

Το London Underground (LU) "Station Planning, Standards and Guidelines" είναι ευρέως χρησιμοποιούμενο πρότυπο που αναφέρεται αποκλειστικά σε σταθμούς του μετρό είναι το εγχειρίδιο του. Το πρότυπο αυτό δημιουργήθηκε με σκοπό να παρέχει επαρκείς πληροφορίες για τον σχεδιασμό σταθμών με ανθρωποκεντρική σκοπιά. Μεταξύ άλλων, το εγχειρίδιο αυτό καλύπτει τα ακόλουθα θέματα:

- Σχεδιασμός χώρου επιβατών
- Δεδομένα ροής επιβατών
- Διαρρύθμιση και τοποθέτηση αυτόματων πωλητών εισιτηρίων
- Αποβάθρες
- Προγραμματισμός λειτουργίας εκκένωσης

Πέρα από τα παραπάνω, υπάρχουν κι άλλες τυποποιήσεις που χρησιμοποιούνται ευρέως κατά την μελέτη και κατασκευή έργων. Ενδεικτικά:

3.3.6.2.3 ISO Standards

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Organization for Standardization) είναι ένας ανεξάρτητος, μη κυβερνητικός οργανισμός, μέλη του οποίου είναι οι οργανισμοί τυποποίησης των 165 χωρών-μελών. Διατίθενται περισσότερα από είκοσι χιλιάδες πρότυπα ISO, με θεματολογία που καλύπτει ένα πολύ μεγάλο εύρος αντικειμένων (από τα βιομηχανικά προϊόντα και την τεχνολογία μέχρι την ασφάλεια των τροφίμων, τη γεωργία και την υγειονομική περίθαλψη). Μία ομάδα προτύπων αφορά θέματα διαχείρισης πυρκαγιάς (όπως για παράδειγμα το ISO 16733: Fire safety engineering - Selection of design fire scenarios and design fires), ενώ υπάρχουν και πρότυπα για ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό χώρων (ISO 19029:2016 Accessible design — Auditory guiding signals in public facilities). Τα πρότυπα ISO πραγματεύονται σε μεγάλο βαθμό διαδικαστικά θέματα.

3.3.6.2.4 BSI Standards

Το British Standards Institution (BSI) είναι ο εθνικός οργανισμός παραγωγής προτύπων του Ηνωμένου Βασιλείου. Παράγει τεχνικά πρότυπα για ένα ευρύ φάσμα προϊόντων και υπηρεσιών, πολλά εκ των οποίων αφορούν θέματα πυροπροστασίας και μπορούν να εφαρμοσθούν και σε έργα μετρό.

Παραδείγματος χάριν, θα μπορούσε να ζητηθεί από την σύμβαση να εφαρμοστεί το "BS 9992: Fire safety in the design, management and use of rail infrastructure. Code of practice". Το πρότυπο αυτό παρέχει συστάσεις και καθοδήγηση σχετικά με το σχεδιασμό, τη διαχείριση και τη χρήση των σταθμών (και άλλων έργων), ενώ στοχεύει στην επίτευξη λογικών μέτρων πυρασφάλειας για όλους τους ανθρώπους που μπορεί να βρίσκονται μέσα και γύρω από υποδομές του μετρό.

3.3.6.2.5 DIN Standards

Το Γερμανικό Ινστιτούτο Τυποποίησης (Deutsches Institut für Normung) είναι ο γερμανικός εθνικός οργανισμός τυποποίησης. Υπάρχουν επί του παρόντος περίπου τριάντα χιλιάδες πρότυπα DIN, που καλύπτουν πολλούς τομείς της τεχνολογίας. Ανάμεσά τους υπάρχουν και πρότυπα που σχετίζονται με την πυρασφάλεια. Για παράδειγμα, η σειρά "DIN 4102: Fire behavior of building materials and elements" διαθέτει 18 ενεργά τεύχη.

3.3.7 Πρόληψη Και Ρόλος Του Προσωπικού Του Σταθμού

Το Εγχειρίδιο Σχεδιασμού που έχει κατασκευάσει η ΑΜ (οι περισσότερες προδιαγραφές του οποίου θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο) ορίζει ότι οι σταθμοί της γραμμής 4 του Αττικού Μετρό θα κατασκευαστούν με γνώμονα την αποτροπή επικίνδυνων καταστάσεων, το οποίο συνεπάγεται έναν συνδυασμό σχεδιαστικών επιλογών (χωρίς φυσικά να αναιρεί αυτό την ανάγκη να μελετηθεί μια υποθετική κατάσταση έκτακτης ανάγκης).

Για αρχή, θα χρησιμοποιηθούν συστήματα πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης υψηλών προδιαγραφών. Τα συστήματα αυτά θα αποτελούνται από μονάδες ανίχνευσης καπνού και κεφαλές ψεκαστήρων οροφής, τα οποία θα επιβλέπονται από τον Υπεύθυνο του Σταθμού.

Θα υπάρχει επίσης σύστημα συναγερμού, το οποίο θα θεωρηθεί ότι θα είναι πλήρως λειτουργικό κατά την εξέλιξη του συμβάντος.

Ο σταθμός θα διαθέτει πυροσβεστικές φωλιές και πίνακες πυροπροστασίας, καθώς και ενοποιημένες συσκευές έκτακτης ανάγκης (δύο ανά αποβάθρα) οι οποίες θα περιέχουν:

- αυτόματα τηλέφωνα
- σωλήνα πυροσβεστήρα / τύμπανο περιτύλιξης
- εξοπλισμό πυρόσβεσης
- παροχή νερού
- κομβία συναγερμού (υαλόθραυστα κουτιά)
- σημείο αναγγελιών σταθμού
- σύστημα ενδοεπικοινωνίας

Το Εγχειρίδιο αναφέρει επίσης ότι όλες οι πτυχές της πυροπροστασίας και ελέγχου απαιτούν στενή συνεργασία με την Πυροσβεστική Υπηρεσία και ότι οι σχετικές μελέτες πρέπει να τύχουν της έγκρισης της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας.

Η χρήση μη εύφλεκτων και πυράντοχων υλικών και θυρών θα είναι υποχρεωτική, και υλικά που θα επιλεγούν για τα τελειώματα θα πρέπει να είναι με χαρακτηριστικά επιφάνειας μειωμένης ή μηδενικής ανάφλεξης σύμφωνα με την Ταξινόμηση Διάδοσης Πυρκαγιάς (F.S.C.). Η χρήση εύφλεκτων υλικών στους σταθμούς θα πρέπει να αποφευχθεί όσο είναι δυνατόν. Ωστόσο, αν αυτό δεν είναι δυνατόν να αποφευχθεί, θα πρέπει να προβλεφθούν ειδικοί χώροι απρόσβλητοι από πυρκαγιά και εκρήξεις για την αποθήκευση εύφλεκτων υλικών, οι οποίοι θα βρίσκονται όσο το δυνατό εγγύτερα στην επιφάνεια.

Ο έλεγχος διάδοσης της πυρκαγιάς και του καπνού θα επιτυγχάνεται με διαμερισματοποίηση των περιοχών κινδύνου, την απαγωγή του καπνού με ειδικά συστήματα και με διασπορά και περιορισμό.

Όσον αφορά τον ρόλο του προσωπικού σε περίπτωση πυρκαγιάς, το προσωπικό θα είναι εκπαιδευμένο στις διαδικασίες πυρόσβεσης και ενδεχομένως να μην απαιτείται πλήρης απομάκρυνσή του από τον σταθμό, εάν η πυρκαγιά βρίσκεται υπό έλεγχο. Το σήμα

συναγερμού που θα ειδοποιεί το προσωπικό και τους εργαζόμενους να εκκενώσουν τις εγκαταστάσεις θα είναι διαφορετικό από το σήμα που χρησιμοποιείται στους κοινόχρηστους χώρους.

Ο Υπεύθυνος Σταθμού θα παίζει σημαντικό ρόλο σε πιθανό σενάριο εκκένωσης, καθώς:

- Θα επιβλέπει και ελέγχει τα συστήματα εξαερισμού, πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης.
- Θα επιθεωρεί τα συστήματα και τον εξοπλισμό και επιλύει επιτόπου προβλήματα που αφορούν ευαίσθητα συστήματα του σταθμού, όπως πύλες, ανελκυστήρες, κυλιόμενες κλίμακες, θύρες επί των αποβάθρων, έλεγχο εισόδου.
- Θα επιβλέπει τους χώρους του σταθμού μέσω του Κλειστού Συστήματος Τηλεόρασης (CCTV) και του Συστήματος Διαχείρισης Ασφαλείας για λόγους ασφαλείας.
- Θα διακόπτει την ισχύ έλξης σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης με τον διακόπτη διακοπής ισχύος έλξης (TCR).
- Θα μεριμνά για τους επιβάτες, επικοινωνεί με τους επιβάτες μέσω του μεγάφωνου επικοινωνίας με το κοινό στην αποβάθρα και μέσω του συστήματος ενδοεπικοινωνίας, πραγματοποιεί ανακοινώσεις μέσω του συστήματος Αναγγελιών προς το Κοινό (PA) και συνοδεύει τα άτομα με ειδικές ανάγκες, όπου απαιτείται.
- Θα διαχειρίζεται και επιβλέπει την εκκένωση του σταθμού από επιβάτες.
- Θα επικοινωνεί με το Κέντρο και εκτελεί πιθανές οδηγίες και εντολές ή/και αναφέρει προβλήματα.

Περισσότερες πληροφορίες για τις δράσεις που συνοδεύουν την εκδήλωση πυρκαγιάς αναφέρονται στο κεφάλαιο 5.4.

4 ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1 Περί Προβλέψεων

Έχοντας κατανοήσει μερικές βασικές έννοιες γύρω από την επιστήμη της μελέτης των συστημάτων, μπορούμε πλέον να ορίσουμε συστήματα κατάλληλα για να μας βοηθήσουν με τα προβλήματα που καλούμαστε να μελετήσουμε. Στην παρούσα εργασία, το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε είναι η έλλειψη γνώσης για το εάν τα παρόντα σχέδια του σταθμού «Γαλάτσι», συνδυαστικά με τις οδηγίες του εγχειριδίου σχεδιασμού, αρκούν για την δημιουργία μιας υποδομής που μπορεί να καλύψει με ευκολία και ασφάλεια την αναμενόμενη επιβατική κίνηση.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν, θα πρέπει να εντοπίσουμε τα τους δράστες και να ορίσουμε τις ιδιότητές τους (μέχρι το σημείο που έχει νόημα για την μελέτη). Θα ορίσουμε επίσης την σύνδεση και τα όρια με το περιβάλλον και θα λάβουμε υπόψιν τις μέχρι τώρα πληροφορίες που διατίθενται. Έχοντας πραγματοποιήσει όλα τα παραπάνω, το ιδανικό θα ήταν να είμαστε πλέον σε θέση να προβλέψουμε την εξέλιξη της συμπεριφοράς των δραστών εντός της ώρας αιχμής αλλά και σε κατάσταση εκκένωσης.

4.1.1 Ισχυρή και Ασθενής Πρόβλεψη

Προκειμένου να μπορούμε να προβλέψουμε με ακρίβεια ένα φαινόμενο (Simon 1996) θα πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες δύο προϋποθέσεις:

- Να έχει γίνει πλήρης θεωρητική κατανόηση των προς πρόβλεψη φαινομένων, ή να πρόκειται για φαινόμενα αρκετά ομαλά και περιοδικά. Ωστόσο, για την μελέτη πολύπλοκων φαινομένων (όπως είναι οι ανθρώπινες δράσεις) οι προβλέψεις είναι αναγκαστικά τόσο καλές όσο οι θεωρίες πάνω στην οποία βασίζονται.
- Να υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία για τις ακριβείς αρχικές συνθήκες του συστήματος. Τα συστήματα στη φύση (ή αυτά που αλληλοεπιδρούν με αυτή), ποικίλουν στο κατά πόσο μικρές μεταβολές των αρχικών συνθηκών μπορούν να επηρεάσουν την εξέλιξή τους.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις πραγματικών συστημάτων είναι αδύνατο να προβλέψουμε την συμπεριφορά του συστήματος με την κυριολεκτική έννοια του όρου. Συχνά, ωστόσο, η ακριβής πρόβλεψη δεν αυτοσκοπός, αλλά αρκεί να αποκτηθεί γνώση σχετικά με τα μοτίβα πιθανών συμπεριφορών που μπορεί να εμφανίσει το σύστημα στο μέλλον και να εντοπιστούν συνθήκες που ευνοούν αυτές τις συμπεριφορές. Αυτό ονομάζεται Ασθενής Πρόβλεψη (ή Πρόγνωση) και απαιτεί την δημιουργία μοντέλων προσομοίωσης και την εκτέλεση πλήθους επαναλήψεων προκειμένου να ελέγχουμε διάφορες υποθέσεις και συσχετίσεις.

Κατ' επέκταση μέσα από την Ασθενή Πρόβλεψη ελπίζουμε να είμαστε σε θέση να σχεδιάζουμε συστήματα ικανά να αντιμετωπίζουν ένα πλήθος πιθανών καταστάσεων.

Όσον αφορά το σύστημα του σταθμού, έχουμε μια πολύ ικανοποιητική εικόνα για ορισμένες πτυχές του συστήματος που αφορούν τον χώρο και τα λειτουργικά δεδομένα, τα οποία θα είναι γενικά προκαθορισμένα και ελεγχόμενα (δρομολόγια συρμών, προδιαγραφές κλιμάκων, μηχανημάτων, πυλών επικύρωσης κλπ.). Είναι φυσικά πιθανό να υπάρξουν απρόοπτα συμβάντα, όπως είναι η προσωρινή μη διαθεσιμότητα κάποιου αυτόματου πωλητή λόγω συντήρησης. Το κύριο στοιχείο της δυσκολίας, όμως, εισάγεται από τους

επιβάτες, και συγκεκριμένα την συμπεριφορά και τις ανάγκες του κάθε ατόμου, τους στόχους του, τους αριθμούς επιβατών που θα εισέρχονται στο μοντέλο κάθε στιγμή κλπ.

Με τα σημερινά δεδομένα, είναι αδύνατον να κατασκευαστεί μια θεωρία που να υπολογίζει με απόλυτη ακρίβεια την ανθρώπινη συμπεριφορά. Είναι επίσης αδύνατον να κάνουμε οτιδήποτε περισσότερο από απλές εικασίες για τις αρχικές συνθήκες του συστήματος. Για παράδειγμα, ακόμα και αν διαθέτουμε στατιστικά δεδομένα για παρόμοιες καταστάσεις, δεν θα μπορούσαμε να γνωρίζουμε τον ακριβή αριθμό και την θέση των επιβατών στην έναρξη της μελέτης σε έναν σταθμό που πρόκειται να χτιστεί στο μέλλον. Επομένως, δεν μπορούμε παρά να κάνουμε ασθενείς προβλέψεις για την πιθανή εξέλιξη των φαινομένων μέσα στον σταθμό.

4.1.2 Προγνωστικές Μέθοδοι

Η αξία της πρόγνωσης βρίσκεται στην εκ των προτέρων κατάλληλη προετοιμασία του συστήματος προκειμένου να είναι σε θέσω να αντιμετωπίσει επιτυχώς διάφορες πιθανές μελλοντικές καταστάσεις. Στην περίπτωση του σταθμού είναι επιθυμητό να διαμορφωθεί μια υποδομή η οποία καλύπτει ορισμένους στόχους και προδιαγραφές. Μεταξύ άλλων, θα πρέπει:

- Να λειτουργεί καθημερινά με αποδοτικό τρόπο προσφέροντας στους διερχόμενους επιβάτες μια ασφαλή εμπειρία χωρίς περιττή ταλαιπωρία και καθυστερήσεις.
- Να είναι δομημένη κατάλληλα ώστε, εάν προκύψει ανάγκη, να είναι εφικτή η ασφαλής εκκένωση όλων των ανθρώπων μέσα στον σταθμό εντός προδιαγεγραμμένου χρόνου.

Τα παραπάνω είναι στόχοι που προκύπτουν από την ανθρωποκεντρική φιλοσοφία του σχεδιασμού του σταθμού. Με το πέρασμα των ετών έχουν προκύψει διάφορες προγνωστικές μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν για την προσαρμογή μιας υποδομής στις ανάγκες των ανθρώπων που θα την χρησιμοποιούν.

4.1.2.1 Μέθοδοι Πρόγνωσης Βάσει Προδιαγραφών

Μια παραδοσιακή προσέγγιση σε τέτοιων ειδών προβλήματα είναι η προσέγγιση βάσει υπαρχόντων προδιαγραφών (prescriptive).

Οι πληροφορίες βασίζονται σε κώδικες και κανονισμούς, και πρακτικά προκύπτουν σε μεγάλο βαθμό από λύσεις προηγούμενων μελετών και εφαρμογών που έχουν συγκεντρωθεί με το πέρασμα των χρόνων. Ενδεικτικά, για τον σχεδιασμό συστήματος πυρόσβεσης σε εγκατάσταση μπορεί να γίνει χρήση της προδιαγραφής NFPA 13, η οποία έχει ρίζες στον 19^{ο} αιώνα (τότε συγκεντρώθηκαν κανονισμοί με διατάξεις που αφορούσαν την κατασκευή κτηρίων) (Puchovsky, n.d.).

Πίνακες και διαγράμματα παρουσιάζουν με απλουστευμένο τρόπο τις ελάχιστες απαιτήσεις που πρέπει να καλύπτονται ανά περιπτώσεις προκειμένου να επιτευχθούν ορισμένοι στόχοι ("Deemed-to-Satisfy"). Δίνονται επίσης απλές συναρτήσεις που μπορούν να εφαρμοστούν κατά περίπτωση. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι οι συναρτήσεις που δίνεται από το Εγχειρίδιο Σχεδιασμού της ΑΜ ως προτεινόμενη μέθοδος υπολογισμού του χρόνου εκκένωσης αποβάθρων (εικόνα 7). Η προσέγγιση αυτή λειτουργεί έτσι ώστε μία λύση να μπορεί να

γ Ακολουθεί ένας τυπικός υπολογισμός του χρόνου εκκένωσης (Τ) μιας κεντρικής αποβάθρας (γ1) και μιας πλευρικής αποβάθρας (γ2), με βάση το ανωτέρω σενάριο:

γ1

$$T = \frac{N}{(a-1)x135+bx62+50} + 1$$

$$N = A + F1x2xI + F2xI$$

Και $T \leq 5$

γ2

$$T = \frac{N}{(a-1)x135+bx62+50} + 1$$

$$N = A + F1x2xI$$

Και $T \leq 5$

Όπου :

- F_1= μέγιστη ροή σε ένα λεπτό των επιβατών που εισέρχονται σε αποβάθρα προς την κατεύθυνση που επηρεαζεται από το περιστατικό
- F_2= μέγιστη ροή σε ένα λεπτό των επιβατών που εισέρχονται σε σταθμό για μετακίνηση προς την αντίθετη κατεύθυνση (αφορά κεντρική αποβάθρα)
- I=Χρονοαπόσταση σε Ώρα Αιχμής
- A=Μέγιστη χωρητικότητα συρμού (1000 επιβάτες)
- a=Αριθμός κυλ. κλιμάκων b=συνδυασμένο πλάτος κλιμάκων σε μέτρα.
- N=Συνολικός αριθμός επιβατών προς εκκένωση.)

Εικόνα 7: Απόσπασμα από το Εγχειρίδιο Σχεδιασμού της ΑΜ για τους σταθμούς της γραμμής 4

εφαρμοστεί σε πολλές διαφορετικές περιπτώσεις, ενώ δεν απαιτεί πολύπλοκους υπολογισμούς ή χρήση λογισμικών.

Η μέθοδος αυτή μεταφέρει μέρος του ρίσκου στις αρχές που ορίζουν τις προδιαγραφές, καθώς οι λύσεις που προτείνονται είναι ήδη εγκεκριμένες από αυτές. Θεωρητικά, όταν πρόκειται για συμβατικά προβλήματα με χαμηλό επίπεδο αβεβαιότητας, εάν καλύπτονται οι αναφερόμενες απαιτήσεις τότε θα καλύπτονται και οι στόχοι της εφαρμογής. Στην πραγματικότητα όμως δεν υπάρχει εγγύηση ότι, αυτές οι “fit-for-all” λύσεις θα οδηγήσουν σε επιθυμητά αποτελέσματα ανεξάρτητα από τις συνθήκες που θα προκύψουν.

Εν ολίγοις, οι μέθοδοι βάσει προδιαγραφών έχουν μακρά ιστορία και, ενώ συνοδεύονται από ορισμένους περιορισμούς, παρέχουν αρκετά πλεονεκτήματα όπως είναι η απλότητα στην εφαρμογή τους[10].

4.1.2.2 Μέθοδοι Βάσει Απόδοσης Και Μελέτη Πλήθους

Στον αντίποδα της χρήσης προδιαγραπτικών μοντέλων (prescriptive) υπάρχει η μέθοδος πρόγνωσης βάσει απόδοσης (performance based). Η εφαρμογή της μεθόδου υπαγορεύει την εξέταση του κάθε προβλήματος ξεχωριστά ώστε να βρεθούν με ακρίβεια και να αξιολογηθούν τα σενάρια που είναι πιθανότερο να προκύψουν σε κάθε περίπτωση. Αφού γίνει αυτό μπορούν να δοθούν λύσεις που να ταιριάζουν επακριβώς στο πρόβλημα υπό μελέτη, και άρα είναι πιο ασφαλείς.

Η προσέγγιση αυτή βέβαια επιφυλάσσει δυσκολίες συγκριτικά με την προηγούμενη. Αρχικά απαιτούνται τεχνικές γνώσεις και κριτική σκέψη σε πολλά από τα βήματα της μελέτης (στην κατασκευή σωστών μοντέλων για παράδειγμα, ή στον καθορισμό ρεαλιστικών σεναρίων). Υπάρχει επίσης δυσκολία στην εκτέλεση των σεναρίων, καθώς συχνά απαιτείται η χρήση κατάλληλων αλγόριθμων ή λογισμικών. Θα πρέπει αυτά να είναι αξιόπιστα (βασισμένα σε σωστά, σύγχρονα δεδομένα και αρχές λειτουργίας), το οποίο είναι συχνά δύσκολη υπόθεση. Θα πρέπει επίσης οι χρήστες να είναι εξοικειωμένοι με αυτά ώστε να κατανοούν πώς πρέπει να δομήσουν την μελέτη τους για να πάρουν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Σχετικά με το ζήτημα της επάρκειας κτιρίων στην διαχείριση ανθρώπινων ροών, υπάρχει ειδικός επιστημονικός κλάδος που αφορά την πρόγνωση της συμπεριφοράς του πλήθους σε διαφορετικά περιβάλλοντα και συνθήκες. Λόγω του υψηλού βαθμού πολυπλοκότητας τέτοιων προβλημάτων, η χρήση performance based μεθόδων είναι αναγκαία για να βρεθούν ασφαλείς λύσεις σε πιθανά σενάρια διαχείρισης πλήθους. Όπως προαναφέρθηκε, για να λειτουργήσει η μέθοδος χρειάζεται τόσο κατανόηση του συστήματος όσο και χρήση αξιόπιστου λογισμικού.

Η μελέτη ανθρώπινου πλήθους είναι ένας διεπιστημονικός κλάδος που απαιτεί την συνεργασία διαφορετικών τομέων όπως είναι η τεχνολογία (για τον εντοπισμό των βασικών χαρακτηριστικών ενός πλήθους), τα μαθηματικά (για την κατασκευή μοντέλων) και η επιστήμη υπολογιστών (για την προσομοίωση του δυναμικού πλήθους). Αναγκαία είναι ακόμα η συνεισφορά της επιστήμης της ψυχολογίας, καθώς οι συναισθηματικές αντιδράσεις και οι συμπεριφορές των ανθρώπων είναι που επηρεάζουν τις επιλογές των πεζών κατά την κίνησή τους. Πρέπει επίσης να υπάρχει εξοικείωση με την έννοια της συλλογικής συμπεριφοράς των ανθρώπων που αντιμετωπίζουν κρίσιμες καταστάσεις.

Η ρεαλιστική μοντελοποίηση της κίνησης πλήθους μπορεί να αποβεί εξαιρετικά ωφέλιμη. Μοντέλα τέτοιου τύπου μπορούν να αποτελέσουν εξαιρετικά εργαλεία στην διαχείριση πλήθους σε κρίσιμες καταστάσεις, όπου η λήψη αποφάσεων πρέπει να λαμβάνεται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ταχεία εκκένωση σύνθετων χώρων λόγω εκδήλωσης επικίνδυνου περιστατικού, που είναι περίπτωση κατά την οποία ο πανικός και το άγχος επηρεάζουν την κρίση των ανθρώπων και μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλειά τους.

Ένα βασικό πρόβλημα στη μοντελοποίηση δυναμικού πλήθους που αξίζει να επισημανθεί είναι η επιλογή μιας κλίμακας μοντελοποίησης. Όπως έχουμε δει και στην θεωρία συστημάτων, υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης. Στην προκειμένη περίπτωση υπάρχει η επιλογή να υιοθετηθούν τρεις διαφορετικές κλίμακες: η μικροσκοπική,

μεσοσκοπική και η μακροσκοπική. Σε κάθε κλίμακα αντιστοιχούν διαφορετικές μαθηματικές δομές[11].

4.1.2.3 Ο Παράγοντας Του Πανικού

Συχνά σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης παρατηρούνται συλλογικά φαινόμενα που αποδίδονται σε «συμπεριφορά πανικού». Ωστόσο, δεν υπάρχει καθολικά αποδεκτός ορισμός της έννοιας του πανικού. Αντιθέτως, κοινωνικοί επιστήμονες αντιμετωπίζουν κριτικά την υποκείμενη θεωρία για την ψυχολογία των μαζών που διατυπώθηκε από τον Le Bon[12] [13] [14]. Ορισμένες πτυχές συνδέονται συνήθως με αυτήν την έννοια[15] [16]. Για παράδειγμα, ο ανταγωνισμός για δυσεύρετους ή φθίνοντες πόρους (π.χ. ασφαλής χώρος ή πρόσβαση σε έξοδο) συχνά θεωρείται ότι οδηγεί σε εγωιστική, αντικοινωνική ή ακόμα και παράλογη συμπεριφορά που μπορεί να επηρεάσει μεγάλες ομάδες ανθρώπων. Παρόλα αυτά, μια πιο προσεκτική διερεύνηση σε περιστατικά καταστροφών αποκαλύπτει ότι τέτοια χαρακτηριστικά είτε δεν παρατηρούνται καθόλου είτε δεν επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα[17] [18]. Συχνά ο λόγος για αρνητικές εκβάσεις περιστατικών είναι πολύ απλούστερος (μπορεί για παράδειγμα η χωρητικότητα μιας εγκατάστασης να είναι πολύ μικρή σε σχέση με το μέγεθος του πλήθους που στεγάζει). Επομένως ο όρος «πανικός» θα πρέπει να αποφεύγεται, καθώς επιρρίπτει υποσυνείδητα την ευθύνη στα θύματα[19] [24].

4.1.2.4 Διαθέσιμα Λογισμικά

Στην αγορά μπορεί να βρει κανείς ποικιλία λογισμικών μοντελοποίησης κίνησης πλήθους, από διαφορετικές εταιρείες. Μερικές από τις πιο διαδεδομένες επιλογές παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα, μαζί με μερικές ενδεικτικές λεπτομέρειες για τα χαρακτηριστικά τους:

Product & Company	Characteristics	Areas
LEGION (by Bentley)	•2D graphics (until 2021) •Agent Based Modelling	•Railway stations •Sports stadiums •Airports •Places where people converge (theaters, piazzas etc.) •Transport hubs
Anylogic	•Modelling with: - Agent Based - System Dynamics - Discrete Event •2D & 3D graphics	•Process Modeling Library for generic business processes or workflows •Fluid Library to simulate bulk cargo and liquid transfer in industries like mining or oil & gas. • Rail Library for rail transportation, terminals, and yards. • Pedestrian Library for pedestrian flows in airports, stadiums, stations, or shopping malls. •Road Traffic Library for car, truck, and bus movement on roads, parking lots, and factory sites. • Material Handling Library for manufacturing and warehouse processes.
MassMotion (by Oasys)	•BIM compatible •2D & 3D graphics	•transport hubs •scheduled events •airport terminal design and planning •evacuation planning •offshore platforms •stadia planning •maintenance projects

SIMWALK	•Shopping behavior analysis •2D & 3D graphics •Elevator objects	•public transport •airports •evacuation with hazard control (possible dynamic triggering of hazards or explosions during run-time)
PTV Viswalk (PTV Group)	• BIM compatible •2D & 3D graphics	•Urban Environments •Railway Stations •Evacuation Simulation •Stadiums & Event Planning
SOLUTIONS powered by CAST (by ARC)	•2D & 3D graphics	•Airports •Airport operation centers •Ground handling •landside infrastructure

Πίνακας 6: Λογισμικά Προσομοίωσης Κίνησης Πλήθους

Σε γενικές γραμμές τα λογισμικά προσφέρουν παρόμοιες λειτουργίες και παρουσιάζουν τα δεδομένα με βίντεο, χάρτες, γραφήματα κλπ. Ο σταθμός είναι σχετικά χαμηλής πολυπλοκότητας (αν τον συγκρίνουμε με ένα πρόβλημα αεροδρομίου ή σταδίου με πολλά επίπεδα και χιλιάδες θεατές), επομένως θεωρητικά θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε οποιοδήποτε από τα παραπάνω.

Το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία είναι το LEGION.

4.2 Το Λογισμικό LEGION

4.2.1 Γενικές Πληροφορίες

Το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί για την μελέτη ονομάζεται LEGION και είναι προϊόν της εταιρίας Bentley Systems.

Η Bentley Systems είναι μια εταιρεία ανάπτυξης λογισμικού που υποστηρίζει τις ανάγκες επαγγελματιών υπεύθυνων για τη δημιουργία και τη διαχείριση υποδομών παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένων δρόμων, γεφυρών, αεροδρομίων, ουρανοξυστών και βιομηχανικών και ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών, καθώς και δικτύων κοινής ωφέλειας. Η Bentley παρέχει προϊόντα για κάθε μέρος του κύκλου ζωής ενός έργου, διαθέτοντας μεταξύ άλλων και το LEGION.

Το LEGION ενδείκνυται για προσομοίωση και ανάλυση της κίνησης των πεζών σε έργα υποδομής. Το λογισμικό επιτρέπει δοκιμές υψηλής ακρίβειας στα σχέδια των υποδομών, προκειμένου να βελτιωθούν στοιχεία όπως είναι η επισκεψιμότητα, η δυνατότητα προσανατολισμού στον χώρο, η διαχείριση του πλήθους και τα πρωτόκολλα ασφάλειας. Αυτό βοηθά να διασφαλιστεί ότι νέοι χώροι και υποδομές είναι κατάλληλα για τον σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσουν, ενώ παράλληλα συμβάλλει στην παράταση της ωφέλιμης ζωής των ήδη υπαρχόντων κατασκευών, διασφαλίζοντας έτσι και μεγιστοποιώντας την απόδοση των δαπανών κεφαλαίου. Εν ολίγοις αποτελεί εργαλείο βελτιστοποίησης της χρήσης ενός χώρου για μεγαλύτερη ασφάλεια και παραγωγικότητα με χαμηλότερες δαπάνες.

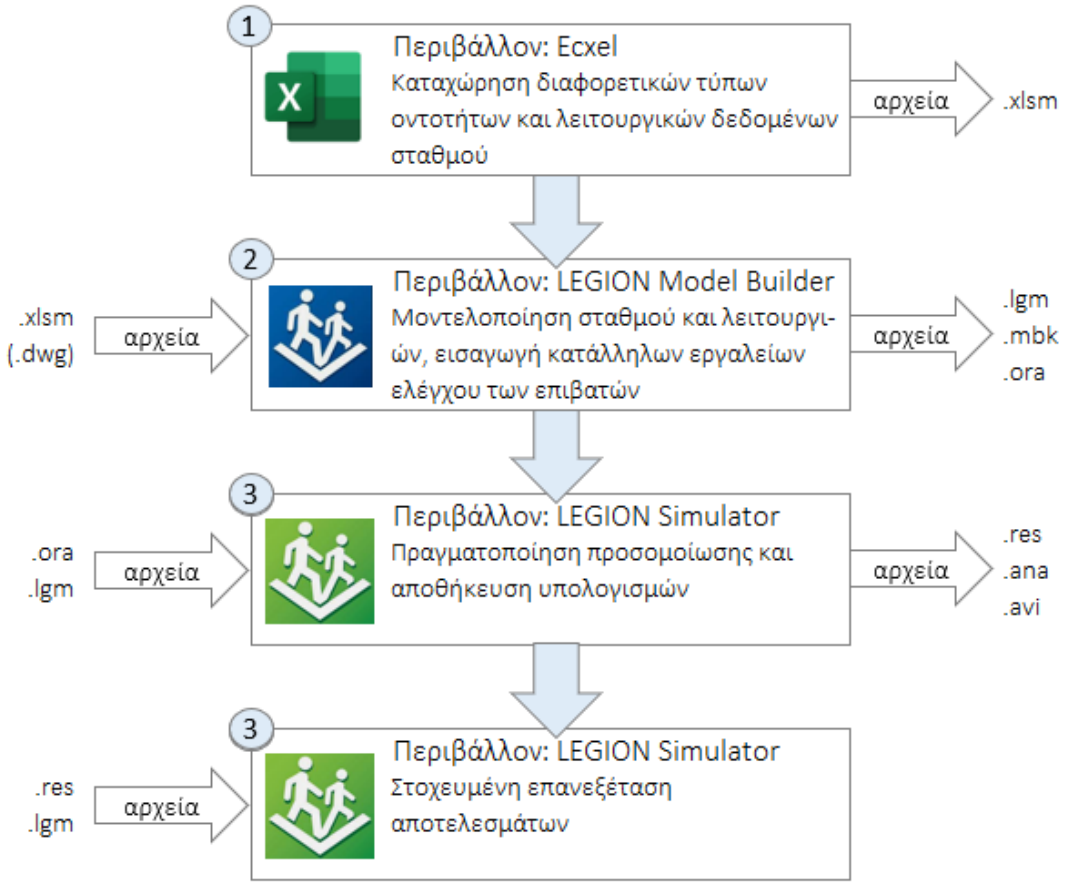
Το LEGION διαθέτει τα ακόλουθα 3 προϊόντα:

- Το LEGION Model Builder: Επιτρέπει την δημιουργία ενός χωρικού περιβάλλοντος μέσα στο οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί ακριβής προσομοίωση περίπλοκης, δυναμικής κίνησης πεζών. Ενδιάμεσες δραστηριότητες των επιβατών όπως η αναμονή, ο σχηματισμός ουρών και η χρήση κλιμάκων, αποδίδονται στα μοντέλα LEGION με την χρήση κατάλληλων εργαλείων.
- Το LEGION Simulator: Ενδείκνυται για την πραγματοποίηση προσομοιώσεων βασισμένων στα μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί με το LMB. Υπολογίζει την συμπεριφορά και την αλληλεπίδραση των πεζών και του πλήθους εντός της υποδομής, με δυνατότητα πρόβλεψης σε ένα ευρύ φάσμα σεναρίων.
- OpenBuildings Designer: Χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό, την ανάλυση και την οπτικοποίηση κτιρίων οποιουδήποτε μεγέθους, μορφής και πολυπλοκότητας. Τα επίπεδα μοντελοποίησης εντάσσονται στα πεδία εφαρμογής τόσο αρχιτεκτόνων όσο μηχανικών.

Για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης θα χρησιμοποιηθούν το LMB και το LS.

4.2.2 Τυπική Ροή Εργασιών

Η ροή εργασίας που θα ακολουθηθεί κατά την χρήση του λογισμικού φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 2: Ροή Εργασιών στο LEGION

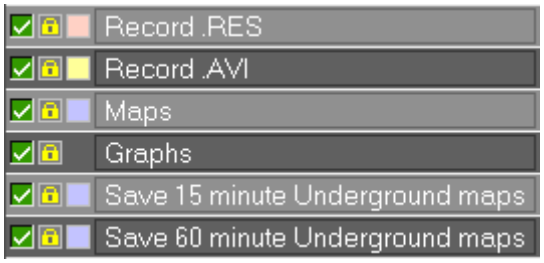
Η διαδικασία αυτή είναι και η συνήθης, με την εξαίρεση ότι σε άλλες περιπτώσεις ο χρήστης μπορεί να εισάγει κατάλληλα τροποποιημένο αρχείο CAD στο LMB και να δουλέψει πάνω σε αυτό αντί να σχεδιάσει ο ίδιος το μοντέλο από την αρχή. Τυπικά:

Στο 1ο βήμα ο χρήστης συμπληρώνει ένα Data Sheet Template (αρχείο excel που παρέχεται από το LEGION) και καταχωρεί εκεί σημαντικά δεδομένα για τις κατηγορίες και τα χαρακτηριστικά των επιβατών, αλλά και λειτουργικά δεδομένα που αφορούν τον σταθμό (π.χ. δρομολόγια συρμών, χρόνος έκδοσης εισιτηρίου από επιβάτη κλπ.). Το αρχείο υπό επεξεργασία είναι σε μορφή .xlsm, στην οποία και αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα.

Στο 2ο βήμα ο χρήστης εισέρχεται στο LMB και εισάγει το .xlsm. Είτε ξεκινά την σχεδίαση από την αρχή με τα εργαλεία σχεδίασης του LMB είτε εισάγει αρχείο CAD. Μοντελοποιεί το σύστημα στον βαθμό λεπτομέρειας που κρίνει απαραίτητο χρησιμοποιώντας παράλληλα στοιχεία από το .xlsm που έχει εισάγει. Τα αρχεία που μπορούν να εξαχθούν μεταξύ άλλων είναι:

- αρχείο τύπου **.lgm**: LEGION Model File
  Αποθηκεύεται το μοντέλο με όλες τις ρυθμίσεις που έχει κάνει ο χρήστης
- αρχείο τύπου **.mbk**: LEGION Model Backup File
  Αποθηκεύεται η αμέσως προηγούμενη αποθηκευμένη .lgm εκδοχή του μοντέλου, ως αντίγραφο ασφαλείας
- αρχείο τύπου **.ora**: LEGION Simulation Analysis File
  Αυτό το αρχείο περιέχει τον ελάχιστο δυνατό αριθμό δεδομένων που χρειάζονται για να πραγματοποιηθεί μια προσομοίωση στο LS.

Στο 3ο βήμα ο χρήστης εισέρχεται στο LS και ανοίγει τα αρχεία .ora και .lgm που αντιστοιχούν στην προσομοίωση που επιθυμεί να πραγματοποιήσει. Αφού επιλέξει από μια λίστα τύπων καταγραφής τα αρχεία που θέλει να εξάγει, ξεκινά την προσομοίωση. Το λογισμικό υπολογίζει και καταγράφει κάθε βήμα με τη σειρά, δημιουργώντας σε επιλεγμένο φάκελο τα αρχεία που έχει επιλέξει ο χρήστης από την λίστα. Αφού ολοκληρωθεί ο χρόνος προσομοίωσης, ο χρήστης μπορεί να δει τα αποτελέσματά της. Τα αρχεία που μπορούν να εξαχθούν μεταξύ άλλων είναι:



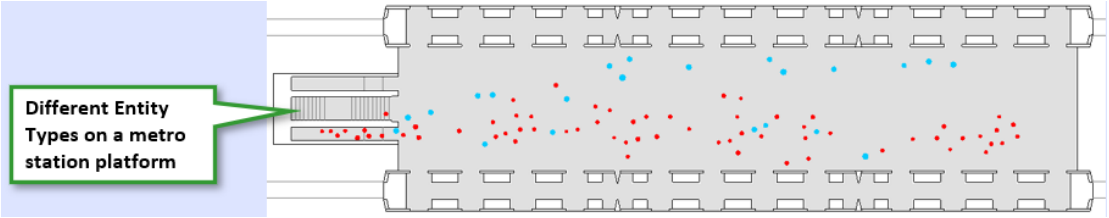
Εικόνα 8: Διαθέσιμα αρχεία προς καταγραφή

- αρχείο τύπου **.res**: LEGION Result File
  Αποθηκεύεται το μοντέλο με όλες τις ρυθμίσεις που έχει κάνει ο χρήστης
- αρχείο τύπου **.ana**: Simulation Analysis File
  Αποθηκεύει γραφήματα, αναλύσεις, εύρη τιμών κλπ.
- αρχείο τύπου **.avi**: Audio Video Interleave File
  Αποθηκεύει την προσομοίωση βιντεοσκοπημένη
- αρχείο τύπου **.abk**: LEGION Analysis Backup File
  Όμοιο με το .mbk, κρατά αντίγραφο ασφαλείας για το αρχείο .ana

4.2.3 Έννοιες Του LEGION

4.2.3.1 Οντότητες

Κάθε άνθρωπος που προσομοιώνεται εντός του LEGION αποτελεί μια οντότητα. Οι οντότητες αντιπροσωπεύονται με κύκλους συμβολικού χρώματος και μεγέθους μέσα στις κατόψεις των χώρων (εικόνα 9). Τα χαρακτηριστικά κάθε οντότητας καθορίζονται από τον τύπο της οντότητας (Entity Type). Όπως θα περιγράψουμε και αργότερα πιο αναλυτικά, κάθε τύπος οντότητας διακρίνεται από όνομα, χρώμα, μέγεθος (συμπεριλαμβανομένων αποσκευών) και ταχύτητα. Οι τύποι οντοτήτων επιτρέπουν την μοντελοποίηση διαφορετικών κατηγοριών ανθρώπων.



Εικόνα 9: Διαφορετικοί τύποι οντοτήτων

4.2.3.2 Κίνηση Οντοτήτων Μέσα Στον Χώρο

Η κίνηση των μοντελοποιημένων πεζών στα μοντέλα του LEGION είναι βασισμένη σε εκτεταμένες επιστημονικές έρευνες πραγματικών ανθρώπων σε αληθινά σενάρια. Προκειμένου να καθοριστούν οι κανόνες που θα διέπουν την κίνησή τους, έχουν παρθεί εκατοντάδες χιλιάδες μετρήσεις παγκοσμίως και σε εύρος πολλών ετών. Οι έρευνες είχαν ως αντικείμενο τον τρόπο που επιλέγουν οι πεζοί (ακόμα και υποσυνείδητα) να αποφεύγουν τα εμπόδια στην πορεία τους αλλά και ο ένας τον άλλον.

Οι κανόνες που προέκυψαν από αυτές τις μελέτες εφαρμόζονται ώστε να προκύψει ένα εύρος πεζών που κινούνται και αντιδρούν με τρόπο που να αντικατοπτρίζει την πραγματική ζωή και να λαμβάνει υπόψιν τις επιθυμίες, τις προτιμήσεις και την αντίληψη στον χώρο. Επιπλέον, οι υπολογισμοί του αλγόριθμου συνδυάζονται με ένα στοιχείο τυχαιότητας, προκειμένου να αποδοθεί η αβεβαιότητα της ανθρώπινης συμπεριφοράς.

4.2.3.2.1 Στόχος Και Διαδρομή

Χάρη στον αλγόριθμο πλοήγησης, οι περισσότερες αποφάσεις στο LEGION μπορούν να παρθούν από τις ίδιες τις οντότητες. Προκειμένου να κινηθεί κάποια οντότητα μέσα στο μοντέλο, θα πρέπει να έχει έναν στόχο (target) ο οποίος θα είναι είτε ενδιάμεσος είτε, αν δεν ακολουθεί οδηγίες για ενδιάμεση δραστηριότητα, ο τελικός προορισμός. Εάν κάποια οντότητα απομείνει χωρίς στόχο, απομακρύνεται από το μοντέλο και αναφέρεται στο αντίστοιχο Output Bar του UI.

Για κάθε στόχο που έχει μια οντότητα, επιλέγει διαδρομή προς αυτόν σύμφωνα με τον αλγόριθμο πλοήγησης του λογισμικού. Οι αποφάσεις πλοήγησης των οντοτήτων λαμβάνονται στα ακόλουθα τρία επίπεδα:

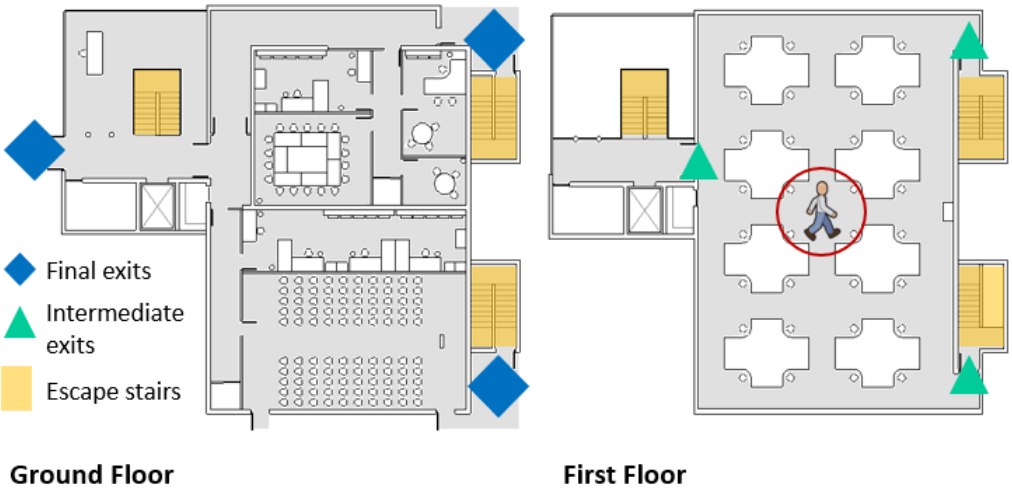
- Στρατηγικό: Επιλογή στόχου (target) είτε ενδιάμεσου, είτε του τελικού προορισμού (Final Destination).
- Τακτικό: Μακροπλοήγηση με επιλογή της κοντύτερης διαδρομής μέχρι τον στόχο.

- Λειτουργικό: Μικροπλοήγηση με υπολογισμό του βέλτιστου επόμενου βήματος, σύμφωνα με τις εκάστοτε συνθήκες σε τοπικό επίπεδο.

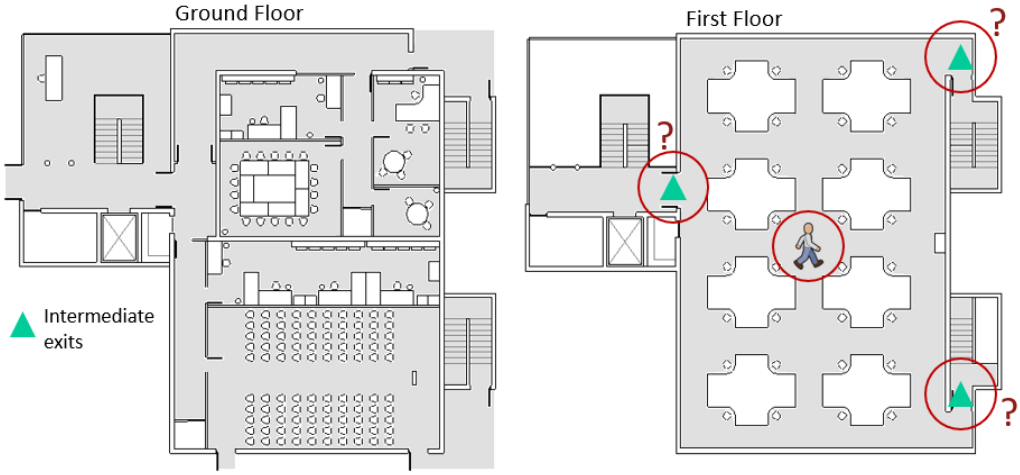
Για Παράδειγμα: Η οντότητα στον 1ο όροφο (εικόνα 10) καλείται να επιλέξει τρόπο να εξέλθει από το κτίριο. Η αρχική απόφαση μπορεί να βασιστεί στην επίγνωση της απόστασης μέχρι τις τελικές ή μέχρι τις ενδιάμεσες εξόδους.

Η οντότητα θα αποφασίσει προς ποια ενδιάμεση έξοδο θα κινηθεί σύμφωνα με την παρούσα θέση της ή/και την σύνδεσή της (linking method) με κάποιο ενδιάμεσο στόχο από τον χρήστη εικόνα 11).

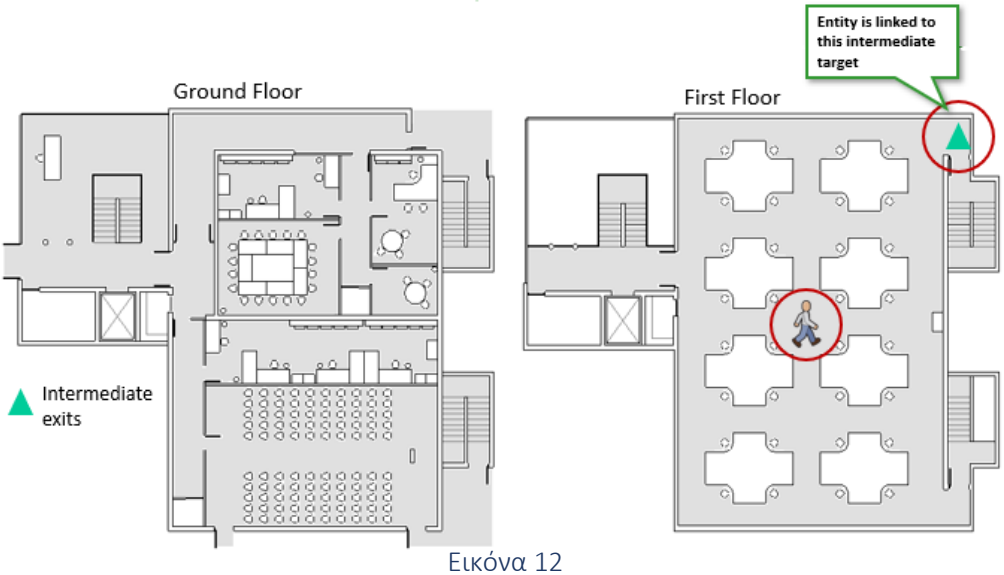
Στην συνέχεια η οντότητα θα εντοπίσει την μικρότερη διαδρομή μέχρι τον στόχο (μακροπλοήγηση) και θα κινηθεί προς τα εκεί επιλέγοντας το κάθε βήμα σύμφωνα με τον περιβάλλοντα χώρο (μικροπλοήγηση) (εικόνα 12).



Εικόνα 10

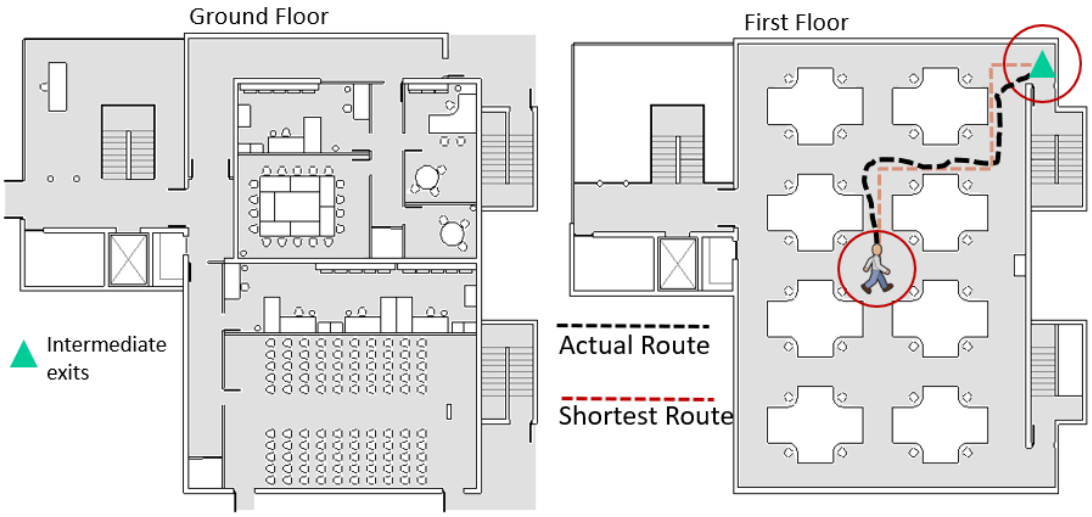


Εικόνα 11



Εικόνα 12

Καθώς η οντότητα ακολουθεί το συντομότερο μονοπάτι σχηματίζει μια τροχιά, η οποία καθορίζεται με κάθε βήμα κατά τη διάρκεια της διαδρομής. Η οντότητα ορίζει το επόμενο βήμα της σύμφωνα με την διαρρύθμιση της γύρω περιοχής, τυχόν άλλες οντότητες που βρίσκονται σε αυτήν αλλά και τις δικές της προτιμήσεις (εικόνα 13).



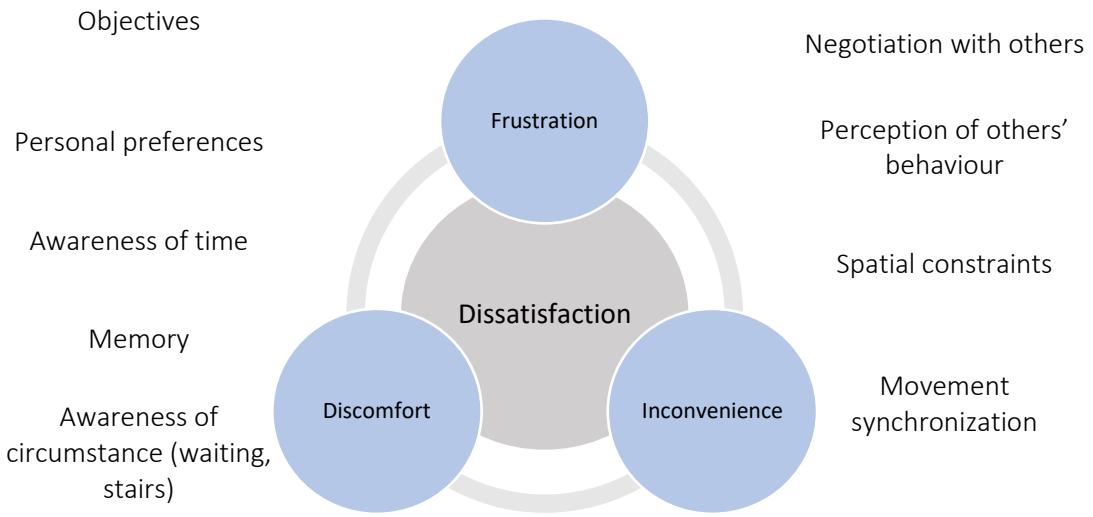
Εικόνα 13

4.2.3.2.2 Δείκτης Δυσαρέσκειας

Ο αλγόριθμος λειτουργεί με την λογική ελαχίστου κόστους ως βασικό γνώμονα. Το κόστος υπολογίζεται με τον δείκτη δυσαρέσκειας (Dissatisfaction). Δυσαρέσκεια προκύπτει όταν οι προτιμήσεις μιας οντότητας δεν καλύπτονται πλήρως, μειώνοντας έτσι την ποιότητα της διαδρομής στο μοντέλο. Στην δυσαρέσκεια κάθε οντότητας συμβάλλουν τα ακόλουθα 3 στοιχεία:

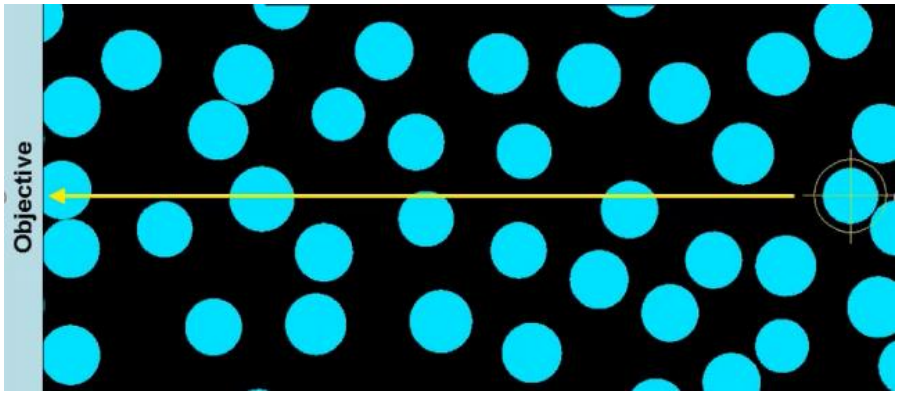
- Σύγχυση (Frustration): ανεπιθύμητες μεταβολές στην ταχύτητα βαδίσματος.
  Κάθε πεζός, ανάλογα τον τύπο του, συνδέεται με συγκεκριμένη κατανομή ταχύτητας και άρα έχει μία προτιμώμενη ταχύτητα βαδίσματος. Όσο υπάρχει δυνατότητα, ο πεζός θα διατηρεί την προτιμώμενη ταχύτητά του. Εάν αναγκαστεί να αλλάξει ρυθμό βαδίσματος (είτε να επιταχύνει είτε να επιβραδύνει), αυτό θα προκαλέσει σύγχυση.
- Ταλαιπωρία (Inconvenience): ανεπιθύμητη παρέκκλιση από την συντομότερη διαδρομή.
  Ανάλογα με τους ενδιάμεσους στόχους και τον τελικό του προορισμό, κάθε πεζός έχει μια προτιμώμενη κατεύθυνση προς την οποία επιθυμεί να κινηθεί. Εάν αναγκαστεί να αποκλίνει από την προτιμώμενη κατεύθυνση, αυτό θα αυξήσει την ταλαιπωρία του.
- Δυσφορία (Discomfort): ανεπιθύμητη εισχώρηση τρίτων στον προσωπικό χώρο του ατόμου.
  Τα προφίλ οντοτήτων στο LEGION είναι συνδεδεμένα με προτιμήσεις προσωπικού χώρου. Οι προτιμήσεις αυτές αντιμετωπίζουν διαφορετικά άλλες οντότητες από απλά χωρικά εμπόδια. Κάθε οντότητα επιδιώκει να διατηρήσει επιθυμητή απόσταση από άλλους πεζούς, και όταν δεν μπορεί να το επιτύχει προκαλείται δυσφορία.

Οι οντότητες πραγματοποιούν κάθε νέο βήμα με στόχο να ελαχιστοποιήσουν το κόστος, αξιολογώντας κάθε ένα από τα 3 αυτά στοιχεία και αποφασίζοντας αναλόγως (διάγραμμα 3).



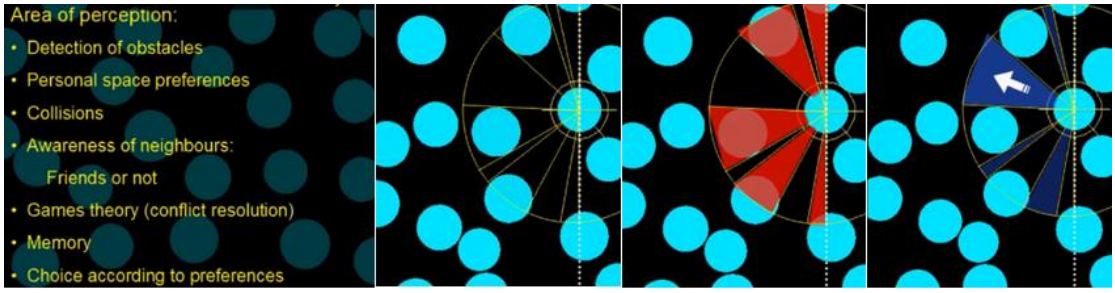
Διάγραμμα 3: Κριτήρια απόφασης κάθε βήματος

Θα ακολουθήσει ένα παράδειγμα κίνησης οντότητας μέσα από πλήθος. Η επιλεγμένη οντότητα (εικόνα 14) έχει ως στόχο να φτάσει στην αριστερή πλευρά του χώρου (Objective).



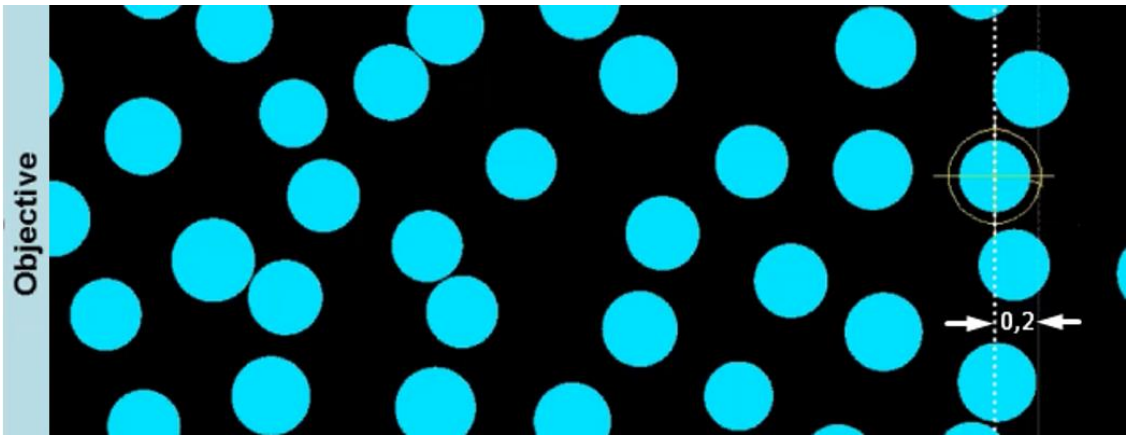
Εικόνα 14

Ο τρόπος που αντιλαμβάνεται τον χώρο γύρω της θα επηρεάσει το επόμενο βήμα. Στην εικόνα 15, με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι κατευθύνσεις που οδηγούν σε εμπόδια, ενώ με μπλε οι κατευθύνσεις που οδηγούν σε ανοίγματα διαθέσιμου χώρου. Η οντότητα επιλέγει την καλύτερη λύση για να κάνει το επόμενο βήμα της σύμφωνα με συγκεκριμένα κριτήρια.



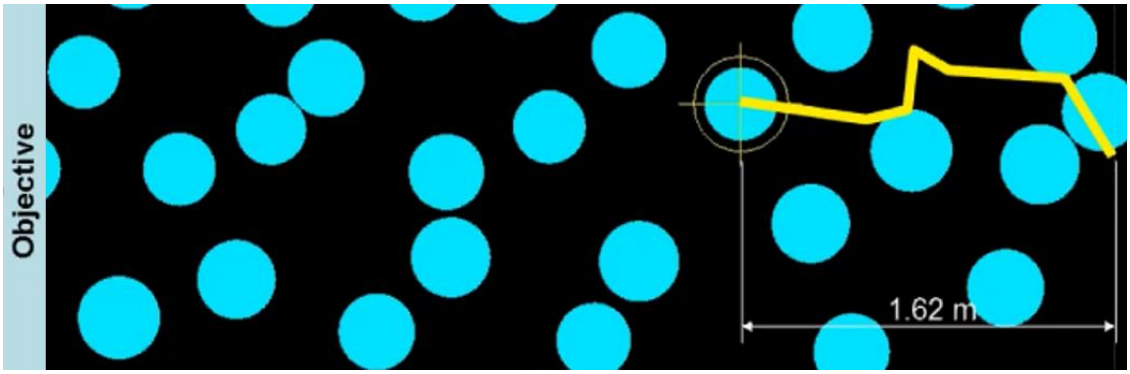
Εικόνα 15

Η οντότητα πραγματοποιεί το επόμενο βήμα, διανύοντας τέτοια απόσταση ώστε να βρεθεί 0.2 μέτρα πιο κοντά στον στόχο (εικόνα 16).

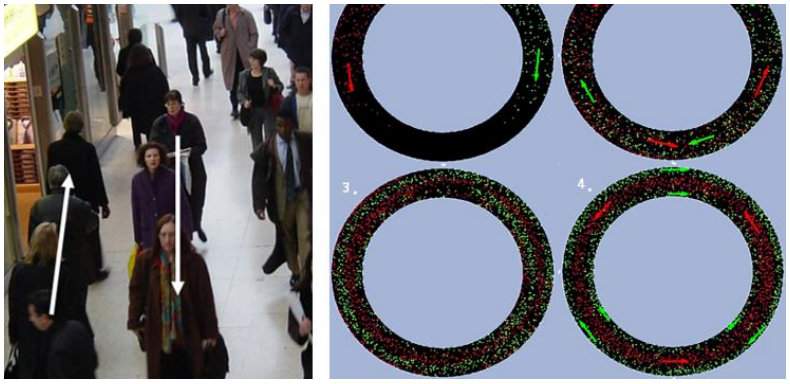


Εικόνα 16

Κατά τον ίδιο τρόπο εξακολουθεί να κινείται μέσα στο πλήθος, πραγματοποιώντας μικρές παρακάμψεις όποτε χρειάζεται προκειμένου να αποφύγει τυχόν εμπόδια (εικόνα 17).



Εικόνα 17



Εικόνα 18

Μία επιπλέον αξιοσημείωτη παρατήρηση πάνω στην ανθρώπινη συμπεριφορά είναι ότι όταν πεζοί κινούνται σε διαδρόμους διπλής κατεύθυνσης, τείνουν να σχηματίζονται λωρίδες. Ο αλγόριθμος συνυπολογίζει και αυτή την τάση (εικόνα 18).

4.2.4 LEGION Model Builder

4.2.4.1 Γενικές Πληροφορίες

Όπως αναφέρθηκε, ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει το LBM για να δημιουργήσει ένα ακριβές μοντέλο του υπό μελέτη χώρου, πραγματοποιώντας έτσι προσομοιώσεις και αναλύσεις με βάση ένα σύνολο εισόδων-κλειδιών (key inputs).

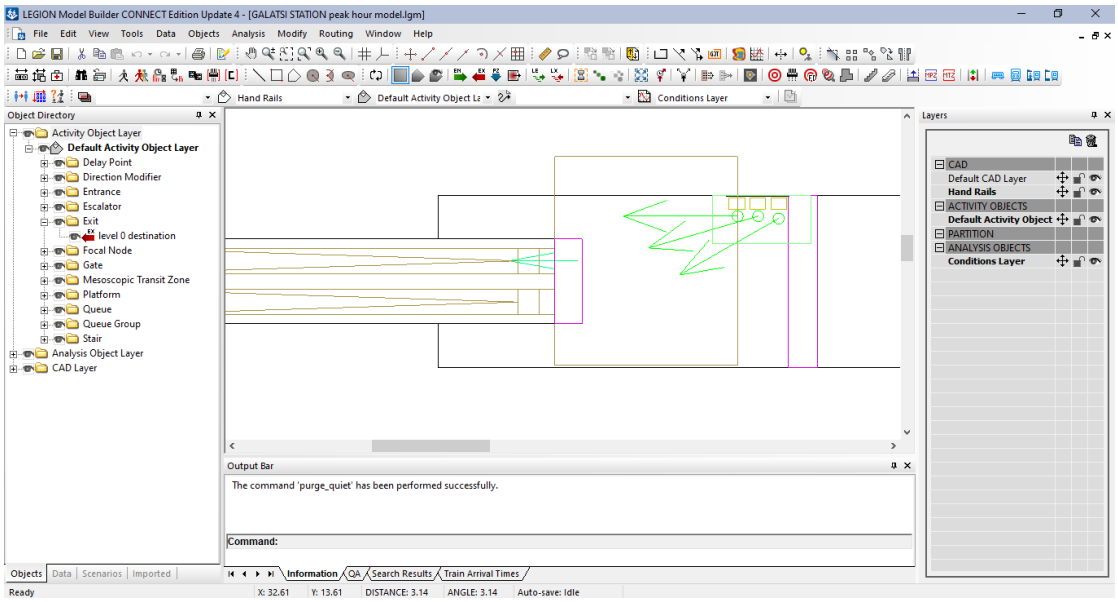
Τα μοντέλα στο LEGION βασίζονται σε στοιχεία όπως τα σχέδια του χώρου, την αναμενόμενη ζήτηση και τα λειτουργικά δεδομένα. Επιτρέπουν την προσομοίωση και αξιολόγηση υποδομών όπως σιδηροδρομικούς σταθμούς, γήπεδα, αεροδρόμια, συγκροτήματα γραφείων, θέατρα, πλατείες, κόμβους μεταφορών και γενικότερα μέρη όπου συγκεντρώνονται πλήθη.

Ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει την εισαγωγή γεωμετρίας ενός κτιρίου στο LMB από μια μεγάλη γκάμα τύπων αρχείων CAD/IFC, ενώ τα ενσωματωμένα εργαλεία σχεδίασης CAD επιτρέπουν γρήγορη τροποποίηση των σχεδίων που έχουν εισαχθεί. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα δημιουργίας της γεωμετρίας του χώρου εξ ολοκλήρου μέσα στο περιβάλλον του λογισμικού.

Τα εργαλεία που παρέχει το LMB επιτρέπουν την αυτοματοποίηση των διαδρομών κάθε οντότητας μέσα στο μοντέλο, αφού με αυτά ο χρήστης μπορεί να ορίσει σημεία εκκίνησης, τελικούς προορισμούς, ενδιάμεσες δραστηριότητες, χαρακτηριστικά των οντοτήτων, προτιμήσεις τους, λειτουργικά δεδομένα της υποδομής και πολλά ακόμα.

Στα μοντέλα που χρησιμοποιεί, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει και να εισάγει με ευκολία διαφορετικές φόρμες δεδομένων, που προσδίδουν ευελιξία και απλότητα στον έλεγχο της μοντελοποίησης. Μέσω των φορμών δεδομένων, το LMB επιτρέπει τον ορισμό, την επαναχρησιμοποίηση και την κοινή χρήση δεδομένων μεταξύ διαφορετικών έργων και ομάδων και την σύνδεση τους με το μοντέλο.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι φόρμες δεδομένων είναι κατάλληλα διαμορφωμένα αρχεία excel τα οποία παρέχονται από την Bentley και συμπληρώνονται με τα στοιχεία του εκάστοτε μοντέλου που μελετάται. Αναλυτική αναφορά σε αυτές γίνεται στο κεφάλαιο 6.3.2.



Εικόνα 19

4.2.4.2 Τα Εργαλεία Του LEGION Model Builder

Δουλεύοντας μέσα στο LMB, ο χρήστης μπορεί να δει την περιοχή σχεδιασμού του μοντέλου, τη σειρά εργαλείων και άλλα παράθυρα όπως είναι το Output Bar, τα Layers και το Object Directory. Το UI του προγράμματος φαίνεται στην εικόνα 19.

Με τα εργαλεία που διατίθενται, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει διάφορα αντικείμενα (Objects) τα οποία, με τις κατάλληλες ρυθμίσεις, μπορούν να αποδώσουν τις διαφορετικές πτυχές ενός πραγματικού συστήματος.

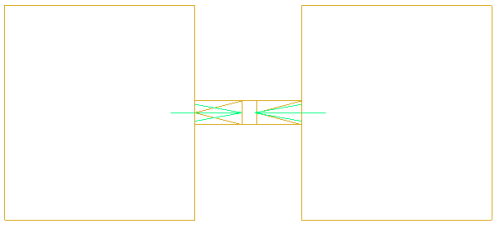
Στη συνέχεια θα γίνει περιγραφή των βασικών τύπων αντικειμένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

1. Entrances: περιοχές στο μοντέλο από τις οποίες εισέρχονται επιβάτες. Μπορούν να συνδεθούν είτε με Origins από τον OD Matrix, είτε με Sub-Origins από την καρτέλα 5: Origin Settings, και οι επιβάτες εισέρχονται με τρόπο που να συμφωνεί με τα στοιχεία στο DS.

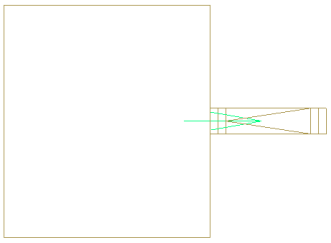
2. Exits: περιοχές στο μοντέλο από τις οποίες εξέρχονται επιβάτες. Όμοια με πριν, οι έξοδοι συνδέονται με Destinations από τον OD Matrix.

3. Evacuation Zones: περιοχές στο μοντέλο στις οποίες εμφανίζεται πλήθος επιβατών. Δίνεται η δυνατότητα να ορίσουμε χρόνο αντίδραση σε συναγερμό, μετά τον οποίο οι επιβάτες θα κινηθούν προς προκαθορισμένους προορισμούς.

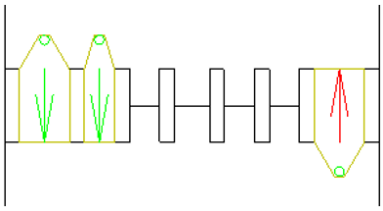
4. Stairs: Σταθερές κλίμακες, που μπορούν να διακόπτονται από πλατύσκαλο.



5. Escalators: Κυλιόμενες κλίμακες (με 5 διαφορετικά τμήματα)



6. Gates: Πύλες επικύρωσης εισιτηρίων, είτε για την είσοδο είτε για την έξοδο των επιβατών από την ελεγχόμενη ζώνη του σταθμού.



7. Platforms: Τα σημεία του σταθμού στα οποία σταματούν οι συρμοί και περιμένουν οι επιβάτες. Μπορούμε να ορίσουμε την κατεύθυνση κίνησης των συρμών, τον χώρο όπου περιμένουν οι επιβάτες και την απόσταση ασφαλείας από την άκρη της αποβάθρας (κίτρινη γραμμή).

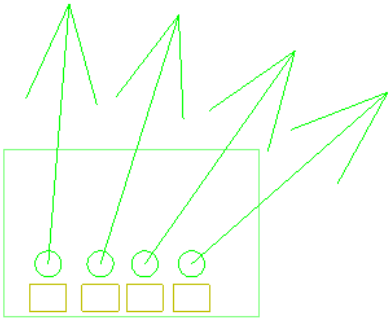
8. Direction Modifiers: Οριοθετημένες ζώνες (άυλες στην πραγματικότητα) που χρησιμοποιούνται για να αλλάξουν τον προσωρινό στόχο ενός επιβάτη ή τον τελικό του προορισμό. Για να επηρεαστεί κάποιος επιβάτης από ένα DM, αρκεί να περάσει μέσα από αυτό.

9. Focal Nodes: Οριοθετημένες ζώνες (άυλες) που μπορούν να λειτουργήσουν ως προσωρινοί στόχοι για τους επιβάτες. Ένας επιβάτης με στόχο κάποιο FN, κινείται προς την οριοθετημένη ζώνη και αμέσως μόλις βρεθεί εντός αυτής αποκτά νέο στόχο (ή επανέρχεται στην αναζήτηση του τελικού προορισμού του) και συνεχίζει την διαδρομή του.

10. Delay Points: Οριοθετημένες ζώνες (άυλες) στις οποίες οι επιβάτες σταματούν για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, προτού συνεχίσουν την διαδρομή τους μέσα στο σύστημα. Προκειμένου να οριστεί η καθυστέρηση των επιβατών σε αυτά, τα DP συνδέονται με Delay Profiles από το Data Sheet.

11. Queues: Οι ουρές αναμονής χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση των ανθρώπων που περιμένουν σε ουρές για να πραγματοποιήσουν μια ενέργεια. Πρόκειται για σημεία που οριοθετούν την αρχή της ουράς, η οποία αυξάνεται προς επιθυμητή κατεύθυνση. Κάθε Queue συνδέεται με κάποιο Delay Point, το οποίο αποτελεί τον στόχο των επιβατών που περιμένουν στην ουρά.

12. Queue Groups: Επιτρέπει την ομαδοποίηση διαφορετικών ουρών αναμονής, ανάλογα με την υπηρεσία στην οποία ανήκουν.



13. Mesoscopic Transit Zones: Πρόκειται για ζώνες με είσοδο και έξοδο. Οι επιβάτες περνούν από την είσοδο ενός MTZ και προσωρινά εξαφανίζονται από το μοντέλο, μέχρι να επανεμφανιστούν διερχόμενοι από την έξοδο του MTZ..

Αναλυτικότερη περιγραφή των Objects θα γίνει κατά την περιγραφή της μοντελοποίησης του σταθμού, όπου θα παρουσιαστούν και οι ειδικές ρυθμίσεις κάθε περίπτωσης.

4.2.5 LEGION Simulator

4.2.5.1 Δυνατότητες Προσομοίωσης

Το LEGION Simulator, αφού εισαχθεί σε αυτό το μοντέλο που έχει δημιουργήσει ο χρήστης στο LMB, προσομοιώνει την κίνηση των πεζών μέσα στον χώρο εντός προκαθορισμένου χρονικού εύρους. Το LS παρέχει δυνατότητα για:

- Καταγραφή επιλεγμένων τμημάτων της προσομοίωσης σε νέο αρχείο αποτελεσμάτων για ελεγχόμενη εξέταση και ανάλυση.
- Παρακολούθηση επιλεγμένων οντοτήτων κατά την διαδρομή τους στο μοντέλο.
- Δημιουργία χαρτών άπου φαίνονται μετρήσεις βαθμονομημένες με χρωματικούς άξονες.
- Πραγματοποίηση λεπτομερών αναλύσεων και παρουσίαση αποτελεσμάτων σε χρονικούς άξονες, ιστογράμματα ή ραβδογράμματα.
- Βιντεοσκόπηση της προσομοίωσης για παρουσιάσεις.
- Εξαγωγή αποτελεσμάτων σε μορφή φωτογραφιών, βίντεο ή πινάκων για παρουσιάσεις, αναφορές ή υπολογιστικά φύλα.

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ως προς την ασφάλεια των υποδομών, το LS υπολογίζει μετρικές όπως είναι

- ο ελάχιστος χρόνος εξόδου,
- η μέγιστη πυκνότητα πλήθους
- το ποσοστό των ανθρώπων που εκτίθενται σε αυτή τη πυκνότητα.

Για τον ορισμό της αποδοτικότητας μπορούμε να ελέγξουμε μετρικές όπως

- Αξιοποίηση χώρου (Space use)
- Ροή επιβατών (Flow rate)
- αποδοτικότητα των λειτουργικών διαδικασιών (Effectiveness of operational procedures)
- Σημεία τοπικής συσσώρευσης πλήθους (Local density hot spots)
- Σημεία έντονης συμφόρησης (Congestion choke points)

Για τον έλεγχο της χωρητικότητας κάθε χώρου, ο χρήστης μπορεί να εξάγει

- Μέγιστη ροή οντοτήτων
- Βαθμό κατάληψης (Occupancy level)

Η εμπειρία ενός ατόμου που διέρχεται μέσα από το μοντέλο μπορεί να αξιολογηθεί με βάση

- Την διάρκεια της διαδρομής
- Την πυκνότητα πλήθους την οποία βιώνει
- Τον χρόνο αναμονής
- Τον χρόνο παραμονής σε ουρές

Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου δυνατότητας κοινωνικής αποστασιοποίησης (social distancing) σύμφωνα με

- Ρυθμιζόμενα από τον χρήστη επίπεδα κοινωνικής αποστασιοποίησης
- Μετρικές απόστασης
- Διάρκειες αθέτησης επιθυμητών αποστάσεων

5 ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

5.1 Γενικές Πληροφορίες

Το Εγχειρίδιο Σχεδιασμού διατίθεται από την ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. στους διαγωνιζόμενους (και κατ' επέκταση στον ανάδοχο). Πρόκειται για ένα έγγραφο 70 σελίδων που καλύπτει τις γενικές πτυχές των Έργων Πολιτικού Μηχανικού (ΠΜ) και των Ηλεκτρομηχανολογικών (Η/Μ) Έργων. Θεωρείται δεσμευτικό, αποτελεί τις γενικές κατευθύνσεις με τις οποίες θα πρέπει να συμμορφώνεται η οποιαδήποτε μελέτη που θα εκπονηθεί και ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε φάση ωρίμανσης των μελετών. Το Εγχειρίδιο έχει τα ακόλουθα περιεχόμενα:

ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε.

ΓΡΑΜΜΗ 4 – ΤΜΗΜΑ Α' «ΑΛΣΟΣ ΒΕΪΚΟΥ – ΓΟΥΔΗ»

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

RFP-308/17

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ — ΣΕΛΙΔΑ

Α.	ΣΤΑΘΜΟΙ	3
Άρθρο 1	Αρχιτεκτονικά - Γενικές Απαιτήσεις	4
Άρθρο 2	Αρχιτεκτονικά - Αρχές Λειτουργίας Σταθμών	9
Άρθρο 3	Αρχιτεκτονικά - Σχεδιασμός Σταθμών	19
Άρθρο 4	Κατασκευές Επιφανείας και Διαμόρφωση Εξωτερικών Χώρων	37
Άρθρο 5	Αρχιτεκτονικά – Χώροι Κοινού, Προσωπικού και Τεχνικοί Χώροι	41
Άρθρο 6	Αρχιτεκτονικά Υλικά	46
Άρθρο 7	Αρχιτεκτονικά στοιχεία	51
Άρθρο 8	Σήμανση Σταθμών	56
Άρθρο 9	Προβλέψεις Επιβατικής Κίνησης	59
Άρθρο 10	Σχεδιασμός Αιθουσών – Σταθμοί	60
Άρθρο 11	SMR - Σχεδιασμός Αίθουσας Υπεύθυνου Σταθμού	62
Β.	ΝΕΟ ΚΤΙΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΚΕΛ) ΣΤΟ ΑΜΑΞΟΣΤΑΣΙΟ ΣΕΠΟΛΙΩΝ	66
Γ.	ΝΕΟ ΚΤΙΡΙΟ ΣΥΝΕΡΓΕΙΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ, ΓΡΑΦΕΙΩΝ, ΑΠΟΘΗΚΗΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΛΑΚΙΟ ΣΤΟ ΑΜΑΞΟΣΤΑΣΙΟ ΣΕΠΟΛΙΩΝ	67
Δ.	ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	69

Πίνακας 7: Περιεχόμενα Εγχειρίδιου Σχεδιασμού

Μεταξύ άλλων, περιγράφονται οι απαιτήσεις για την χωρική διαμόρφωση του σταθμού και τα μέσα εξυπηρέτησης των επιβατών του, προκειμένου ο σταθμός να λειτουργεί αποδοτικά και με ασφάλεια κατά τις ώρες αιχμής του, ενώ αναφέρονται ορισμένες παραδοχές. Στο εγχειρίδιο περιλαμβάνονται επίσης οι ακριβείς συνθήκες υπό τις οποίες πρέπει να εξετασθεί το σύστημα, προκειμένου να αποφανθεί ο μελετητής για την καταλληλότητα του σταθμού να ανταπεξέλθει σε συνθήκες πυρκαγιάς.

Στην παρούσα ενότητα περιέχονται συγκεντρωμένες όλες οι πληροφορίες του εγχειριδίου που αφορούν την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Έχουν παραλειφθεί τμήματα του εγχειριδίου που έχουν να κάνουν με διαφορετικό κλάδο της μελέτης του έργου, ή που

αποτελούν λεπτομέρειες που δεν προσδίδουν αξία στην ανάλυση. Οι πληροφορίες διαχωρίζονται σε τρία κεφάλαια: στις «Σχεδιαστικές Προδιαγραφές», τα «Δεδομένα-Στοιχεία Μοντελοποίησης» και τα «Πρότυπα Μελέτης σε Συνθήκες Έκτακτης Ανάγκης». Αυτές οι πληροφορίες θα αποτελέσουν βασικό οδηγό για την μοντελοποίηση του σταθμού στο LEGION και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

5.2 Σχεδιαστικές Προδιαγραφές

Στο κεφάλαιο αυτό απαριθμούνται οι προδιαγραφές που αναφέροντα στο «ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ» και αφορούν την καλή λειτουργία των σταθμών που πρόκειται να κατασκευασθούν. Οι προδιαγραφές αυτές έχουν να κάνουν με την διαστασιολόγηση και διάταξη του χώρου, την ρύθμιση, τοποθέτηση και διαστασιολόγηση των διάφορων συστημάτων. Προκειμένου να αποδοθούν με μετρήσιμα μεγέθη, ορισμένες προτάσεις του εγχειριδίου συμπληρώνονται με κατάλληλες πληροφορίες και υπολογισμούς.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Σε επόμενα κεφάλαια θα γίνει αναφορά σε όλες τις προδιαγραφές που αναφέρονται εδώ, μία προς μία, προκειμένου να εντοπιστούν αναντιστοιχίες. Για την διευκόλυνση αυτού του σκοπού, οι προτάσεις θα είναι αριθμημένες.

Συγκεκριμένα, οι προδιαγραφές είναι:

1. Η κάθε πρόσβαση στον σταθμό είναι επιθυμητό να περιλαμβάνει δύο κυλιόμενες κλίμακες ανόδου-καθόδου και μία σταθερή, διαταγμένες είτε μαζί, είτε σε ξεχωριστά σημεία αν υπάρχει περιορισμός χώρου.
2. Απαιτείται τουλάχιστον ένας ανελκυστήρας που να συνδέει το επίπεδο οδού με το επίπεδο διακίνησης επιβατών του σταθμού.
3. Ο σταθμός θα διαθέτει πετάσματα με θύρες επί των αποβάθρων, προκειμένου να απομονώνονται οι αποβάθρες από την τροχιά. Τα πετάσματα θα τοποθετηθούν όσο το δυνατό εγγύτερα στο αμάξωμα το συρμού.
4. Θα υπάρχουν τουλάχιστον δύο αυτόματα μηχανήματα έκδοσης εισιτηρίων (ΑΜΕΕ) σε κάθε σταθμό.

5.2.1 Ανελκυστήρες

5. Οι ανελκυστήρες θα πρέπει να παρέχουν επαρκή χώρο για άτομα με αναπηρικά αμαξίδια και τους συνοδούς τους.
   Για να υπολογιστεί η ελάχιστη απαιτούμενη διάσταση, θα ληφθεί υπόψιν αναπηρικό αμαξίδιο μεγάλων διαστάσεων. Τα πιο ογκώδη αναπηρικά αμαξίδια που κυκλοφορούν στην αγορά είναι αυτά που προορίζονται για υπέρβαρα άτομα. Οι διαστάσεις των μεγαλύτερων από αυτά κυμαίνονται στα 85 εκατοστά πλάτος και 110 εκατοστά μήκος (συμπεριλαμβανομένου το υποποδίου). Οι συνοδοί θεωρείται ότι καταλαμβάνουν επιφάνεια πλάτους 60 εκατοστών και μήκους 60 εκατοστών. Συνολικά λοιπόν ένας επιβάτης σε αναπηρικό αμαξίδιο και με τον συνοδό του απαιτεί επιφάνεια μήκους 180 εκατοστών και πλάτους 95 εκατοστών τουλάχιστον (προστίθενται 10 επιπλέον εκατοστά σε κάθε διάσταση). Συνολικά πρόκειται για επιφάνεια 1.71 m^2.
   Η είσοδος στον ανελκυστήρα αρκεί να έχει πλάτος 1 μέτρου, καθώς τόσο πλατύ είναι το άνοιγμα των ευρέων πυλών του σταθμού.

5.2.2 Αποβάθρες

6. Το ελάχιστο αποδεκτό μήκος της αποβάθρας (L) είναι 80 μέτρα μεταξύ των μετωπικών τοίχων της αποβάθρας (μη συνυπολογιζόμενων). Το ελάχιστο αποδεκτό πλάτος της αποβάθρας είναι 4.30 μέτρα (συμπεριλαμβανομένων των PSD). Αυτή η ελεύθερη απόσταση θα πρέπει να διατηρείται για λόγους ασφαλείας ανεξάρτητα από τους επιβατικούς φόρτους.
7. Κάθε αποβάθρα θα ελέγχεται ως προς την χωρητικότητά της, τόσο για την λειτουργία υπό κανονικές συνθήκες, όσο και υπό συνθήκες εκτάκτου ανάγκης. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας απαιτείται ελεύθερος χώρος για επιβάτες που περιμένουν τον συρμό. Υπό τις συνθήκες αυτές, το ελάχιστο απαιτούμενο εμβαδόν θεωρείται ότι είναι 1 τετραγωνικό μέτρο ανά επιβάτη (1 m^2/pers).

   Το απαιτούμενο πλάτος (W) πλευρικής αποβάθρας έως το πέτασμα θυρών για την ώρα αιχμής που λαμβάνεται στη μελέτη υπολογίζεται ως εξής:

$$W = \frac{F * I * \frac{1\ m^2}{pers}}{L} + 0.50$$

   όπου:

   - F = η μέγιστη ροή σε ένα λεπτό για επιβιβαζόμενους επιβάτες που εισέρχονται σε αποβάθρα για να ταξιδέψουν προς μία κατεύθυνση
   - I = χρονοαπόσταση σε λεπτά στην ώρα αιχμής
   - L = Μήκος αποβάθρας
   - 0.50μ είναι το πλάτος της ζώνης που καλύπτεται από καθίσματα και βιτρίνες

   Το απαιτούμενο πλάτος (W) κεντρικής αποβάθρας μεταξύ των πετασμάτων θυρών για την ώρα αιχμής που λαμβάνεται στη μελέτη υπολογίζεται ως εξής:

$$W = \frac{(F1 + F2) * I * \frac{1\ m^2}{pers} + Est + Eesc + Elift}{L} + 0.50$$

   όπου:

   - F1 = η μέγιστη ροή σε ένα λεπτό για επιβιβαζόμενους επιβάτες που εισέρχονται σε αποβάθρα για να ταξιδέψουν προς μία κατεύθυνση
   - F2 = η μέγιστη ροή σε ένα λεπτό για επιβιβαζόμενους επιβάτες που εισέρχονται σε αποβάθρα για να ταξιδέψουν προς την αντίθετη κατεύθυνση
   - I = χρονοαπόσταση σε λεπτά
   - L = Μήκος αποβάθρας
   - 0.50μ είναι το πλάτος της ζώνης που καλύπτεται από καθίσματα και βιτρίνες
   - Est = Περιοχή σταθερής κλίμακας με καθαρό ύψος κάτω από την πλάκα της κλίμακας < 2,10μ (7.20m2 για κλίμακα πλάτους 1.80μ)
   - Eesc = Περιοχή κυλιόμενης κλίμακας με καθαρό ύψος κάτω από αυτή < 2.10μ με πρόσθετο χώρο ουράς επιβατών 7.5μ (27m2)
   - Elift = Χώρος ανελκυστήρα (9m2).
8. Το ελάχιστο αποδεκτό πλάτος αποβάθρας θα ελέγχεται επίσης και για **συνθήκες έκτακτης ανάγκης**, έναντι των παρακάτω κριτηρίων μελέτης:
   - Γίνεται παραδοχή καθυστέρησης διπλάσιας της χρονοαπόστασης σε λεπτά, προς μία κατεύθυνση, κατά τις ώρες αιχμής.

- Γίνεται η παραδοχή ότι ένας συρμός με πλήρες φορτίο (A= 1000 άτομα) πρέπει να αποβιβάσει τους επιβάτες στην ίδια αποβάθρα όπου έχουν συγκεντρωθεί οι επιβιβαζόμενοι επιβάτες στην παραπάνω χρονική διάρκεια.
- Υπό συνθήκες έκτακτης ανάγκης, είναι αποδεκτό να διατίθεται εμβαδόν 0.20 τετραγωνικά μέτρα ανά επιβάτη.

Απαιτούμενο πλάτος (W) πλευρικής αποβάθρας :

$$W = \frac{(F * I * 2 + A) * \frac{0.20\ m^2}{pers}}{L}$$

όπου:

- F = η μέγιστη ροή επιβατών σε ένα λεπτό, όπως διαμορφώνεται από την καθυστέρηση
- A = συρμός με πλήρες φορτίο (μέγιστη χωρητικότητα= 1000 επιβάτες)
- I = Χρονοαπόσταση σε λεπτά.
- L = Μήκος αποβάθρας

Απαιτούμενο πλάτος (W) κεντρικής αποβάθρας:

$$W = \frac{(F1 * 2 * I + F2 * I + A) * \frac{0.20\ m^2}{pers} + Est + Eesc + Elift}{L} + 0.50$$

όπου:

- F1 = η μέγιστη ροή επιβατών σε ένα λεπτό, όπως διαμορφώνεται από την καθυστέρηση
- F2 = η μέγιστη ροή επιβατών σε ένα λεπτό, στην αντίθετη κατεύθυνση
- A = συρμός με πλήρες φορτίο (μέγιστη χωρητικότητα= 1000 επιβάτες)
- I = Χρονοαπόσταση σε λεπτά.
- L = Μήκος αποβάθρας

5.2.3 Κυλιόμενες Κλίμακες

9. Απαιτείται να υπάρχει επαρκής χώρος πέρα από την κτένα των κυλιόμενων κλιμάκων, προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος συνωστισμού των επιβατών. Συγκεκριμένα ζητείται:
   a. Διανυόμενη απόσταση από την κτένα (comb line) έως κάποιο σταθερό εμπόδιο, τουλάχιστον 7.50 μέτρα.
   b. Απόσταση τουλάχιστον 14.0 μέτρων μεταξύ κτενών των κυλιόμενων κλιμάκων που μεταφέρουν επιβάτες από αντίθετη κατεύθυνση και αποβιβάζουν στον ίδιο χώρο.
   c. Απόσταση τουλάχιστον 6.0 μέτρων μεταξύ κτενών κυλιόμενων κλιμάκων (ή κυλιόμενων και σταθερών κλιμάκων) προς την ίδια κατεύθυνση, δηλ. εν σειρά.
   d. Απόσταση τουλάχιστον 3.0 μέτρων μεταξύ της κτένας της κυλιόμενης κλίμακας και του σημείου αλλαγής κατεύθυνσης (γωνία τοίχου).

5.2.4 Σταθερές Κλίμακες

10. Απαιτείται να ισχύουν:
    a. Στα σημεία όπου το πλάτος των κλιμάκων υπερβαίνει τα 2.40μ, θα τοποθετείται κεντρικός χειρολισθήρας. Ο χειρολισθήρας θα εκτείνεται σε μήκος τουλάχιστον 1.00 μέτρου πέρα από τα άνω και κάτω ρίχτια.

Συνεχόμενα τμήματα κλιμάκων για το κοινό θα ικανοποιούν τις παρακάτω παραμέτρους μελέτης:

b. Ρίχτια ανά τμήμα κλίμακας : 3 (ελάχιστο), 16 προτιμώμενο μέγιστο, (18 απόλυτο μέγιστο).
   - Ύψος ριχτιού (υ): 0.15μ (ελάχιστο), 0.18μ (μέγιστο)
   - Μήκος πατήματος (π): 0.30μ (μέγιστο) 0.28μ (ελάχιστο)
   - Συνδυασμός: 2υ + π = 0.60μ (ελάχιστο)- 0.64μ (μέγιστο)
c. Πλάτος κύριας κλίμακας: ελάχιστο 1.80μ

Ανεξάρτητα από τα παραπάνω, το συνολικό πλάτος κλιμάκων θα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις για **εκκένωση σε περίπτωση ανάγκης**.

5.2.5 Διάδρομοι

11. Για τους διαδρόμους θα πρέπει να ισχύει:
    a. Στις περιπτώσεις όπου η αλλαγή στην κατεύθυνση των διαδρόμων είναι αναπόφευκτη, η σχηματιζόμενη γωνία δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 90 μοίρες.
    b. Το πλάτος των διαδρόμων και των ραμπών σε κοινόχρηστους χώρους θα καθορίζεται από τις απαιτήσεις χωρητικότητας, υπό την προϋπόθεση των ελάχιστων διαστάσεων που δίδονται παρακάτω:
       - Οι διάδρομοι μονής κατεύθυνσης στους σταθμούς θα πρέπει να αποφεύγονται. Εάν κατ' εξαίρεση γίνουν αποδεκτοί μονοί διάδρομοι, τότε θα πρέπει να τηρηθούν τα παρακάτω κριτήρια:
         - Διάδρομοι με μήκος μικρότερο των 15 μέτρων θα πρέπει να έχουν ελάχιστο πλάτος 2,40 μέτρα.
         - Για μακρύτερους διαδρόμους, το πλάτος του διαδρόμου θα αυξάνεται ανά 0,60 μέτρα για κάθε 10 μέτρα μήκους.
       - Για διαδρόμους δύο κατευθύνσεων:
         - Τουλάχιστον 3.60μ πλάτος για διαδρόμους με μήκος μικρότερο από 15μ.
         - Για μακρύτερους διαδρόμους, το πλάτος του διαδρόμου θα αυξάνεται ανά 0.60μ για κάθε 10μ μήκους, (με το πλάτος της λωρίδας βαδίσματος ενός επιβάτη να θεωρείται 0.60 μ).

    Στα σημεία όπου ένας διάδρομος δέχεται ροή επιβατών απ' ευθείας από σταθερές ή/και κυλιόμενες κλίμακες, η χωρητικότητα του διαδρόμου θα είναι τουλάχιστον ίση με αυτή των κλιμάκων.

5.2.6 Πύλες Ελέγχου Εισιτηρίων και Κομίστρου:

12. Στα Επίπεδα Έκδοσης Εισιτηρίων (ΕΕΕ) του σταθμού προβλέπονται γραμμές επικύρωσης εισιτηρίων, οι οποίες διαχωρίζουν την «ελεύθερη ζώνη» από την «ελεγχόμενη ζώνη» του σταθμού. Οι γραμμές αυτές πλαισιώνονται με πύλες ελέγχου εισιτηρίων και κατά περίπτωση με θύρες έκτακτης ανάγκης και γυάλινα κιγκλιδώματα. Ως πύλες χαρακτηρίζονται οι διελεύσεις μεταξύ των μηχανημάτων ελέγχου/επικύρωσης εισιτηρίων. Διακρίνονται δύο τύποι πύλης:
    - κανονικές πύλες με καθαρό πλάτος διέλευσης 0.60 μέτρα
    - ευρείες πύλες με καθαρό πλάτος διέλευσης 1.00 μέτρο για ΑμεΑ

    Το μήκος των πυλών εκτείνεται στα 1.50 μέτρα.

Όσον αφορά τον αριθμό των πυλών, θα είναι συνάρτηση της μέγιστης αιχμής λεπτού (max peak minute) όπως αυτή αναλύεται παρακάτω και προκύπτει από τις μέγιστες ωριαίες αιχμές (max peak hour) του πίνακα 8 επιβατικής κίνησης και φόρτων για την Γραμμή 4. Οι συνολικοί φόρτοι επιβιβαζόμενων αφορούν στον υπολογισμό πυλών εισόδου και οι συνολικοί φόρτοι αποβιβαζόμενων αφορούν στον υπολογισμό πυλών εξόδου.

Ο ελάχιστος αριθμός πυλών εισόδου/εξόδου ανά γραμμή θα είναι τρεις (3), εκ των οποίων οι δύο (2) θα είναι ευρείες πύλες ΑμεΑ, μία ανά κατεύθυνση.

Πέραν των υπολογισθέντων πυλών προβλέπονται δυο (2) κανονικές πύλες, όταν ο συνολικός αριθμός πυλών είναι μεγαλύτερος ή ίσος των 10 και μία (1) κανονική πύλη, όταν ο συνολικός αριθμός πυλών είναι μικρότερος των 10, ως εφεδρικές, οι οποίες εγκαθίστανται εφόσον υπάρχει επάρκεια χώρου και προορίζονται να αντικαταστήσουν πύλες σε βλάβη ή συντήρηση, με προϋπόθεση ότι βλάβη και συντήρηση δεν συμβαίνουν ταυτόχρονα.
Οι θύρες έκτακτης ανάγκης θα προκύπτουν σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μελέτης εκκένωσης του εκάστοτε σταθμού και θα εγκαθίστανται όταν ο προβλεπόμενος αριθμός πυλών εισόδου/εξόδου δεν επαρκεί στην κάλυψη των απαιτήσεων της μελέτης εκκένωσης του σταθμού.
Τα γυάλινα κιγκλιδώματα «κλείνουν» όποια κενά υπολείπονται επί της γραμμής ελέγχου, μετά την εγκατάσταση των πυλών και των θυρών έκτακτης ανάγκης.

Η ΑΜ, ακολουθώντας διεθνή πρότυπα και λαμβάνοντας υπόψη το εγχειρίδιο του London Underground (LU) ορίζει ως αριθμό πυλών:

$$\text{πύλες εισόδου} = \frac{\text{max ωριαία αιχμή από εισερχομένους, εξερχομένους} * 0.025}{\text{χωρητικότητα πυλών}}$$

$$= \frac{\text{max αιχμή λεπτού (εισερχομένων, εξερχομένων)}}{\text{χωρητικότητα πυλών}}$$

όπου:

$$\text{max αιχμή λεπτού} = \text{max ωριαία αιχμή} * 0.025$$

$$= \text{max ωριαία αιχμή} * \frac{1.5}{60}$$

και:

$$\chi\omega\rho\eta\tau\iota\kappa\acute{o}\tau\eta\tau\alpha\ \pi\upsilon\lambda\acute{\omega}\nu = 25\ \epsilon\pi\iota\beta\acute{\alpha}\tau\epsilon\varsigma/\ \lambda\epsilon\pi\tau\acute{o}$$

Συνακόλουθα των παραπάνω, η ΑΜ ορίζει:

$$\text{πύλες εξόδου} = \frac{\text{max αριθμός εισερχ. και εξερχ. επιβατών στο διάστημα της χρονοαπ.}}{\text{χωρητικότητα πυλών} * \text{χρόνος εκκένωσης πυλών}}$$

όπου:

$$\text{max αριθμός εισερχ. και εξερχ. επιβατών σε 1 χρονοαπ.} = \text{max αιχμή λεπτού} * \text{χρονοαπόσταση}$$

$$\text{max αιχμή λεπτού} = \text{max ωριαία αιχμή} * 0.025$$

και:

$$\text{χρόνος εκκένωσης πυλών} = \text{χρονοαπόσταση}$$

Πέρα από τους αρχικούς αυτούς υπολογισμούς, απαιτείται να γίνει έλεγχος μήκους ουράς ανά πύλη στην γραμμή ελέγχου για την περίπτωση συνωστισμού επιβατών κατά την έξοδο. Η ΑΜ ορίζει ως μέγιστο επιτρεπτό μήκος ουράς επιβατών τα 12 μέτρα σε κάθε πύλη. Με αυτό το κριτήριο, για δεδομένη χρονοαπόσταση, ελέγχεται ο συνωστισμός των επιβατών. Στο εγχειρίδιο σχεδιασμού προτείνονται ορισμένα βήματα για τον υπολογισμό του μήκους αυτού:

a. Προσδιορισμός μήκους ουράς ανά πύλη

- Βήμα 1 – προσδιορισμός ροής κυλιόμενων και πυλών (άτομα/δευτ.)

$$\text{ροή κυλιόμενων} = \frac{\text{χωρητικότητα κυλιόμενων}}{\text{60 δευτερ.}} * \text{αριθμός κυλιόμενων}$$

$$\text{ροή πυλών} = \frac{\text{χωρητικότητα πυλών}}{\text{60 δευτερ.}} * \text{αριθμός πυλών εξόδου}$$

- Βήμα 2 – προσδιορισμός χρόνου εξυπηρέτησης επιβατών μέσω κυλιόμενων (δευτ.)

$$\text{Χρόνος εξυπηρέτησης επιβατών μέσω κυλιομένων} = \frac{\textit{εξερχ. επιβάτες στο διάστημα της χρονοαπ.}}{\textit{συνολική χωρητικότητα κυλιομένων}} * 60\ \textit{δευτ}$$

- Βήμα 3 – προσδιορισμός ουράς (άτομα/δευτ)

$$\text{Ουρά} = \text{Ροή κυλιομένων} - \text{Ροή πυλών}$$

- Βήμα 4 – προσδιορισμός επιβατών σε ουρά (άτομα)

$$\text{Επιβάτες σε ουρά} = \text{Ουρά} * \text{Χρόνος εξυπηρέτησης επιβατών μέσω κυλ.}$$

- Βήμα 5 – προσδιορισμός μήκους ουράς (μ)

$$\text{Μήκος ουράς} = \text{Επιβάτες σε ουρά} * \text{διάστημα που καταλαμβάνει επιβάτης σε αναμονή}$$

- Βήμα 6 – προσδιορισμός μήκους ουράς ανά πύλη (μ)

$$\text{Μήκος ουράς ανά πύλη} = \frac{\text{Μήκος ουράς}}{\text{αριθμός πυλών εξόδου}}$$

Όπου για τις παραπάνω παραμέτρους, σύμφωνα και με τα διεθνή πρότυπα, η ΑΜ ορίζει τα ακόλουθα μεγέθη:

$$\text{χωρητικότητα κυλιομένων} = \text{135 άτομα/λεπτό}$$

$$\text{αριθμός κυλιομένων} = \text{κυλιόμενες που εξυπηρετούν μια αποβάθρα}$$

$$\text{εξερχόμενοι επιβάτες στο διάστημα της χρονοαπόστασης} = \frac{(\text{max αιχμή λεπτού} * \text{χρονοαπόσταση})}{\text{60 δευτερόλεπτα}}$$

$$\text{μήκος διαστήματος που καταλαμβάνει επιβάτης σε αναμονή} = \text{0,5 μέτρα}$$

Όπου εφαρμόζεται το "/ 60δευτ" αναφέρεται στη μετατροπή λεπτών σε δευτερόλεπτα.

Αντίστοιχα για δεδομένο αριθμό πυλών μπορεί να υπολογιστεί η χρονοαπόσταση. Ζητούμενο είναι να ισχύει: **χρονοαπόσταση ≥ χρόνος εκκένωσης των πυλών.**

b. Προσδιορισμός επάρκειας χρόνου εκκένωσης πυλών (δευτ)

$$\text{χρόνος εκκένωσης πυλών} = \frac{\text{εξερχόμενοι επιβάτες στο διάστημα της χρονοαπ.}}{\text{χωρητικότητα πυλών} * \text{αριθμός πυλών}} * \text{60 δευτ}$$

c. Έλεγχος συνωστισμού προ των κυλιόμενων κλιμάκων των αποβάθρων

$$\begin{aligned} &\textit{συνωστισμός προ κυλιομένων κλιμάκων αποβαθρών} \\ &\qquad = \textit{max αιχμή λεπτού εξερχ.} \\ &\qquad \leq \textit{συνολικής χωρητικότητας κυλιομένων} \end{aligned}$$

13. Ο αριθμός των αυτόματων μηχανημάτων έκδοσης εισιτηρίων (ΑΜΕΕ) στον σταθμό θα επιτρέπει, στο 50% της ροής ανά λεπτό αιχμής του μέγιστου αριθμού εισερχομένων επιβατών στο σταθμό, να αγοράζουν εισιτήρια με δεδομένες 5 συναλλαγές ανά λεπτό ανά μηχάνημα.

    Η σχέση που δίνει αυτόν τον αριθμό είναι:

$$\text{αναγκαίος \# μηχανημάτων} = \frac{\text{50\% ροής εισερχομένων σε λεπτό αιχμής}}{\text{συναλλαγές ανά μηχάνημα ανά λεπτό}}$$

5.3 Δεδομένα – Στοιχεία Μοντελοποίησης

Στο κεφάλαιο αυτό έχουν συγκεντρωθεί τα δεδομένα που αναφέρονται στο Εγχειρίδιο Σχεδιασμού προκειμένου να χρησιμοποιηθούν κατά τη μελέτη προσομοίωσης. Ορισμένα από αυτά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσα στο λογισμικό προσομοίωσης, λόγω της φύσης του. Όπου παρατηρείται αυτό, θα αναφέρεται.

Τα δεδομένα που ζητείται να χρησιμοποιηθούν είναι τα ακόλουθα:

- Επιβατική ροή:
  Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι προβλέψεις επιβατικής κίνησης (επιβιβάσεις, αποβιβάσεις) ανά σταθμό, για την πρωινή ώρα αιχμής και τον ορίζοντα σχεδιασμού 2030:

Έργο: Γραμμή 4 - Τμήμα Α, Χρονικός Ορίζοντας 2030
Επιβιβάσεις- Αποβιβάσεις

Χρονοαπόσταση: 3'

Γραμμή	Ονομασία Σταθμού	Επιβιβάσεις	Αποβιβάσεις	Γραμμή	Ονομασία Σταθμού	Επιβιβάσεις	Αποβιβάσεις
M4_1	ΑΛΣΟΣ ΒΕΪΚΟΥ	1665	0	M4_2	ΓΟΥΔΗ	502	0
M4_1	ΓΑΛΑΤΣΙ	1761	20	M4_2	ΖΩΓΡΑΦΟΥ	893	6
M4_1	ΕΛΙΚΩΝΟΣ	1524	7	M4_2	ΑΝΩ ΙΛΙΣΙΑ	1474	5
M4_1	ΚΥΨΕΛΗ	2188	130	M4_2	ΠΑΝΕΠ/ΠΟΛΗ	320	34
M4_1	ΔΙΚΑΣΤΗΡΙΑ	728	149	M4_2	ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗ	1972	78
M4_1	ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ	771	340	M4_2	ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΣ	4662	1564
M4_1	ΕΞΑΡΧΕΙΑ	494	804	M4_2	ΚΟΛΩΝΑΚΙ	263	1640
M4_1	ΑΚΑΔΗΜΙΑ	3935	3452	M4_2	ΑΚΑΔΗΜΙΑ	2367	4046
M4_1	ΚΟΛΩΝΑΚΙ	189	2444	M4_2	ΕΞΑΡΧΕΙΑ	65	2237
M4_1	ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΣ	1011	3258	M4_2	ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ	103	820
M4_1	ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗ	241	823	M4_2	ΔΙΚΑΣΤΗΡΙΑ	36	585
M4_1	ΠΑΝΕΠ/ΠΟΛΗ	15	1722	M4_2	ΚΥΨΕΛΗ	41	943
M4_1	ΑΝΩ ΙΛΙΣΙΑ	25	368	M4_2	ΕΛΙΚΩΝΟΣ	13	210
M4_1	ΖΩΓΡΑΦΟΥ	20	295	M4_2	ΓΑΛΑΤΣΙ	9	357
M4_1	ΓΟΥΔΗ	0	753	M4_2	ΑΛΣΟΣ ΒΕΪΚΟΥ	0	195
Σύνολο		**14566**	**14566**	**Σύνολο**		**12720**	**12720**

Πίνακας 8: Προβλέψεις επιβατικής ροής για το 2030

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Δεν δίνεται πότε ακριβώς είναι η πρωινή ώρα αιχμής, ούτε επηρεάζεται η έκβαση της προσομοίωσης από την ακριβή ώρα, ωστόσο για πληρότητα αναφέρεται ότι οι πρωινές ώρες αιχμής γενικά στο Αττικό Μετρό είναι 7:30 με 9:30[4].

Για τη διαστασιολόγηση των σταθμών, με ορίζοντα σχεδιασμού το 2050, θα ληφθούν υπόψη τα στοιχεία επιβατικής κίνησης του 2030 προσαυξημένα κατά 50%.

Έχουν εξασφαλιστεί τα παρακάτω θεωρητικά ποσοστά επιβατικής κίνησης:

- Το ποσοστό ροής κατά τις ώρες αιχμής αποτελεί το 12% του ποσοστού της ημερήσιας επιβατικής ροής.
- Το ποσοστό ροής κατά τις απογευματινές ώρες αιχμής θα δεχθούμε ότι είναι ίσο προς το ποσοστό ροής κατά τις πρωινές ώρες αιχμής στην αντίθετη κατεύθυνση.
- Το ποσοστό ροής κατά το ένα λεπτό αιχμής αποτελεί το 2,5% του ποσοστού ροής κατά την ώρα αιχμής.

Με βάση τα παραπάνω, για τον σταθμό του Γαλατσίου ισχύουν:

	επιβατική κίνηση κατά την ώρα αιχμής 2030
1761	M4-1(W) επιβιβάσεις
20	M4-1(W) αποβιβάσεις
9	M4-2(E) επιβιβάσεις
357	M4-2(E) αποβιβάσεις
	επιβατική κίνηση κατά την ώρα αιχμής 2050
2642	M4-1(W) επιβιβάσεις
30	M4-1(W) αποβιβάσεις
14	M4-2(E) επιβιβάσεις
536	M4-2(E) αποβιβάσεις
	επιβατική κίνηση κατά το λεπτό αιχμής 2050
67	M4-1(W) επιβιβάσεις
1	M4-1(W) αποβιβάσεις
1	M4-2(E) επιβιβάσεις
14	M4-2(E) αποβιβάσεις

Πίνακας 9: Υπολογισμοί επιβατικής ροής

- Χρονοαπόσταση:
  Οι προβλεπόμενες χρονοαποστάσεις λειτουργίας των συρμών θα είναι 90 sec επί της γραμμής και 120 sec για αναστροφές στους επίσταθμους. Στη πρώτη φάση λειτουργίας όμως η χρονοαπόσταση θα είναι 240 sec (διέλευση συρμών ανά 4′) και ενδιαμέσως 180 sec (διέλευση συρμών ανά 3′). Στον πίνακα 8 δίνεται χρονοαπόσταση 3’, επομένως οι υπολογισμοί που θα ακολουθήσουν θα γίνουν με βάση αυτό.
- Πλήρες φορτίο συρμού: 1000 επιβάτες
- Κυλιόμενες κλίμακες:
  Η μέγιστη χωρητικότητα της κάθε κυλιόμενης κλίμακας **υπό κανονικές συνθήκες**, με την παραδοχή 1 1/2 ατόμων ανά σκαλοπάτι και ταχύτητα λειτουργίας 0.63m/sec, είναι 135 άτομα/λεπτό.
  Εάν σταματήσει η κυλιόμενη κλίμακα, η χωρητικότητα αναμένεται να είναι 50 άτομα/λεπτό.
- Διάδρομοι και ράμπες:
  Η χωρητικότητα του διαδρόμου ή ράμπας θεωρείται ότι είναι ως εξής:

- Ροή προς μία κατεύθυνση: 105 επιβάτες ανά λεπτό ανά 1.20 μέτρα πλάτος, (ή 88 ε/λ/μ. πλάτους)
- Ροή προς δύο κατευθύνσεις : 90 επιβάτες ανά λεπτό ανά 1.20 μέτρα πλάτος, (ή 75 ε/λ/μ. πλάτους)

Το LEGION χρησιμοποιεί την γεωμετρία του περιβάλλοντος, τις διαστάσεις των επιβατών, την ταχύτητά τους, τις προθέσεις τους και άλλα στοιχεία προκειμένου να καθορίσει την συμπεριφορά του πλήθους και κατ' επέκταση την ροή των επιβατών στους διαδρόμους του σταθμού. Για τον λόγο αυτό δεν προσφέρεται κάποιο εργαλείο ώστε να καθορίσει ο χρήστης χειροκίνητα την χωρητικότητα του κάθε διαδρόμου. Θα μπορούσε αυτό να γίνει έμμεσα με άλλα εργαλεία που υπάρχουν στο LEGION, όμως κρίνεται ότι το τελικό αποτέλεσμα σε αυτή την περίπτωση θα ήταν λιγότερο ρεαλιστικό.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αριθμητικά μεγέθη σχετικά με τις χωρητικότητες για την **κανονική λειτουργία** του σταθμού, όπως ορίζονται από την ΑΜ και τις προδιαγραφές του London Underground:

	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ($\frac{\text{άτομα}}{\text{μέτρο}*\text{λεπτό}}$)
οριζόντια περάσματα (μονή κατεύθυνση)	88
οριζόντια περάσματα (διπλή κατεύθυνση)	75
σταθερά κλιμακοστάσια (άνοδος)	62
σταθερά κλιμακοστάσια (κάθοδος)	69
	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ($\frac{\text{άτομα}}{\text{λεπτό}}$)
κυλιόμενες κλίμακες πλάτους 1 μέτρου (άνοδος/κάθοδος)	135
κυλιόμενες κλίμακες πλάτους 0.80 μέτρων (άνοδος/κάθοδος)	100
κυλιόμενες κλίμακες πλάτους 0.65 μέτρων (άνοδος/κάθοδος)	80
διελεύσεις μέσω πυλών (πλάτος 0.60 μέτρα)	25
διελεύσεις μέσω πυλών (πλάτος 0.90 μέτρα)	25

Πίνακας 10: Αριθμητικά μεγέθη σχετικά με τις χωρητικότητες για την κανονική λειτουργία

5.4 Πρότυπα Μελέτης Σε Συνθήκες Έκτακτης Ανάγκης

Όπως έχει αναφερθεί, σταθμός θα μελετηθεί ώστε να ανταποκρίνεται τόσο σε λειτουργία ώρας αιχμής, όσο και σε μη κανονικές συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Αυτό συμπεριλαμβάνει την εκκένωση του σταθμού εάν αυτό απαιτηθεί, για την οποία θεωρείται ως κύρια αιτία η εμφάνιση πυρκαγιάς. Προβλέπεται μια υποθετική κατάσταση έκτακτης ανάγκης, η οποία θεωρείται ως ένα ρεαλιστικό σενάριο πλέον δυσμενούς περίπτωσης.

Η συνθήκη που πρέπει να ικανοποιείται είναι η εξής: ζητείται να διατίθενται επαρκείς δίοδοι διαφυγής των επιβατών σε ασφαλές μέρος **εντός χρόνου πέντε (5) λεπτών**. Ο σταθμός που εξετάζεται δεν είναι διασύνδεσης, ωστόσο για πληρότητα αναφέρεται ότι σε αυτή την περίπτωση θα έπρεπε να είναι δυνατόν να εκκενωθούν και τα δύο επίπεδα ταυτόχρονα, με **συνολικό επιτρεπτό χρόνο εκκένωσης τα 7 λεπτά μέχρι το επίπεδο της οδού**. Ως τελικό σημείο ασφαλείας τυπικά θεωρούμε την έξοδο του σταθμού στην στάθμη εδάφους, όμως συχνά είναι ανέφικτη η εκκένωση ενός μεγάλου σταθμού σε τόσο σύντομο χρονικό διάστημα. Κατά περίπτωση, ως σημεία ασφαλείας μπορούν να οριστούν διάδρομοι που οδηγούν στην οδό και σε χώρους που βρίσκονται επάνω από την περιοχή άμεσου κινδύνου.

Θα προβλέπεται επαρκής αριθμός οδών διαφυγής για την εκκένωση των επόμενων περιοχών (χώρος υποδοχής κοινού, ή άλλος κοινόχρηστος χώρος) εντός δύο επιπλέον λεπτών. Η ικανότητα εξόδου από τον χώρο υποδοχής κοινού θα είναι ίση η μεγαλύτερη από την ικανότητα εξόδου από την αποβάθρα και ο χρόνος εκκένωσης του χώρου υποδοχής θα εξαρτάται από τις αποστάσεις βαδίσματος και τους εξερχόμενους από τις αποβάθρες επιβάτες.

Παρακάτω ορίζονται τα πλαίσια του έκτακτου περιστατικού με βάση τα οποία ζητείται να γίνει η μελέτη εκκένωσης του συστήματος:

1. Το έκτακτο περιστατικό λαμβάνει χώρα κατά τις ώρες αιχμής.
2. Το έκτακτο περιστατικό λαμβάνει χώρα μόνο προς μία κατεύθυνση κίνησης.
3. Το έκτακτο περιστατικό λαμβάνει χώρα κατά την άφιξη του συρμού ο οποίος φέρει πλήρες φορτίο (1000 επιβάτες) και έχει καθυστερήσει τόσο ώστε να καταφθάνει εντός χρόνου δύο χρονοαποστάσεων μετά την αναχώρηση του προηγούμενου συρμού.
4. Σε κεντρική αποβάθρα, ο επόμενος συρμός υπό κανονική λειτουργία που πρόκειται να καταφθάσει στην άλλη πλευρά της αποβάθρας δεν σταματά και δεν αποβιβάζει ή παραλαμβάνει επιβάτες στην/από την αποβάθρα.
5. Όλοι οι επιβάτες του καθυστερημένου συρμού αποβιβάζονται και προστίθενται στους συγκεντρωμένους (εντός περιόδου 2 χρονοαποστάσεων) επιβάτες στην αποβάθρα που αναμένουν τον συρμό. Σε περίπτωση κεντρικής αποβάθρας, στους συνολικούς χρόνους εκκένωσης λαμβάνονται υπόψη και οι συγκεντρωμένοι επιβάτες που αναμένουν τον συρμό στην άλλη πλευρά της αποβάθρας για περίοδο μίας χρονοαπόστασης σε λεπτά.
6. Μόνο οι σταθερές και κυλιόμενες κλίμακες χρησιμοποιούνται ως οδοί διαφυγής. (Απαγορεύεται η χρήση ανελκυστήρων σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης).
7. Μια κυλιόμενη κλίμακα από την αποβάθρα είναι εκτός λειτουργίας και χρησιμοποιείται ως σταθερή κλίμακα.
8. Το προσωπικό του σταθμού αντιδρά άμεσα και δεν επιτρέπει την είσοδο άλλων επιβατών στο σταθμό. .
9. Όλες οι κατερχόμενες κυλιόμενες κλίμακες αναστρέφονται εντός ενός λεπτού.
10. Η ταχύτητα βαδίσματος των επιβατών είναι ένα μέτρο το δευτερόλεπτο σε επίπεδο δάπεδο.
11. Οι χωρητικότητες των κυλιόμενων και σταθερών κλιμάκων σε συνθήκες εκκένωσης λόγω έκτακτης ανάγκης είναι οι εξής:
12. Κινούμενη κυλιόμενη: 135 επιβάτες ανά μέτρο πλάτους ανά λεπτό
    Μη λειτουργούσα Κυλιόμενη: 50 επιβάτες ανά μέτρο πλάτους ανά λεπτό (προς τα άνω)
13. Σταθερή κλίμακα (προς τα άνω): 62 επιβάτες ανά μέτρο πλάτους ανά λεπτό.

Σε αντιστοιχία με τον πίνακα χωρητικοτήτων του προηγούμενου κεφαλαίου, παρακάτω παρουσιάζονται τα αριθμητικά μεγέθη σχετικά με τις ταχύτητες, τις χωρητικότητες και τους χρόνους για την **λειτουργία έκτακτης ανάγκης** του σταθμού, όπως ορίζονται από την ΑΜ και τις προδιαγραφές του London Underground:

	ΤΑΧΥΤΗΤΑ
οριζόντια κίνηση (μονή κατεύθυνση)	60 μέτρα/λεπτό
ανάβαση σταθερής και σε διακοπή κυλιόμενης σκάλας	14.60 μέτρα ύψους/λεπτό
	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ($\frac{\acute{\alpha}\tau o\mu\alpha}{\mu\acute{\varepsilon}\tau\rho o * \lambda\varepsilon\pi\tau\acute{o}}$)
οριζόντια περάσματα (μονή κατεύθυνση)	88
σταθερά κλιμακοστάσια (άνοδος)	62
σταθερά κλιμακοστάσια (κάθοδος)	69
	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ($\frac{\acute{\alpha}\tau o\mu\alpha}{\lambda\varepsilon\pi\tau\acute{o}}$)
κυλιόμενες κλίμακες (άνοδος/κάθοδος) σε λειτουργία	135
κυλιόμενες κλίμακες (άνοδος/κάθοδος) σε διακοπή	50
κυλιόμενες κλίμακες <1.00 μέτρου (άνοδος/κάθοδος) σε λειτουργία	100
κυλιόμενες κλίμακες <1.00 μέτρου (άνοδος/κάθοδος) σε διακοπή	40
διελεύσεις μέσω πυλών (πλάτος 0.60 μέτρα)	50
διελεύσεις μέσω πυλών (πλάτος 0.90 μέτρα)	80
	ΜΑΧ ΑΠΟΔΕΚΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (λεπτά)
εκκένωση αποβάθρας έως ασφαλές σημείο εντός σταθμού	5
εκκένωση αποβάθρας έως επίπεδο οδού	7

Πίνακας 11: Αριθμητικά μεγέθη σχετικά με τις χωρητικότητες για την λειτουργία εκκένωσης

6 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ

6.1 Γενικές Πληροφορίες

Στην ιστοσελίδα της ΑΜ υπάρχουν αναρτημένα σχέδια για κάθε έναν από τους σταθμούς της γραμμής 4-Α (δηλαδή από τον σταθμό Βεΐκου μέχρι και τον σταθμό Γουδή).

Για κάθε σταθμό υπάρχει 1 κάτοψη από το επίπεδο του εδάφους και 2 διαφορετικές τομές. Πρόκειται για αρχιτεκτονικά σχέδια ενός πολύ πρώιμου σταδίου σχεδιασμού, μη διαστασιολογημένα. Ο ακριβής σχεδιασμός δρομολογείται να ολοκληρωθεί εντός του 2022, επομένως η μελέτη θα πρέπει να βασιστεί σε υποθετικές διαστάσεις. Η διαδικασία που θα ακολουθηθεί προκειμένου να προκύψουν οι τελικές διαστάσεις του σταθμού, περιγράφεται συνοπτικά από τα ακόλουθα στάδια:

- Στάδιο 1ο: Αρχικά μελετώνται τα διαθέσιμα 3 σχέδια έτσι ώστε να γίνει κατανόηση της δομής και της διαρρύθμισης του σταθμού, έστω στο πρώιμο στάδιο σχεδιασμού που βρίσκεται. Χρησιμοποιώντας κάποιο ήδη γνωστό μέγεθος στα σχέδια (για παράδειγμα τις γνωστές διαστάσεις ενός γειτονικού οικοδομικού τετραγώνου) και κατάλληλο λογισμικό επεξεργασίας pdf (Bluebeam Revu), μπορούμε να μετρήσουμε τα σχέδια ώστε να προκύψουν οι περισσότερες από τις βασικές διαστάσεις του σταθμού.
- Στάδιο 2ο: Εφόσον έχουν συγκεντρωθεί όλες οι σχεδιαστικές προδιαγραφές που έχουν τεθεί από την ΑΜ στο «Εγχειρίδιο σχεδιασμού», το επόμενο βήμα είναι να γίνει σύγκριση αυτών με τις διαστάσεις που βρέθηκαν στο 1ο στάδιο. Όσες διαστάσεις δεν συμμορφώνονται με τις προδιαγραφές θα πρέπει να ρυθμιστούν κατάλληλα. Όσα στοιχεία δεν δίνονται από τις κατόψεις, υπολογίζονται ή ορίζονται εμπειρικά. Η αρχική διαρρύθμιση του σταθμού θα παραμείνει αναλλοίωτη, όσο αυτό είναι δυνατόν. Τέλος, εισάγονται στο σύστημα τα υπόλοιπα απαραίτητα στοιχεία μοντελοποίησης (λειτουργικά χαρακτηριστικά, αριθμός, ιδιότητες και συμπεριφορά επιβατών, περιορισμοί εξοπλισμού, αφίξεις συρμών κλπ.).
- Στάδιο 3ο: Αφού ολοκληρωθεί η μοντελοποίηση, το μοντέλο μεταφέρεται στο Legion Simulator όπου πραγματοποιείται η πρώτη προσομοίωση. Στο σημείο αυτό ελέγχονται οι εναπομένουσες προδιαγραφές και γίνονται παρατηρήσεις πάνω στα αποτελέσματα του ελέγχου. Εάν προκύψουν προτάσεις για αλλαγές του σχεδίου, τροποποιούνται οι κατόψεις κατάλληλα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Το 3ο στάδιο ολοκληρώνεται όταν βρεθεί σχέδιο που να ικανοποιεί όλες τις προδιαγραφές του εγχειρίδιου σχεδιασμού.

  ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Κάποιες μεταβλητές δεν είναι δυνατόν να τις γνωρίζουμε, επομένως κρίνεται απαραίτητο να γίνουν διαφορετικές προσομοιώσεις για διαφορετικές τιμές μεταβλητών σε λογικό εύρος. Η περιγραφή της μοντελοποίησης που γίνεται θα αφορά ενδεικτικά μία εκδοχή των αρχείων που φτιάχνομε, ενώ οι διαφορετικές μεταβλητές και τα αποτελέσματα που επιφέρουν θα παρουσιαστούν σε πίνακα.

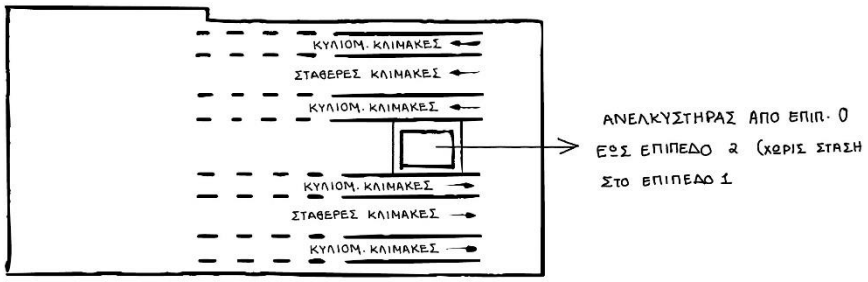
6.2 Στάδιο 1ο

Στο παράρτημα 1 βρίσκονται τα τρία αρχιτεκτονικά σχέδια του σταθμού του Γαλατσίου (1 κάτοψη και 2 τομές). Για τις ανάγκες αυτής της μελέτης αρκεί να μοντελοποιηθούν τα επίπεδα και οι χώροι που χρησιμοποιούνται από τους επιβάτες.

6.2.1 Γεωμετρία Χώρου

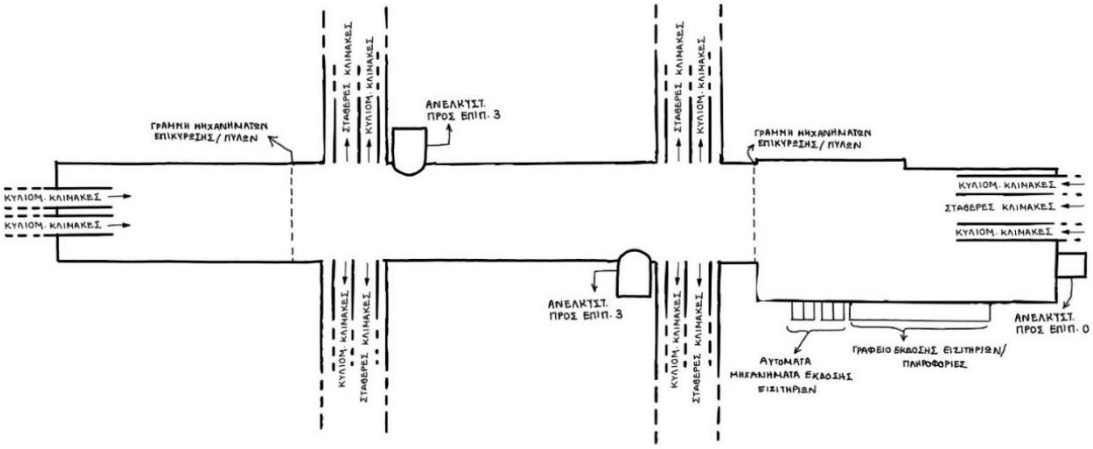
Με συνδυαστική μελέτη όλων των σχεδίων, προκύπτει ότι ο σταθμός έχει την παρακάτω διαρρύθμιση:

- Επίπεδο 0: Πρόκειται για την επιφάνεια εδάφους από όπου οι επιβάτες εισέρχονται στον χώρο του σταθμού μέσω κλιμάκων (κυλιόμενων και μη) ή ανελκυστήρα. Υπάρχουν δύο σημεία πρόσβασης, ένα στα βορειοδυτικά και ένα στα νοτιοανατολικά. Για συντομία θα χαρακτηρίζονται δυτικό (W) και ανατολικό (E). Δυτικά υπάρχουν δύο κυλιόμενες κλίμακες (μία ανόδου και μία καθόδου). Ανατολικά υπάρχουν δύο κυλιόμενες κλίμακες (μία ανόδου και μία καθόδου), μία σταθερή κλίμακα ανάμεσά τους και ένας ανελκυστήρας.
- Επίπεδο 1: Είναι προσβάσιμο μόνο σε όσους χρησιμοποιούν τις ανατολικές κλίμακες (κυλιόμενες ή σταθερές). Αποτελεί το ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους (επίπεδο 0) και του επιπέδου όπου πωλούνται και επικυρώνονται εισιτήρια.



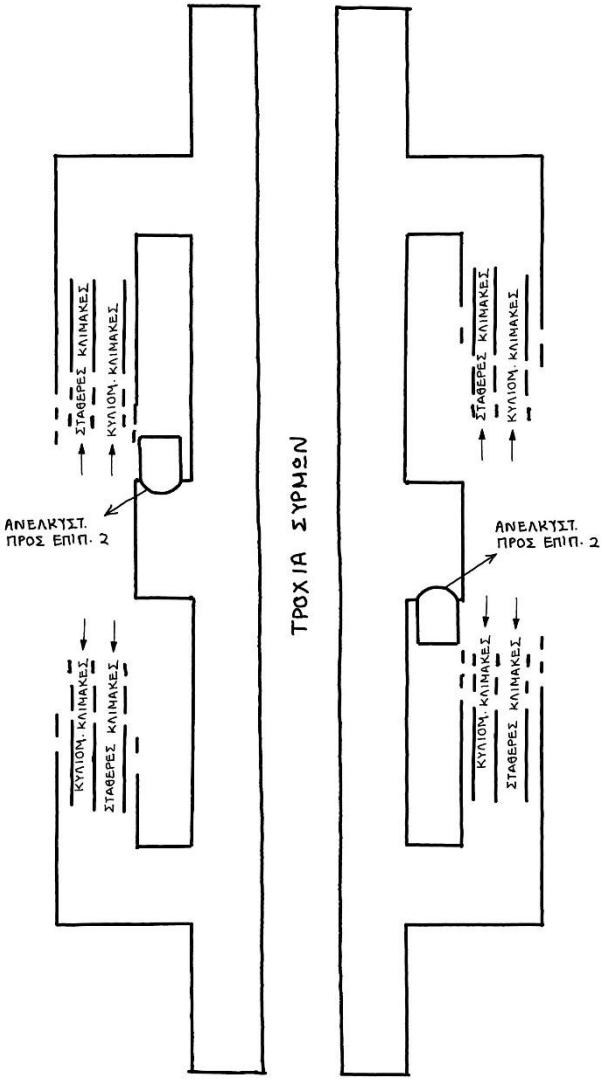
Εικόνα 20

- Επίπεδο 2: Διαθέτει αυτόματους πωλητές εισιτηρίων και γραφεία, όπως επίσης και επικυρωτικά μηχανήματα σε δύο γραμμές πυλών. Το επίπεδο έχει δύο «ελεύθερες ζώνες», μία δυτική (W) και μία ανατολική (E), στις οποίες υπάρχουν κλίμακες και ανελκυστήρες για την μεταφορά επιβατών από και προς την επιφάνεια του εδάφους. Στην «ελεγχόμενη ζώνη» οι επιβάτες κινούνται σε διαφορετικές ροές ανάλογα με την κατεύθυνση που ταξιδεύουν. Μέσω κλιμάκων ή ανελκυστήρων μετακινούνται από και προς το τελευταίο επίπεδο.



Εικόνα 21

- Επίπεδο 3: Αποτελείται από δύο αντικριστές αποβάθρες, μία για την κάθε κατεύθυνση. Οι αποβάθρες στο εξής θα χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τον σχετικό προσανατολισμό τους, ως W και E.



Εικόνα 22

Προκειμένου να βρούμε μια διάσταση αναφοράς πάνω στα σχέδια, χρησιμοποιείται το εργαλείο μέτρησης αποστάσεων της Google Maps. Κοντά στην διασταύρωση όπου πρόκειται να κτιστεί ο σταθμός, υπάρχει η οδός Φιγαλείας, η οποία φαίνεται και στην κάτοψη. Μετρώντας την πλευρά ενός οικοδομικού τετραγώνου που βρίσκεται ανάμεσα στην οδό αυτή και την Λεωφόρο Πρωτοπαπαδάκη προκύπτει η ζητούμενη διάσταση αναφοράς στα 77 μέτρα, με σφάλμα μέτρησης περίπου 2 μέτρων. Στην εικόνα 23 φαίνεται η μετρούμενη διάσταση πάνω στην κάτοψη.

Εικόνα 23: Μέτρηση απόστασης αναφοράς

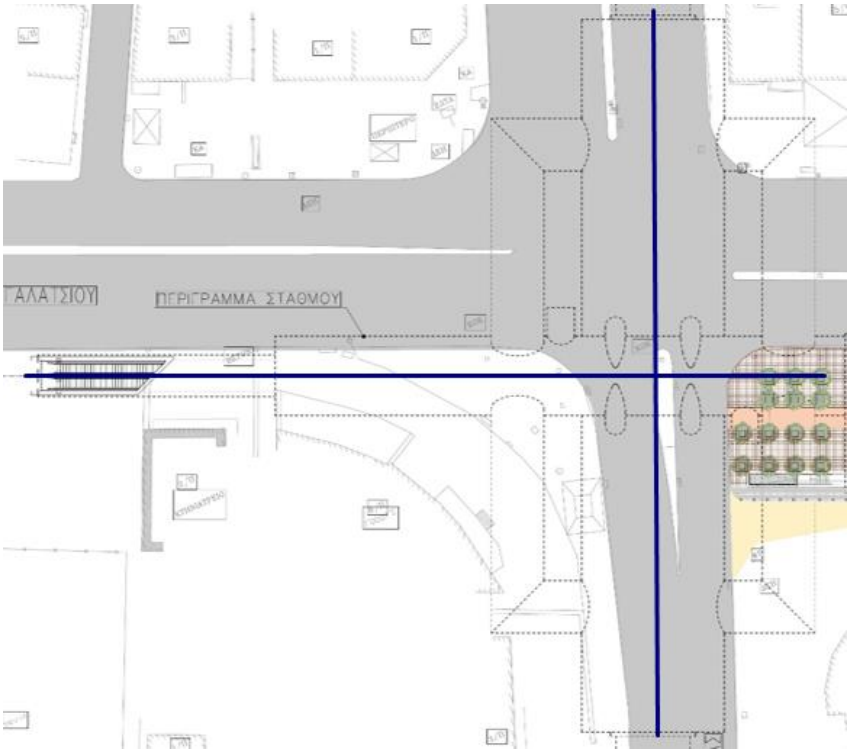
Ανοίγουμε το pdf στο πρόγραμμα επεξεργασίας Bluebeam Revu. Πραγματοποιείται ρύθμιση (calibration) με βάση την διάσταση που αναφέρθηκε προηγουμένως προκειμένου να μετρηθούν οι υπόλοιπες απαραίτητες διαστάσεις.

Σημειώνεται ότι η διαδικασία αυτή ξεκινά ήδη με σημαντικό σφάλμα (2 μέτρων), το οποίο ασφαλώς επηρεάζει και όλες τις επόμενες διαστάσεις που θα μετρηθούν. Αυτό ωστόσο δεν θα αποτελέσει πρόβλημα καθώς η εργασία αυτή αφορά εξ αρχής έναν υποθετικό σταθμό. Η μέθοδος ανάλυσης που ακολουθείται μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε σταθμό με τις κατάλληλες τροποποιήσεις. Επίσης, λόγω του σφάλματος αυτού, κρίνεται ότι η ακρίβεια των μετρήσεων για τις διαστάσεις εντός του χώρου του σταθμού δεν έχει νόημα να είναι μεγαλύτερη του 0.1 μέτρου.

Αφού μετρηθούν όλες οι διαθέσιμες διαστάσεις των εσωτερικών χώρων και των διαδρόμων, σχηματίζονται οι κατόψεις όλων των επιπέδων σε ένα ενιαίο σύστημα. Αυτό γίνεται απευθείας μέσα στο περιβάλλον του LMB, με τα διαθέσιμα εργαλεία CAD. Τα διαφορετικά επίπεδα σχεδιάζονται κατακόρυφα, ευθυγραμμισμένα και με τη σειρά (0-1-2-3).

Κατά τον σχεδιασμό γίνονται οι ακόλουθες γενικές παραδοχές:

- Για τις διαστάσεις του σταθμού που δεν είναι φανερές από τα σχέδια, θα θεωρηθεί ότι τηρείται συμμετρία ως προς τους δύο βασικούς άξονες: την γραμμή που ακολουθεί η τροχιά των συρμών και την νοητή αξονική γραμμή που διέρχεται από το κέντρο του τούνελ του επιπέδου 2 (μπλε άξονες στην εικόνα 23).



Εικόνα 24

6.2.2 Κυλιόμενες Κλίμακες

Στο στάδιο αυτό, οι κυλιόμενες κλίμακες σχεδιάζονται με βάση τις πληροφορίες που δίνονται από τα σχέδια. Στο LEGION Model Builder οι κυλιόμενες κλίμακες (escalators) χαρακτηρίζονται από το πλάτος τους και αποτελούνται από τα παρακάτω 5 διαφορετικά τμήματα:

1. Lower Landing Area
2. Lower Flat Steps
3. Inclined – Moving Steps
4. Upper Flat Steps
5. Upper Landing Area

Τα τμήματα αυτά χωρίζονται με τον καθορισμό αποστάσεων μεταξύ των σημείων, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4 (από κάτω προς τα πάνω).

Από τα αρχιτεκτονικά σχέδια προκύπτουν:

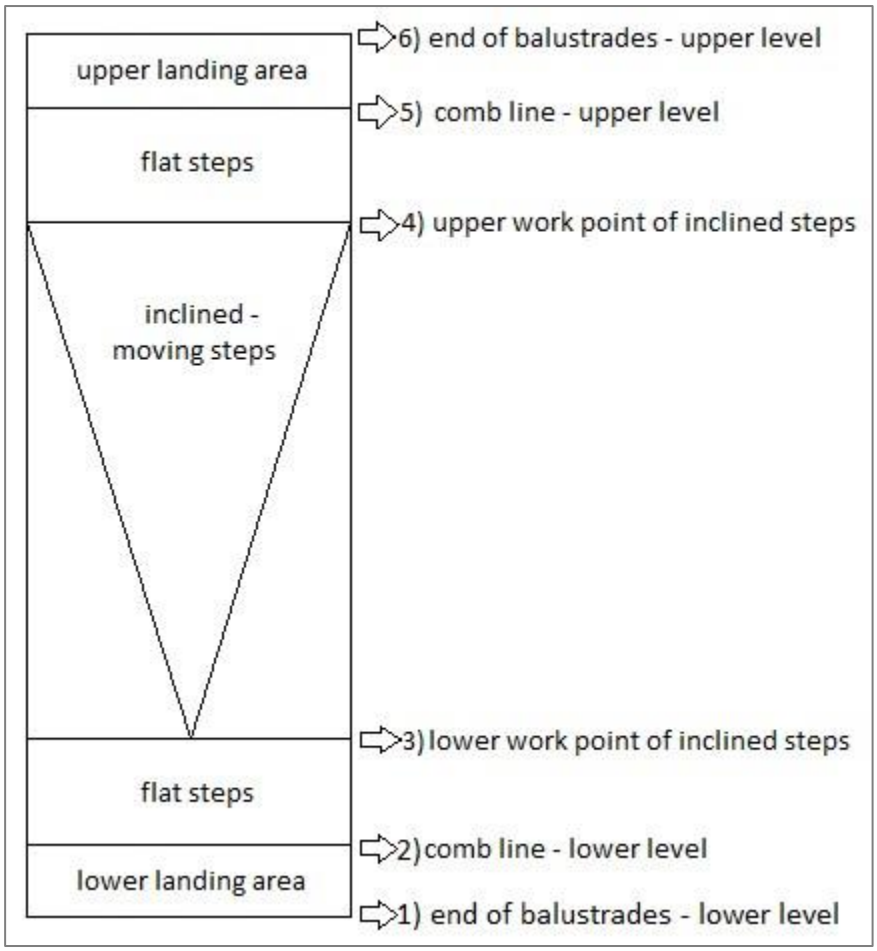
- Απόσταση από την άκρη του κιγκλιδώματος μέχρι το σημείο όπου ξεκινούν τα σκαλοπάτια (landing area): 0.2 μέτρα
- Μήκος περιοχής σκαλοπατιών που παραμένουν επίπεδα: 0.9 μέτρα (έγινε η υπόθεση ότι τα πρώτα 2μισι σκαλοπάτια είναι επίπεδα)
- Πλάτος σκαλοπατιών: 1.1 μέτρα. Ωστόσο στα τα δεδομένα μοντελοποίησης αναφέρεται χρήση κλιμάκων πλάτους 1 μέτρου, επομένως αυτό είναι το πλάτος θα χρησιμοποιηθεί.

Ταυτόχρονα, γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

- Όσες κυλιόμενες κλίμακες του σταθμού δεν φαίνονται ξεκάθαρα στα σχέδια, έχουν διαστάσεις αντίστοιχες με αυτές των κλιμάκων που μπορούν να μετρηθούν.
- Τα δύο άκρα κάθε κλίμακας έχουν την ίδια δομή (ίδιες διαστάσεις των τμημάτων που προαναφέρθηκαν).
- Το πάχος κιγκλιδώματος είναι περίπου 0.4 μέτρα για τις κυλιόμενες κλίμακες.
- Στα σημεία πρόσβασης του σταθμού, η δεξιά κλίμακα προορίζεται για την κάθοδο ενώ η αριστερή για την άνοδο (η κατεύθυνση μπορεί να αντιστραφεί ανά πάσα στιγμή από αρμόδιους χειριστές).
- Όσον αφορά τις κλίμακες που καταλήγουν στην αποβάθρα, για τον επιβάτη που στέκεται στραμμένος προς τις ράγες, η δεξιά κλίμακα προορίζεται για κάθοδο στο επίπεδο 3 ενώ η αριστερή για άνοδο στο επίπεδο 2 (η κατεύθυνση μπορεί να αντιστραφεί ανά πάσα στιγμή από αρμόδιους χειριστές).

Επιπλέον ρυθμίσεις:

- Οι επιβάτες στέκονται στην δεξιά πλευρά των κλιμάκων και περπατούν στην αριστερή.



Διάγραμμα 4

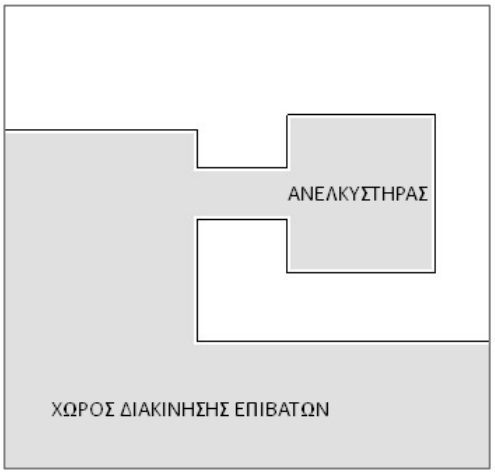
6.2.3 Σταθερές Κλίμακες

Κατά τον σχεδιασμό τηρούνται οι ακόλουθες παραδοχές:

- Η συμμετρία εφαρμόζεται και στις σταθερές κλίμακες. Εάν υπάρχει ένα πλατύσκαλο σε απόσταση Χ από το άνω επίπεδο της σκάλας, υποθέτουμε ότι υπάρχει αντίστοιχα πλατύσκαλο σε απόσταση Χ από το κάτω επίπεδο της σκάλας.
- Οι ακίνητες κλίμακες έχουν πάχος κιγκλιδώματος περίπου 0.1 μέτρο.

6.2.4 Ανελκυστήρες

Στην παρούσα έκδοσή του, το LEGION δεν διαθέτει εργαλείο μοντελοποίησης ανελκυστήρων. Οι ανελκυστήρες προς το παρόν σχεδιάζονται ως μικρά δωμάτια που συνδέονται με τα αντίστοιχα επίπεδα μέσω στενών διαδρόμων (πλάτος διαδρόμων = πλάτος πόρτας των ανελκυστήρων) (εικόνα 24).



Εικόνα 24

6.2.5 Πύλες Εισόδου/Εξόδου

Αναφορικά με τις πύλες εισόδου/εξόδου, η μοναδική πληροφορία που παρουσιάζει χρησιμότητα σε αυτό το στάδιο είναι η θέση της κάθε γραμμής πυλών. Δεν υπάρχει κάποιο όφελος στο να τοποθετηθούν πύλες εισόδου/εξόδου όπως φαίνονται στα αρχιτεκτονικά σχέδια, αφού θα γίνουν ούτως ή αλλιώς αναλυτικοί υπολογισμοί για τον απαιτούμενο αριθμό τους στο επόμενο στάδιο.

6.2.6 Αυτόματοι Πωλητές Εισιτηρίων

Ομοίως, ο αναγκαίος αριθμός αυτόματων πωλητών θα υπολογιστεί στη συνέχεια. Η θέση τους στον χώρο είναι ξεκάθαρη για την ανατολική πρόσβαση, ενώ στην δυτική δεν διακρίνονται σε κανένα από τα διαθέσιμα σχέδια-τομές. Δεδομένου ότι επιβάλλεται οι σταθμοί να διαθέτουν μηχανήματα πώλησης πριν από κάθε γραμμή πυλών, είναι ασφαλές να υποθέσουμε ότι υπάρχουν μηχανήματα και στην δυτική περιοχή, και μάλιστα στην πλευρά που δεν φαίνεται στις τις τομές.
Επιπλέον, η διάστασή τους θα θεωρηθεί ίση με αυτών που υπάρχουν ήδη στο δίκτυο του ΑΜ. Με βάση αυτό, το πλάτος των αυτόματων πωλητών ορίζεται στα 92 εκατοστά.

6.2.7 Γραφεία Έκδοσης Εισιτηρίων

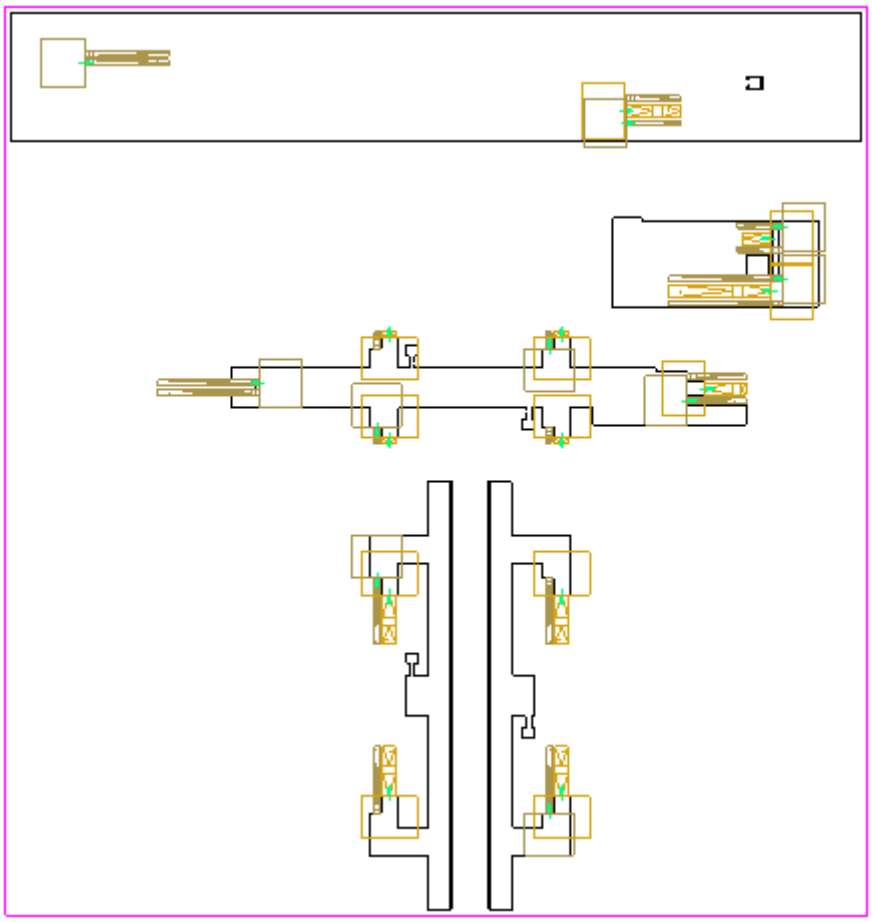
Η μοναδική πληροφορία που δίνεται από τα αρχιτεκτονικά σχέδια είναι η θέση των πρατηρίων μέσα στον χώρο. Αυτό που συναντάται τυπικά στους σταθμούς είναι ένα

μακρόστενο πέτασμα με μικρά ανοίγματα, μέσω τον οποίων οι υπάλληλοι μπορούν να εξυπηρετούν τους επιβάτες. Ο χώρος όπου βρίσκονται οι υπάλληλοι δεν εισέρχεται μέσα στην περιοχή που μελετάμε, γι' αυτό και δεν υπάρχει ανάγκη να μοντελοποιηθεί η γεωμετρία του χώρου αυτού.

6.2.8 Πετάσματα

Τα πετάσματα δεν είναι απαραίτητο να μοντελοποιηθούν, καθώς δεν επηρεάζουν με κάποιο τρόπο την κίνηση των επιβατών. Επηρεάζουν ωστόσο τα χωρικά όρια της αποβάθρας, η οποία θα διαστασιολογηθεί τελικά με πάχος μειωμένο όσο και το πλάτος που έχουν τα πετάσματα.

Αφού έχουν μοντελοποιηθεί όσα στοιχεία διατίθενται από τις διαθέσιμες κατόψεις, το μοντέλο έχει την ακόλουθη μορφή:



Εικόνα 25

6.3 Στάδιο 2ο

Οι σχεδιαστικές προδιαγραφές που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο αποτελούν γενικευμένες προτάσεις που ισχύουν για όλους τους σταθμούς. Για ορισμένες από αυτές θα πρέπει να γίνουν υπολογισμοί με βάση τα αριθμητικά δεδομένα που διαθέτουμε για τις ανάγκες του σταθμού του Γαλατσίου.

Ο σταθμός «Γαλάτσι» εξυπηρετεί μια μόνο γραμμή. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η Μ4-1 αφορά την διαδρομή του συρμού από το Άλσος Βεΐκου στο Γαλάτσι και στη συνέχεια στον σταθμό Ελικώνος (αριστερή αποβάθρα), ενώ Η Μ4-2 αφορά την αντίστροφή της (δεξιά αποβάθρα). Υποθέτουμε ότι τηρείται η συνηθισμένη πρακτική της κίνησης του συρμού από την αριστερή προς την δεξιά μεριά της αποβάθρας, από την οπτική του επιβάτη.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές, η αναμενόμενη επιβατική κίνηση για τον σταθμό Γαλάτσι είναι:

	επιβατική κίνηση κατά την ώρα αιχμής (2030)
1671	Μ4-1 επιβιβάσεις
20	Μ4-1 αποβιβάσεις
9	Μ4-2 επιβιβάσεις
357	Μ4-2 αποβιβάσεις
	επιβατική κίνηση κατά την ώρα αιχμής (2050)
2507	Μ4-1 επιβιβάσεις
30	Μ4-1 αποβιβάσεις
14	Μ4-2 επιβιβάσεις
536	Μ4-2 αποβιβάσεις
	επιβατική κίνηση κατά το λεπτό αιχμής (2050)
63	Μ4-1 επιβιβάσεις
1	Μ4-1 αποβιβάσεις
1	Μ4-2 επιβιβάσεις
14	Μ4-2 αποβιβάσεις

Πίνακας 12: Αναμενόμενη επιβατική κίνηση

6.3.1 Σύγκριση Προδιαγραφών/ Τροποποιήσεις

Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί έλεγχος συμφωνίας των προδιαγραφών με την δομή που έχει σχεδιαστεί μέχρι τώρα (στάδιο 1ο). Θα γίνει αναφορά σε όλες τις σχεδιαστικές προδιαγραφές με τη βοήθεια του ακόλουθου πίνακα

Αριθμός σχεδιαστικής προδιαγραφής (αναλυτική προδιαγραφή στο κεφάλαιο «ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ»)	Σχόλιο
1	Η δυτική πρόσβαση του σταθμού διαθέτει μόνο κυλιόμενες κλίμακες. Είναι επιθυμητή η προσθήκη μιας ακίνητης κλίμακας, ωστόσο η θέση της λεωφόρου Γαλατσίου εμποδίζει οποιαδήποτε επέκταση της εισόδου προς τη βόρια κατεύθυνση. Οποιαδήποτε επέκταση θα έπρεπε να γίνει μόνο προς τα νότια, σχηματίζοντας μια ασύμμετρη διαμόρφωση που γενικά αποφεύγεται. Προς το παρόν λοιπόν δεν θα γίνει κάποια αλλαγή, το ενδεχόμενο όμως παραμένει ανοιχτό για την περίπτωση που αποδειχθεί ανάγκη διεύρυνσης των εισόδων/εξόδων σε αργότερο στάδιο.
2	Καλύπτεται.
3	Καλύπτεται.
4	Καλύπτεται.
5	Καλύπτεται.
6	Το μήκος της είναι 80.6 μέτρα > 80 μέτρα, επομένως αυτό το τμήμα της προδιαγραφής καλύπτεται. Το πλάτος της αποβάθρας είναι 3.9 μέτρα < 4.3 μέτρα. Θα πρέπει να αυξηθεί κατά τουλάχιστον 0.4 μέτρα (εξαρτάται και από τις προδιαγραφές 7 και 8).
7	Σύμφωνα με τις δοσμένες σχέσεις υπολογισμού του απαιτούμενου πλάτους πλευρικής αποβάθρας, για δεδομένο μήκος 80.6 μέτρων, το απαιτούμενο πλάτος για 1 άτομο/m^2 σε ώρα αιχμής υπολογίζεται στα 3 μέτρα. Η υπάρχουσα διαστασιολόγηση καλύπτει αυτές τις προδιαγραφές.
8	Αντίστοιχα με πριν, για κατάσταση ανάγκης σε ώρα αιχμής, για δεδομένο μήκος 80.6 μέτρων, το πλάτος για 0.20 άτομα/m^2 υπολογίζεται στα 3.48 μέτρα. Η υπάρχουσα διαστασιολόγηση καλύπτει αυτές τις προδιαγραφές.
9.(a έως d)	Καλύπτονται για όλες τις κυλιόμενες κλίμακες (και επομένως δεν υπάρχουν περιορισμοί για την κατεύθυνση κάθε κυλιόμενης όσον αφορά την συγκεκριμένη προδιαγραφή).
10 a	Θα πρέπει να μοντελοποιηθεί.

10.b	Χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις που δίνονται για το ύψος ριχτιού και το μήκος πατήματος, αλλά και την σχέση $\text{αριθμός σκαλοπατιών} = \frac{\text{οριζόντιο μήκος κλίμακας}}{\text{μήκος πατήματος}}$ συμπεραίνουμε ότι η προδιαγραφή αυτή δεν καλύπτεται από την παρούσα προσέγγιση, καθώς υπάρχουν σημεία όπου τα συνεχόμενα ρίχτια ξεπερνούν τα 18. Για μήκος πατήματος 0.3 μέτρα, το μέγιστο αποδεκτό οριζόντιο μήκος σκάλας είναι τα 5.4 μέτρα. Οι κλίμακες που χρειάζονται τροποποίηση είναι αυτές που συνδέουν το επίπεδο 0 με το επίπεδο 1.
10.c	Καλύπτεται.
11.a	Καλύπτεται.
11.b	Καλύπτεται.
12	Με βάση τις σχέσεις που αναφέρονται στο αντίστοιχο τμήμα, υπολογίζεται ότι συνολικά στον σταθμό θα πρέπει να εγκατασταθούν 4 πύλες εισόδου, 3 πύλες εξόδου και μία ακόμα εφεδρική, εφόσον το επιτρέπει ο χώρος. Η τοποθέτηση της εφεδρικής πύλης θα γίνει στην δυτική γραμμή έτσι ώστε η κάθε γραμμή να έχει 4 πύλες: δύο είναι ευρείες (πλάτος 1 μέτρο) και δύο κανονικές (πλάτος 0.60 μέτρα). Υπενθυμίζεται ότι το μήκος των πυλών εκτείνεται στα 1.50 μέτρα. Το πλάτος των πλαισίων δεν δίνεται, επομένως θα θεωρηθεί 30 εκατοστά, ίσο δηλαδή με αυτό των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται από το 2017 στο υπόλοιπο δίκτυο του ΑΜ, ως μέρος του συστήματος ηλεκτρονικών εισιτηρίων.
13	Οι ανάγκες του σταθμού προϋποθέτουν την εγκατάσταση 7 μηχανημάτων αυτόματης πώλησης εισιτηρίων. Στα αρχιτεκτονικά σχέδια φαίνονται 4 μηχανήματα στην ανατολική πλευρά του σταθμού, εκεί όπου βρίσκονται και τα γραφεία. Κρίνεται αναγκαίο να τοποθετηθούν αυτόματοι πωλητές και στην δυτική είσοδο. Τελικά θα τοποθετηθούν 4 μηχανήματα στην ανατολική πλευρά, όπως φαίνεται στα αρχιτεκτονικά σχέδια, και 3 μηχανήματα στην δυτική πλευρά, τοποθετημένα στην μέση μεταξύ των κυλιόμενων κλιμάκων και των πυλών.

Πίνακας 13: Σύγκριση με προδιαγραφές ΕΣ

Αφού εφαρμοστούν με τη σειρά όλες οι παραπάνω αλλαγές, γίνεται ένας τελικός έλεγχος προκειμένου να επιβεβαιωθεί η τήρηση όλων των προδιαγραφών από τα νέα σχέδια του σταθμού.

6.3.2 Excel Data Sheet

Το LEGION Model Builder αντλεί δεδομένα από ένα Excel Template συμπληρωμένο ανάλογα με τις ανάγκες του σεναρίου που μελετάται. Στο εξής θα αναφερόμαστε σε αυτό ως DS (Data

Sheet). Εφόσον η γεωμετρία του χώρου έχει καθοριστεί, η μοντελοποίηση συνεχίζει με την συμπλήρωση του DS. Με αυτή τη διαδικασία δημιουργείται μια βιβλιοθήκη κατάλληλα οργανωμένων δεδομένων, στα οποία θα υπάρχει εύκολη πρόσβαση για χρήση αργότερα μέσα στο περιβάλλον του LMB.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Λόγω της φύσης του προβλήματος, μερικά στοιχεία μοντελοποίησης ορίζονται με βάση την κρίση και την προσωπική εμπειρία του μελετητή. Προκειμένου να καλυφθούν διαφορετικά πιθανά σενάρια, δημιουργούνται διαφορετικά DS τα οποία θα έχουν μεν κοινά τα περισσότερα βασικά στοιχεία (περιγράφονται στην συνέχεια), θα διαφοροποιούνται δε ως προς μερικές παραδοχές.

6.3.2.1 Καρτέλα 1:Entity Profiles

Αργότερα θα χρειαστεί να αποδοθούν σε επιβάτες ορισμένα χαρακτηριστικά που δεν συμπεριλαμβάνονται στις default επιλογές του DS Template. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται κατάλληλα προφίλ (profiles).

Τα προφίλ αυτά δημιουργούνται σε αυτήν την καρτέλα. Μπορούν να δημιουργηθούν οι εξής τύποι προφίλ:

1. Προφίλ τύπου ταχύτητας, το οποίο αποδίδεται σε m/s με ιστόγραμμα (H-histogram), συμπληρώνοντας το ποσοστό που αντιστοιχεί σε κάθε εύρος τιμών όπως φαίνεται παρακάτω:

Profile type:	Speed						
Profile name:							
Composition	**Speed [m/s]**	0.0 up to 0.1	< 0.2	< 0.3	< 0.4	< 0.5	< 0.6
0,00%	**Percentage**						

2. Προφίλ τύπου μεγέθους οντότητας (διάμετρος), το οποίο μπορεί να αποδοθεί σε m είτε με ιστόγραμμα (H-histogram) όμοια με πριν, είτε με κανονική κατανομή (D-distribution) συμπληρώνοντας την μέση τιμή (mean) και την τυπική απόκλιση (standard deviation).

Profile type:	Entity size (H)						
Profile name:							
Composition	**Diameter [m]**	0.25 up to 0.30	< 0.35	< 0.40	< 0.45	< 0.50	< 0.55
0,00%	**Percentage**						

ή

Profile type:	Entity size (D)
Profile name:	
Diameter [m]	
Mean	Standard deviation

3. Προφίλ τύπου μεγέθους αποσκευής (εμβαδόν), το οποίο αποδίδεται σε m^2 ακριβώς όπως το προφίλ τύπου μεγέθους οντότητας, δηλαδή με ιστόγραμμα ή με κανονική κατανομή.

Profile type:	Luggage size (H)						
Profile name:							
Composition	**Area [sq. m]**	0.00 up to 0.05	< 0.10	< 0.15	< 0.20	< 0.25	< 0.30
0,00%	**Percentage**						

ή

Profile type:	Luggage size (D)
Profile name:	
Area [sq. m]	
Mean	Standard deviation

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης θα χρειαστούν τα ακόλουθα προφίλ:

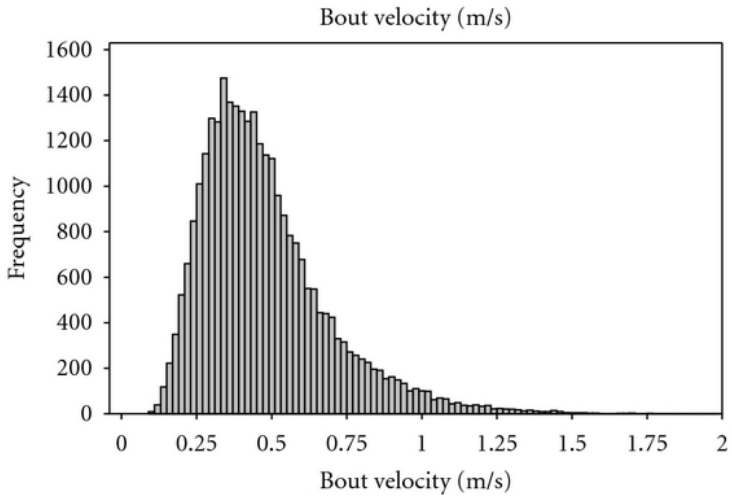
1. Προφίλ μεγέθους αναπηρικών αμαξιδίων (wheelchair size):

Τα αναπηρικά αμαξίδια που υπάρχουν στην αγορά είναι διαθέσιμα σε μεγάλη ποικιλία διαστάσεων. Τα κοινά αμαξίδια έχουν συνολικό πλάτος από 61 μέχρι 69 εκατοστά, ενώ τα αμαξίδια που προορίζονται για υπέρβαρους χρήστες μπορούν να έχουν πλάτος μέχρι και 80 εκατοστά περίπου. Με βάση αυτά, ορίζεται μέση τιμή διαμέτρου στα 65 εκατοστά και τυπική απόκλιση στα 5 εκατοστά.

Profile type:	Entity size (D)
Profile name:	wheelchair size
Diameter [m]	
Mean	Standard deviation
0,65	0,050

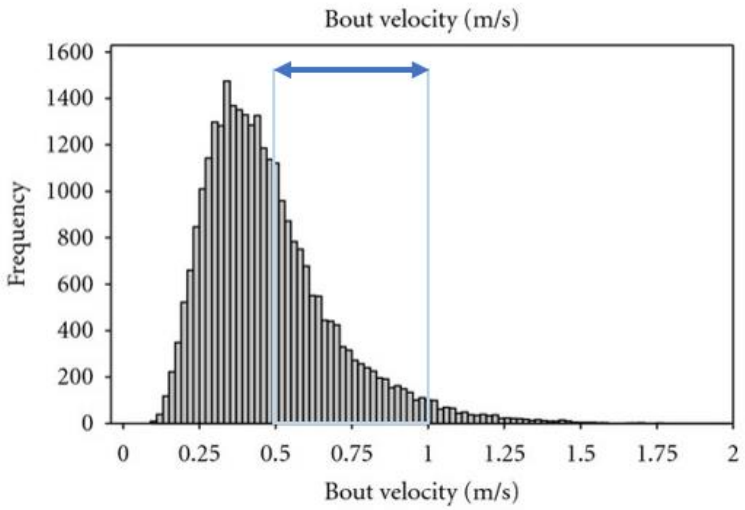
2. Προφίλ ταχύτητας επιβατών με αναπηρικό αμαξίδιο (wheelchair speed):

Μετά από έρευνα[20] διαπιστώθηκε ότι η ταχύτητα κίνησης των ατόμων με χειροκίνητο αναπηρικό αμαξίδιο, κατά τις καθημερινές τους δραστηριότητες, μπορεί να αποδοθεί από το παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 5: Ταχύτητα κίνησης ατόμων με χειροκίνητο αναπηρικό αμαξίδιο[20]

Δεδομένου ότι η προσομοίωση πραγματοποιείται κατά την ώρα αιχμής, είναι ασφαλές να υποθέσουμε ότι οι άνθρωποι που κυκλοφορούν στον σταθμό βρίσκονται σε βιασύνη, άλλοι περισσότερο και άλλοι λιγότερο. Παράλληλα, η κίνησή τους διαρκεί διάστημα τάξης μεγέθους του ενός λεπτού, και άρα η ταχύτητά τους θα επηρεάζεται από την κόπωση των χεριών. Για τους λόγους αυτούς θα γίνει η παραδοχή ότι η ταχύτητα κίνησης των χρηστών αμαξιδίων αποδίδεται από το ακόλουθο τμήμα της καμπύλης:



Εικόνα 26

Διαχωρίζοντας το ιστόγραμμα σε υποδιαστήματα πάχους των 0.1 m/s (εικόνα 26), προκύπτει η ακόλουθη κατανομή ταχυτήτων σε ποσοστό ανά διάστημα:

Profile type:	Speed					
Profile name:	wheelchair speed					
Composition	Speed [m/s]	< 0.6	< 0.7	< 0.8	< 0.9	< 1.0
100,00%	Percentage	42,60%	25,40%	14,20%	10,20%	7,60%

3. <u>Προφίλ ταχύτητας επιβατών ηλικιωμένων ή με αναπηρία (slow passenger speed)</u>
   Σύμφωνα με μελέτη που διεξήχθη σε ομάδα ηλικιωμένων ανθρώπων[21] (Μ.Ο. ηλικίας: 70.1 έτη), η μέση ταχύτητα βαδίσματος είναι τα 0.75 m/s. Το 95% των δειγμάτων βρισκόταν στο εύρος από 0.73 έως 0.84 m/s. Λόγω της μορφής του template (διαστήματα πολλαπλάσια των 0.1 m/s), θα πρέπει να γίνει παραδοχή για το ποσοστό κάθε εύρους. Τελικά το προφίλ ταχύτητας ορίζεται ως εξής:

Profile type:	Speed		
Profile name:	slow passenger speed		
Composition	Speed [m/s]	< 0.8	< 0.9
100,00%	Percentage	60,00%	40,00%

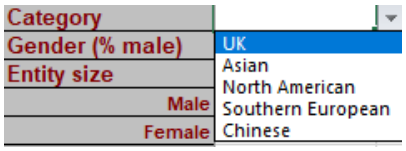
6.3.2.2 Καρτέλα 2: Entities

Στην καρτέλα Entities καταχωρούνται οι διαφορετικοί τύποι επιβατών (Entity Types) που θα εμφανιστούν στην προσομοίωση. Σε ορισμένα σημεία υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ορισμένων default μεγεθών, προερχόμενων από βιβλιοθήκη πληροφοριών του λογισμικού.

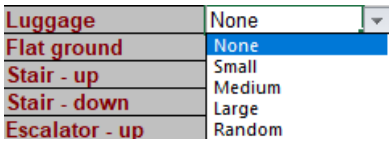
Entity Types	Entity type	Name				
		Colour				
		Category				
		Gender (% male)				
	Size profiles	Entity size				
		Male				
		Female				
		Luggage				
	Speed profiles	Flat ground				
		Stair - up				
		Stair - down				
		Escalator - up				
		Escalator - down				

Όπως φαίνεται και στο template, κάθε οντότητα διακρίνεται από τα παρακάτω στοιχεία:

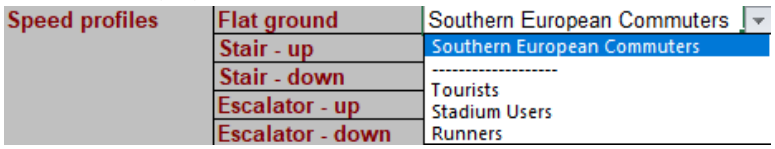
- Ονομασία.
- Χρώμα (με το οποίο συμβολίζεται κάθε τύπος επιβάτη μέσα στο σύστημα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης).
- Κατηγορία (επιλογή εθνικότητας του ατόμου, προκειμένου να αποδοθεί αργότερα το μέγεθός του με βάση ανθρωπομετρικά στατιστικά στοιχεία).



- Ποσοστό ανδρών για το συγκεκριμένο πλήθος οντοτήτων.
- Μέγεθος οντότητας (μπορεί να οριστεί είτε αυτόματα [default] με βάση την εθνικότητα και το φύλο των ατόμων, είτε αποδίδοντας στον συγκεκριμένο τύπο οντότητας κάποιο ταιριαστό προφίλ ταχύτητας (καταχωρημένο στην προηγούμενη καρτέλα, Entity Profiles). Μπορούν να αποδοθούν διαφορετικά προφίλ για κάθε φύλο.
- Μέγεθος αποσκευών. Υπάρχει η επιλογή να αποδοθούν αποσκευές μεγέθους είτε ενός από τα διαθέσιμα defaults, είτε από προφίλ μεγέθους αποσκευών που έχει δημιουργηθεί.



- Ταχύτητα ατόμου σε επίπεδο έδαφος, σε σκάλες και σε ανελκυστήρα. Όπως φαίνεται παρακάτω, μπορεί να επιλεχθεί για κάθε περίπτωση μία από τις default ταχύτητες (ταχύτητα ανάλογη των ανθρωπομετρικών στοιχείων λόγω εθνικότητας, ταχύτητα τουρίστα, ταχύτητα θεατή σταδίου, ταχύτητα δρομέα) ή ένα προφίλ ταχύτητας που έχει ήδη δημιουργηθεί. Για την ταχύτητα σε σκάλες και κυλιόμενες κλίμακες υπάρχει η επιλογή να υπολογίζεται η ταχύτητα με βάση την τιμή που ορίστηκε για την ταχύτητα σε επίπεδο έδαφος.



Θα πρέπει να ορίσουμε τις διαφορετικές κατηγορίες ανθρώπων (Entity Types) που θα αποτελέσουν μέρος της μοντελοποίησης. Ο σκοπός είναι να εντοπίσουμε ομάδες που συνολικά αντιπροσωπεύουν την συντριπτική πλειοψηφία των πολιτών που χρησιμοποιούν τον σταθμό. Θα πρέπει οι ομάδες αυτές να διαφοροποιούνται μεταξύ τους με χαρακτηριστικά που επηρεάζουν άμεσα την πορεία της προσομοίωσης. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

- Η ταχύτητα (επιβάτες μεγάλης ηλικίας, με κινητικές δυσκολίες ή με αναπηρικό αμαξίδιο κινούνται με μικρότερη ταχύτητα από αυτή του μέσου επιβάτη).
- Το μέγεθος (επιβάτες με αναπηρικό αμαξίδιο καταλαμβάνουν μεγαλύτερο εμβαδόν του χώρου από τους άλλους επιβάτες).

Με βάση τα παραπάνω, καθορίζονται τα παρακάτω 3 είδη οντοτήτων (entity types):

Entity type	Entity Size (διάμετρος	Luggage	Speed Profiles

	σε μέτρα)	(επιφάνεια σε m^2)	Flat Ground	Stairs and Escalators (up-down)
Μέσοι επιβάτες (average passengers)	Default για Southern European Commuters	Random	Default για Southern European Commuters	Inferred
Επιβάτες με αναπηρικό αμαξίδιο (wheelchair users)	Wheelchair Size (προφίλ μεγέθους)	Small	Wheelchair Speed	- (δεν χρησιμοποιούν)
Ηλικιωμένοι επιβάτες/ επιβάτες με κινητικές δυσκολίες (elderly/ mobility impaired)	Default για Southern European Commuters	Random	Slow Passenger Speed	Inferred

Πίνακας 14: Τύποι και χαρακτηριστικά οντοτήτων

Παρατηρήσεις:

- Όλες οι οντότητες θα χαρακτηριστούν ως "Southern Europeans", ενώ το ποσοστό ανδρών/γυναικών δεν παρουσιάζει μεγάλη σημασία και θα παραμείνει στο 50%/50%. Το Legion διαθέτει ενσωματωμένα δεδομένα για τα μεγέθη των οντοτήτων, ανάλογα με την εθνικότητα και το φύλο τους.
- Στο πεδίο ταχύτητας των οντοτήτων σε επίπεδο έδαφος, υπάρχει δυνατότητα επιλογής ταχύτητας απλού επιβάτη, αθλητή, τουρίστα ή θεατή σταδίου (για εφαρμογές μελέτης σε στάδια). Για τον μέσο επιβάτη, δεδομένου ότι πρόκειται για πρωινή ώρα αιχμής, αρκεί να επιλεγεί η Default ταχύτητα του απλού επιβάτη.
- Η συμπεριφορά και οι δυνατότητες των οντοτήτων θα μοντελοποιηθούν σε μεταγενέστερο στάδιο, μέσα στο περιβάλλον του Legion Model Builder.
- Όλοι οι επιβάτες μεταφέρουν αποσκευή τυχαίου μεγέθους εκτός από όσους βρίσκονται σε αναπηρικό αμαξίδιο. Οι τελευταίοι, λόγω της κατάστασής τους, μοντελοποιούνται ώστε να φέρουν αποσκευές αποκλειστικά μικρού μεγέθους.

Ο βασικός διαχωρισμός των τύπων επιβάτη είναι αυτός που μόλις περιεγράφηκε. Ωστόσο εκ των υστέρων (δηλαδή κατά την εναπομένουσα μοντελοποίηση του σταθμού μέσα στο LMB) προέκυψε η ανάγκη ενός περεταίρω διαχωρισμού των επιβατών σε άτομα που απασχολούν για πολλή ώρα τα γραφεία έκδοσης εισιτηρίων (Slow Ticket Office ή STO) και άτομα που εξυπηρετούνται γρήγορα (Fast Ticket Office ή FTO). Περισσότερες λεπτομέρειες θα δοθούν στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

Επιπλέον, στην καρτέλα αυτή ορίζονται τύποι παροχής επιβατών (Supply Types). Κάθε Supply Type αντιπροσωπεύει ένα πλήθος επιβατών με συγκεκριμένη σύνθεση, την οποία ορίζουμε εισάγοντας το ποσοστό που αντιστοιχεί σε κάθε τύπου επιβάτη. Δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν όλοι οι τύποι επιβάτη για κάθε Supply Type, θα πρέπει όμως το άθροισμα των ποσοστών που εισάγονται να είναι 100%.

Supply Types	Composition	Supply Type Name	

Κρίνεται ότι στην περίπτωση αυτή αρκεί ένα Supply Type, το οποίο θα ονομαστεί "morning p.t. pedestrians". Δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την ακριβή σύνθεση των επιβατών,

καθοδηγούμαστε αποκλειστικά από την εμπειρία. Γι' αυτό το συγκεκριμένο Supply Type είναι από τα δεδομένα που πρέπει να διαφοροποιηθούν μεταξύ προσομοιώσεων της ώρας αιχμής (κεφάλαιο)

Κατά τις πρωινές ώρες, το μετρό χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό από εργαζόμενους που πηγαίνουν στην δουλειά τους ή φοιτητές που πηγαίνουν στην σχολή τους. Πρόκειται δηλαδή για άτομα μικρής ή μεσαίας ηλικίας που στην πλειοψηφία τους δεν εμφανίζουν κάποια ιδιαιτερότητα στον τρόπο κίνησής τους. Αυτοί ανήκουν στην κατηγορία «Μέσοι Επιβάτες». Το ποσοστό ανθρώπων σε αυτή τη κατηγορία υπολογίζεται να είναι γύρω στο 60-70%.
Η πλειοψηφία των υπόλοιπων επιβατών εντάσσεται στην κατηγορία «Ηλικιωμένοι επιβάτες/ επιβάτες με κινητικές δυσκολίες», και θα οριστεί περίπου 30-40%.
Τέλος, ένα μικρό ποσοστό των επιβατών χρησιμοποιεί αναπηρικό αμαξίδιο. Κρίνεται ότι μια ρεαλιστική αναλογία είναι 2 στους 100.

Ανεξάρτητα από τα παραπάνω ποσοστά, το 80% των επιβατών ανήκει στην κατηγορία FTO ενώ το υπόλοιπο 20% ανήκει στην κατηγορία STO. (τα ποσοστα θα εξηγηθουν σε αντιστοιχο κεφαλαιο)

Παρακάτω φαίνονται οι διαφορετικοί τύποι επιβατών που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο, σε όλες τις προσομοιώσεις ώρας αιχμής. Στην τελευταία σειρά φαίνονται μερικά ενδεικτικά ποσοστά που συνθέτουν το Supply Type: "morning p.t. pedestrians".

Entity Types	Entity type	Name	average passengers (FTO)	wheelchair users (FTO)	elderly and mobility impaired (FTO)	average passengers (STO)	wheelchair users (STO)	elderly and mobility impaired (STO)
		Colour	(colour)	(colour)	(colour)	(colour)	(colour)	(colour)
		Category	Southern European	Southern European	Southern European	Southern European	Southern European	Southern European
		Gender (% male)	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%
	Size profiles	Entity size	Default	Custom	Default	Default	Custom	Default
		Male		wheelchair size			wheelchair size	
		Female		wheelchair size			wheelchair size	
		Luggage	Random	Small	Random	Random	Small	Random
	Speed profiles	Flat ground	Southern European Commuters	wheelchair speed	slow passenger speed	Southern European Commuters	wheelchair speed	slow passenger speed
		Stair - up	Inferred	Inferred	Inferred	Inferred	Inferred	Inferred
		Stair - down	Inferred	Inferred	Inferred	Inferred	Inferred	Inferred
		Escalator - up	Inferred	Inferred	Inferred	Inferred	Inferred	Inferred
		Escalator - down	Inferred	Inferred	Inferred	Inferred	Inferred	Inferred
Supply Types	Composition	Supply Type Name						
	100,00%	morning p.t. Pedestrians	54,40%	1,60%	24,00%	13,60%	0,40%	6,00%

6.3.2.3 Καρτέλα 3: OD Matrix

Σε αυτή την καρτέλα υπάρχει ένας πίνακας μέσω του οποίου καθορίζονται οι πηγές οντοτήτων στο μοντέλο (Origins). Από κάθε είσοδο μπορούν να εισέρχονται στο μοντέλο πολλοί τύποι επιβατών Entity Types) ή/και τύποι παροχής επιβατών (Supply Types), αρκεί να υπάρχουν στην καρτέλα 2: Entities.

Παράλληλα, στον πίνακα αυτό ορίζονται προορισμοί για κάθε Entity Type και Supply Type μέσα στο μοντέλο (Destinations), με τη χρήση είτε ποσοστών είτε αριθμού ατόμων. Επιλέγεται επίσης το χρώμα με το οποίο θα απεικονίζεται στην προσομοίωση ο κάθε προορισμός. Οι πηγές και οι προορισμοί θα μπορούν αργότερα να αντιστοιχηθούν με χωρικά στοιχεία μέσα στο μοντέλο που έχουμε δημιουργήσει εντός του LMB.

Is the OD matrix specified in percentages?					
		Destination:			
Origin	Supply/Entity Type	Composition			

Οι επιβάτες εισέρχονται στο σύστημα από 3 διαφορετικά σημεία, τα οποία στην περίπτωση που εξετάζουμε τυχαίνει να ταυτίζονται με τα σημεία από τα οποία οι επιβάτες εξέρχονται. Τα 3 Origins/Destinations είναι:

1. Το εξωτερικό περιβάλλον του επιπέδου 0 (level 0), με υποκατηγορίες την ανατολική και την δυτική είσοδο (E level 0 και E level 0).
2. Ο συρμός που διέρχεται από την δυτική αποβάθρα και κατευθύνεται στον σταθμό Ελικώνος (W train)
3. Ο συρμός που διέρχεται από την ανατολική αποβάθρα και κατευθύνεται στον σταθμό Άλσος Βεΐκου (E train)

Εφόσον έχει ήδη οριστεί η σύσταση του πλήθους τις πρωινές ώρες στην προηγούμενη καρτέλα (μέσω του Supply Type), αρκεί να ορίσουμε το “morning p.t. pedestrians” ως μοναδικό Supply Type για κάθε πηγή. Για την κατανομή των επιβατών σε προορισμούς θα ληφθεί υπόψιν ο πίνακας 9 με τις προβλέψεις επιβατικής κίνησης, του κεφαλαίου 5.3.

Τελικά ο πίνακας OD έχει την ακόλουθη μορφή:

Is the OD matrix specified in percentages?		No			
		Destination:	W	E	level 0 destination
Origin	Supply/Entity Type	Composition	(colour)	(colour)	(colour)
level 0 origin	morning p.t. pedestrians	2656	2642	14	0
W	morning p.t. pedestrians		0	0	30
E	morning p.t. pedestrians		0	0	536

6.3.2.4 Καρτέλα 4: Data Profiles

Στην καρτέλα 1 (Entity Profiles) τα προφίλ χρησίμευαν στον καθορισμό των τύπων των επιβατών. Στην καρτέλα των Data Profiles μπορούν επίσης να οριστούν διάφορα προφίλ, που όμως χρησιμοποιούνται στον καθορισμό του τρόπου λειτουργίας του συστήματος υπό μελέτη (στην παρούσα περίπτωση, του σταθμού).

Model Properties

hh:mm:ss

Model start time

Model end time

Create Arrival Profiles from OD Matrix

Comments

Profile options table

Profile type	Profile name	Origin name	Supply/Entity Type	Destination	Noise (Lower,Upper)	Spread (sec)		Input
Population	Required	Optional	Optional	Optional	N/A	N/A		Required
Arrival	Required	Optional	Optional	Optional	Optional	Optional		Required
Availability	Required	N/A	N/A	N/A	N/A	Optional		Required
Event	Required	N/A	N/A	N/A	Optional	Optional		Required
Exit	Required	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		Required
Delay	Required	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		Required
Gate control	Required	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		Required

Profile type	Profile name	Origin name	Supply/Entity Type	Destination	Noise (Lower,Upper)	Spread (sec)		Time intervals [hh:mm:ss]

Στην κορυφή της καρτέλας καταγράφονται η ώρα εκκίνησης και η ώρα λήξης της προσομοίωσης (με ακρίβεια δευτερολέπτου).

Στην συνέχεια ακολουθεί πίνακας, στον οποίον μπορούν να οριστούν οι ακόλουθοι τύποι προφίλ:

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: από τους 7 τύπους προφίλ που υπάρχουν, τελικά χρησιμοποιούνται μόνο οι 3 (Arrival, Delay και Gate Control). Ωστόσο θα αναφερθούν όλοι για πληρότητα.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Για την καλύτερη κατανόηση του κειμένου, η παρουσίαση των προφίλ που έχουν δημιουργηθεί για την μοντελοποίηση του σταθμού (όπου υπάρχουν) θα προηγείται της επεξήγησης του κάθε πεδίου.

1. <u>Arrival Profiles:</u>

Τα προφίλ τύπου άφιξης χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση οντοτήτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Δημιουργούνται αυτόματα με βάση τον πίνακα που έχουμε κατασκευάσει στην καρτέλα 3: OD Matrix, αρκεί να επιλέξουμε το κουμπί “Create Arrival Profiles from OD Matrix”.

Τα Arrival Profiles που έχουν δημιουργηθεί (αυτόματα) είναι τα εξής:

Profile type	Profile name	Origin name	Supply/Entity Type	Destination	Noise (Lower, Upper)	Spread (sec)	Time intervals [hh:mm:ss]	
							12:00:00	13:00:00
Arrival	pedestrians from level 0	level 0 origin	morning p.t. pedestrians	As OD matrix	0, 5		2656	
Arrival	pedestrians from W train	W	morning p.t. pedestrians	As OD matrix	0, 5		30	
Arrival	pedestrians from E train	E	morning p.t. pedestrians	As OD matrix	0, 5		536	

- Δημιουργείται ένα Arrival Profile για κάθε πηγή του OD Matrix.
- Profile Name: πρέπει να είναι ξεχωριστό για κάθε προφίλ τύπου άφιξης
- Origin Name: προκύπτει από τον OD Matrix.
- Supply/Entity Type: πηγή ή οντότητα που αφορά το συγκεκριμένο προφίλ άφιξης. Προκύπτει από τον OD Matrix.
- Destination: ο προορισμός προκύπτει από τον OD Matrix.
- Time Interval: μπορούν να οριστούν διαφορετικές περίοδοι μεταξύ της έναρξης και της λήξης της προσομοίωσης. Για κάθε περίοδο μπορεί να οριστεί ο αριθμός των οντοτήτων που εισέρχονται στο σύστημα. Καθώς δεν έχουμε κάποια επιπλέον πληροφορία για την κατανομή των επιβατών στον χρόνο, χρησιμοποιούμε την μία ώρα αιχμής ως μια περίοδο.

- Spread: οι αφίξεις των ατόμων του κάθε προφίλ μπορούν να συμβούν από την έναρξη κάθε περιόδου (time interval), μέχρι να παρέλθει ο χρόνος που έχει συμπληρωθεί στο πεδίο (spread). Σε περίπτωση που το πεδίο παραμείνει κενό, οι αφίξεις κατανέμονται καθ΄ όλη τη διάρκεια της εκάστοτε περιόδου. Το τελευταίο είναι το ζητούμενο, επομένως το πεδίο αφήνεται κενό.
- Noise (Lower, Upper): εάν το πεδίο παραμείνει κενό, οι οντότητες κάθε περιόδου εμφανίζονται με προκαθορισμένο σταθερό ρυθμό ατόμων ανά δευτερόλεπτο. Προκειμένου να αποφευχθεί αυτή η αφύσικη ομοιομορφία, εισάγεται άνω και κάτω όριο θορύβου. Τα όρια υποδεικνύουν κατά πόσο μπορεί να απέχει ο αριθμός των εμφανιζόμενων οντοτήτων από τον προκαθορισμένο ανά δευτερόλεπτο. Κρίνεται ότι η απόκλιση των 5 επιβατών ανά δευτερόλεπτο είναι ικανοποιητική.

2. Population Profiles (δεν χρησιμοποιείται στην μελέτη):

Τα προφίλ τύπου πληθυσμού χρησιμοποιούνται για την δημιουργία οντοτήτων στην αρχή της προσομοίωσης.

- Profile Name: πρέπει να είναι ξεχωριστό για κάθε προφίλ τύπου πληθυσμού
- Origin Name: μπορεί είτε να επιλεχθεί ένα από τα Origins που έχουν δημιουργηθεί στην καρτέλα OD Matrix, είτε να καταγραφεί νέο Origin
- Supply/Entity Type: πηγή ή οντότητα που αφορά το συγκεκριμένο προφίλ πληθυσμού. Μπορεί να επιλεχθεί είτε από αυτά που έχουν δημιουργηθεί στην καρτέλα 2: Entities, είτε να καταγραφεί νέο
- Destination: ο προορισμός μπορεί να οριστεί είτε σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν καταχωρηθεί στην καρτέλα 3: OD Matrix, ή μπορεί να καταγραφεί νέος προορισμός

3. Availability Profiles (δεν χρησιμοποιείται στην μελέτη):

Τα προφίλ διαθεσιμότητας ενεργοποιούν και απενεργοποιούν καταστάσεις κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, λειτουργώντας ως διακόπτες.

- Profile Name: πρέπει να είναι ξεχωριστό για κάθε προφίλ τύπου διαθεσιμότητας.
- Spread: καθορίζει την διάρκεια για την οποία ισχύει ο διακόπτης, από την έναρξη της κάθε περιόδου.

4. Event Profiles (δεν χρησιμοποιείται στην μελέτη):

Τα προφίλ αυτά χρησιμοποιούνται όπως και τα προφίλ διαθεσιμότητας, με την διαφορά ότι επηρεάζουν συγκεκριμένο αριθμό οντοτήτων ανά χρονική περίοδο.

- Profile Name: πρέπει να είναι ξεχωριστό για κάθε προφίλ.
- Spread: καθορίζει την διάρκεια για την οποία ισχύει ο διακόπτης, από την έναρξη της κάθε περιόδου.
- Noise (Lower, Upper)

5. Exit Profiles (δεν χρησιμοποιείται στην μελέτη):

Τα προφίλ εξόδου επιτρέπουν να καθοριστεί ανώτατο όριο οντοτήτων που μπορεί να αποχωρήσει από μία έξοδο ανά λεπτό της ώρας. Μπορούν να οριστούν διαφορετικά όρια για κάθε περίοδο.

6. Delay Profiles

Τα προφίλ καθυστέρησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να καθυστερήσουν οντότητες στην πορεία τους προς τον προορισμό που τους αντιστοιχεί.

Μπορούν να οριστούν 3 τύποι καθυστέρησης:

- μεταβλητή (με ελάχιστη, μέση και μέγιστη τιμή σε δευτερόλεπτα)
- σταθερή (ακρίβεια δέκατου του δευτερολέπτου)
- μέχρι μια καθορισμένη χρονική στιγμή (ακρίβεια δευτερολέπτου)

Τα προφίλ καθυστέρησης που δημιουργήθηκαν για τον σταθμό είναι τα ακόλουθα:

Profile type	Profile name	Origin name	Supply/ Entity Type	Destination	Noise (Lower, Upper)	Spread (sec)	Time intervals [hh:mm:ss]	
Delay	pedestrians buy tickets						27, 49.8, 99	
Delay	pedestrians visit the ticket office FAST						16, 48, 84	
Delay	pedestrians visit the ticket office SLOW						125, 227, 266	
Delay	pedestrians go through the elevator						60	

1. <u>Καθυστέρηση επιβάτη που αγοράζει εισιτήριο από τον αυτόματο πωλητή (pedestrians buy tickets):</u>
   Προκειμένου να ορίσουμε ρεαλιστικές τιμές καθυστέρησης της συγκεκριμένης δραστηριότητας, πραγματοποιείται παρατήρηση και χρονομέτρηση σε ήδη υπάρχοντα σταθμό του μετρό (συγκεκριμένα, στον σταθμό του Ελληνικού). Τα αποτελέσματα των 20 μετρήσεων φαίνονται στον πίνακα 15, και με βάση αυτά προκύπτει μέση διάρκεια στα 48 sec, ελάχιστη στα 16 sec και μέγιστη στα 84 sec. Σίγουρα τα νούμερα αυτά δεν είναι απόλυτα και μπορούν να διαφέρουν αρκετά ανάλογα με το δείγμα που μετριέται, όμως για τις ανάγκες της προσομοίωσης αρκούν.
2. <u>Καθυστέρηση επιβάτη που επισκέπτεται τον γκισέ εισιτηρίων (pedestrians visit the ticket office):</u>
   Ομοίως με πριν, πραγματοποιούνται 20 μετρήσεις. Παρατηρείται ότι το 20% των επιβατών απασχολεί τον γκισέ για χρόνο περίπου τριπλάσιο από το υπόλοιπο 80%, και για να αποδοθεί ρεαλιστικά αυτή η συμπεριφορά χρειάζεται το προφίλ καθυστέρησης να μοιραστεί σε 2 διαφορετικά προφίλ:
   - <u>pedestrians visit the ticket office FAST</u> (μ.ο: 48, ελάχιστο: 16, μέγιστο: 84)
   - <u>pedestrians visit the ticket office SLOW</u> (μ.ο: 227, ελάχιστο: 125, μέγιστο: 266)

Μέτρηση	Παραμονή κάθε επιβάτη (sec)			
	Στον αυτόματο πωλητή	Στο πρατήριο εισιτηρίων		
		όλα	<100 sec	>100 sec
1	65	27	27	264
2	46	37	37	266
3	29	266	36	253
4	47	36	16	125
5	58	16	36	
6	68	264	39	
7	40	36	28	
8	99	39	65	
9	27	28	82	
10	44	65	68	

11	78	82	71	
12	59	125	59	
13	31	68	40	
14	58	71	39	
15	34	253	41	
16	62	59	84	
17	39	40		
18	32	39		
19	48	41		
20	32	84		
MO	49,8	83,8	48	227
MIN	27	16	16	125
MAX	99	266	84	266

Πίνακας 15: Μετρήσεις χρόνου απασχόλησης επιβατών

3. Καθυστέρηση επιβατών που αλλάζουν επίπεδο μέσω του ανελκυστήρα (pedestrians go through the elevator):
   Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην παρούσα φάση δεν υπάρχει εργαλείο στο LMB που να δημιουργεί ανελκυστήρες μεταξύ των επιπέδων. Η λύση στην οποία καταφεύγουμε είναι η χρήση ενός εργαλείου που εξαφανίζει τους επιβάτες από ένα σημείο του μοντέλου και τους επανεμφανίζει σε ένα άλλο. Αυτό το προφίλ καθυστέρησης χρησιμοποιείται για να καθορίσουμε πόση ώρα παραμένουν οι επιβάτες εκτός μοντέλου μέχρι να εμφανιστούν ξανά.
   Σε έναν πραγματικό ανελκυστήρα οι επιβάτες ίσως χρειαστεί να περιμένουν να φτάσει ο ανελκυστήρας, να αποβιβαστούν οι άνθρωποι που είναι ήδη μέσα, μπορεί ακόμα να μη χωρούν να μπουν στον ανελκυστήρα επειδή δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος. Δεν μπορούμε να γνωρίζουμε με ακρίβεια ποια διάρκεια θα απέδιδε τα πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα, θα ορίσουμε ωστόσο μια ενδεικτική τιμή στα 60 sec.

7. Gate Control Profiles

Τα προφίλ πύλης χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τον τρόπο λειτουργίας των επικυρωτικών πυλών του σταθμού και μπορούν σε κάθε περίοδο να χαρακτηρίζονται από μία εκ των παρακάτω καταστάσεων: IN, OUT, FREE, IN, FREE OUT, FREE.
Οι πύλες του σταθμού παραμένουν είτε σε λειτουργία εισόδου καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης, είτε εξόδου. Επομένως έχουμε:

Profile type	Profile name	Origin name	Supply/ Entity Type	Destination	Noise (Lower, Upper)	Spread (sec)	Time intervals [hh:mm:ss]	
							12:00:00	13:00:00
Gate control	in gates						IN	
Gate control	out gates						OUT	

6.3.2.5 Καρτέλα 5: Origin Settings

Η καρτέλα 5 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον διαχωρισμό μιας εισόδου οντοτήτων σε υπό-εισόδους. Για κάθε είσοδο που έχει δημιουργηθεί στην καρτέλα 3, υπάρχει η επιλογή για κάθε Entity Type και Supply Type να ορίσουμε διαφορετική κατανομή των οντοτήτων στις διαφορετικές υπό-εισόδους.

Για τις ανάγκες τις μελέτης αρκεί να διαχωρίσουμε την πηγή "level 0 origin" σε 2 υποκατηγορίες: την ανατολική (E level 0) και την δυτική (W level 0) πρόσβαση στον σταθμό. Δεν μπορούμε να γνωρίζουμε τι ποσοστό των επιβατών εισέρχεται από κάθε είσοδο, όμως δεδομένου ότι μόνο η ανατολική είσοδος διαθέτει ανελκυστήρα και οδηγεί σε γραφεία έκδοσης εισιτηρίων, μπορούμε να κάνουμε την υπόθεση ότι το 50-70% των επιβατών επιλέγει να εισέλθει από εκεί. Ενδεικτικά:

Origin settings

Origin name
level 0 origin

Arrival profiles	Type ID	D
pedestrians from level 0		D1

Split into sub origins?		Yes			
		Composition	Name	E level 0	W level 0
Distribution 1	(D1)	100,000%		50,00%	50,00%
Distribution 2	(D2)	0,000%			
Distribution 3	(D3)	0,000%			
Distribution 4	(D4)	0,000%			
Distribution 5	(D5)	0,000%			
Distribution 6	(D6)	0,000%			

6.3.2.6 Καρτέλα 6: Platform-Train Settings

Στην παρούσα καρτέλα καταγράφονται οι πλατφόρμες που υπάρχουν στο σύστημα του σταθμού. Όσα Origins (από τον OD Matrix) αφορούν συρμούς που φέρνουν επιβάτες στο σύστημα, θα πρέπει να συνδεθούν με τις αντίστοιχες πλατφόρμες μέσω αυτής της καρτέλας, το οποίο γίνεται με την επιλογή τους ως Services. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα να οριστεί συγκεκριμένη διασπορά των επιβατών κατά μήκος της κάθε πλατφόρμας, κατά την άφιξη των συρμών.

Ο σταθμός στο Γαλάτσι διαθέτει δύο πλατφόρμες, οι οποίες θα έχουν ίδιες ρυθμίσεις.

1. <u>Δυτική πλατφόρμα (W platform):</u>

Platform name
W platform

Services	Type ID	Arrival profiles	D
W		pedestrians from W train	

Create distribution?		No
		Composition
Distribution 1	(D1)	100,000%
Distribution 2	(D2)	0,000%
Distribution 3	(D3)	0,000%
Distribution 4	(D4)	0,000%
Distribution 5	(D5)	0,000%
Distribution 6	(D6)	0,000%

Frequency based?	Yes
Use/Ignore type ID's	Ignore
Apply service type sequence?	
Sequence: Continuous or Per Interval	
Continuous sequence (Type ID)	

Copy time intervals from Arrival Profiles

		Time intervals	12:00:00	13:00:00
Per Interval sequence (Type ID)	(All)			
Arrival frequency (per period)	(All)	20		
Minimum service interval (sec)	(All)	180		
Make arrivals random? (yes/no)		No		

		All profiles
Random noise	Lower limit	
	Upper limit	
EDOT (sec)		20

Create availability profile(s)?	No

2. <u>Ανατολική πλατφόρμα (E platform):</u>

Platform name
E platform

Services	Type ID	Arrival profiles	D
E		pedestrians from E train	

Create distribution?		No
		Composition
Distribution 1	(D1)	100,000%
Distribution 2	(D2)	0,000%
Distribution 3	(D3)	0,000%
Distribution 4	(D4)	0,000%
Distribution 5	(D5)	0,000%
Distribution 6	(D6)	0,000%

Frequency based?	Yes
Use/Ignore type ID's	Ignore
Apply service type sequence?	
Sequence: Continuous or Per Interval	
Continuous sequence (Type ID)	

Copy time intervals from Arrival Profiles

		Time intervals	12:00:00	13:00:00
Per Interval sequence (Type ID)	(All)			
Arrival frequency (per period)	(All)	20		
Minimum service interval (sec)	(All)	180		
Make arrivals random? (yes/no)		No		

		All profiles
Random noise	Lower limit	
	Upper limit	
EDOT (sec)		20

Create availability profile(s)?	No

Σχετικά με την διασπορά των επιβατών (distribution) κατά την έξοδό τους από τα βαγόνια, αυτή μπορεί να εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως την θέση των σημείων πρόσβασης των αποβάθρων σε προηγούμενος σταθμούς. Εάν οι επιβάτες καταφτάνουν στις αποβάθρες από τις άκρες, τότε θα τείνουν να επιβιβαστούν στα ακριανά βαγόνια που βρίσκονται ακριβώς μπροστά τους (αντίστοιχα για πρόσβαση στην αποβάθρα από κεντρικό σημείο). Λόγω της τυχαιότητας αυτής δεν έχει νόημα να οριστεί κάποια συγκεκριμένη διασπορά.

Έχει οριστεί από τις προδιαγραφές ότι η χρονοαπόσταση είναι 3’, επομένως στο διάστημα των 60’ θα έχουμε 20 αφίξεις σε κάθε πλατφόρμα. Για να επιτευχθεί αυτό διατηρούμε μια μοναδική περίοδο (Interval) που διαρκεί όσο η ώρα της προσομοίωσης, και ορίζουμε συχνότητα στις 20 αφίξεις ανά περίοδο. Για να επιτευχθεί η ζητούμενη χρονοαπόσταση, ορίζονται ως ελάχιστος αποδεκτός χρόνος μεταξύ αφίξεων τα 180’’. Καθώς θα πρόκειται για πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα, είναι ασφαλές να θεωρηθεί ότι θα υπάρχει ομοιογένεια και ακρίβεια στην τήρηση της χρονοαπόστασης των 3’ μεταξύ των συρμών, επομένως δεν ορίζεται βαθμός τυχαιότητας στις αφίξεις.

Επιπλέον, με βάση το ήδη υπάρχον σύστημα του μετρό, ορίζεται ότι οι θύρες των συρμών (για αποβίβαση και για επιβίβαση) παραμένουν ανοιχτές για 20’’.

Σε αυτό το σημείο ολοκληρώνεται η συμπλήρωση του DS. Το επόμενο βήμα είναι να ανοιχθεί το μοντέλο σταθμού που έχουμε φτιάξει και, με τη χρήση του εργαλείου “Data Import Manager”, να εισάγουμε το έτοιμο DS.

6.3.3 Μέσα Στο LEGION Model Builder - Εισαγωγή Των Objects Και Data

Μέχρι στιγμής έχει οριστεί η βασική γεωμετρία του σταθμού και κάποια δεδομένα για τους επιβάτες, τα δρομολόγια των συρμών και άλλα. Η μοντελοποίηση θα ολοκληρωθεί εντός του περιβάλλοντος του LMB, με την εισαγωγή των απαραίτητων Objects και Data (βλ. κεφάλαιο 4.2). Μετά από διαφορετικές δοκιμές και διορθώσεις, καταλήγουμε στην κατάλληλη λύση μοντελοποίησης, η οποία περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Για την πιο κατανοητή επεξήγηση της λύσης, η οργάνωση του κειμένου στο παρόν κεφάλαιο θα προσαρμόζεται στο αντικείμενο που περιγράφεται κάθε φορά, και άρα θα παρουσιάζει έναν βαθμό ανομοιογένειας.

6.3.3.1 Είσοδοι και Έξοδοι – Entrances and Exits

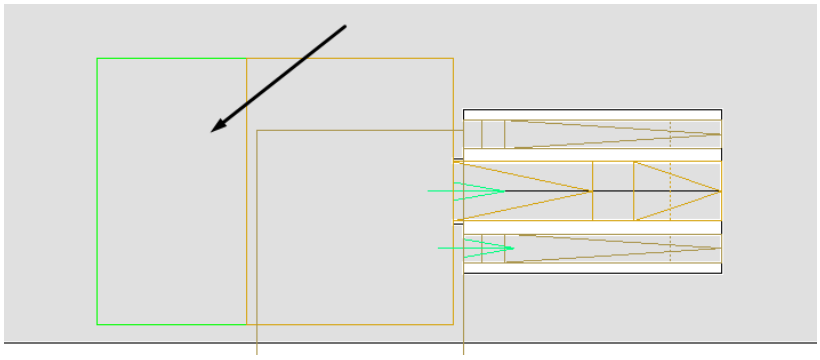
Στον σταθμό πρακτικά υπάρχουν 3 διαφορετικά σημεία τα οποία είναι εισόδου και εξόδου. Τα σημεία είναι το επίπεδο 0 εξωτερικά του σταθμού, ο συρμός που σταματά στην δυτική αποβάθρα και ο συρμός που σταματά στην ανατολική αποβάθρα. Υπενθυμίζεται ότι αυτά έχουν καταγραφεί στο DS ως εξής:

		Destination:	W	E	level 0 destination
Origin:	Supply/Entity Type	Composition	*(colour)*	*(colour)*	*(colour)*
level 0 origin	morning p.t. pedestrians	2656	2642	14	0
W	morning p.t. pedestrians	30	0	0	30
E	morning p.t. pedestrians	536	0	0	536

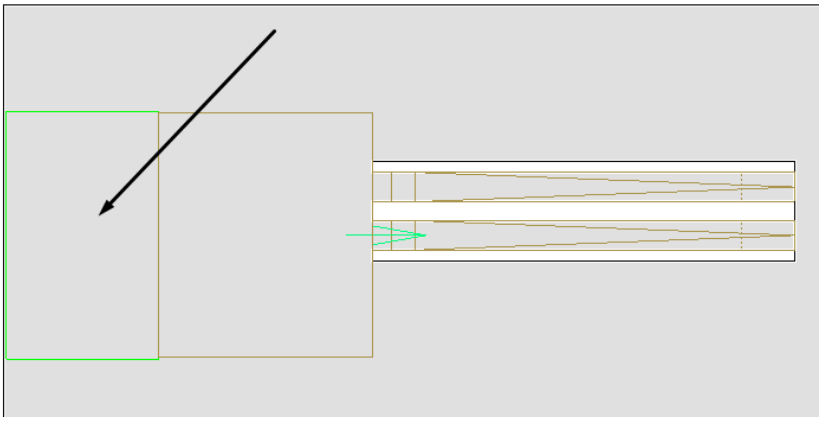
Από αυτά, μόνο το επίπεδο 0 (level 0 origin για την είσοδο και level 0 destination για την έξοδο) μπορεί να προσδιοριστεί χωρικά μέσα στο μοντέλο. Η λειτουργία των συρμών ως είσοδοι/έξοδοι μοντελοποιείται διαφορετικά και θα γίνει περιγραφή του αργότερα.

Στο DS η είσοδος είχε χωριστεί σε 2 υποκατηγορίες:

1. Την ανατολική είσοδο (E level 0), η οποία ορίζεται ως ορθογώνιο παραλληλόγραμμο μπροστά στην αντίστοιχη πρόσβαση του σταθμού.

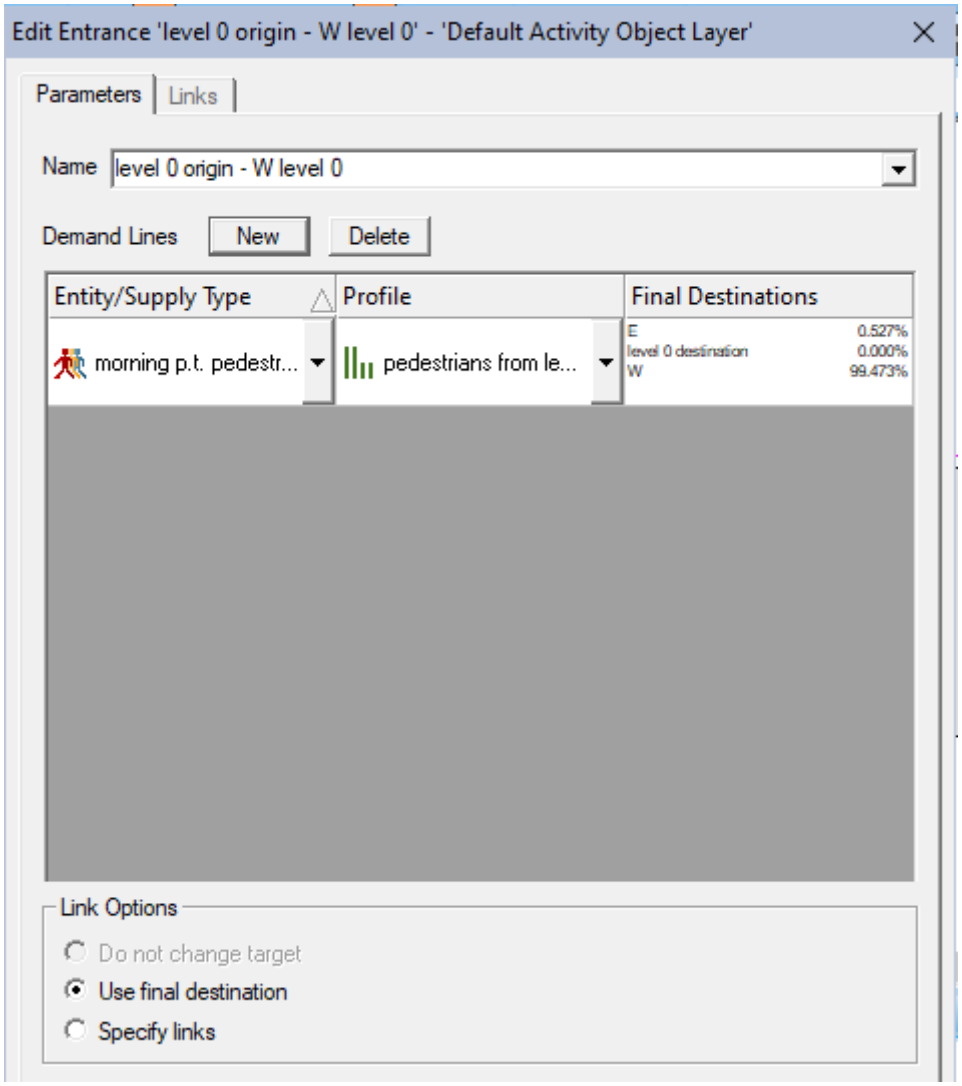


2. Την δυτική είσοδο (W level 0), η οποία επίσης ορίζεται ως ορθογώνιο παραλληλόγραμμο μπροστά στην αντίστοιχη πρόσβαση του σταθμού.

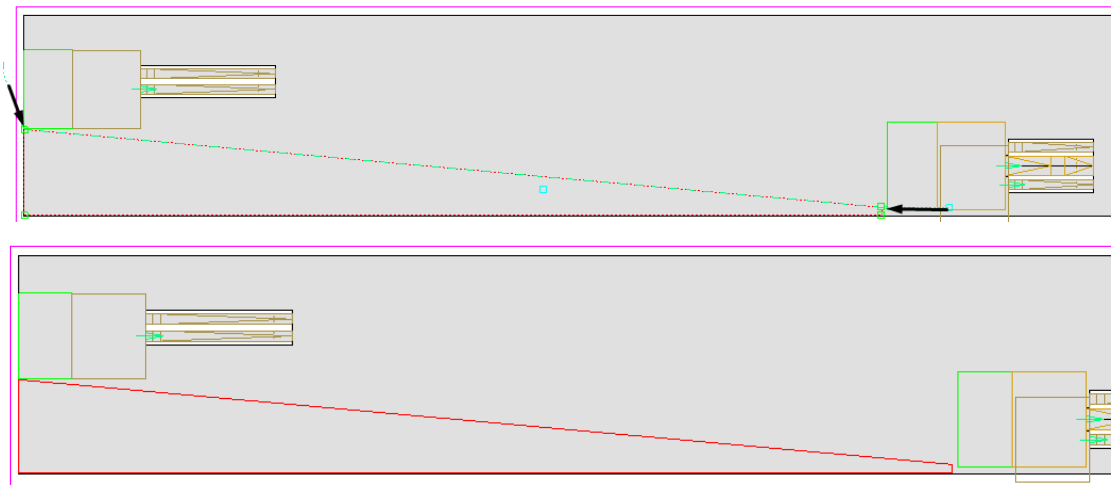


Μετά την προσθήκη των εισόδων, η κάτοψη του επιπέδου 0 είναι:

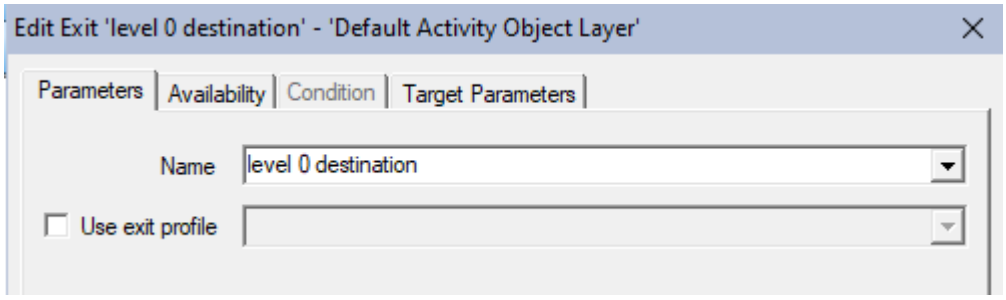
Κάθε είσοδος ρυθμίζεται ώστε να είναι συνδεδεμένη με το αντίστοιχο sub-Origin. Δεν απαιτούνται επιπλέον ρυθμίσεις.



Θα υπάρχει μία ενιαία έξοδος για όλους τους επιβάτες, ανεξάρτητα από πού επιλέγουν να εξέλθουν από τον σταθμό. Σχεδιάζεται σε κατάλληλο σημείο ώστε να είναι γρήγορα προσβάσιμη σε όλους. Τα βέλη στο ακόλουθο σχήμα υποδεικνύουν την πλευρά από την οποία είναι προσβάσιμη η έξοδος.



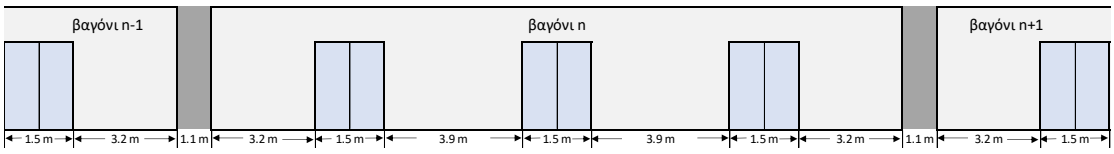
Οι ρυθμίσεις της εξόδου είναι απλές. Αρκεί να ταυτίσουμε την έξοδο με το αντίστοιχο Destination.



6.3.3.2 Βαγόνια και Συρμοί - Train Carriages & Trains

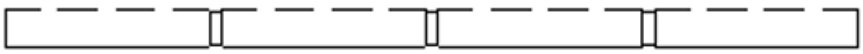
Όσον αφορά τους συρμούς, γνωρίζουμε μόνο ότι θα πρόκειται για αυτοματοποιημένους συρμούς με χωρητικότητα 1000 ατόμων. Το μοντέλο συρμού που θα χρησιμοποιηθεί δεν έχει καθοριστεί ακόμα, επομένως για τις ανάγκες τις μοντελοποίησης θα χρησιμοποιηθεί ένα από τα οχήματα αυτοματοποιημένων συστημάτων μεταφοράς που διατίθενται ήδη στην αγορά. Επιλέγεται ενδεικτικά ένας από τους συρμούς που παρουσιάζονται σε αναφορά του 2017, της εταιρείας Hitachi.

Το όχημα έχει μήκος 78.5 μέτρα, αποτελείται από 4 βαγόνια (άρα 250 επιβάτες πληρότητα βαγονιού) και γενικά την παρακάτω μορφή και διαστάσεις:



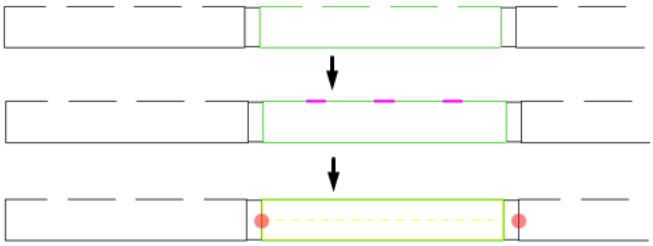
Εικόνα 27: Ενδεικτικός συρμός

Όλα τα βαγόνια του συρμού φαίνεται να είναι ίδια, επομένως αρκεί να οριστεί ένας τύπος βαγονιού στο πρόγραμμα. Με βάση τις διαστάσεις που αναφέρθηκαν, σχεδιάζεται ένας συρμός σε κάτοψη (εικόνα 28).



Εικόνα 28: Συρμός σε κάτοψη

Στη συνέχεια, με το αντίστοιχο εργαλείο (Train Carriage), δημιουργείται ο τύπος βαγονιού που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Καθορίζεται η γεωμετρία, οι θύρες, τα σημεία σύνδεσης και η μέγιστη χωρητικότητα.



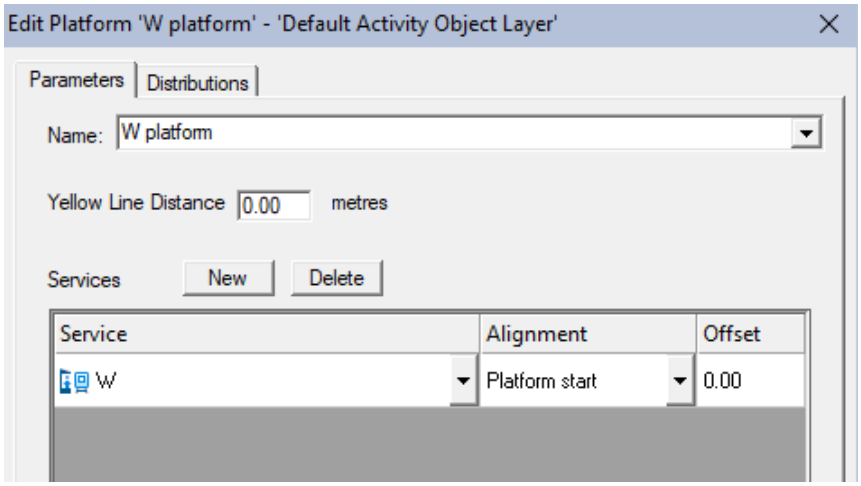
Εικόνα 29: Σχεδίαση συρμού

Με το εργαλείο Train δημιουργούμε έναν τύπο συρμού με 4 βαγόνια (“Basic train”). Ο τύπος αυτός θα εξυπηρετεί τα δρομολόγια τόσο στην δυτική (W) όσο και στην ανατολική (E) αποβάθρα.

6.3.3.3 Αποβάθρες – Platforms

Οι πλατφόρμες του σταθμού σχηματίζονται με τη χρήση του εργαλείου “Platform”. Οριοθετούμε τα όρια της πλατφόρμας και ορίζουμε την απόσταση της γραμμής ασφαλείας στα 0 εκατοστά, αφού ήδη τα πετάσματα προστατεύουν τους επιβάτες από το διάκενο.

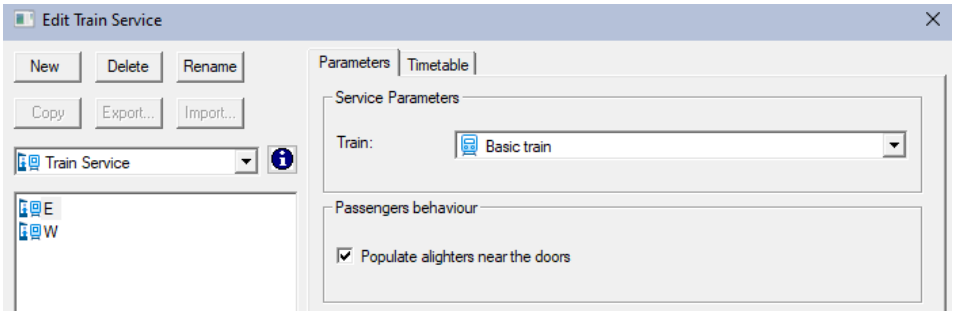
Οι ρυθμίσεις της κάθε πλατφόρμας είναι:



- Συνδέουμε την δυτική πλατφόρμα με την κατάλληλη υπηρεσία, δηλαδή με το Origin/Destination “W” που έχει δημιουργηθεί στο OD Matrix. Αντίστοιχα συνδέουμε την ανατολική πλατφόρμα με την υπηρεσία “E”. Έτσι το λογισμικό γνωρίζει ποια υπηρεσία συρμών εξυπηρετεί η κάθε πλατφόρμα και μπορεί να προσδιορίσει τον τελικό προορισμό των επιβατών μέσα στο μοντέλο (υπενθυμίζεται ότι οι τελικοί προορισμοί που έχουν οριστεί από το OD Matrix είναι τα Origins/Destinations W και E, που πλέον αναγνωρίζονται και ως Services, και όχι κάποια χωρικά σημεία μέσα στο μοντέλο).

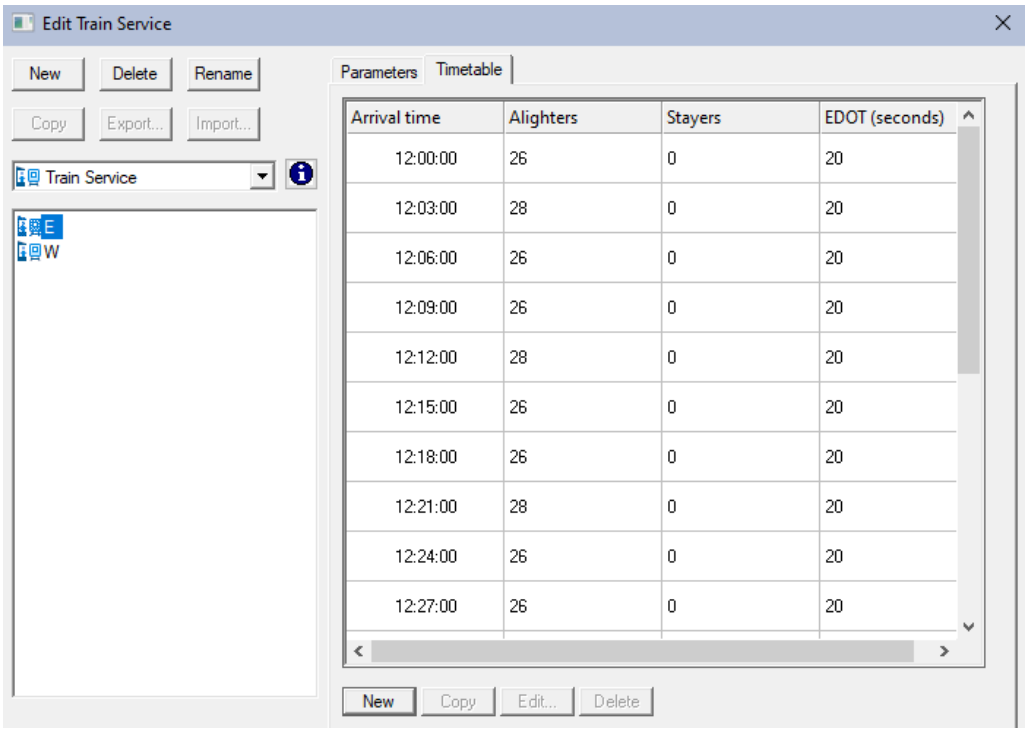
6.3.3.4 Υπηρεσίες Δρομολογίων – Train Service

Επιλέγεται το εργαλείο “Train Service”. Σε κάθε υπηρεσία απονέμεται ο τύπος συρμού που της αντιστοιχεί.

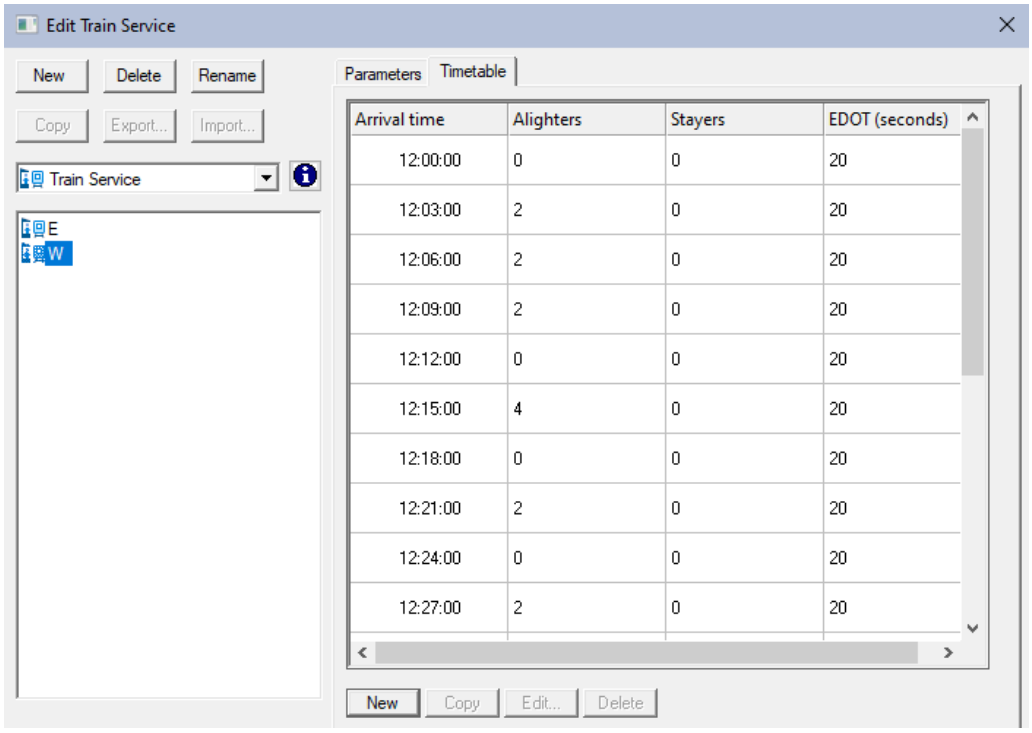


Όπως ήδη αναφέρθηκε, χρησιμοποιείται ο τύπος “Basic train” τόσο για την W όσο για την E υπηρεσία.

Τα δρομολόγια των συρμών προκύπτουν αυτόματα με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω σε συνδυασμό με στοιχεία που εισήχθησαν μέσω του DS. Το ίδιο ισχύει για τις αποβιβαζόμενες οντότητες ανά συρμό που καταφτάνει στην αποβάθρα.



Arrival time	Alighters	Stayers	EDOT (seconds)
12:00:00	26	0	20
12:03:00	28	0	20
12:06:00	26	0	20
12:09:00	26	0	20
12:12:00	28	0	20
12:15:00	26	0	20
12:18:00	26	0	20
12:21:00	28	0	20
12:24:00	26	0	20
12:27:00	26	0	20



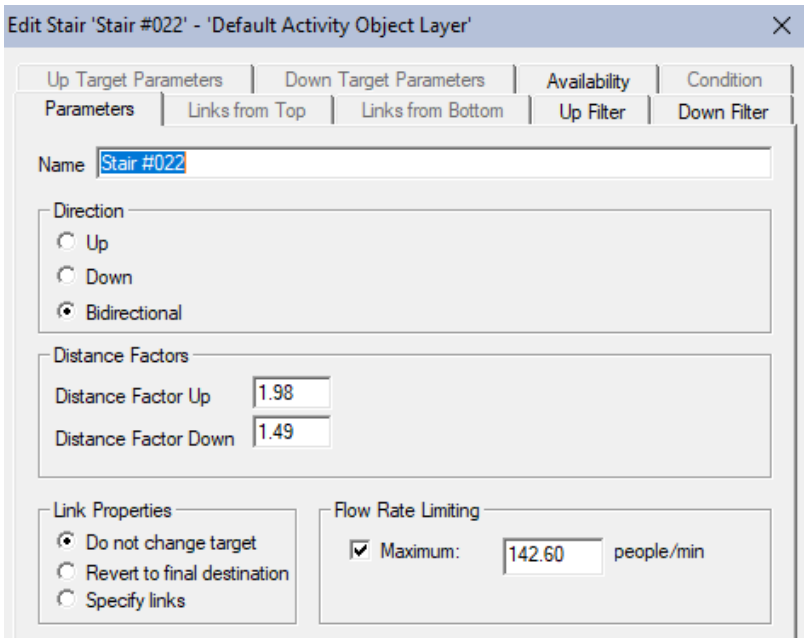
Arrival time	Alighters	Stayers	EDOT (seconds)
12:00:00	0	0	20
12:03:00	2	0	20
12:06:00	2	0	20
12:09:00	2	0	20
12:12:00	0	0	20
12:15:00	4	0	20
12:18:00	0	0	20
12:21:00	2	0	20
12:24:00	0	0	20
12:27:00	2	0	20

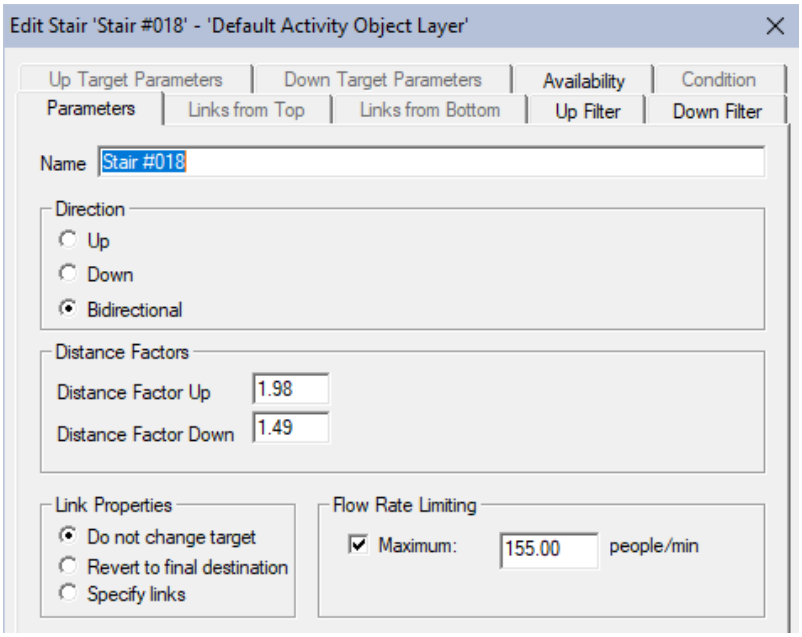
6.3.3.5 Σταθερές Κλίμακες - Stairs

Η γεωμετρία των σταθερών κλιμάκων έχει ήδη καθοριστεί και απομένει να γίνουν οι υπόλοιπες ρυθμίσεις.

Όλες οι κλίμακες θα έχουν κοινές όλες τις ρυθμίσεις τους, με εξαίρεση τη μέγιστη επιτρεπόμενη ροή επιβατών. Αναλυτικότερα:

- Οι κλίμακες επιτρέπουν τόσο την άνοδο όσο και την κάθοδο των επιβατών.
- Ο παράγοντας απόστασης (Distance Factor) παραμένει στην προ υπάρχουσα τιμή.
- Οι επιβάτες που χρησιμοποιούν τις κλίμακες δεν αλλάζουν στόχο ή προορισμό.
- Στο εγχειρίδιο σχεδιασμού αναφέρεται ότι η μέγιστη χωρητικότητα της κάθε σταθερής κλίμακας υπό κανονικές συνθήκες είναι 62 άτομα/μέτρο πλάτους/λεπτό στην άνοδο και 69 άτομα/μέτρο πλάτους/λεπτό στην κάθοδο. Καθώς στο LMB δεν υπάρχει η δυνατότητα να ορίσουμε ξεχωριστή χωρητικότητα για την κάθε διεύθυνση, επιλέγουμε την δυσμενέστερη περίπτωση της καθόδου.
- Οι κλίμακες μεταξύ επιπέδων 0-1 και 1-2 έχουν πλάτος 2.3 μέτρα, το οποίο αντιστοιχεί σε χωρητικότητα 142.6 ατόμων/ λεπτό.
- Οι κλίμακες μεταξύ επιπέδων 2-3 έχουν πλάτος 2.5 μέτρα, το οποίο αντιστοιχεί σε χωρητικότητα 155 ατόμων/ λεπτό.





Όλες οι κλίμακες χαρακτηρίζονται ως Filtering Objects (πίνακας 16), ώστε οι επιβάτες να τις αντιμετωπίζουν ως φυσικό μέρος της διαδρομής (όπως θα αντιμετώπιζαν για παράδειγμα έναν διάδρομο).

Filtering Objects	Target Objects
Μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους επιβάτες ως φυσικό μέρος της διαδρομής τους.	Μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους επιβάτες μόνο εφ' όσον τους δοθεί οδηγία (για παράδειγμα μέσω ενός DM) που να ορίζει τα συγκεκριμένα χωρικά αντικείμενα ως ενδιάμεσους στόχους.

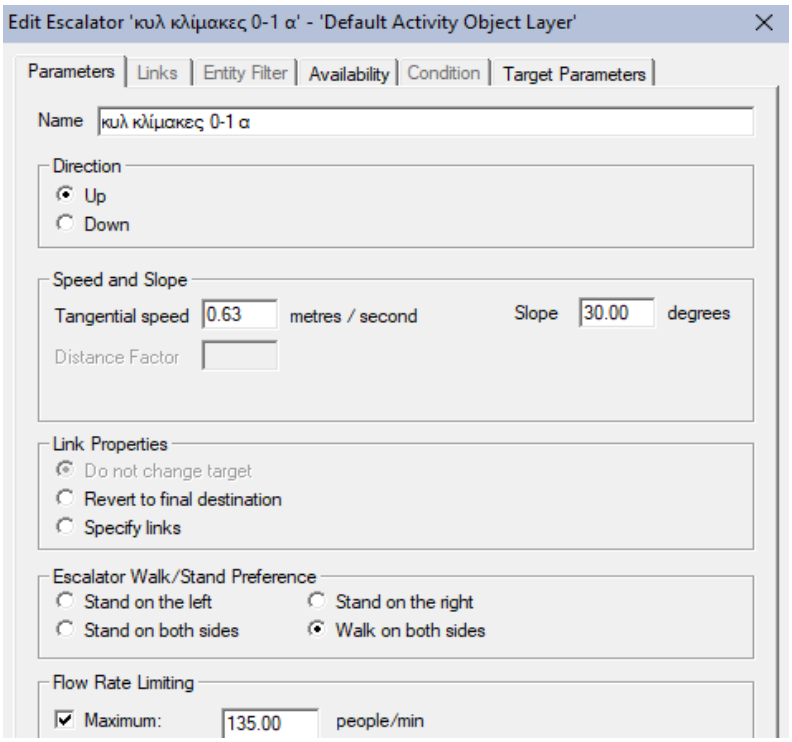
Πίνακας 16: Filtering vs Targeting objects

Με την χάραξη μονών γραμμών, σχεδιάζεται κουπαστή που διέρχεται από το κέντρο όλων των κλιμάκων, εξέχοντας επιπλέον 1 μέτρο από το τέλος κάθε ακριανού σκαλοπατιού (όπως ζητείται από τις προδιαγραφές).

6.3.3.6 Κυλιόμενες Κλίμακες - Escalators

Όπως και οι σταθερές, οι κυλιόμενες κλίμακες έχουν ήδη σχεδιαστεί. Καθώς έχουν όλες πλάτος 1 μέτρου, οι ρυθμίσεις θα έχων ως εξής:

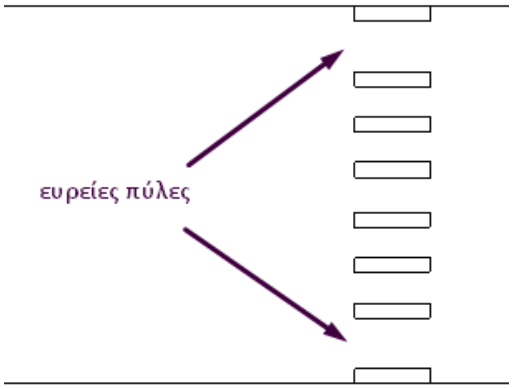
- Οι κυλιόμενες κλίμακες επιτρέπουν είτε την άνοδο είτε την κάθοδο, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 6.2.2.
- Η εφαπτόμενη ταχύτητα των κυλιόμενων, όπως ορίζεται από τις προδιαγραφές, θα είναι 0.63 m/s.
- Ο παράγοντας απόστασης (Distance Factor) παραμένει στην προ υπάρχουσα τιμή.
- Οι επιβάτες που χρησιμοποιούν τις κυλιόμενες κλίμακες δεν αλλάζουν στόχο ή προορισμό.
- Όπως παρατηρείται στην συμπεριφορά των επιβατών στην Ελλάδα, οι επιβάτες στέκονται στην δεξιά πλευρά της σκάλας και περπατούν στην αριστερή.
- Στο εγχειρίδιο σχεδιασμού αναφέρεται ότι η μέγιστη χωρητικότητα της κάθε κυλιόμενης κλίμακας με την είναι 135 άτομα/μέτρο πλάτους/λεπτό.



Ομοίως με πριν, όλες οι κυλιόμενες κλίμακες χαρακτηρίζονται ως Filtering Objects.

6.3.3.7 Πύλες Επικύρωσης - Gates

Δίνονται από τις προδιαγραφές οι ακόλουθες διαστάσεις: οι κανονικές πύλες έχουν πλάτος διέλευσης τα 0.60 μέτρα, οι ευρείες πύλες έχουν πλάτος διέλευσης 1.00 μέτρο και το μήκος των πυλών εκτείνεται στα 1.50 μέτρα. Το πλάτος πυλών θα είναι 0.30 μέτρα. Με βάση αυτά, σχεδιάζουμε ένα module πυλών το οποίο θα τοποθετηθεί σε επανάληψη κατά μήκος των δύο γραμμών πυλών. Με την παρούσα γεωμετρία του σταθμού, υπάρχει επαρκής χώρος για 2 ευρείες πύλες και 5 κανονικές πύλες ανά γραμμή.



Εικόνα 30: Διαθέσιμος χώρος τοποθέτησης πυλών

Στο κεφάλαιο 5.2.6 περιγράφεται η προτεινόμενη μέθοδος για να βρεθεί ο αναγκαίος αριθμός πυλών εισόδου και εξόδου. Υπενθυμίζεται ότι η μέγιστη δυνατή ροή των επιβατών μέσα από τις πύλες ορίζεται στους 25 επιβάτες/λεπτό, ενώ ο αριθμός πυλών ανά γραμμή που αφορούν την είσοδο και την έξοδο, θα καθοριστεί από την επιβατική κίνηση.

Εισάγουμε τις προτεινόμενες συναρτήσεις σε φύλο excel και προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας:

ΠΥΛΕΣ

3222	max ωριαία αιχμή από εισερχόμενους και εξερχόμενους
81	max αιχμή λεπτού από εισερχόμενους και εξερχόμενους
25	χωρητικότητα πυλών (επιβάτες/ λεπτό)
3	**απαραίτητες πύλες εισόδου**
3	επιθυμητός χρόνος εκκένωσης πυλών = χρονοαπόσταση (λεπτά)
243	max αριθμός εισερχομένων και εξερχόμενων επιβατών στο διάστημα της χρονοαπόστασης
4	**απαραίτητες πύλες εξόδου**
προσδιορισμός μήκους ουράς ανά πύλη:	
135	χωρητικότητα κυλιόμενων (άτομα/ λεπτό)
4	αριθμός κυλιόμενων (που εξυπηρετούν μία αποβάθρα)
9	ροή κυλιόμενων (άτομα/δευτερόλεπτο)
45	επιβάτες εξερχόμενοι από τους συρμούς στο διάστημα της χρονοαπόστασης
540	συνολική χωρητικότητα κυλιόμενων μιας αποβάθρας (άτομα/λεπτό)

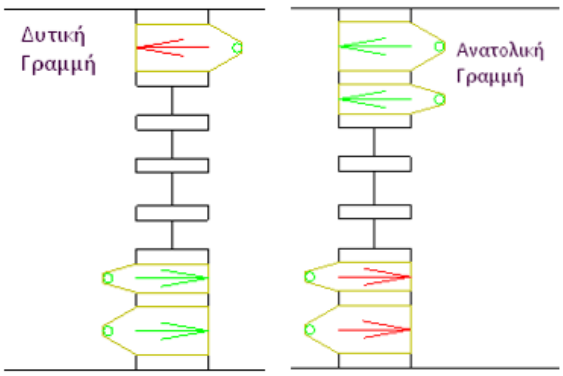
5	χρόνος εξυπηρέτησης επιβατών μέσω κυλιόμενων (δευτερόλεπτα)
1,667	ροή πυλών (άτομα/ δευτερόλεπτο)
7,333	ουρά (άτομα/ δευτερόλεπτο)
36,667	επιβάτες σε ουρά (άτομα)
0,5	διάστημα που καταλαμβάνει επιβάτης σε αναμονή (μέτρα)
18,333	μήκος ουράς συνολικά (μέτρα)
4,583	μήκος ουράς ανά πύλη (μέτρα) (αποδεκτό)
έλεγχος πρότασης : χρονοαπόσταση ≥ χρόνος εκκένωσης των πυλών	
27	χρόνος εκκένωσης πυλών (δευτερόλ.)
έλεγχος πρότασης : συνωστισμός προ κυλιόμενων κλιμάκων αποβάθρων = max αιχμή λεπτού εξερχομένων ≤ συνολικής χωρητικότητας κυλιόμενων	
15	συνωστισμός προ κυλιόμενων κλιμάκων αποβάθρων

Πίνακας 17: Υπολογισμός απαραίτητου αριθμού πυλών

Επομένως στις 2 γραμμές πυλών θα υπάρχουν συνολικά:

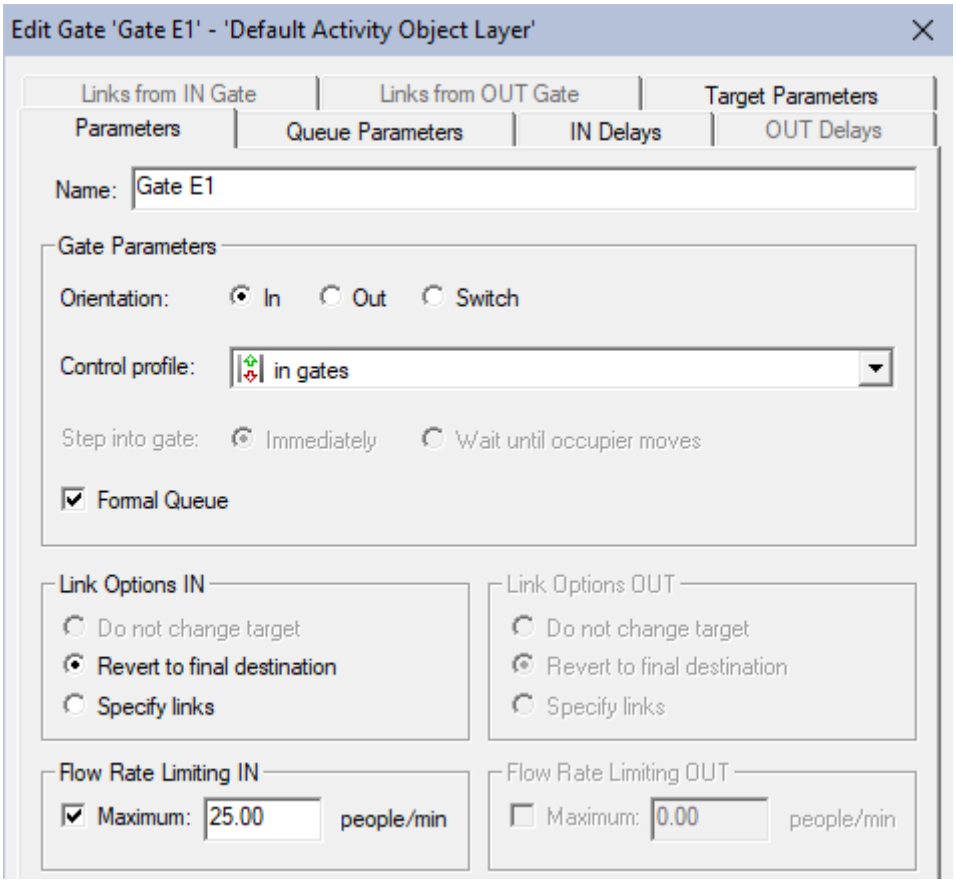
- 2 ευρείες πύλες εισόδου
- 2 κανονικές πύλες εισόδου
- 2 ευρείες πύλες εξόδου
- 1 κανονική πύλη εξόδου

Βασιζόμενοι στην υπόθεση ότι η ανατολική μεριά του σταθμού είναι σχεδιασμένη για να διακινεί μεγαλύτερη επιβατική ροή από την αριστερή, τοποθετούμε την κανονική πύλη εξόδου στην ανατολική γραμμή. Οι υπόλοιπες πύλες μοιράζονται ομοιόμορφα. Η τελική διάταξη των πυλών θα αυτή που φαίνεται στην εικόνα:

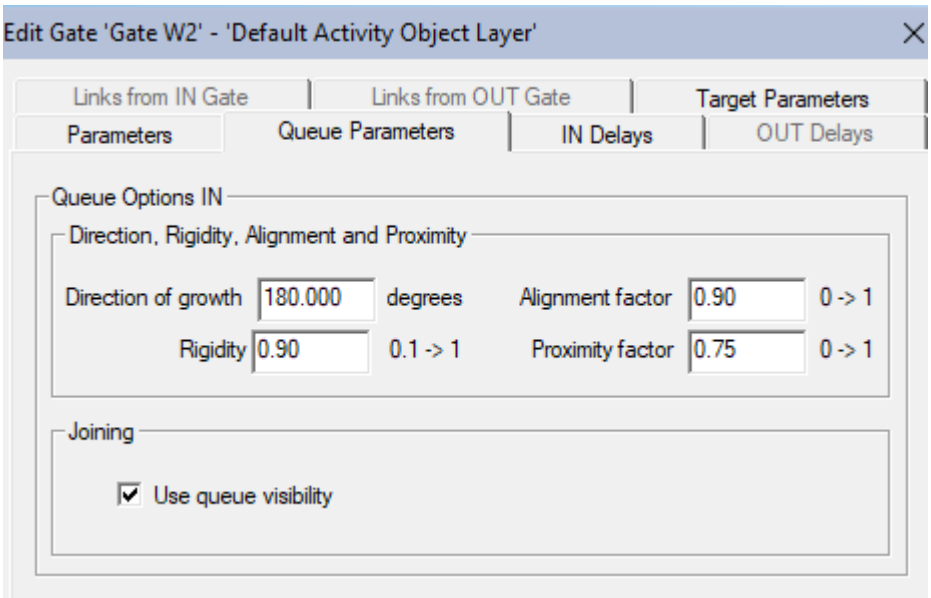


Εικόνα 31: Τοποθέτηση πυλών με βάση τους υπολογισμούς

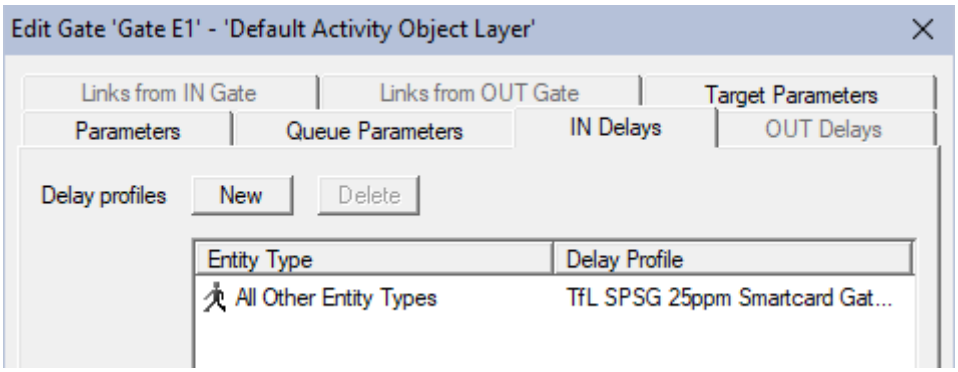
Προβλέπεται μία επιπλέον εφεδρική πύλη, η οποία δεν χρειάζεται να μοντελοποιηθεί (αρκεί που γνωρίζουμε ότι υπάρχει επαρκής χώρος για αυτή).
Στις πύλες IN (και αντίστοιχα OUT) πραγματοποιούνται οι ρυθμίσεις:



- Το control profile των πυλών εισόδου συνδέεται με το αντίστοιχο προφίλ Gate Control "in gates" που έχει δημιουργηθεί στο DS. Αντίστοιχα το control profile πυλών εξόδου συνδέεται με το προφίλ "out gates".
- Είναι επιθυμητή η δημιουργία ουράς από τους επιβάτες (Formal Queue).
- Οι επιβάτες που διέρχονται από τις πύλες συνεχίζουν την διαδρομή τους κανονικά, προς τον τελικό τους προορισμό.
- Η μέγιστη ροή επιβατών ορίζεται στα 25 άτομα/λεπτό.



- Οι παράμετροι των πεδίων “Direction of growth” ρυθμίζονται κατάλληλα ώστε οι οντότητες να σχηματίζουν ουρά αναμονής κάθετη στην γραμμή των πυλών καθώς περιμένουν την σειρά τους να περάσουν.
- Ο δείκτης “Rigidity” υποδηλώνει πόσο αδιαπέραστη είναι η ουρά. Ρυθμίζεται στο 0.9.
- Ο “Alignment Factor” ρυθμίζεται επίσης στο 0.9, αντιπροσωπεύοντας την στοίχιση των επιβατών σε ευθεία γραμμή καθώς περιμένουν στην ουρά.
- Ο δείκτης “Proximity” αφορά την απόσταση μεταξύ των επιβατών που στέκονται στην ουρά. (1=όσο πιο κοντά είναι εφικτό). Καθώς δεν υπάρχει άμεσος τρόπος να εισάγουμε τα 0.5 μέτρα που προτείνονται από το εγχειρίδιο Σχεδιασμού, πραγματοποιούνται δοκιμαστικές προσομοιώσεις με διαφορετικούς δείκτες και μετρούνται οι αποστάσεις μεταξύ των επιβατών στις ουρές. Τελικά κρίνεται κατάλληλος ο δείκτης 0.75, που οδηγεί τους επιβάτες να στέκονται σε αποστάσεις 0.4 με 0.6 μέτρων (ανάλογα με τις διαστάσεις τους).



Η καθυστέρηση των επιβατών προκύπτει άμεσα από την ρύθμιση της μέγιστης ροής των 25 ατόμων/λεπτό.

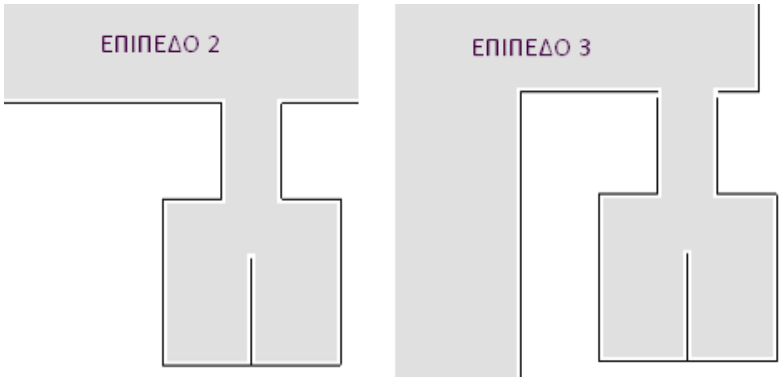
6.3.3.8 Ανελκυστήρες

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το LEGION δεν διαθέτει εργαλείο μοντελοποίησης ανελκυστήρων. Οι ανελκυστήρες αποτελούν ένα αρκετά πολύπλοκο πρόβλημα μοντελοποίησης, δεδομένου ότι συνυπολογίζονται χρόνοι μετακίνησης των θαλάμων, χρόνοι αναμονής των επιβατών, χωρητικότητα, αναμονές, χρόνοι επιβίβασης και αποβίβασης. Κρίνεται ότι το να αποτυπωθεί επακριβώς η λειτουργία των ανελκυστήρων στην προσομοίωση δεν επιφέρει σημαντική αξία στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, επομένως καταφεύγουμε σε μια απλοποιημένη λύση.

Το LMB διαθέτει το εργαλείο “Mesoscopic Transit Zone” (MTZ), το οποίο επιτρέπει στους επιβάτες να εξέλθουν από κάποιο σημείο του μοντέλου, να παραμείνουν εκτός μοντέλου για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια να επιστρέψουν σε αυτό εισερχόμενοι από κάποιο άλλο σημείο.

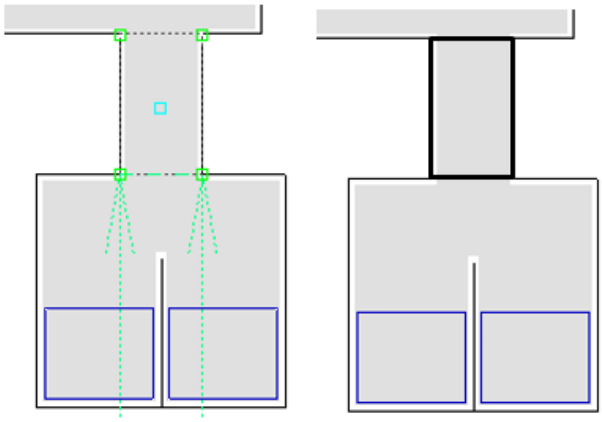
Οι 3 ανελκυστήρες του σταθμού μοντελοποιούνται ως εξής:

1. Κάθε ανελκυστήρας συμβολίζεται από δύο διαφορετικούς χώρους, έναν στο άνω και έναν στο κάτω επίπεδο. Ο κάθε χώρος έχει ένα διαχωριστικό, η χρήση του οποίου θα εξηγηθεί στη συνέχεια. Για παράδειγμα, στην εικόνα 32 φαίνεται ο ανελκυστήρας που οδηγεί στην ανατολική αποβάθρα.



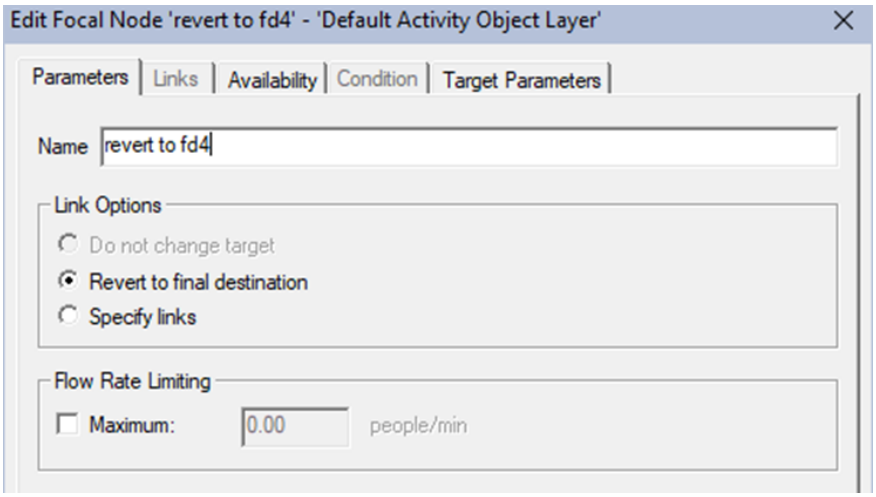
Εικόνα 32: Κάτοψη ανελκυστήρα μεταξύ επιπέδων 2 και 3

2. Λόγω κάποιου σφάλματος του λογισμικού, προκειμένου να λειτουργήσει σωστά αυτό θα πρέπει οι επιβάτες να περάσουν πρώτα από ένα Focal Node καθώς εξέρχονται από τους ανελκυστήρες, προτού συνεχίσουν την διαδρομή τους στον σταθμό. Σε κάθε είσοδο/έξοδο ανελκυστήρα, λοιπόν, δημιουργούμε ένα FN (μαύρο πλαίσιο στην εικόνα 33).

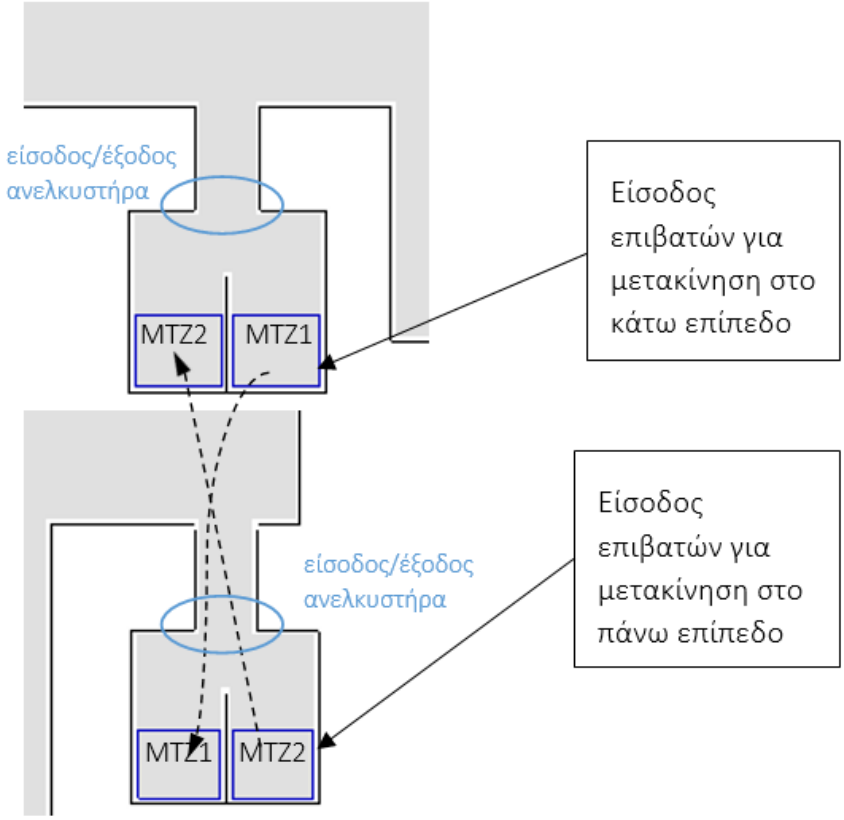


Εικόνα 33: Κάτοψη ανελκυστήρα μεταξύ επιπέδων 2 και 3

Δεν απαιτείται κάποια ειδική ρύθμιση, οι επιβάτες μετά τον FN επιστρέφουν στην κανονική τους πορεία.

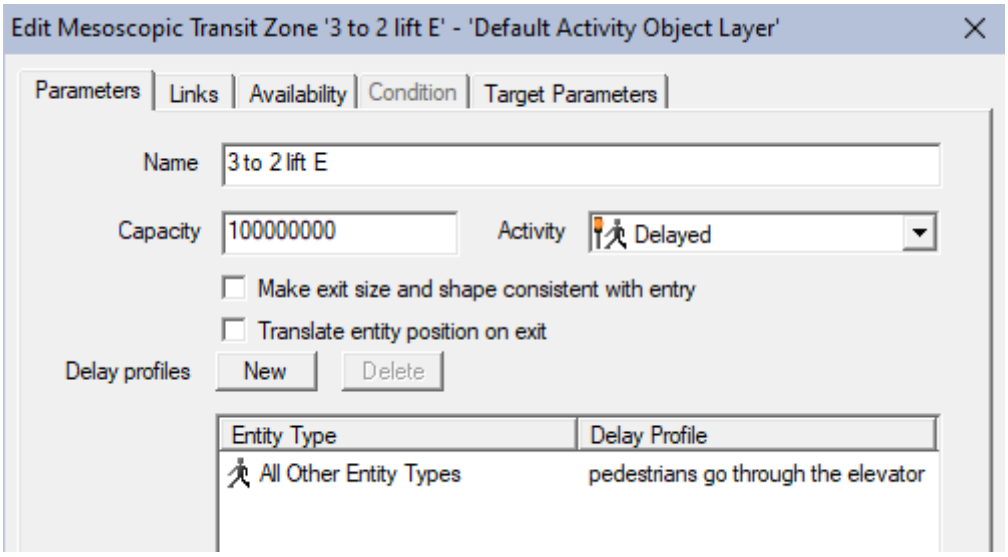


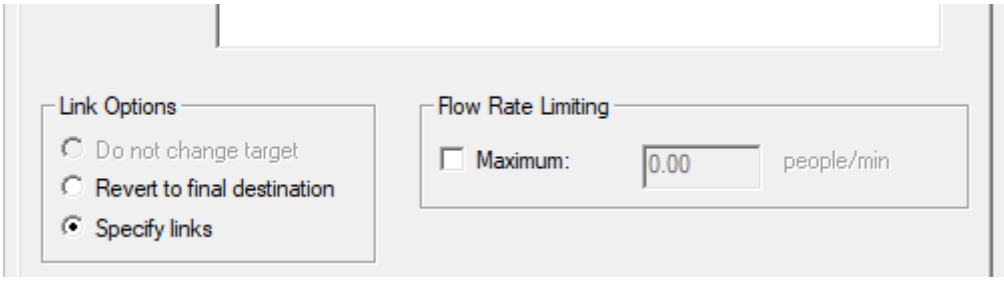
3. Κάθε ανελκυστήρας διαθέτει δύο MTZ: ένα που επιτρέπει τους επιβάτες να «εξαφανίζονται» από το πάνω επίπεδο και να επανεμφανίζονται στο κάτω (MTZ1), και ένα που επιτρέπει το αντίστροφο (MTZ2) (εικόνα 34). Το διαχωριστικό χρησιμεύει στην καθοδήγηση των επιβατών απευθείας προς την είσοδο/έξοδο του ανελκυστήρα.
   Για αποφυγή σύγχυσης, η είσοδος του MTZ τοποθετείται πάντα στην δεξιά πλευρά του διαχωριστικού και η έξοδος στην αριστερή, όπως φαίνεται παρακάτω.



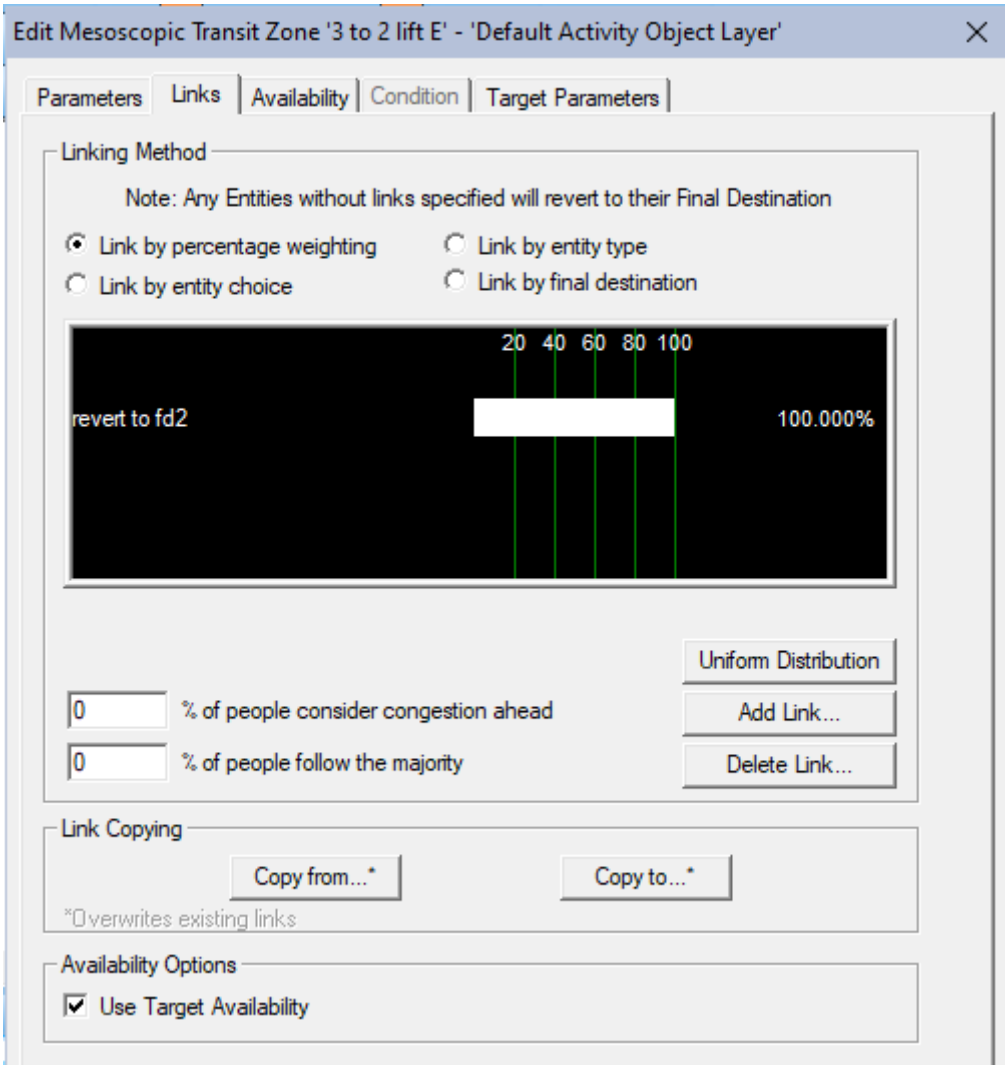
Εικόνα 34: Χρήση MTZ στους ανελκυστήρες

Στα MTZ πραγματοποιούνται οι ρυθμίσεις:





- Δεν είναι αναγκαίο να ορίσουμε χωρητικότητα.
- Συνδέουμε το χρονικό διάστημα που καθυστερούν οι οντότητες να επανεμφανιστούν με το Delay Profile: "pedestrians go through the elevator"
- Επιλέγουμε “Specify links”.



- Για κάθε ανελκυστήρα, ορίζουμε ως ενδιάμεσο στόχο των εξερχόμενων επιβατών τον αντίστοιχο FN.

6.3.3.9 Αυτόματοι Πωλητές Εισιτηρίων

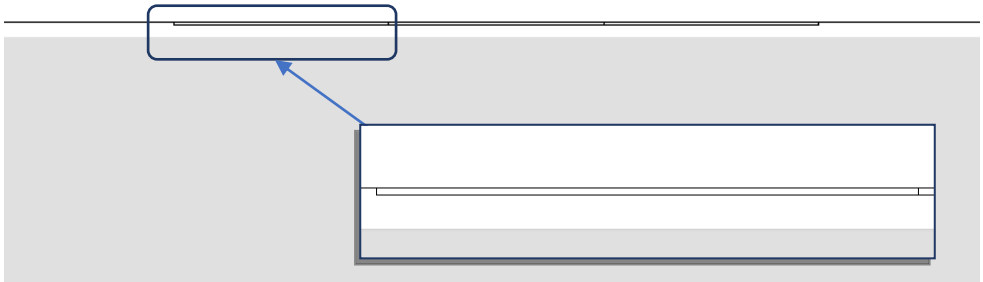
Υπενθυμίζεται ότι γνωρίζουμε το πλάτος των μηχανημάτων (92 εκατοστά) και την θέση τους στον χώρο. Εισάγουμε σε φύλλο excel τις σχέσεις που ορίζονται από το Εγχειρίδιο Σχεδιασμού και προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

ΑΥΤΟΜΑΤΟΙ ΠΩΛΗΤΕΣ ΕΙΣΙΤΗΡΙΩΝ	
34	50% ροής εισερχομένων ανά λεπτό αιχμής
5	συναλλαγές ανά λεπτό ανά μηχάνημα
7	αναγκαία μηχανήματα

Πίνακας 18: Υπολογισμοί αριθμού αυτόματων πωλητών εισιτηρίων

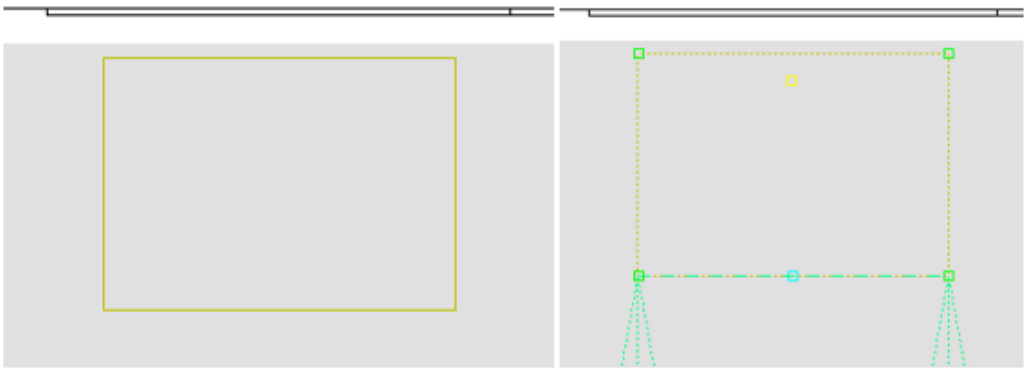
Ακολουθώντας τα σχέδια (παράρτημα 1) και τις προβλέψεις επιβατικής ροής που έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα, τοποθετούμε τα 4 μηχανήματα στην ανατολική πλευρά και τα 3 στην δυτική. Κάθε μηχάνημα μοντελοποιείται με:

1. Ένα συμβολικό ορθογώνιο CAD που οριοθετεί την θέση του (εικόνα 35).



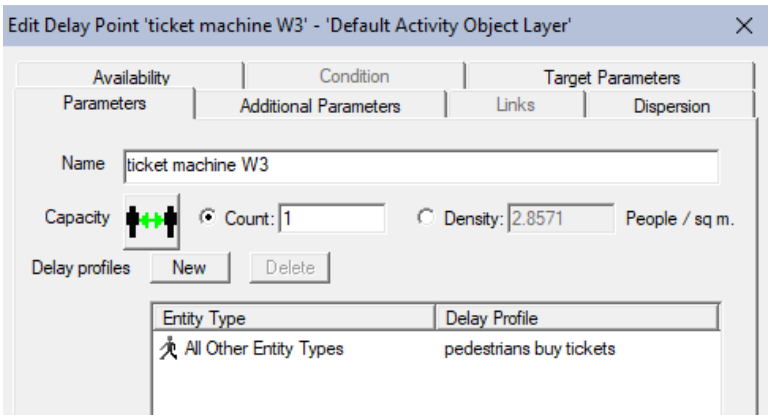
Εικόνα 35: Οριοθέτηση αυτόματων πωλητών

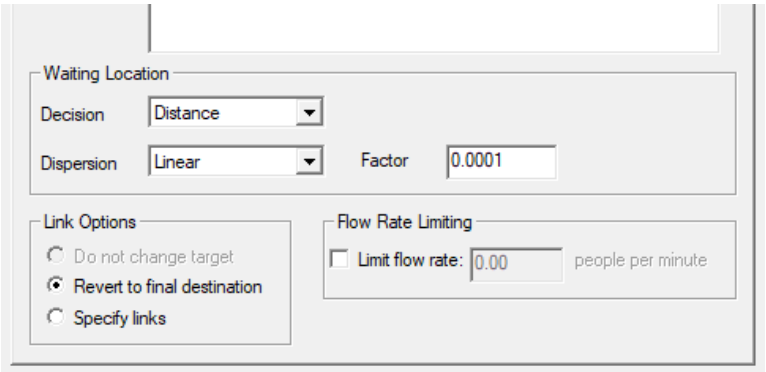
2. Ένα σημείο αναμονής (Delay Point) στο οποίο στέκονται οι επιβάτες για όσο χρόνο απαιτείται για να πραγματοποιήσουν την αγορά τους. Σε κάθε DP μπορεί να εισέρχεται ένας επιβάτης την φορά.



Εικόνα 37: Καθορισμός των DP

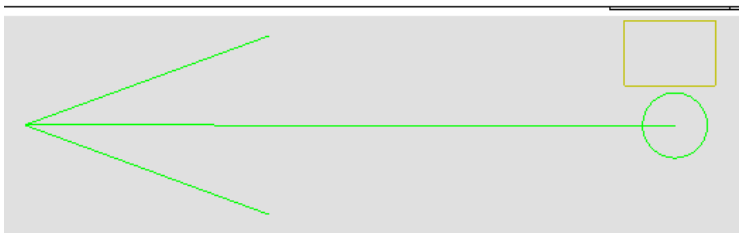
Οι ρυθμίσεις των DP είναι:





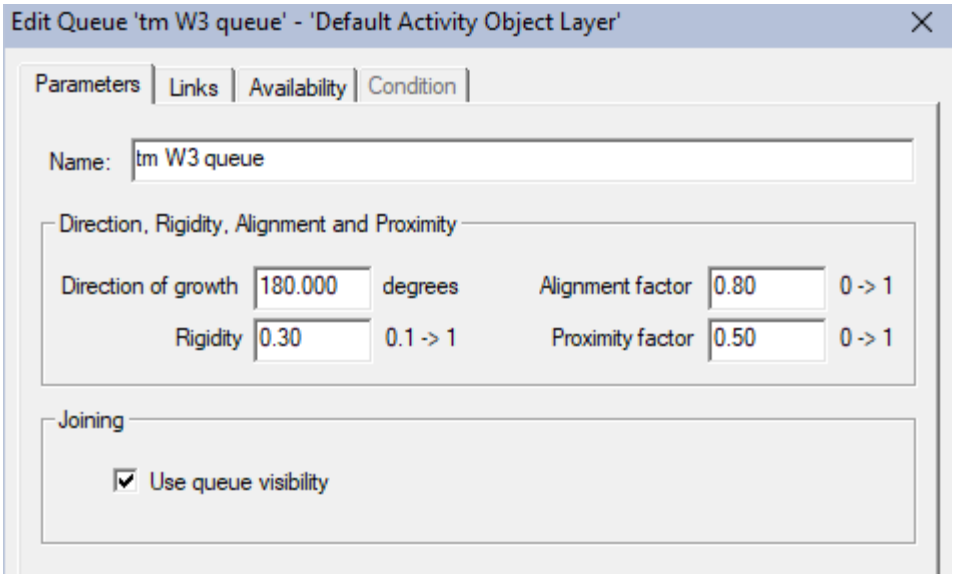
- Η καθυστέρηση κάθε επιβάτη στο μηχάνημα συνδέεται με το Delay Profile: “pedestrians buy tickets” που έχουμε δημιουργήσει στο DS.
- Οι μεταβλητές του πεδίου “Waiting Location” δεν έχουν επίδραση στην προσομοίωση, καθώς στο DP εισέρχεται και εξυπηρετείται 1 επιβάτης την φορά.
- Μετά το πέρας της καθυστέρησης οι επιβάτες συνεχίζουν την διαδρομή τους προς τον τελικό τους προορισμό.

3. Μία ουρά αναμονής (Queue) όπου θα περιμένουν οι επόμενοι επιβάτες για να εξυπηρετηθούν.

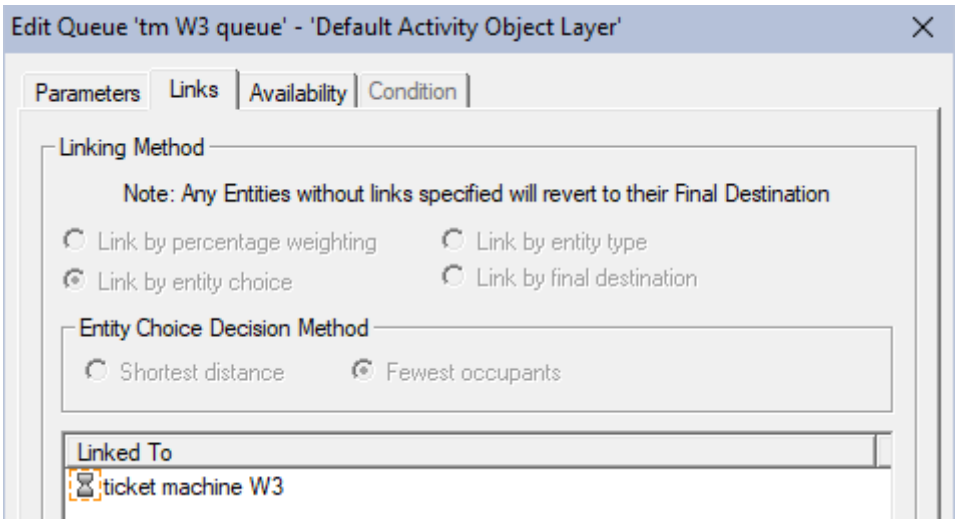


Εικόνα 38: Παράδειγμα ουράς αναμονής

Ο προσανατολισμός του βέλους κάθε ουράς δείχνει προς τα πού αναπτύσσεται αυτή. Παρατηρείται η τάση των ανθρώπων να προσπαθούν να σχηματίζουν ουρές που να μην παρεμποδίζουν την ροή κίνησης, έχοντας συνείδηση του περιβάλλοντός τους. Αποφεύγουν δηλαδή να στέκονται κοντά στην είσοδο κυλιόμενων κλιμάκων ή στις πύλες επικύρωσης, ειδικά αν υπάρχει μεγάλη κινητικότητα. Κάθε βέλος ουράς προσανατολίζεται με βάση αυτή την συμπεριφορά.
Οι ρυθμίσεις κάθε ουράς είναι:



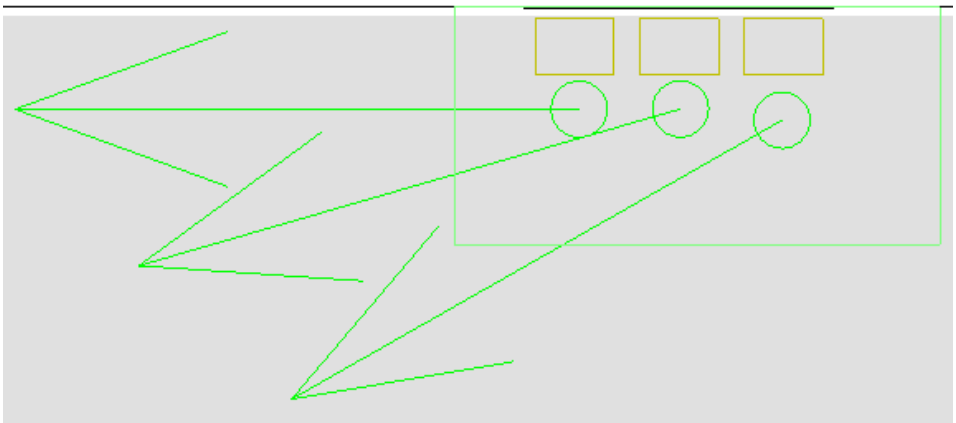
- Το "Direction of growth" εξαρτάται από τον προσανατολισμό του βέλους που ορίσαμε.
- Δεδομένου ότι οι επιβάτες βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής, θα παρουσιάζουν πιο χαλαρή συμπεριφορά από αυτούς που περιμένουν να περάσουν από τις πύλες. Για αυτό ορίζουμε "Alignment Factor" = 0.80 και "Proximity factor" = 0.50.
- Λόγω του ότι πιθανώς να βρίσκονται σε σημείο διέλευσης επιβατών, οι άνθρωποι που περιμένουν στην ουρά θα έχουν υπόψιν τους ότι ίσως εμποδίζουν την διέλευση και έτσι θα είναι πιο ανεκτικοί στο να αφήσουν ανθρώπους να περάσουν από μπροστά τους. Επίσης θα πρέπει να επιτρέπουν σε όσους διεκπεραίωσαν την αγορά εισιτηρίου να απομακρύνονται από τη περιοχή. Για αυτό, ο αντίστοιχος δείκτης "Rigidity" ορίζεται 0.30.



- Κάθε ουρά αναμονής συνδέεται με το αντίστοιχο DP.

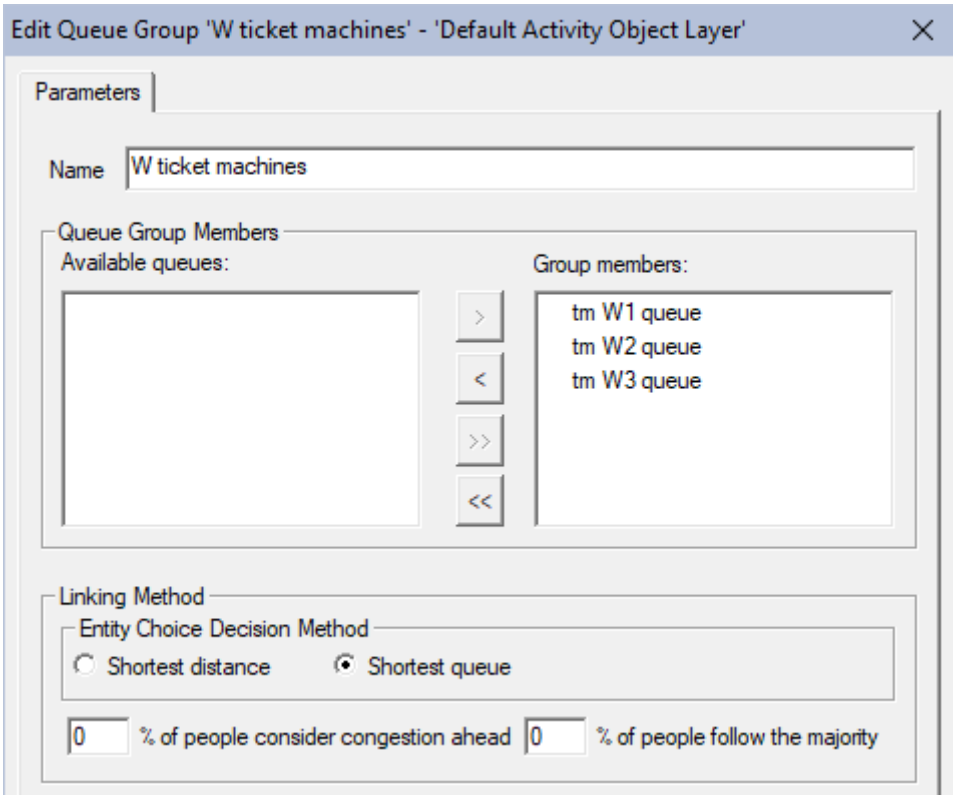
4. Ένταξη σε κάποιο Queue Group. Αυτό είναι απαραίτητο για την μοντελοποίηση έτσι ώστε κάθε ομάδα μηχανημάτων να εντοπίζεται ως μια κοινή υπηρεσία από τις οντότητες που θέλουν να αγοράσουν εισιτήριο. Η απόφαση για το ποιο από τα διαθέσιμα μηχανήματα θα χρησιμοποιήσουν έρχεται σε δεύτερο στάδιο, αφού θα έχουν πλησιάσει και αξιολογήσει ποιο μηχάνημα θα είναι το πιο άμεσα διαθέσιμο. Για τα μηχανήματα πώλησης εισιτηρίων δημιουργούνται 2 Queue Groups:

- Το δυτικό Queue Group, που αποτελείται από 3 μηχανήματα:



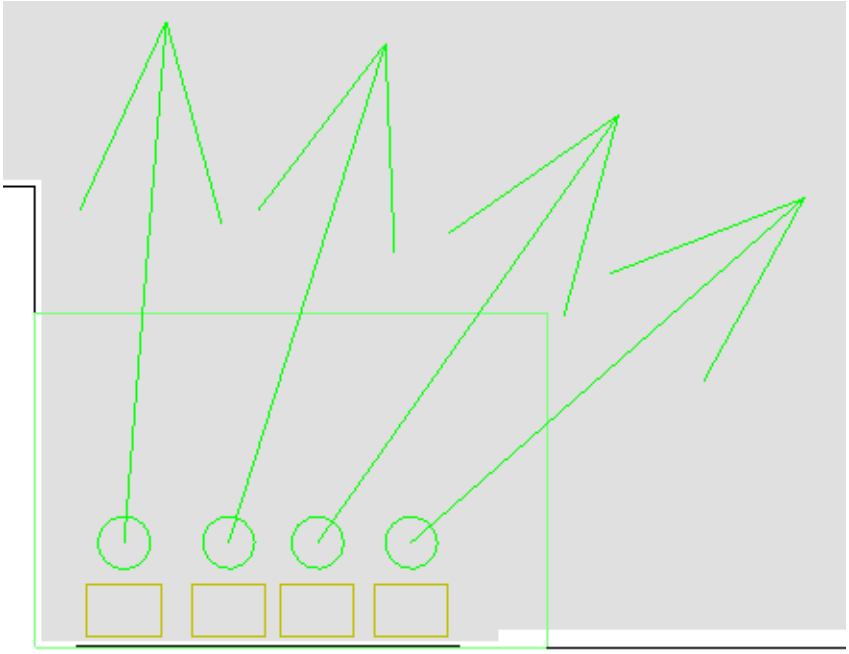
Εικόνα 39: Δυτική ομάδα μηχανημάτων αυτόματης πώλησης

Οι ρυθμίσεις του Group θα είναι:



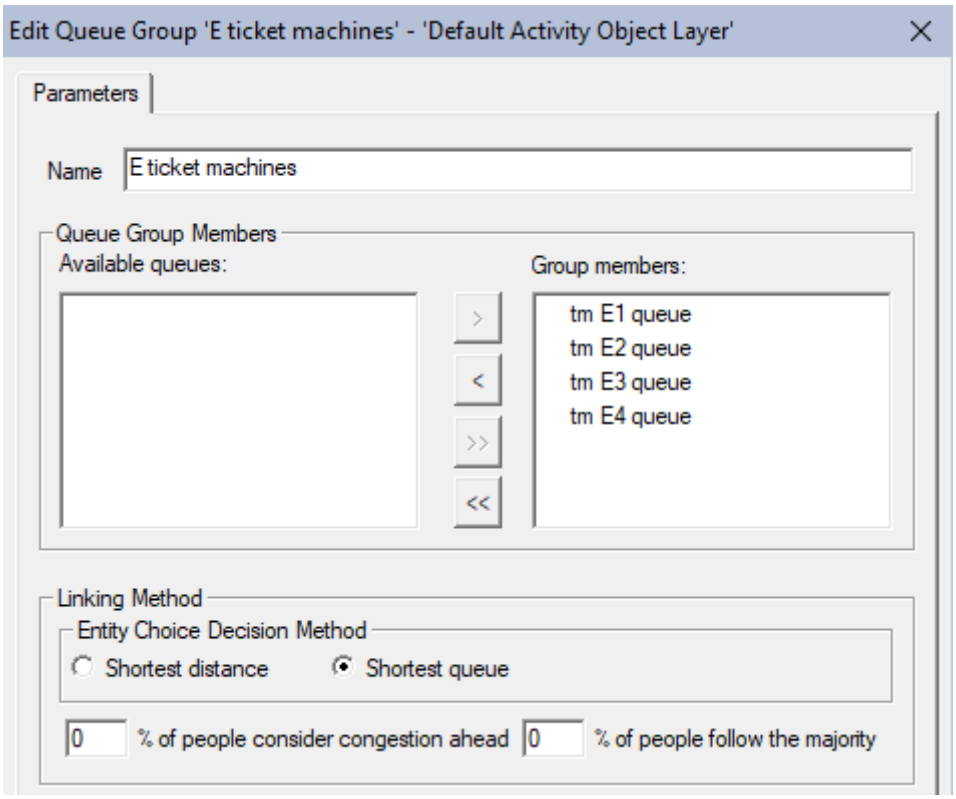
(όπου tm W queue είναι οι ουρές αναμονής που συνδέονται με το QG)

- Το ανατολικό Queue Group, που αποτελείται από 4 μηχανήματα:



Εικόνα 40: Δυτική ομάδα μηχανημάτων αυτόματης πώλησης

Με ρυθμίσεις:



(όπου tm W queue είναι οι ουρές αναμονής που συνδέονται με το QG)

6.3.3.10 Γραφεία Έκδοσης Εισιτηρίων

Δεν υπάρχουν οδηγίες για τον καθορισμό του αριθμού σημείων εξυπηρέτησης της συγκεκριμένης υπηρεσίας. Για τις πρώτες δοκιμές θα ορίσουμε 5 σημεία, τα οποία μπορούμε στη συνέχεια να αυξομειώσουμε ανάλογα με την πορεία της προσομοίωσης. Η λογική της μοντελοποίησής τους είναι όμοια με αυτή των αυτόματων πωλητών. Συγκεκριμένα, κάθε σημείο εξυπηρέτησης μοντελοποιείται με:

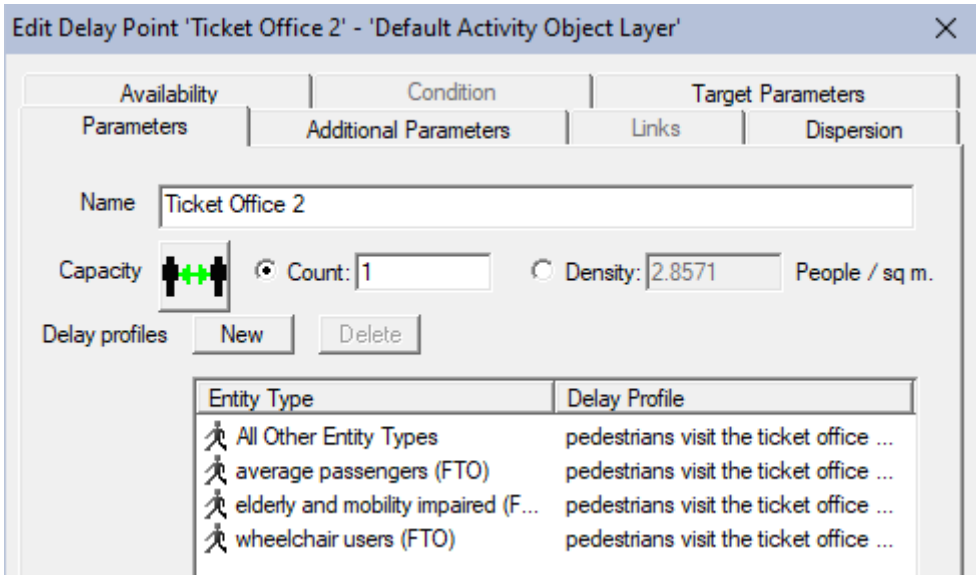
1. Ένα συμβολικό ορθογώνιο CAD που οριοθετεί την θέση του. Εδώ έχει χρησιμοποιηθεί ένα ενιαίο ορθογώνιο για όλα τα σημεία εξυπηρέτησης, αφού δεν αποτελούν απαραίτητα ξεχωριστές μονάδες. Στο ορθογώνιο δίνεται ένα πάχος 10 εκατοστών.

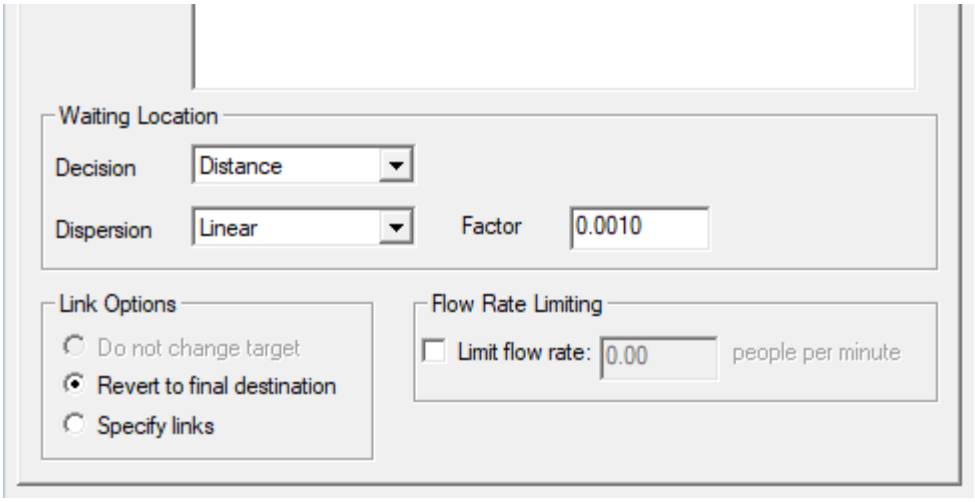
Εικόνα 41: Θέσεις εξυπηρέτησης στα γραφεία έκδοσης εισιτηρίων

2. Ένα σημείο αναμονής (Delay Point) στο οποίο στέκονται οι επιβάτες για όσο χρόνο απαιτείται για να εξυπηρετηθούν από τον υπάλληλο. Σε κάθε DP μπορεί να εισέρχεται ένας επιβάτης την φορά.

Εικόνα 42: Τοποθέτηση DP στα σημεία εξυπηρέτησης

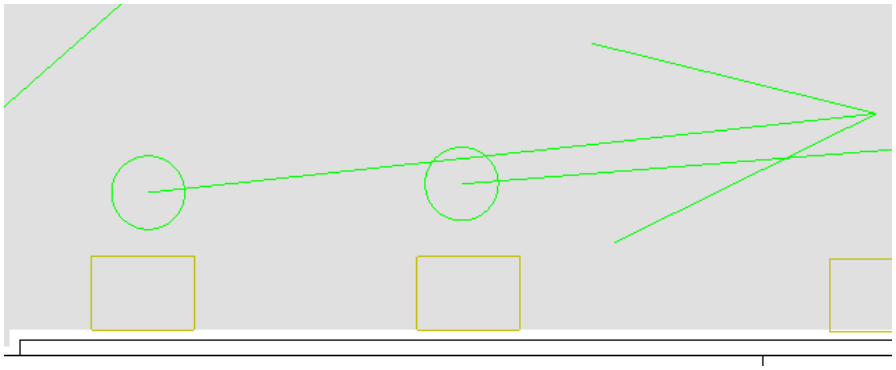
Οι ρυθμίσεις των DP είναι:





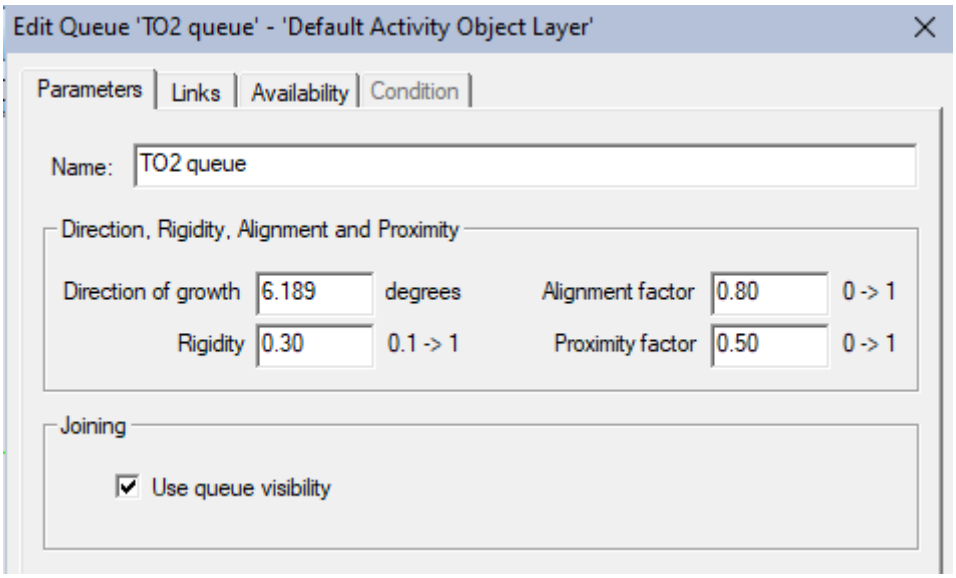
- Υπενθυμίζεται ότι έχουμε χωρίσει τους επιβάτες που επισκέπτονται τα γραφεία έκδοσης σε αυτούς που εξυπηρετούνται γρήγορα (FTO) και σε αυτούς που καθυστερούν (STO). Έτσι, η καθυστέρηση κάθε επιβάτη συνδέεται με το αντίστοιχο Delay Profile, "pedestrians visit the ticket office FAST" ή "pedestrians visit the ticket office SLOW". Αντιστοιχίζουμε όλους τους FTO επιβάτες στο γρήγορο Delay Profile και τους εναπομείναντες στο αργό.
- Ομοίως με πριν, οι μεταβλητές του πεδίου "Waiting Location" δεν έχουν επίδραση στην προσομοίωση, καθώς στο DP εισέρχεται και εξυπηρετείται 1 επιβάτης την φορά.
- Μετά το πέρας της καθυστέρησης οι επιβάτες συνεχίζουν την διαδρομή τους προς τον τελικό τους προορισμό.

3. Μια ουρά αναμονής (Queue) όπου θα περιμένουν οι επόμενοι επιβάτες για να εξυπηρετηθούν.

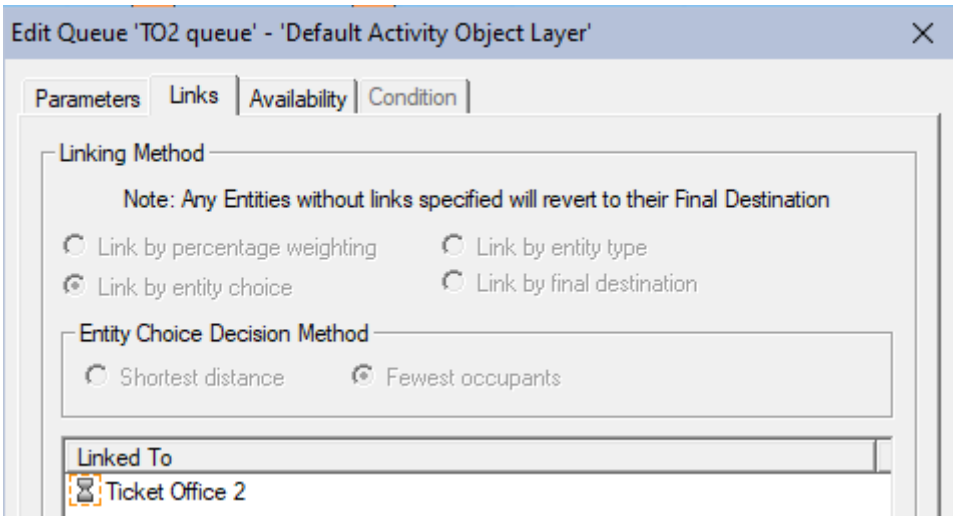


Εικόνα 43: Ουρές αναμονής για τα σημεία εξυπηρέτησης

Οι ρυθμίσεις σε κάθε ουρά είναι:

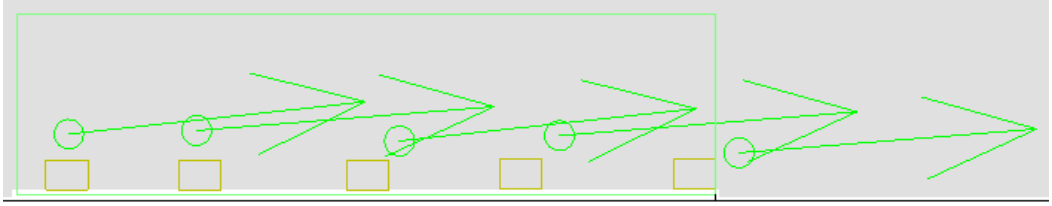


- Το "Direction of growth" εξαρτάται από τον προσανατολισμό του βέλους που ορίσαμε.
- Δεδομένου ότι οι επιβάτες βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής, θα παρουσιάζουν πιο χαλαρή συμπεριφορά από αυτούς που περιμένουν να περάσουν από τις πύλες. Για αυτό ορίζουμε και πάλι "Alignment Factor" = 0.80 και "Proximity factor" = 0.50.
- Λόγω του ότι πιθανώς να βρίσκονται σε σημείο διέλευσης επιβατών (από εκεί περνούν υποχρεωτικά και οι επιβάτες που χρησιμοποιούν τον ανελκυστήρα), οι άνθρωποι που περιμένουν στην ουρά θα έχουν υπόψιν τους ότι ίσως εμποδίζουν την διέλευση και έτσι θα είναι πιο ανεκτικοί στο να αφήσουν ανθρώπους να περάσουν από μπροστά τους. Επίσης θα πρέπει να επιτρέπουν σε όσους εξυπηρετήθηκαν να απομακρύνονται από τη περιοχή. Για αυτό, ο αντίστοιχος δείκτης "Rigidity" ορίζεται 0.30.

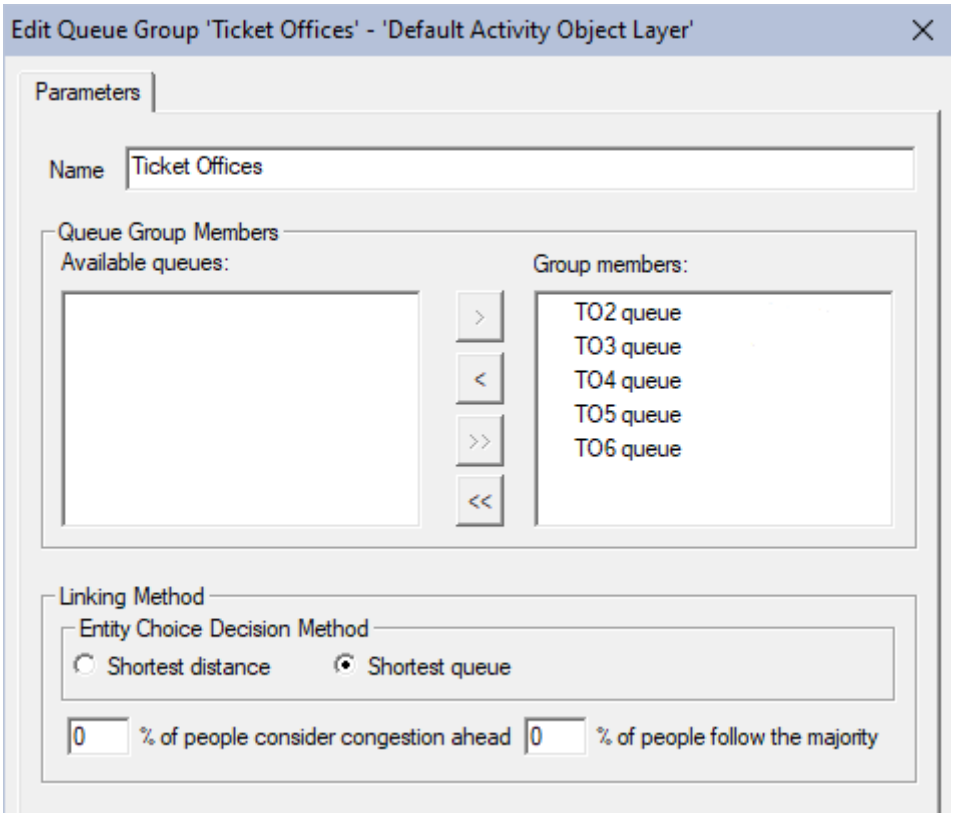


- Κάθε ουρά αναμονής είναι συνδεδεμένη με το αντίστοιχο DP.

4. Ένταξη σε Queue Group, κάτι που όμοια με πριν είναι απαραίτητο για την μοντελοποίηση. Αρκεί ένα Queue Group για όλα τα σημεία εξυπηρέτησης:



Εικόνα 44: Queue Group για τα σημεία εξυπηρέτησης



(όπου TO queue είναι οι ουρές αναμονής που συνδέονται με το QG. Η αρίθμηση στα ονόματα δεν έχει σημασία.)

6.3.3.11 Έλεγχος Συμπεριφοράς Επιβατών

Στη συνέχεια θα γίνει περιγραφή των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για να μοντελοποιηθεί η συμπεριφορά των επιβατών μέσα στο μοντέλο, οι προτιμήσεις τους και οι ενδιάμεσοι στόχοι τους πριν φτάσου στον τελικό τους προορισμό. Το πιο σύνηθες εργαλείο είναι το Direction Modifier.

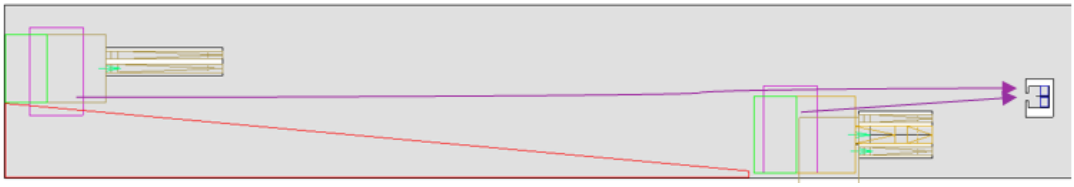
6.3.3.11.1 <u>Χρήση ανελκυστήρων από συγκεκριμένη ομάδα επιβατών:</u>

Ένα ποσοστό (έστω 5%) του τύπου “elderly and mobility impaired” και το 100% του τύπου “wheelchair users” προτιμά να χρησιμοποιεί ανελκυστήρες έναντι των κυλιόμενων ή σταθερών κλιμάκων. Για αυτό, σε κατάλληλα σημεία μέσα στον σταθμό, τοποθετείται για τον κάθε τύπο DM (μοβ πλαίσια). Οι επιβάτες που βαδίζουν μέσα από το DM αποκτούν ως

ενδιάμεσο στόχο να χρησιμοποιήσουν τον ανελκυστήρα, δηλαδή να περάσουν μέσα από το αντίστοιχο Mesoscopic Transit Zone.

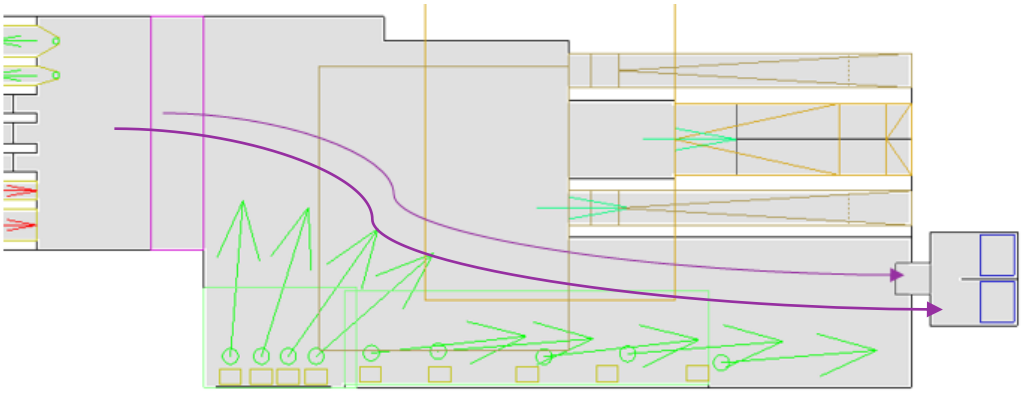
Τα σημεία όπου τοποθετούνται DM (2 DM κάθε φορά, το ένα ακριβώς πάνω από το άλλο) είναι τα ακόλουθα:

1. Μπροστά στην ανατολική είσοδο (E level 0) και την δυτική είσοδο (W level 0) για τον ανελκυστήρα που συνδέει τα επίπεδα 0 και 2:



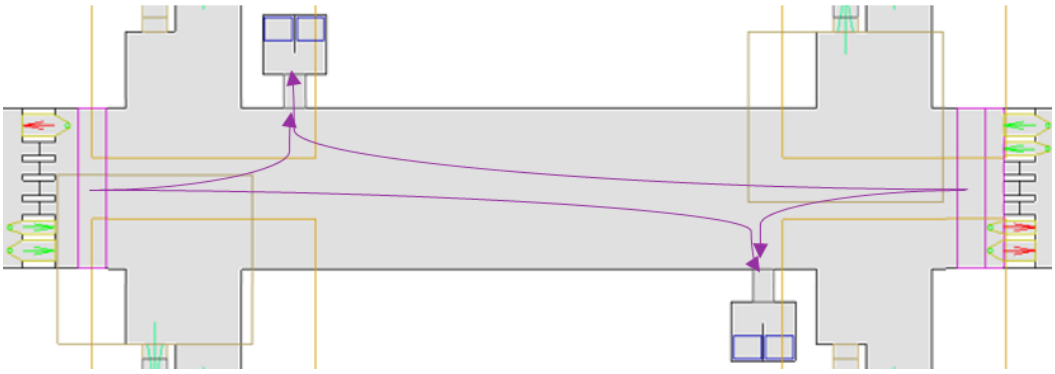
Εικόνα 45: DM που οδηγούν στον ανελκυστήρα για κάθοδο στο επίπεδο 2

2. Μετά την ανατολική γραμμή πυλών για τον ανελκυστήρα που συνδέει τα επίπεδα 0 και 2:



Εικόνα 46: DM που οδηγούν στον ανελκυστήρα για άνοδο στο επίπεδο 0

3. Μετά τις 2 γραμμές πυλών, για τους ανελκυστήρες που συνδέουν τα επίπεδα 2 και 3. Υπάρχουν 4 DM μετά την ανατολική και 2 μετά την δυτική πύλη (πίνακας 19).

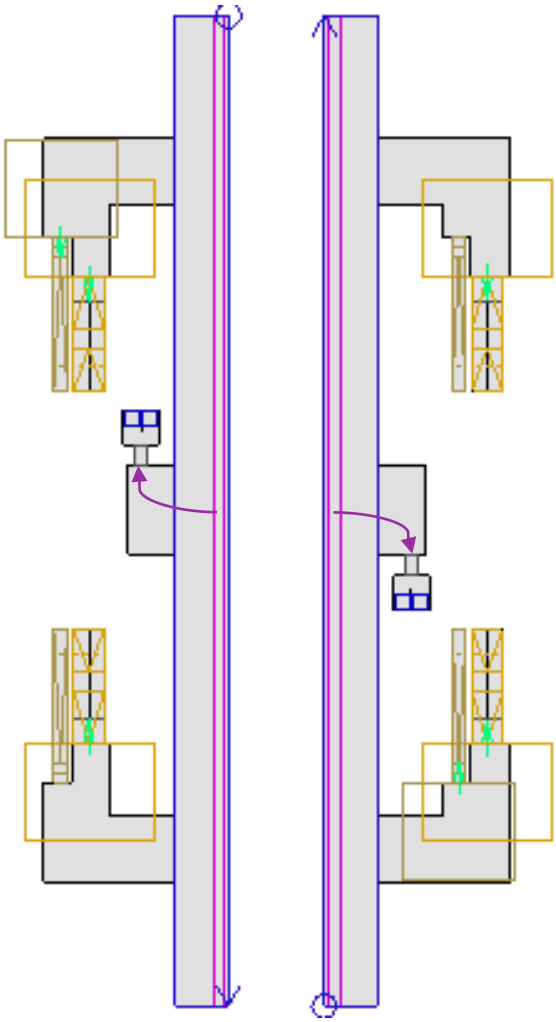


Εικόνα 47: DM που οδηγούν στον ανελκυστήρα για κάθοδο στο επίπεδο 3

ΤΥΠΟΣ ΕΠ. \ ΘΕΣΗ	W πύλες	Ε πύλες
“elderly and mobility impaired”	• DM για το W lift • DM για το E lift	• DM για το W lift • DM για το E lift
“wheelchair users”	- (δεν διέρχονται)	• DM για το W lift • DM για το E lift

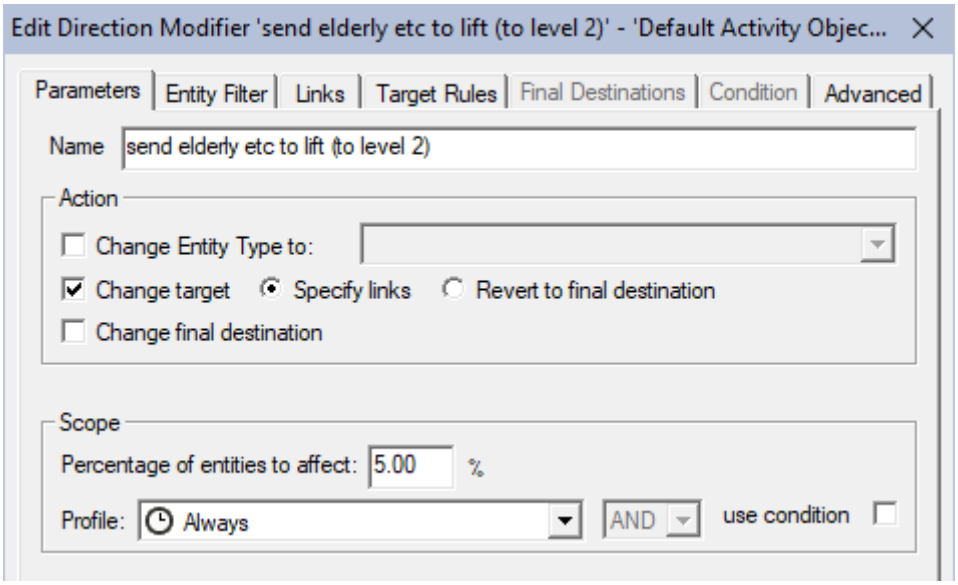
Πίνακας 19: DM που χρησιμοποιούνται στο 2ο επίπεδο για κάθοδο στο 3ο επίπεδο

4. Στις δύο αποβάθρες, για τους ανελκυστήρες που συνδέουν τα επίπεδα 2 και 3.

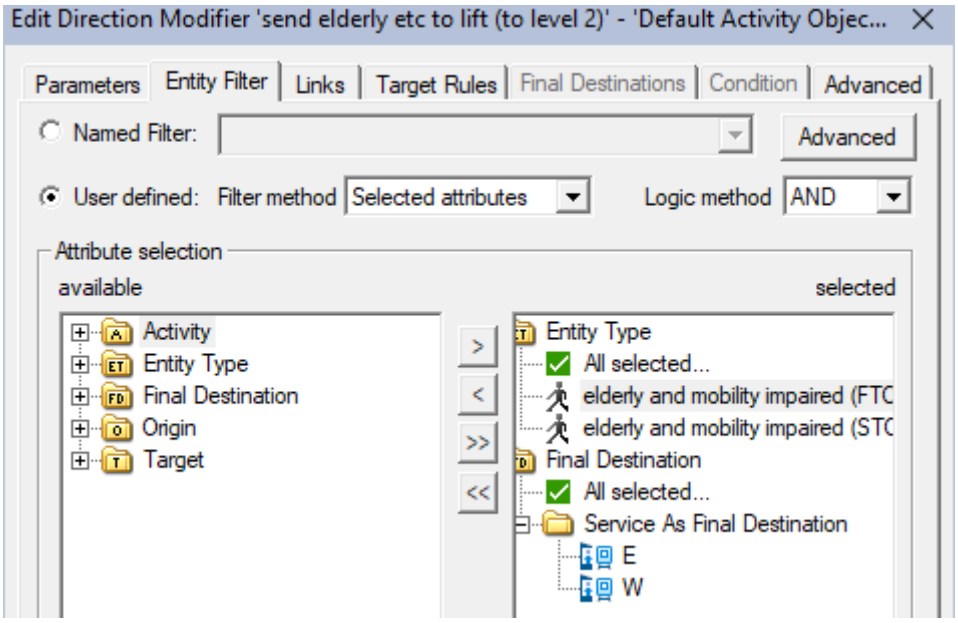


Εικόνα 48: DM που οδηγούν στους ανελκυστήρες για άνοδο στο επίπεδο 2

Οι ρυθμίσεις για τα DM έχουν ως εξής:

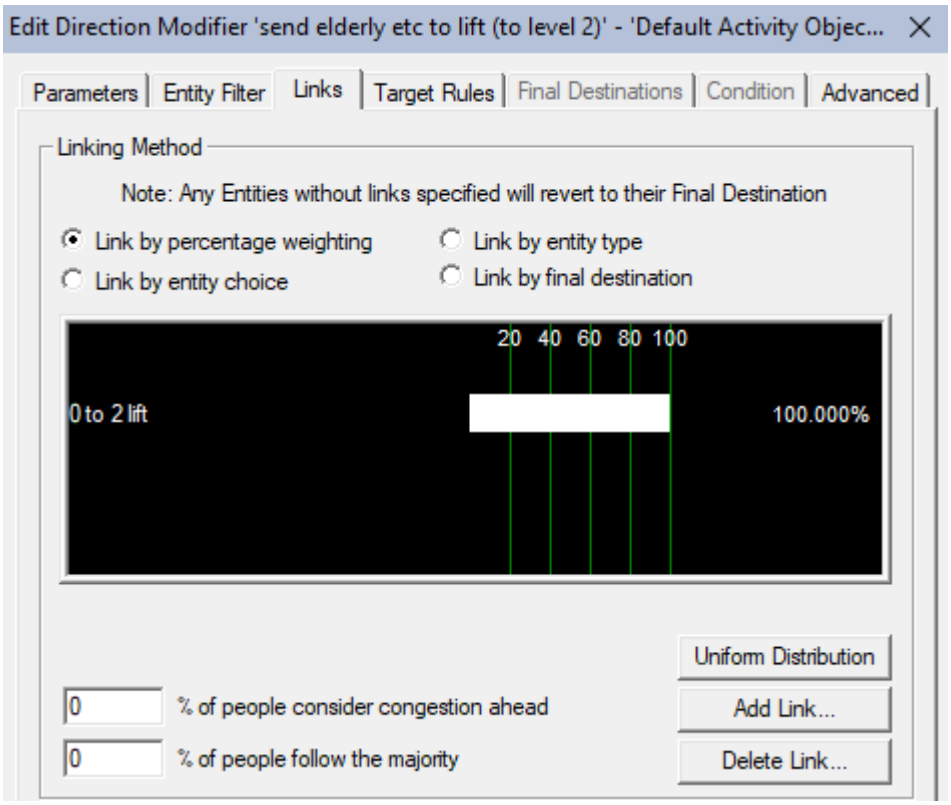


- το DM επηρεάζει το 5% των επιβατών της κατηγορίας “elderly and mobility impaired” και αντίστοιχα το 100% των επιβατών της κατηγορίας “wheelchair users”.



- Με κατάλληλα φίλτρα, το DM ρυθμίζεται ώστε να επηρεάζει τον επιθυμητό τύπο επιβατών.
- Χρησιμοποιείται ως επιπλέον φίλτρο ο τελικός προορισμός των επιβατών, ώστε να μην επηρεάζονται επιβάτες που δεν χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν ανελκυστήρες.

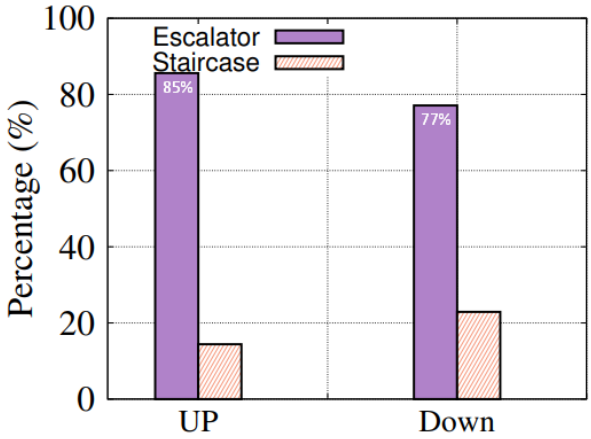
  Για παράδειγμα, στα DM του επιπέδου 0 (εικόνα 45), ρυθμίζεται να επηρεάζονται μόνο οι επιβάτες με τελικό προορισμό έναν από τους συρμούς, δηλαδή αυτοί που θέλουν να φτάσουν από το επίπεδο 0 στο επίπεδο 2. Έτσι, τυχόν επιβάτες που μόλις βγήκαν από τον σταθμό, δεν θα οδηγηθούν να χρησιμοποιήσουν τον ανελκυστήρα και να επιστρέψουν στον σταθμό. Με την ίδια λογική ορίζονται τα φίλτρα σε όλα τα DM.



- Για κάθε DM, ορίζεται ως ενδιάμεσος στόχος το MTZ που αντιστοιχεί στον ανάλογο ανελκυστήρα.

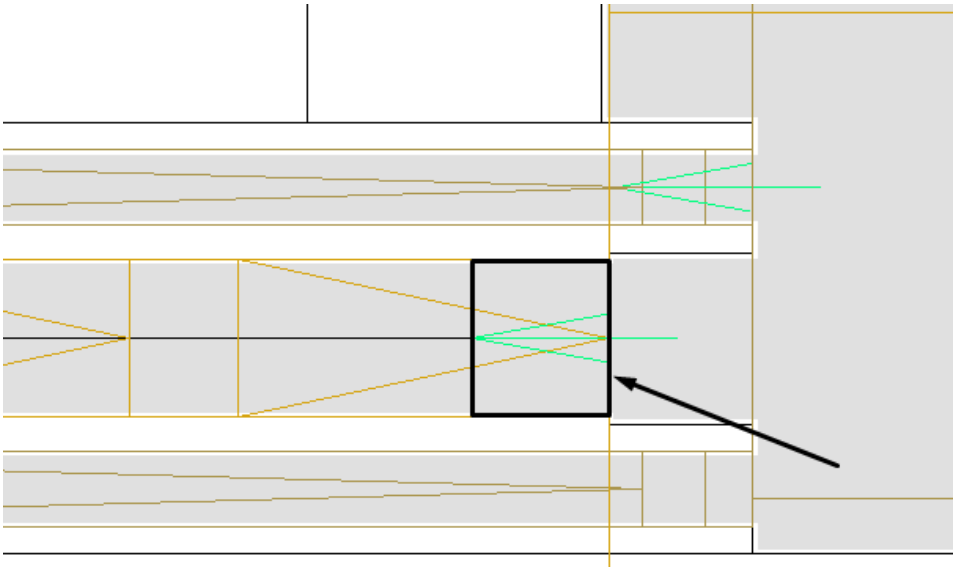
6.3.3.11.2 Προτίμηση επιβατών να χρησιμοποιήσουν τις κυλιόμενες κλίμακες

Η συμπεριφορά που παρατηρείται συνήθως είναι ότι οι επιβάτες προτιμούν τις κυλιόμενες κλίμακες ακόμα και αν οι σταθερές κλίμακες είναι λιγότερο συνωστισμένες. Από ένα σημείο και έπειτα, όμως, η ανάγκη να φτάσουν γρηγορότερα στον προορισμό τους υπερισχύει της λιγότερο κουραστικής επιλογής, οπότε συνεχίζουν την πορεία τους περνώντας από τις σταθερές κλίμακες (αυτό παρατηρείται ιδίως κατά την κάθοδο προς τις πλατφόρμες). Τα ποσοστά που αποδίδουν αυτή τη συμπεριφορά σε ώρα αιχμής, σύμφωνα με μελέτη[22] φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα:



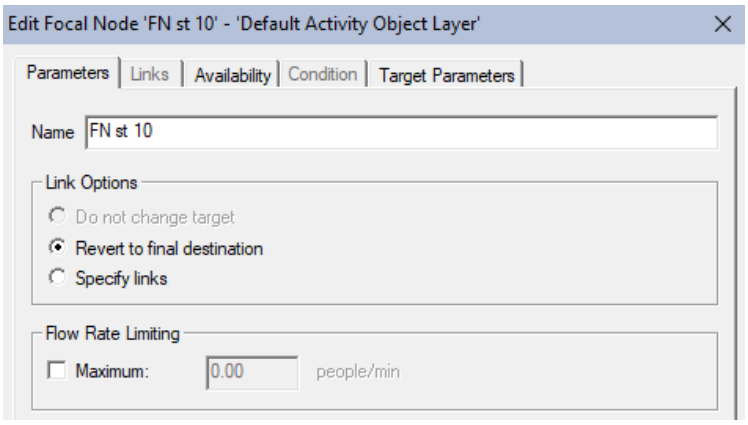
Διάγραμμα 6: Προτιμήσεις επιβατών κατά την χρήση κλιμάκων

Προκειμένου να μοντελοποιηθεί αυτό, αρχικά χρειάζεται ένα FN (μαύρο παραλληλόγραμμο) στο σημείο εισόδου κάθε σταθερής κλίμακας. Ενδεικτικά:



Εικόνα 49: FN στα σημεία πρόσβασης των ακίνητων κλιμάκων

Τα FN αυτά δεν απαιτούν κάποια ειδική ρύθμιση, παρά μόνο ότι οι επιβάτες που περνάνε μέσα από αυτά επιστρέφουν έπειτα στην αρχική τους διαδρομή.



Μετά θα πρέπει όλες οι κυλιόμενες κλίμακες του μοντέλου να μετατραπούν από Filtering Objects σε Target Objects, προκειμένου να αποκτήσουμε τον επιθυμητό έλεγχο στις επιλογές ων επιβατών.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: η διαφορά μεταξύ των Target και Filtering objects εξηγείται στον πίνακα 16, στο κεφάλαιο 6.3.3.5.

Στη συνέχεια ορίζονται τα DM (μοβ παραλληλόγραμμο) μπροστά από τις κλίμακες, με τρόπο ώστε να περνούν μέσα από αυτά υποχρεωτικά όλοι οι επιβάτες που επιθυμούν να τις χρησιμοποιήσουν. Θα χρειαστούν δύο διαφορετικά DM σε κάθε σημείο, ένα για τον τύπο οντοτήτων “average passengers” και ένα για τον τύπο “elderly/mobility impaired”. Θεωρούμε ότι οι πρώτοι καλύπτουν όλο το ποσοστό ανθρώπων που επιλέγουν σταθερές κλίμακες (15% σε άνοδο και 23% σε κάθοδο) ενώ οι δεύτεροι επιλέγουν αποκλειστικά τις κυλιόμενες.

Οι “average passengers” θα αποτελούν το 60%-68% των επιβατών (βλ. κεφάλαιο «Εκδοχές Του Μοντέλου»), επομένως κατά μέσο όρο θα συντελούν το 64% των επιβατών.

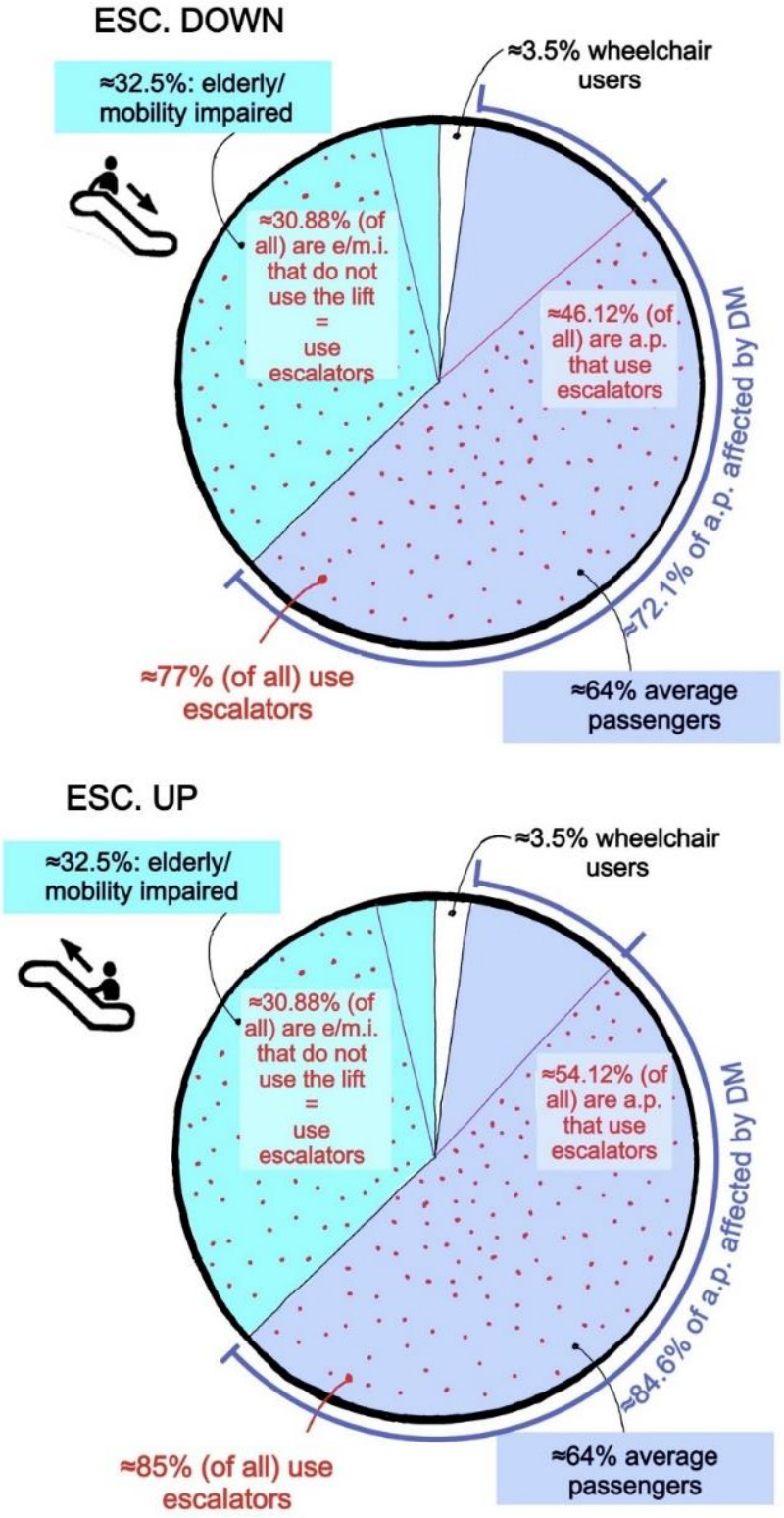
Ένα 32.5% θα αποτελείται από επιβάτες τύπου “elderly/mobility impaired”, με το 5% αυτών να χρησιμοποιεί ανελκυστήρες και το υπόλοιπο 95% να επιλέγει αποκλειστικά κυλιόμενες κλίμακες.

Τέλος, ένα 3.5% θα αποτελείται από “wheelchair users”, οι οποίοι θα χρησιμοποιούν αποκλειστικά ανελκυστήρες.

Για να επιτευχθούν τα επιθυμητά ποσοστά (διάγραμμα 7) κατά προσέγγιση, θα χρειαστούν δύο DM σε κάθε σημείο, ένα για τους “average passengers” και ένα για τους “elderly/ mobility impaired”. Τα πρώτα DM θα επηρεάζουν το 72,1% των επιβατών στην κάθοδο και το 84,6% των επιβατών στην άνοδο. Τα ποσοστά αυτά προκύπτουν με κατάλληλες πράξεις (πίνακας 20) και εξηγούνται αναλυτικά στο διάγραμμα 7. Τα δεύτερα DM θα επηρεάζουν το 100% των “elderly/ mobility impaired”, οδηγώντας τους στις κυλιόμενες κλίμακες.

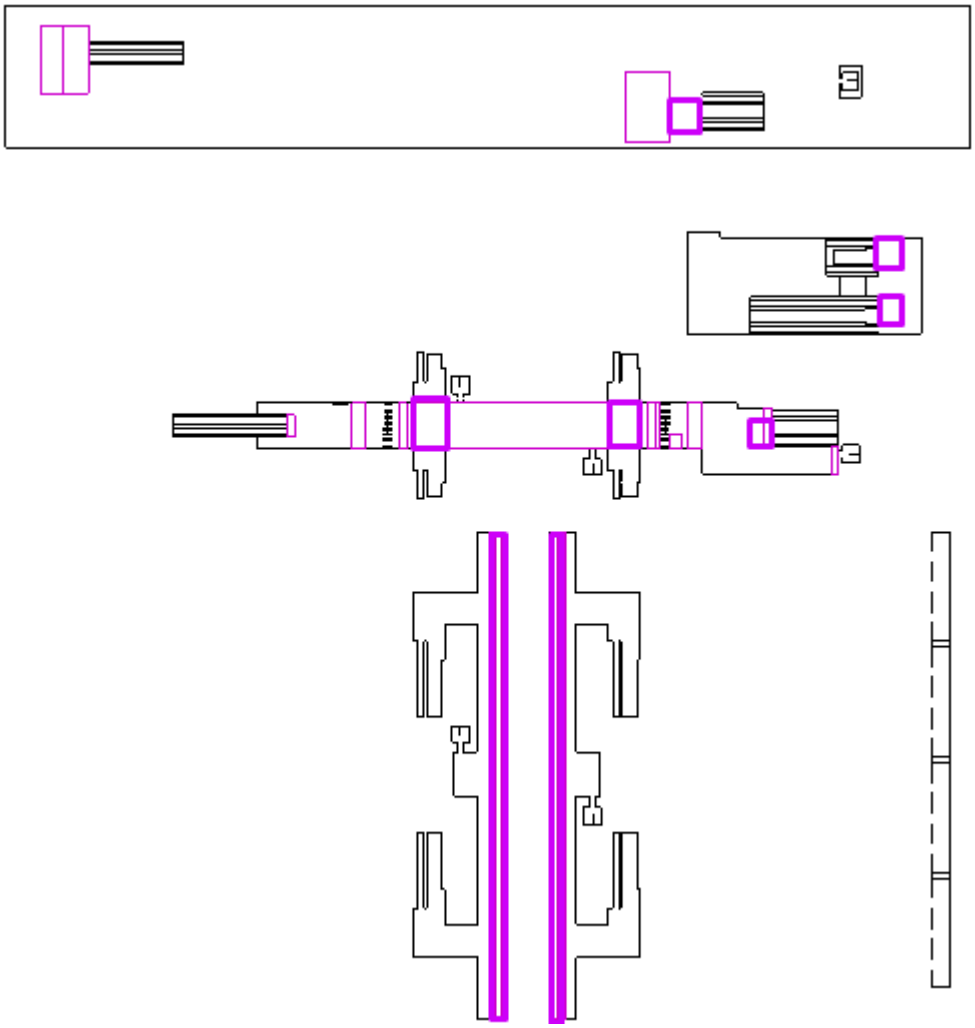
	Ποσοστό που χρησιμοποιεί κυλ. Κλίμακες (επί του συνόλου των επιβατών)	
	ΑΝΟΔΟΣ	ΚΑΘΟΔΟΣ
ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ:	**85%**	**77%**
"wheelchair users" κατά ΜΟ συνολικά	3,50%	3,50%
% των "wheelchair users" που χρησιμοποιεί ανελκυστήρα	100,00%	100,00%
% των "wheelchair users" που χρησιμοποιεί κυλιόμενες κλ.	0,00%	0,00%
"elderly/mobility impaired" κατά ΜΟ συνολικά	32,50%	32,50%
% των "elderly/mobility impaired" που χρησιμοποιεί ανελκυστήρα	5,00%	5,00%
% των "elderly/mobility impaired" που χρησιμοποιεί κυλιόμενες κλ.	30,88%	30,88%
ποσοστό "av.pas." επί των επιβατών κατά ΜΟ	64%	64%
ποσοστό "av.pas." που επηρεάζεται από DM και χρησιμοποιεί κυλιόμενες κλ.	84,6%	72,1%
επιθυμητό % των "average passengers" που χρησιμοποιεί κυλιόμενες κλ.	54,13%	46,13%

Πίνακας 20: Υπολογισμός ποσοστών που θα καθοδηγούν τις οντότητες στις κυλιόμενες κλίμακες



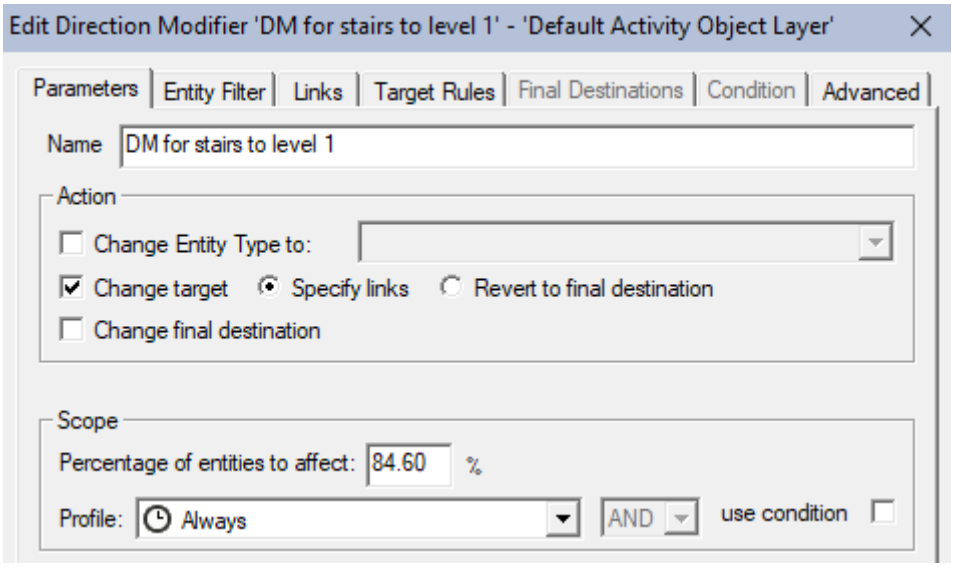
Διάγραμμα 7: Ποσοστά επιβατών ανά τύπο οντότητας στην χρήση καθοδικών και ανοδικών κλιμάκων

Παρακάτω φαίνονται τα σημεία του μοντέλο όπου τοποθετούνται αυτά τα DM (μοβ παραλληλόγραμμα με παχιές γραμμές).

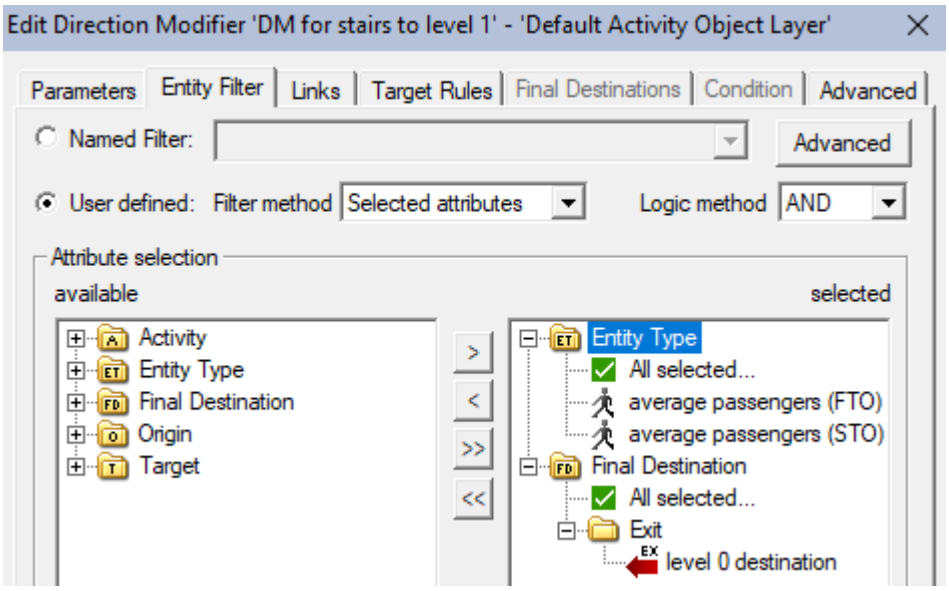


Εικόνα 50: Σημεία τοποθέτησης DM που οδηγούν στις κλίμακες

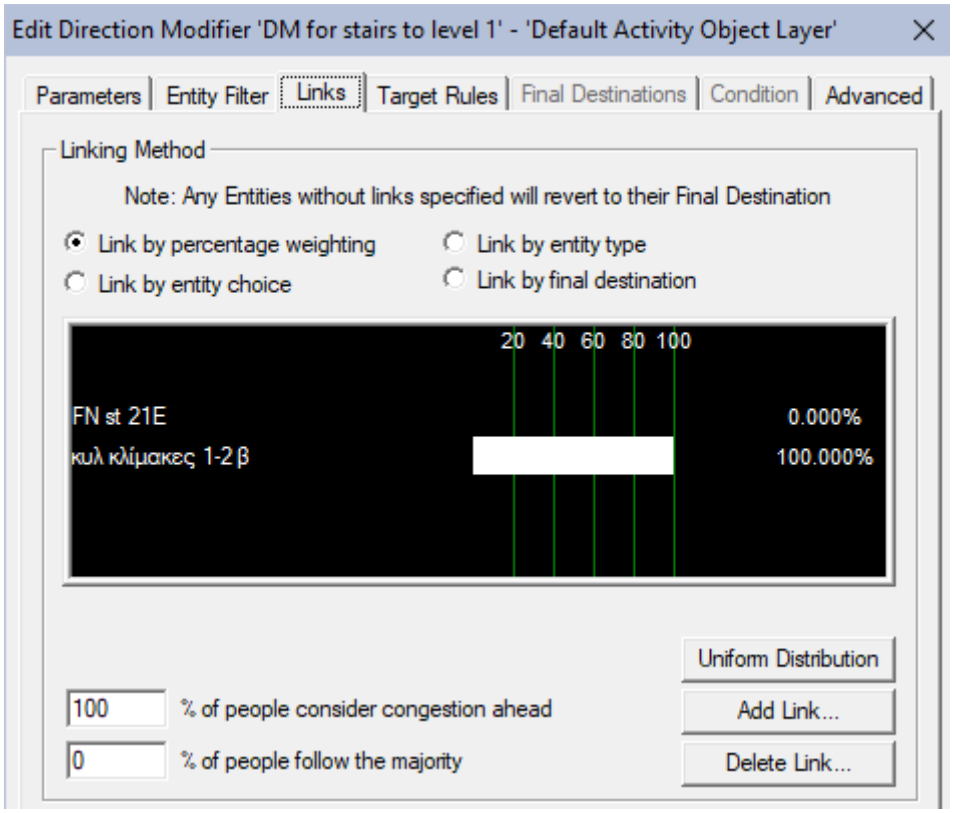
Οι ρυθμίσεις των DM που αφορούν “average passengers” είναι:



- Αυτό το DM αφορά το 84.6% των “average passengers” που το διασχίζουν όταν πρόκειται για άνοδο και το 72.1% όταν πρόκειται για κάθοδο.

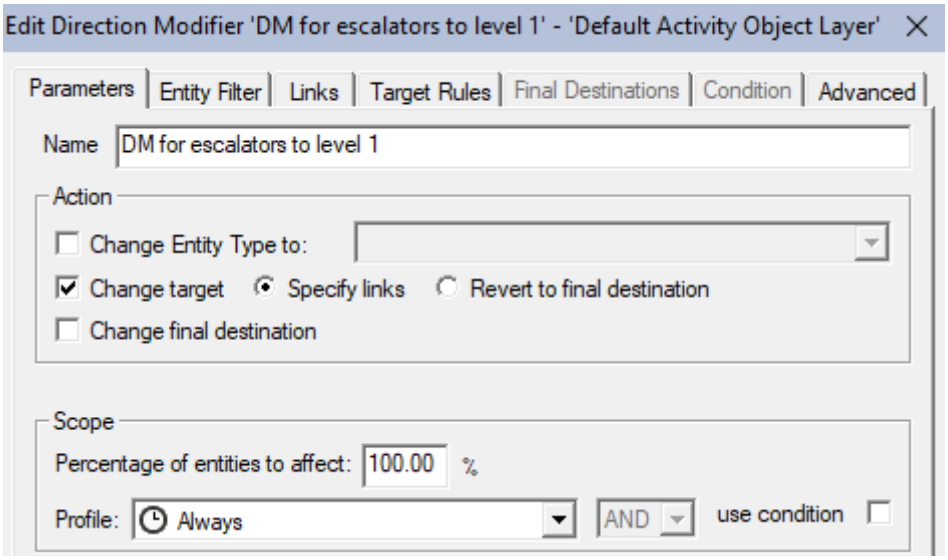


- Επιλέγουμε η συμπεριφορά αυτή να επηρεάζει μόνο οντότητες τύπου “average passengers”.
- Ο τελικός προορισμός χρησιμοποιείται επίσης ως φίλτρο για την αποφυγή του να επηρεαστούν επιβάτες που κατευθύνονται προς την αντίθετη κατεύθυνση.

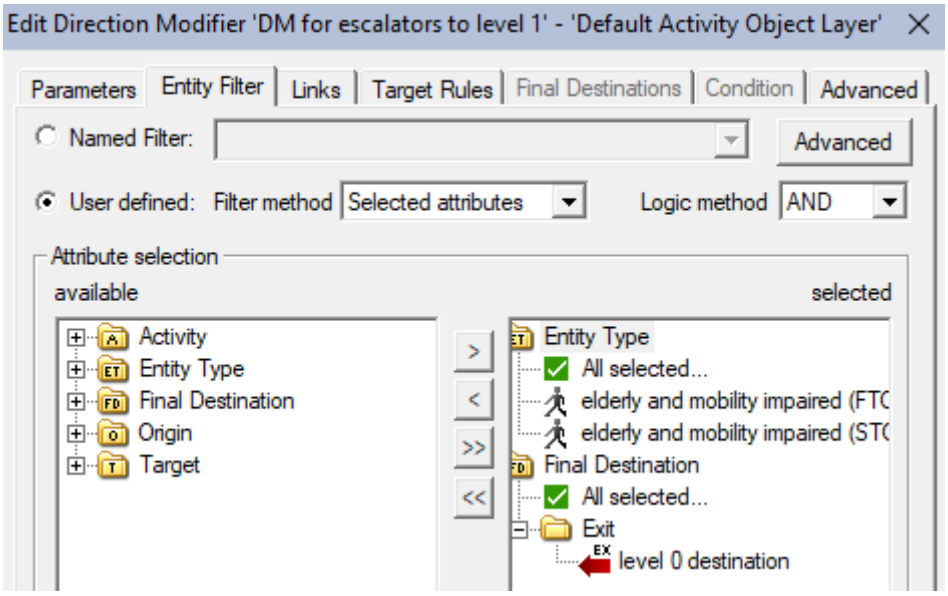


- Για να αποδοθεί η προτίμηση των επιβατών στις κυλιόμενες με την δυνατότητα χρήσης σταθερών κλιμάκων, ορίζουμε έναν στόχο (link) για την εκάστοτε κυλιόμενη κλίμακα και έναν για το FN της σταθερής κλίμακας. Δίνεται 100% βαρύτητα στις κυλιόμενες και 0% βαρύτητα στις σταθερές κλίμακες.
- Το 100% των επιβατών θα λαμβάνει υπόψιν τον συνωστισμό. Τις πρωινές ώρες οι άνθρωποι τείνουν να βρίσκονται υπό πίεση χρόνου και επιθυμούν να προλάβουν το νωρίτερο δυνατό δρομολόγιο ή να βγουν όσο γίνεται γρηγορότερα από τον σταθμό.

Οι ρυθμίσεις των DM που αφορούν “elderly/ mobility impaired” είναι:

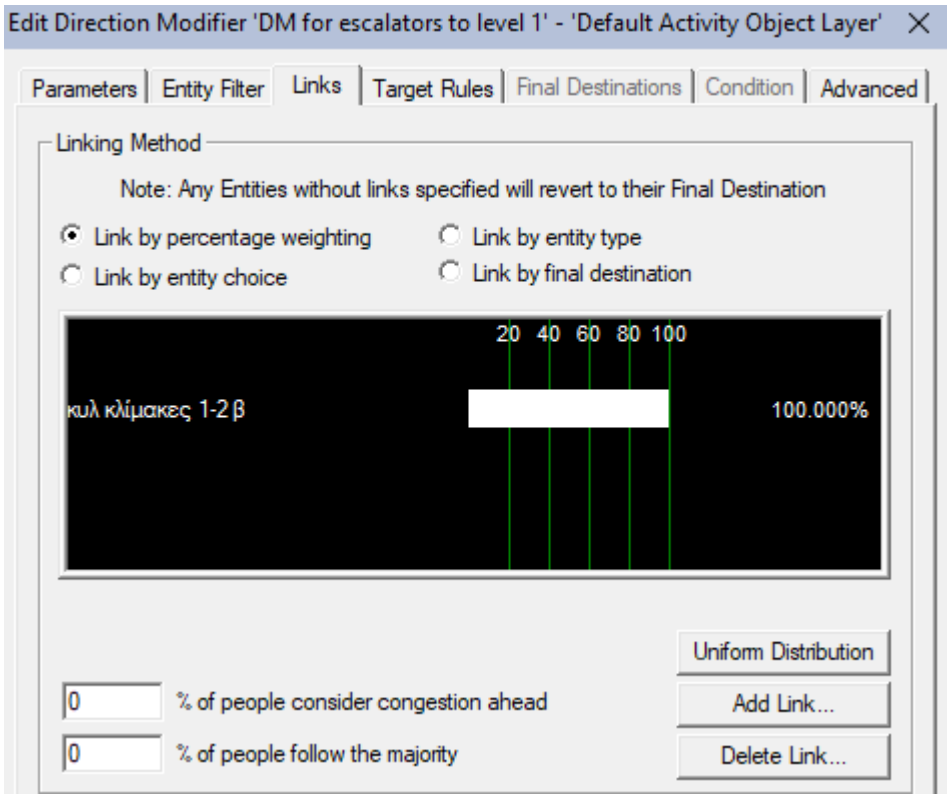


- Όπως ειπώθηκε, το 100% των επιβατών αυτών θα επηρεάζεται από το DM.



- Επιλέγεται ο επιθυμητός τύπος οντοτήτων.

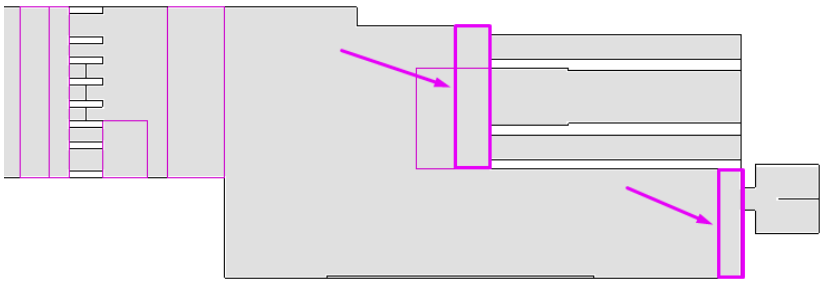
- Ο τελικός προορισμός χρησιμοποιείται επίσης ως φίλτρο για την αποφυγή του να επηρεαστούν επιβάτες που κατευθύνονται προς την αντίθετη κατεύθυνση.



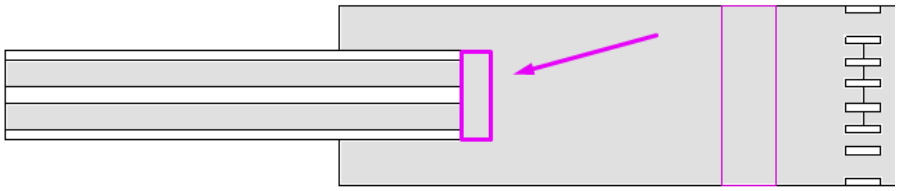
- Όλες οι οντότητες οδηγούνται σε κυλιόμενη κλίμακα.

6.3.3.11.3 <u>Επιβάτες κάνουν στάση από τους αυτόματους πωλητές ή τα γραφεία έκδοσης</u>

Ένα ποσοστό των επιβατών που εισέρχονται στον σταθμό (ενδεικτικά το 25%), πριν προχωρήσει προς τις πύλες εισόδου, πρέπει να κάνει μια στάση για να αγοράσει εισιτήρια, να πάρει πληροφορίες ή να καλύψει κάποια άλλη ανάγκη.
Αυτό θα μοντελοποιηθεί με 3 DM, 2 στην ανατολική και 1 στην δυτική πλευρά του σταθμού. Τοποθετούνται όπως φαίνεται παρακάτω (εικόνες 51 και 52):

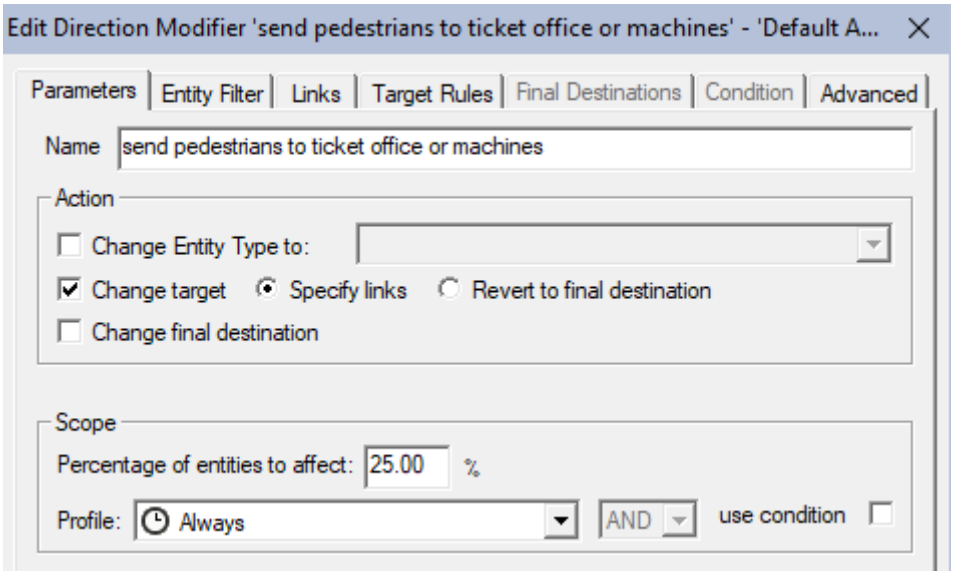


Εικόνα 51: DM στην ανατολική ελεύθερη ζώνη

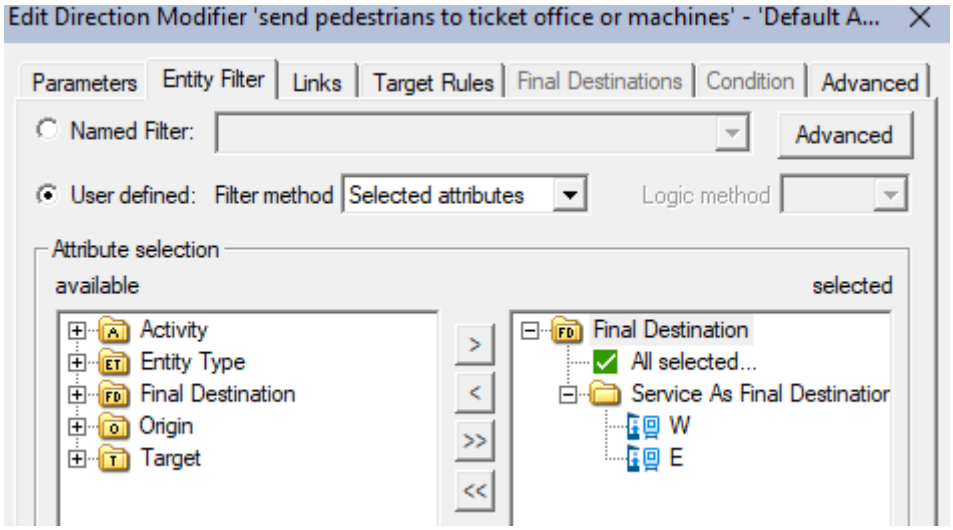


Εικόνα 52: DM στην δυτική ελεύθερη ζώνη

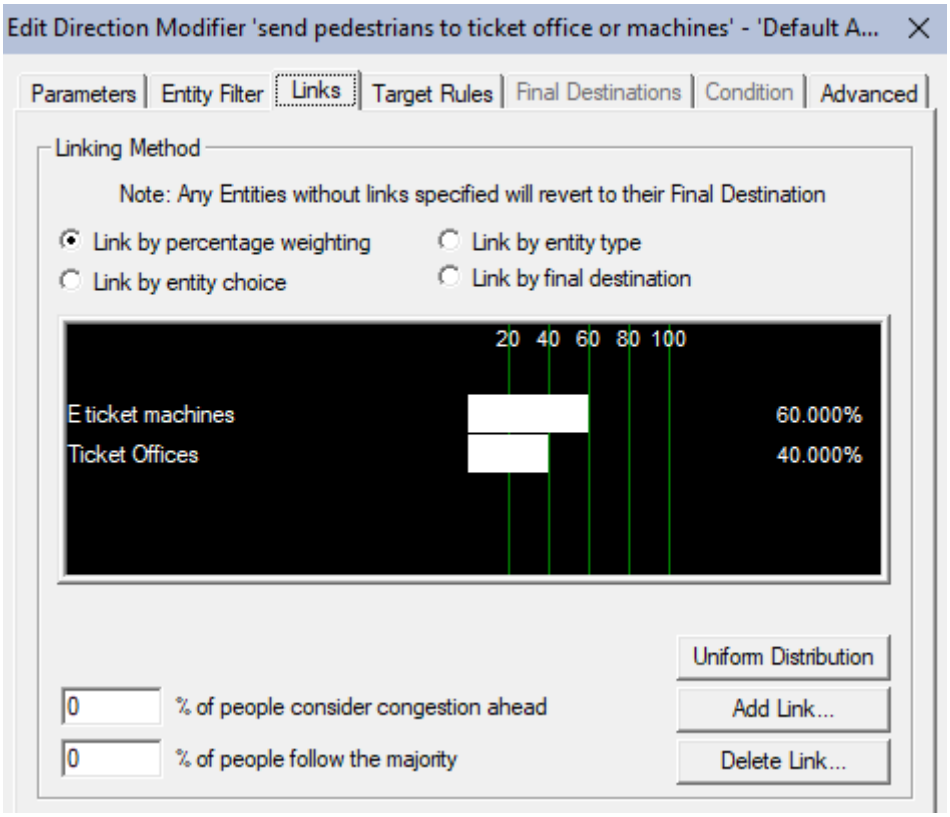
Τα ανατολικά DM στέλνουν τους επιβάτες τόσο στους αυτόματους πωλητές όσο στα γραφεία έκδοσης, ενώ τα δυτικά μόνο σε αυτόματους πωλητές. Αναλυτικότερα, οι ρυθμίσεις έχουν ως εξής:



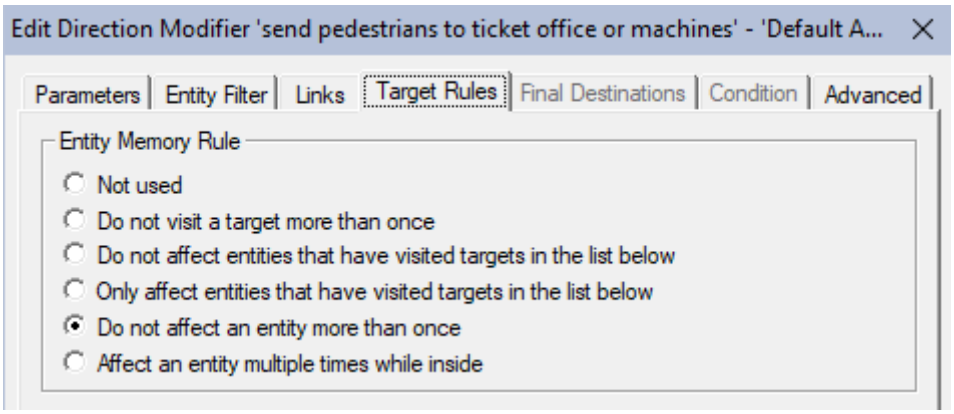
- Όπως αναφέρθηκε ήδη, τα συγκεκριμένα DM επηρεάζουν ενδεικτικά το 25% των επιβατών. Αντίστοιχα για το δυτικό DM, ορίζουμε 20%.



- Ο τελικός προορισμός χρησιμοποιείται ως φίλτρο για την αποφυγή του να επηρεαστούν επιβάτες που κατευθύνονται προς την αντίθετη κατεύθυνση.



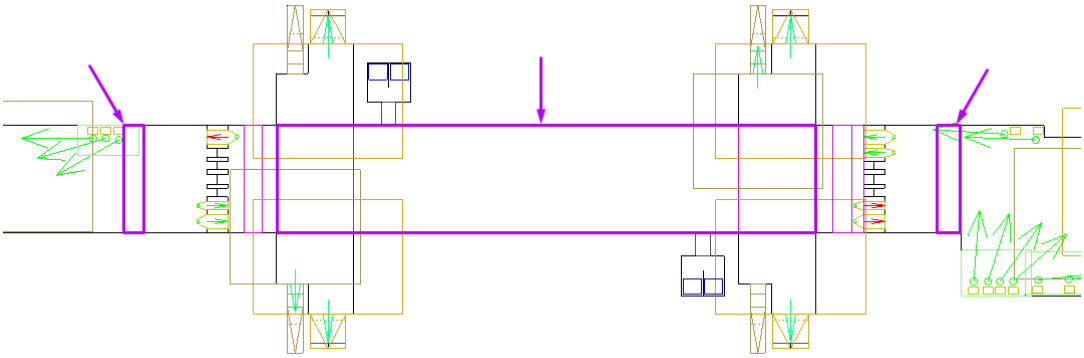
- Στα ανατολικά DM υπάρχουν links για τα Queue Groups που δημιουργήσαμε στα κεφάλαια «Αυτόματοι Πωλητές Εισιτηρίων» και «Γραφεία Έκδοσης Εισιτηρίων». Το ποσοστό που αντιστοιχεί στην κάθε υπηρεσία δεν μπορούμε να το γνωρίζουμε. Ενδεικτικά ορίζουμε 60% και 40% αντίστοιχα.



- Για πρώτη φορά θα οριστεί κάποιο Entity Rule, και συγκεκριμένα η επιλογή να επηρεάζεται κάθε επιβάτης μόνο μια φορά κατά την παραμονή του στο σύστημα. Αυτό γίνεται γιατί σε περιπτώσεις συνωστισμού μπορεί κάποιος επιβάτης να ξαναβρεθεί αναγκαστικά στην περιοχή του DM, ενώ έχει ήδη κάποιον στόχο (να αγοράσει εισιτήρια για παράδειγμα). Τότε πιθανώς να αλλάξει ο στόχος του, κάτι που δεν είναι επιθυμητό.

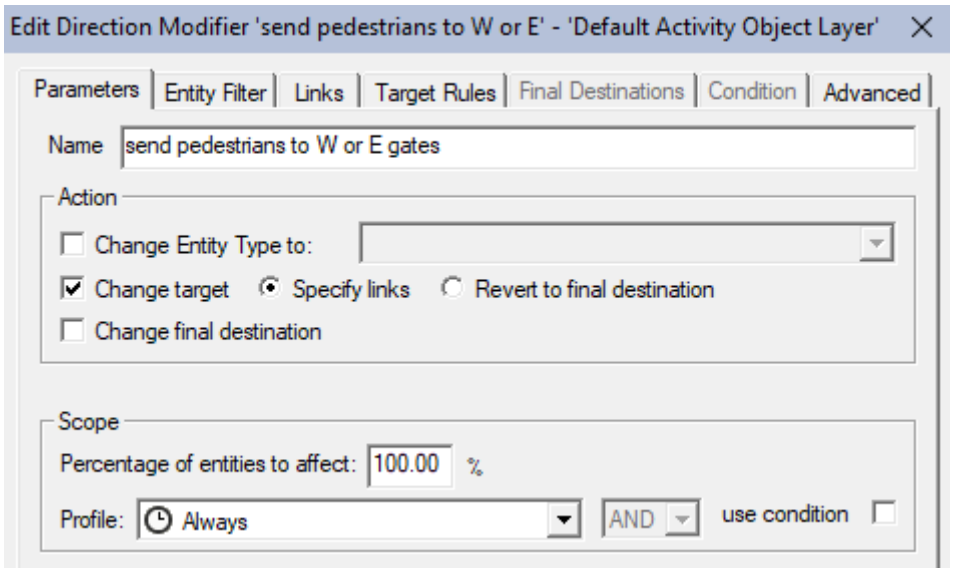
6.3.3.11.4 Καθοδήγηση των επιβατών μέσα από τις πύλες εισόδου/εξόδου.

Προκειμένου να περάσουν οι οντότητες μέσα από τις πύλες, θα πρέπει να οριστούν σε αυτούς ως ενδιάμεσοι στόχοι μέσα από DM. Οι επιβάτες με αναπηρικό αμαξίδιο εξαιρούνται, θα δημιουργηθεί σε επόμενη φάση ειδικό DM για αυτούς.
Τα σημεία στα οποία τοποθετούνται τα DM αυτά φαίνονται παρακάτω:

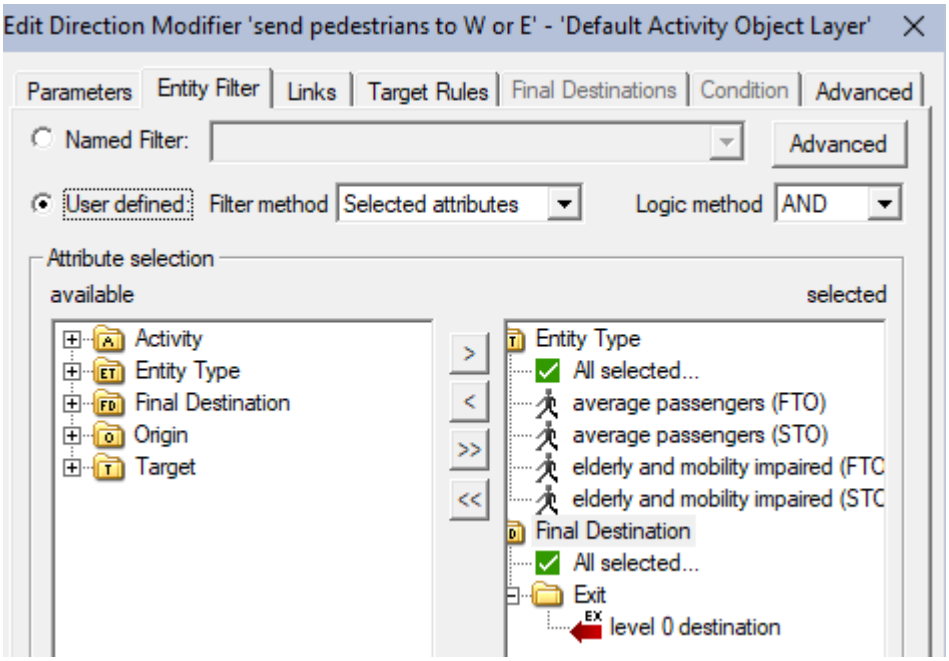


Εικόνα 53: DM για καθοδήγηση επιβατών με αναπηρικό αμαξίδιο

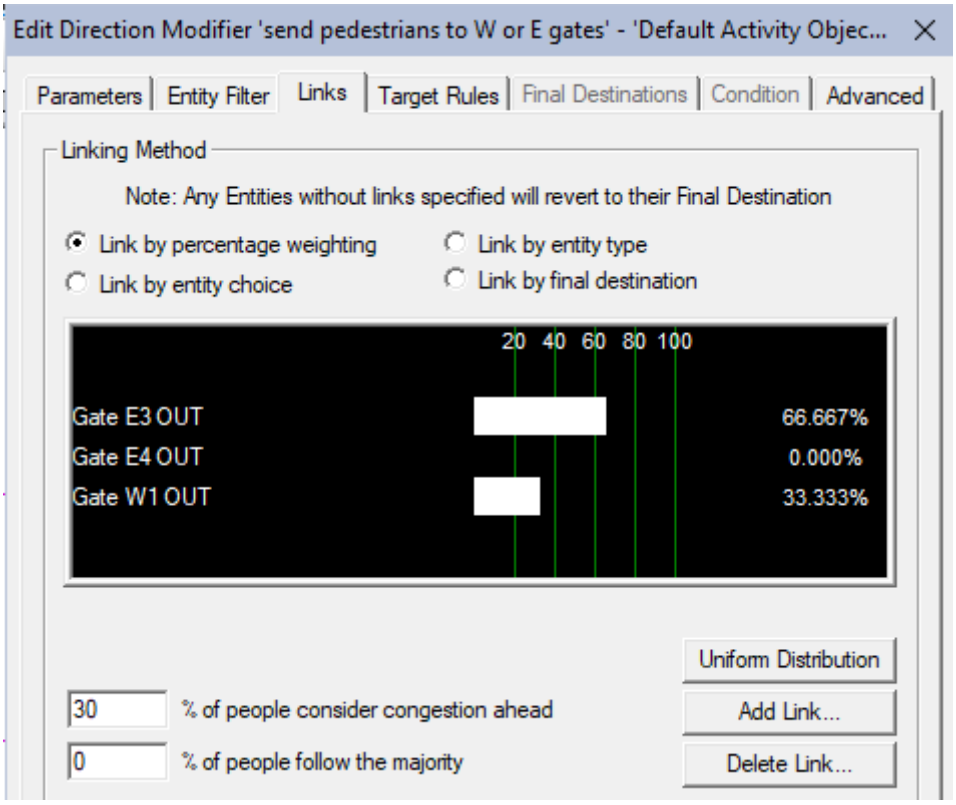
Το κεντρικό DM οδηγεί στις πύλες εξόδου τους επιβάτες που μόλις ανέβηκαν από το επίπεδο 3 στο επίπεδο 2. Οι ρυθμίσεις του είναι:



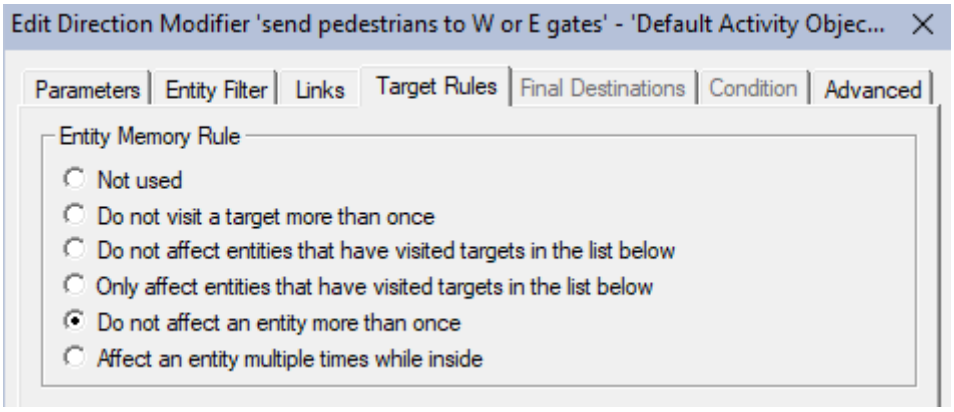
- Όσες οντότητες εισέρχονται στο DM αποκτούν ως ενδιάμεσο στόχο μία από τις πύλες που θα οριστούν ως links.



- Το DM επηρεάζει όλους τους επιβάτες που κατευθύνονται προς τις εξόδους του σταθμού, εκτός από όσους χρησιμοποιούν αμαξίδιο.

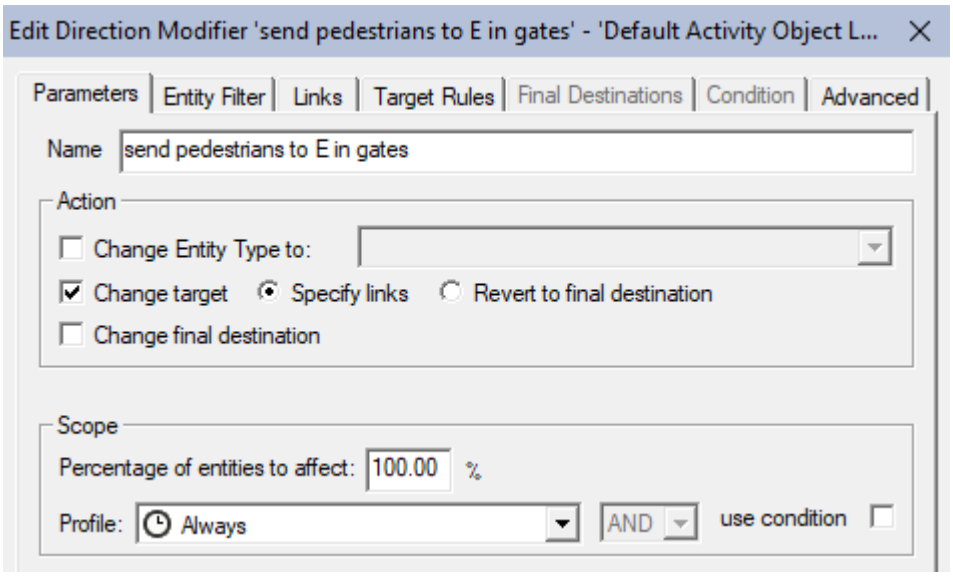


- Η επιλογή πλευράς εξόδου δεν μπορεί να προβλεφθεί και δεν παρουσιάζει μεγάλη σημασία. Ρυθμίζεται ώστε οι επιβάτες να κατευθύνονται κατά 1/3 προς την δυτική και κατά 2/3 προς την κανονική ανατολική πύλη. Αργότερα τα 2/3 θα μοιραστούν στις δύο ανατολικές πύλες (κεφάλαιο 6.3.3.13).
- Το 30% λαμβάνει υπόψιν τον συνωστισμό.

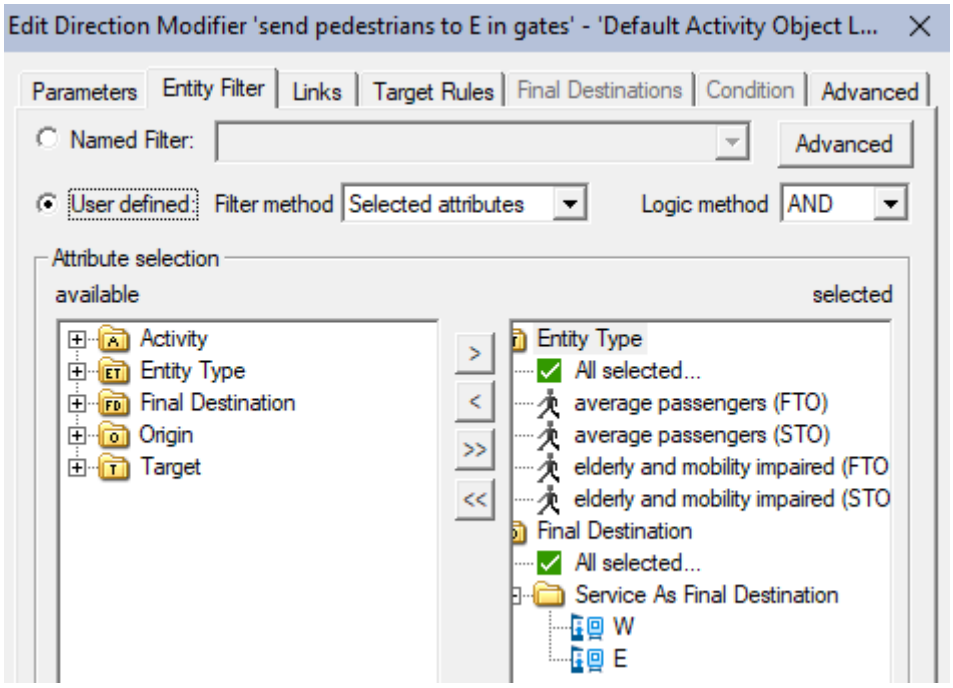


- Ορίζεται ως Entity Rule η επιλογή να επηρεάζεται κάθε επιβάτης μόνο μια φορά κατά την παραμονή του στο σύστημα.

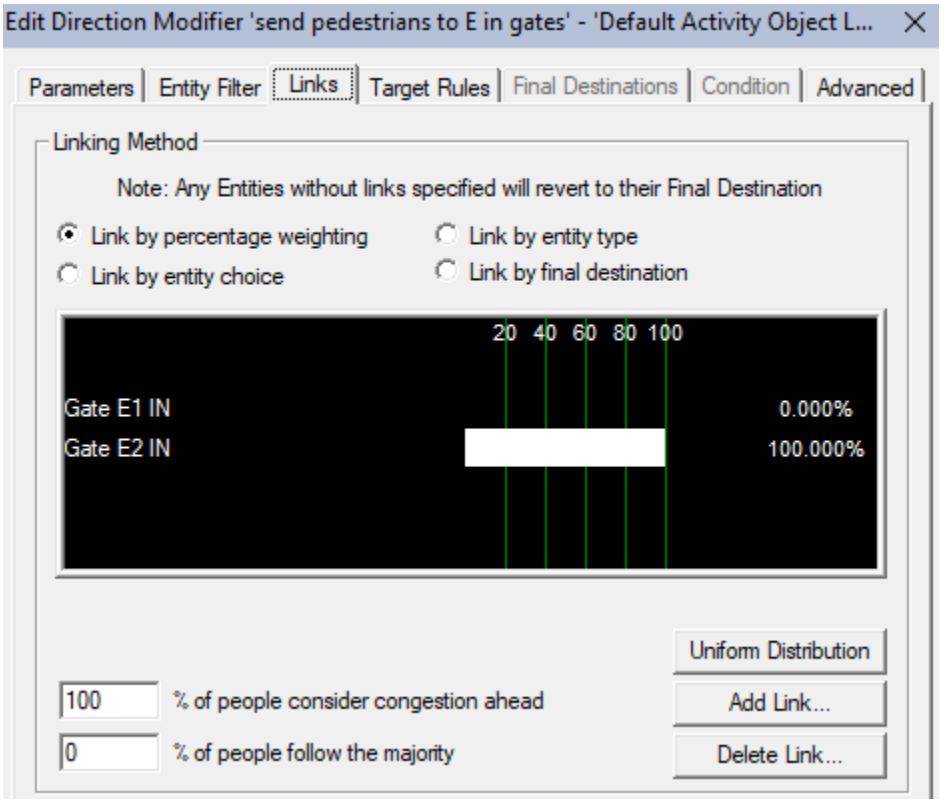
Αντίστοιχα, τα άλλα δύο DM οδηγούν τους επιβάτες που μόλις εισήλθαν στον σταθμό να περάσουν τις πύλες για να προχωρήσουν στις αποβάθρες. Ρυθμίζονται ως εξής:



- Όσες οντότητες εισέρχονται στο DM αποκτούν ως ενδιάμεσο στόχο μία από τις πύλες που θα οριστούν ως links.



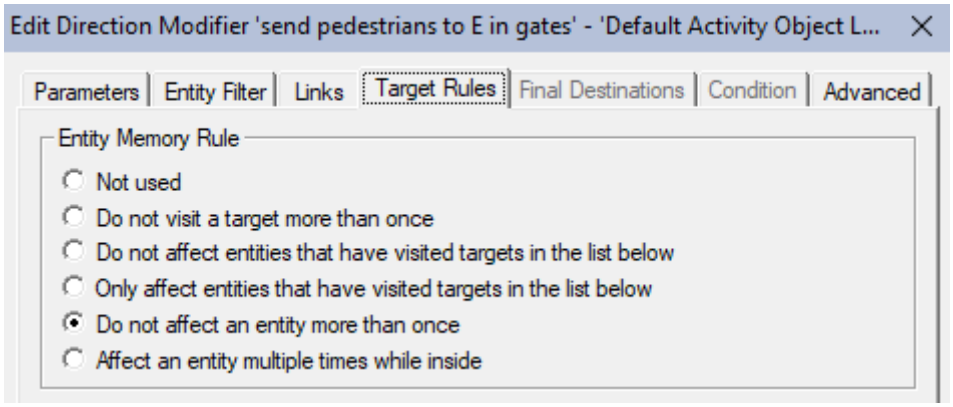
- Το ανατολικό DM επηρεάζει όλους τους επιβάτες που κατευθύνονται προς τις πλατφόρμες του σταθμού, εκτός από όσους χρησιμοποιούν αμαξίδιο. Για το δυτικό DM (W) δεν θα χρειαστεί φίλτρο "Entity Type", αφού ήδη όλοι οι επιβάτες με αμαξίδιο χρησιμοποιούν τον ανελκυστήρα και άρα εισέρχονται μόνο από τις



ανατολικές πύλες.

- Το 100% των επιβατών οδηγείται στις κανονικές πύλες. Αυτό γίνεται διότι σε επόμενη φάση θα χρειαστεί να καθοδηγήσουμε τους επιβάτες μεγάλων διαστάσεων

στις ευρείες πύλες, οπότε τελικά θα επιτευχθεί μια ομοιόμορφη κατανομή των επιβατών σε πύλες κατάλληλες για το μέγεθός τους.

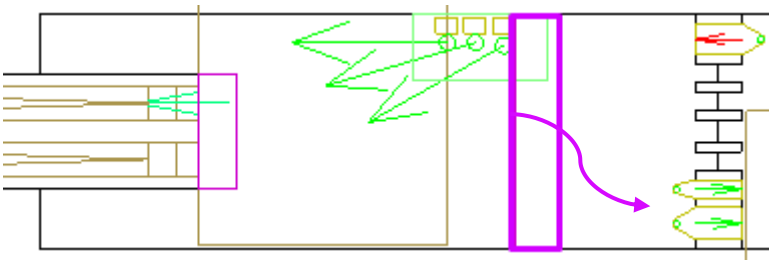


- Ορίζεται ως Entity Rule η επιλογή να επηρεάζεται κάθε επιβάτης μόνο μια φορά κατά την παραμονή του στο σύστημα.

6.3.3.11.5 <u>Καθοδήγηση επιβατών μεγαλύτερων διαστάσεων μέσα από ευρείες πύλες:</u>

Ορισμένοι επιβάτες, λόγω του όγκου τους, του όγκου των αποσκευών τους ή της χρήσης αμαξιδίου, μπορούν να διέρχονται μόνο από ευρείες πύλες (πλάτους 1 μέτρου). Για την είσοδο των επιβατών δημιουργούνται DM στις ίδιες θέσεις με τα DM της προηγούμενης κατηγορίας:

- DM που οδηγεί τους επιβάτες με πλάτος > 55 εκατοστά στην ευρεία πύλη (W).

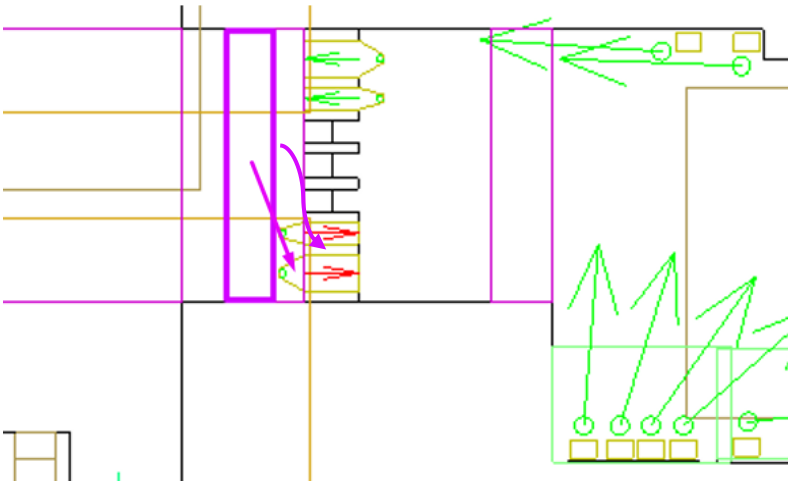


Εικόνα 54: DM στην δυτική ελεύθερη ζώνη

- DM που οδηγεί τους χρήστες αναπηρικών αμαξιδίων αποκλειστικά στην ανατολική ευρεία πύλη εξόδου.

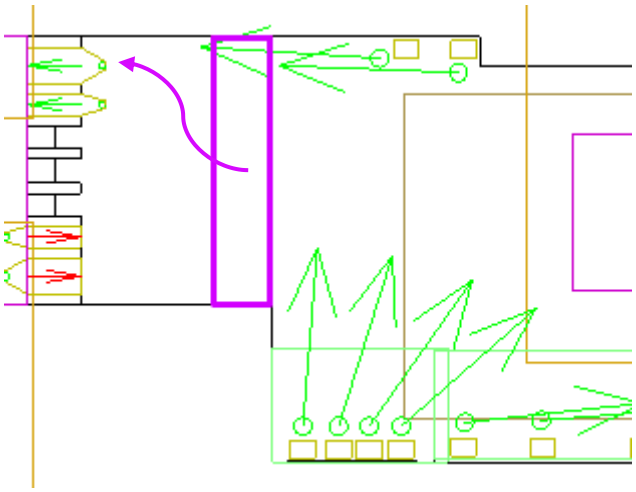
Εικόνα 55: DM στην ελεγχόμενη ζώνη

- DM που οδηγεί τους επιβάτες με πλάτος > 55 εκατοστά στην ευρεία πύλη εξόδου (Ε).



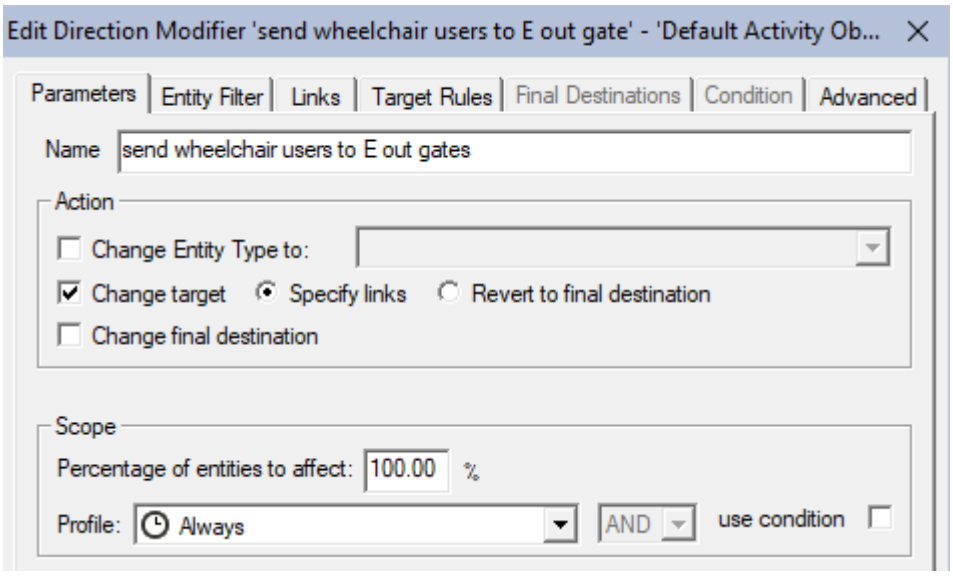
Εικόνα 56: DM στην ελεγχόμενη ζώνη

- Ένα DM που οδηγεί στην ευρεία πύλη εισόδου (Ε) τους χρήστες αναπηρικών αμαξιδίων και ένα ακόμα DM στο ίδιο σημείο που οδηγεί εκεί επιβάτες των υπόλοιπων τύπων με πλάτος > 55 εκατοστά.

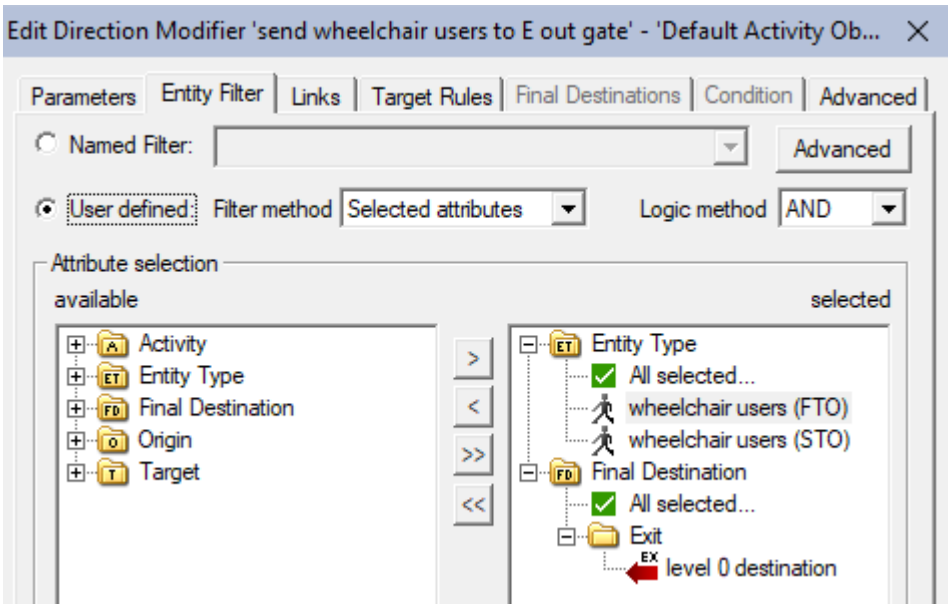


Εικόνα 57: DM στην ελεύθερη ζώνη

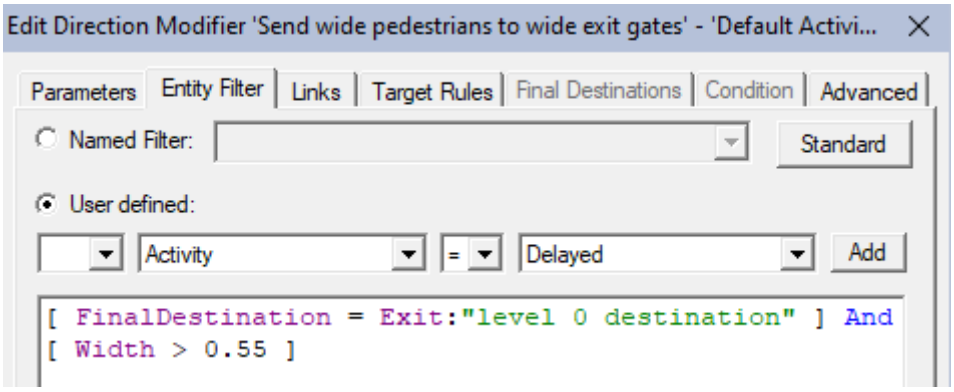
Οι ρυθμίσεις των παραπάνω DM έχουν ως εξής:

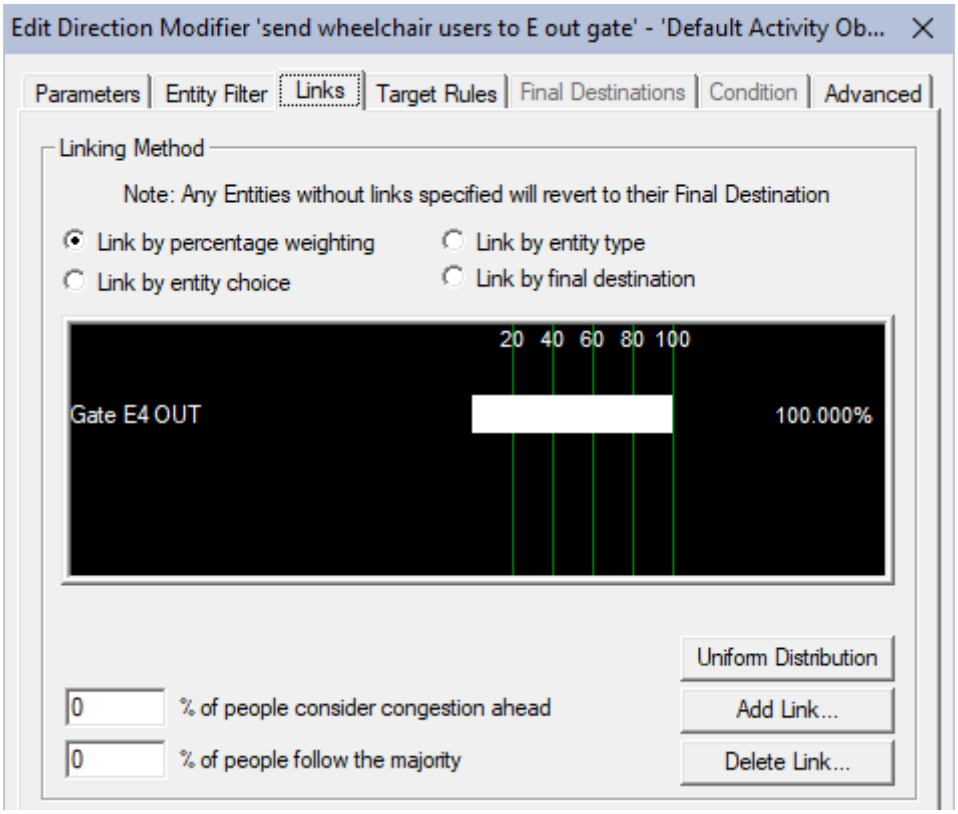


- Όσες οντότητες εισέρχονται στο DM αποκτούν ως ενδιάμεσο στόχο μία από τις πύλες που θα οριστούν ως links.



- Ορίζονται κατάλληλα φίλτρα ώστε να επηρεάζεται ο επιθυμητός τύπος επιβατών, με τον κατάλληλο τελικό προορισμό (δίνεται παράδειγμα τόσο για τους “wheelchair users” όσο για τις υπόλοιπες οντότητες μεγάλων διαστάσεων).





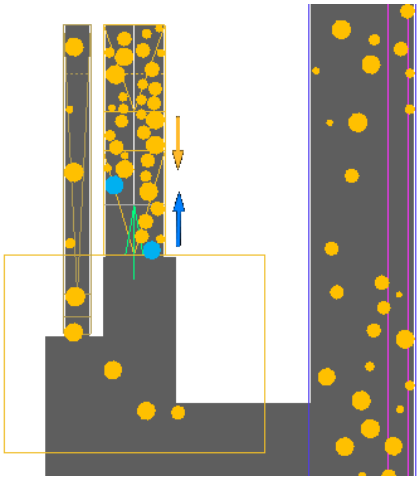
- Το 100% των επιβατών που επηρεάζονται από το εκάστοτε DM αποκτά ως ενδιάμεσο στόχο την μοναδική ευρεία πύλη που τον εξυπηρετεί σε κάθε περίπτωση.

Το μοντέλο είναι έτοιμο, οπότε πραγματοποιείται εξαγωγή του ως αρχείο .ORA. Τα Warnings που εμφανίζονται κατά την εξαγωγή δεν αποτελούν πρόβλημα και μπορούν να αγνοηθούν, ενώ δεν υπάρχουν Errors.

6.3.3.12 Πρόσθετα Στοιχεία Μοντελοποίησης

Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτούνται work-arounds προκειμένου οι οντότητες να συμπεριφέρονται με τον επιθυμητό τρόπο. Συγκεκριμένα:

- Διαγράφονται από το μοντέλο οι κουπαστές των σταθερών κλιμάκων, καθώς οι οντότητες που χρησιμοποιούν τις σκάλες προς αντίθετες κατευθύνσεις καταλήγουν να εμποδίζονται μεταξύ τους, διακόπτοντας εντελώς την κυκλοφορία και δημιουργώντας ολοένα αυξανόμενο συνωστισμό.

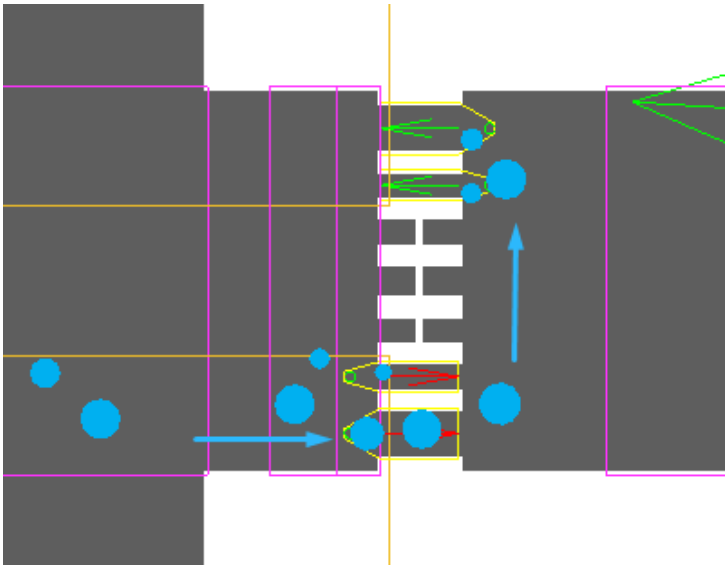


Εικόνα 58: Μη ρεαλιστική συμπεριφορά οντοτήτων

Το πρόβλημα θα μπορούσε να λυθεί ορίζοντας FN με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθούν δύο ρεύματα σε κάθε σκάλα εκατέρωθεν της κουπαστής. Ωστόσο υπάρχει χωρικός περιορισμός στον καθορισμό των FN που αποτρέπει την εφαρμογή αυτής της λύσης.

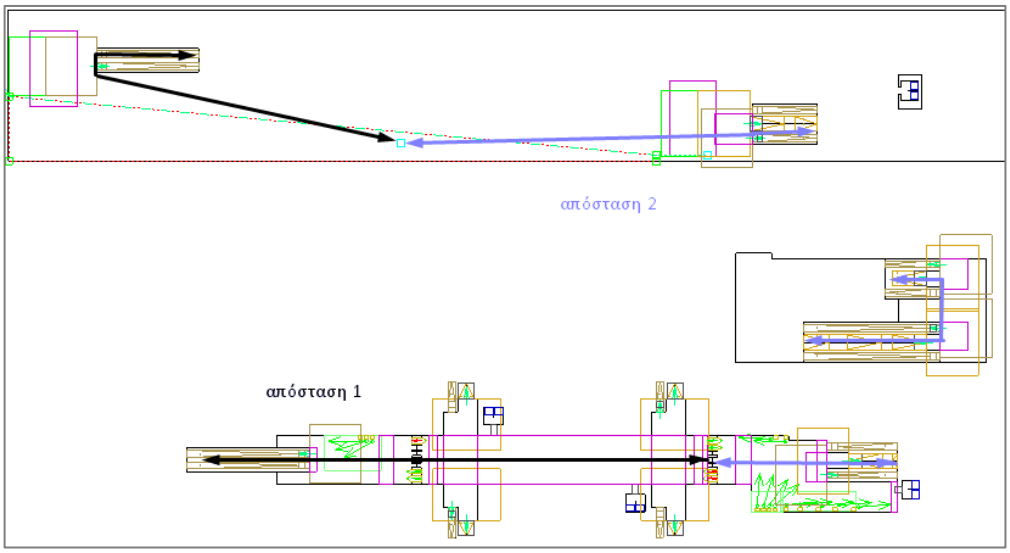
Η λύση είναι να διαγραφούν εντελώς οι κουπαστές από τον χώρο. Αργότερα, στο σενάριο εκκένωσης, θα παραμείνουν κανονικά στο μοντέλο καθώς οι οντότητες ούτως ή αλλιώς θα κινούνται προς μια μόνο κατεύθυνση (επιπλέον, οι κουπαστές αποτελούν σημαντικότερο παράγοντα στο σενάριο εκκένωσης από ότι στο σενάριο κανονικής λειτουργίας).

- Οι οντότητες που εξέρχονται από τις ανατολικές πύλες εξόδου αλλάζουν απευθείας κατεύθυνση και προχωρούν προς τις πύλες εισόδου της ίδιας σειράς (όπου και σταματούν).



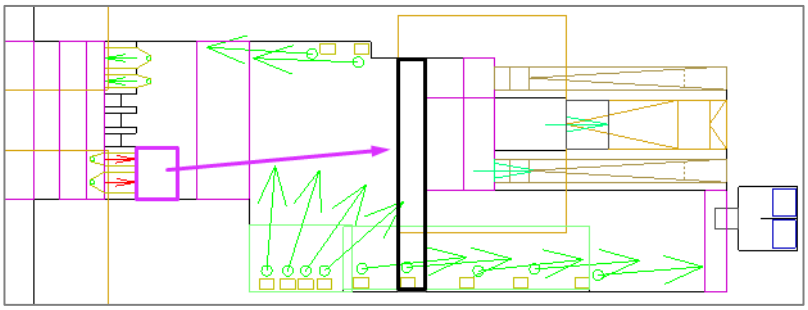
Εικόνα 59: Αλλαγή κατεύθυνσης οντοτήτων

Αυτό συμβαίνει διότι ο αλγόριθμος αντιλαμβάνεται την απόσταση 1 (βέλος με μπλε στην εικόνα 60) ως μικρότερη από την απόσταση 2 (βέλος με μαύρο στην εικόνα 60), οπότε οδηγεί τις οντότητες προς αυτή τη διαδρομή.



Εικόνα 60: Αποστάσεις που αντιλαμβάνονται οι οντότητες

Προκειμένου να παρακάμψουμε αυτή την αυτοματοποιημένη συμπεριφορά, προσθέτουμε ένα επιπλέον DM (μοβ παραλληλόγραμμο εικόνας 61) και ένα FN (μαύρο παραλληλόγραμμο εικόνας 61) που θα οδηγούν τις οντότητες προς την σωστή έξοδο. Από τη στιγμή που θα βρεθούν στο FN οι οντότητες, επιστρέφουν στον αρχικό τους στόχο προχωρώντας αυτή τη φορά προς τις σκάλες προκειμένου να φτάσουν στο επίπεδο 0.


Εικόνα 61: Προσθήκη DN και FN

6.3.3.13 Εκδοχές Του Μοντέλου

Σε αυτό το κεφάλαιο απαριθμούνται οι μεταβλητές που θα τροποποιούνται μεταξύ διαφορετικών εκδοχών του μοντέλου του σταθμού. Δίνονται επίσης τα αρχεία .xlsm (Data Sheet) και .lgm (Legion Model) που θα χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά σε κάθε δοκιμή.

Συγκεντρωτικά, οι μεταβλητές που πρόκειται να δοκιμαστούν σε διαφορετικές τιμές είναι:

1. Το ποσοστό κάθε τύπου επιβάτη “average pedestrian” (ap), “wheelchair user” (wu) και “elderly & mobility impaired” (e&mi) που συνθέτει το Supply Type: “morning p.t. Pedestrians” (.xlsm).
2. Το ποσοστό επιβατών που εισέρχονται στον σταθμό από την κάθε είσοδο (west-east) (.xlsm).
3. Ο αριθμός σημείων εξυπηρέτησης στα γραφεία έκδοσης εισιτηρίων (.lgm).
4. Το ποσοστό των επιβατών που επηρεάζεται από το DM που τους οδηγεί σε γραφεία έκδοσης ή αυτόματους πωλητές στα ανατολικά(.lgm).

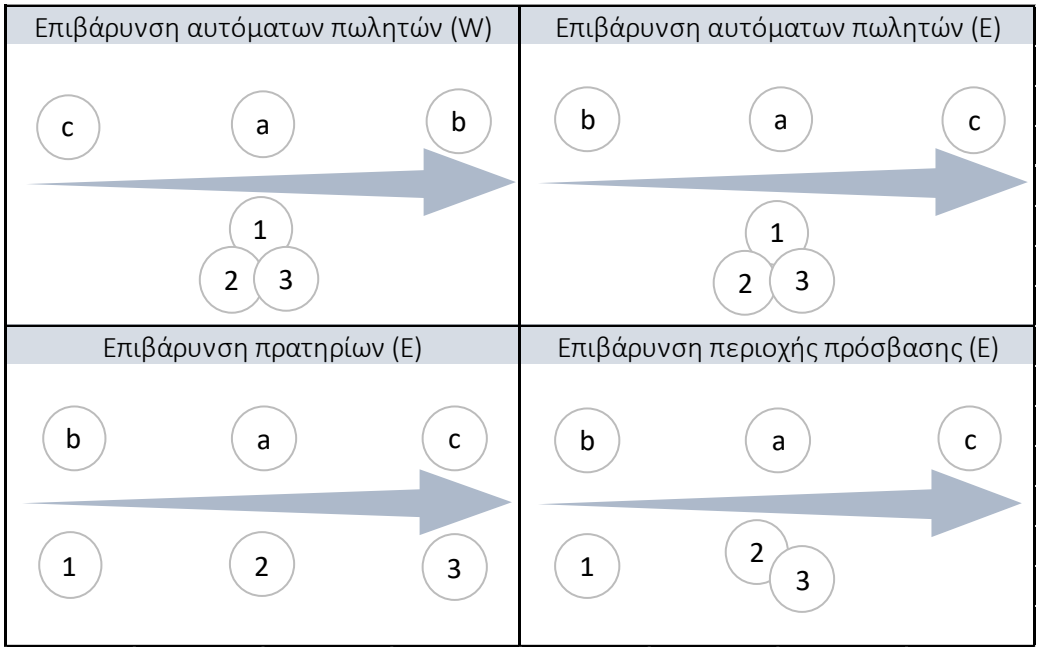
5. Η αναλογία επιβατών που θέλουν να αγοράσουν εισιτήριο από τον αυτόματο πωλητή και επιβατών που επιθυμούν να εξυπηρετηθούν από υπάλληλο σε γραφείο έκδοσης (.lgm).

   ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Το ποσοστό των επιβατών που επηρεάζεται από το DM που τους οδηγεί σε αυτόματους πωλητές στα δυτικά θα είναι τέτοιο ώστε τελικά ίσο ποσοστό επιβατών και στις δύο πλευρές να χρησιμοποιεί τους αυτόματους πωλητές.

μεταβλητή / αρχείο	1 (ap-wu- e&mi)	2 (W-E)	3	4 (E)	5 (m-to)
GALATSI STATION peak hour data sheet_**a**.xlsm	68%-2%-30%	50%-50%			
GALATSI STATION peak hour data sheet_**b**.xlsm	60%-5%-35%	65%-35%			
GALATSI STATION peak hour data sheet_**c**.xlsm	60%-5%-35%	35%-65%			
GALATSI STATION peak hour model **01**.lgm			5	25%	60%-40%
GALATSI STATION peak hour model **02**.lgm			4	25%	60%-40%
GALATSI STATION peak hour model **03**.lgm			5	30%	50%-50%

Πίνακας 21: Διαφορετικές εκδοχές που θα χρησιμοποιηθούν

Ο τρόπος που κάθε εκδοχή (a έως c και 01 έως 03) επηρεάζει το σύστημα φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 8: Επίδραση κάθε εκδοχής στην επιβάρυνση του μοντέλου

6.4 Στάδιο 3ο

6.4.1 Προσομοίωση Ώρας Αιχμής

Οι συνδυασμοί πραγματοποιούνται εν μέρει τυχαία, γίνεται ωστόσο μια προσπάθεια ώστε να καταπονείται σταδιακά το σύστημα. Οι δοκιμές γίνονται με τη σειρά, όπως φαίνεται στον πίνακα 22:

Αρ. δοκιμής	μεταβλητή / συνδυασμός	1 (ap-wu- e&mi)	2 (W-E)	3	4 (E-W)	5 (m-to)
1	01+a	68%-2%-30%	50%-50%	5	25%	60%-40%
2	01+b	60%-5%-35%	65%-35%	5	25%	60%-40%
3	01+c	60%-5%-35%	35%-65%	5	25%	60%-40%
4	02+a	68%-2%-30%	50%-50%	4	25%	60%-40%
5	02+c	60%-5%-35%	35%-65%	4	25%	60%-40%
6	03+a	68%-2%-30%	50%-50%	5	30%	50%-50%
7	03+c	60%-5%-35%	35%-65%	5	30%	50%-50%

Πίνακας 22: Δοκιμές μοντέλου

Κάθε περίπτωση θα κριθεί με βάση την εικόνα που δίνει τα τελευταία λεπτά της προσομοίωσης, καθώς τότε είναι βέβαιο ότι 1ον το σύστημα θα έχει σταθεροποιηθεί και 2ον, λόγω της φύσης του συστήματος (σχετικά σταθερή ροή εισερχόμενων και εξερχόμενων επιβατών), όσα τυχόν προβλήματα παρουσιαστούν θα επιδεινώνονται με το πέρας της ώρας.

Αφού πραγματοποιηθεί εξαγωγή σε .ORA κάθε ενός από τα 7 αρχεία, μπορούμε πλέον να εισέλθουμε στο LEGION Model Simulator και να πραγματοποιήσουμε τις προσομοιώσεις του σταθμού σε ώρα αιχμής.

<u>Υπόμνημα Χρωμάτων</u>

- Επιβάτες που κινούνται προς την έξοδο
- Επιβάτες που κινούνται προς την πλατφόρμα E
- Επιβάτες που κινούνται προς την πλατφόρμα W

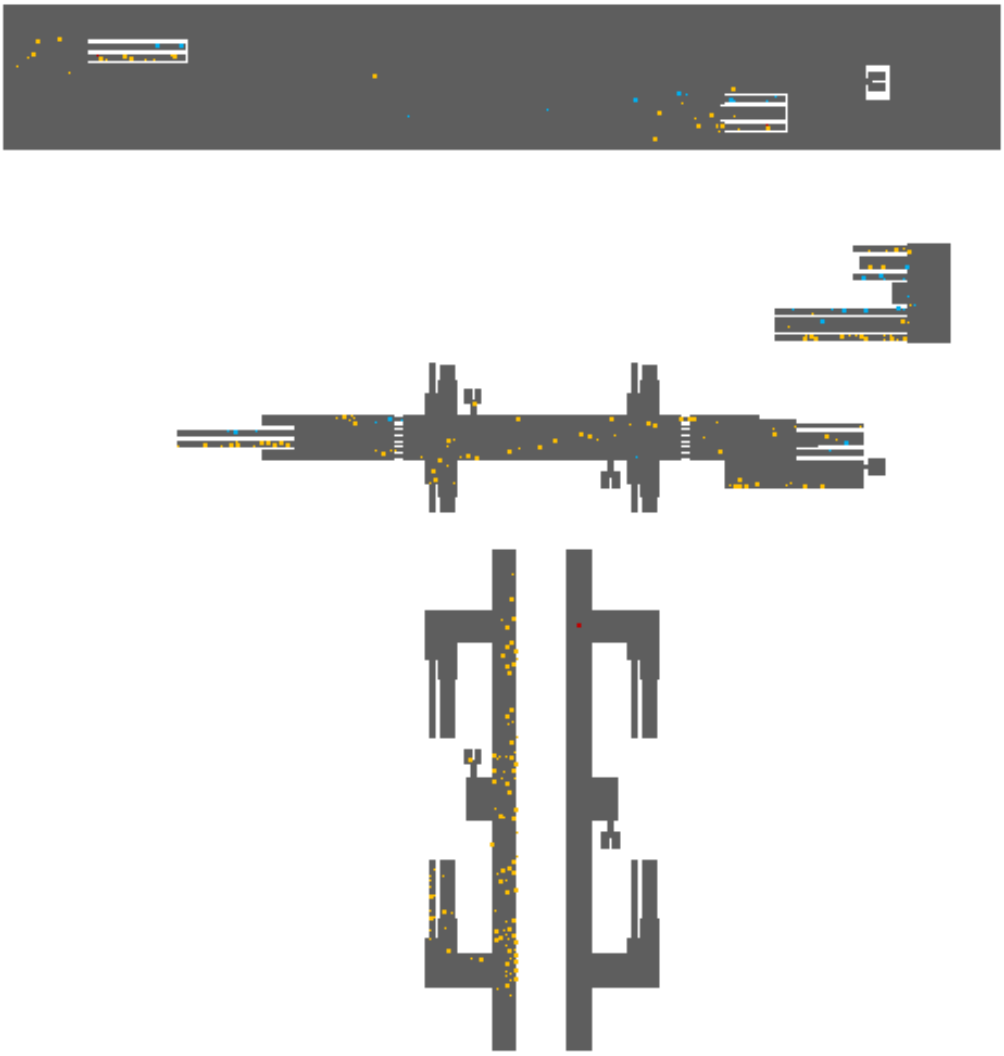
Εικόνα 62

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Υπενθυμίζεται ότι το λογισμικό αποτελεί μέθοδο πρόγνωσης και δεν μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια ρεαλιστικές συμπεριφορές επιβατών. Μπορεί σε κάποια προσομοίωση να παρατηρηθεί ασυνήθιστη/ αφύσικη συμπεριφορά (π.χ. ίσως για κάποιο λόγο ο αλγόριθμος οδηγήσει κάποια οντότητα στο να σταματήσει στην είσοδο μιας πύλης χωρίς προφανή λόγο, καθυστερώντας την διαδικασία εκκένωσης).

Σε αυτή την περίπτωση απλώς την ξανατρέχουμε μέχρι να προκύψουν πιο φυσικά αποτελέσματα (υπενθυμίζεται ότι ο αλγόριθμος συμπεριλαμβάνει έναν τυχαίο παράγοντα κάθε φορά που υπολογίζει το επόμενο βήμα μιας οντότητας).

6.4.1.1 Δοκιμή 1 (01+a)

Στην δοκιμή 1, όπου η ροή εισερχόμενων επιβατών μοιράζεται ισοδύναμα στις δύο εισόδους, η προσομοίωση έχει την ακόλουθη εικόνα:

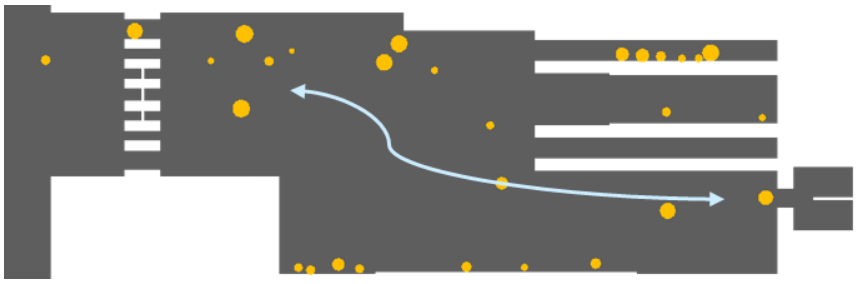


Εικόνα 63

Δεν παρατηρούνται bottlenecks ή σημεία με συγκέντρωση επιβατών τόσο υψηλή ώστε να εμποδίζει την διέλευση άλλων επιβατών. Υπάρχει επομένως περιθώριο καταπόνησης.

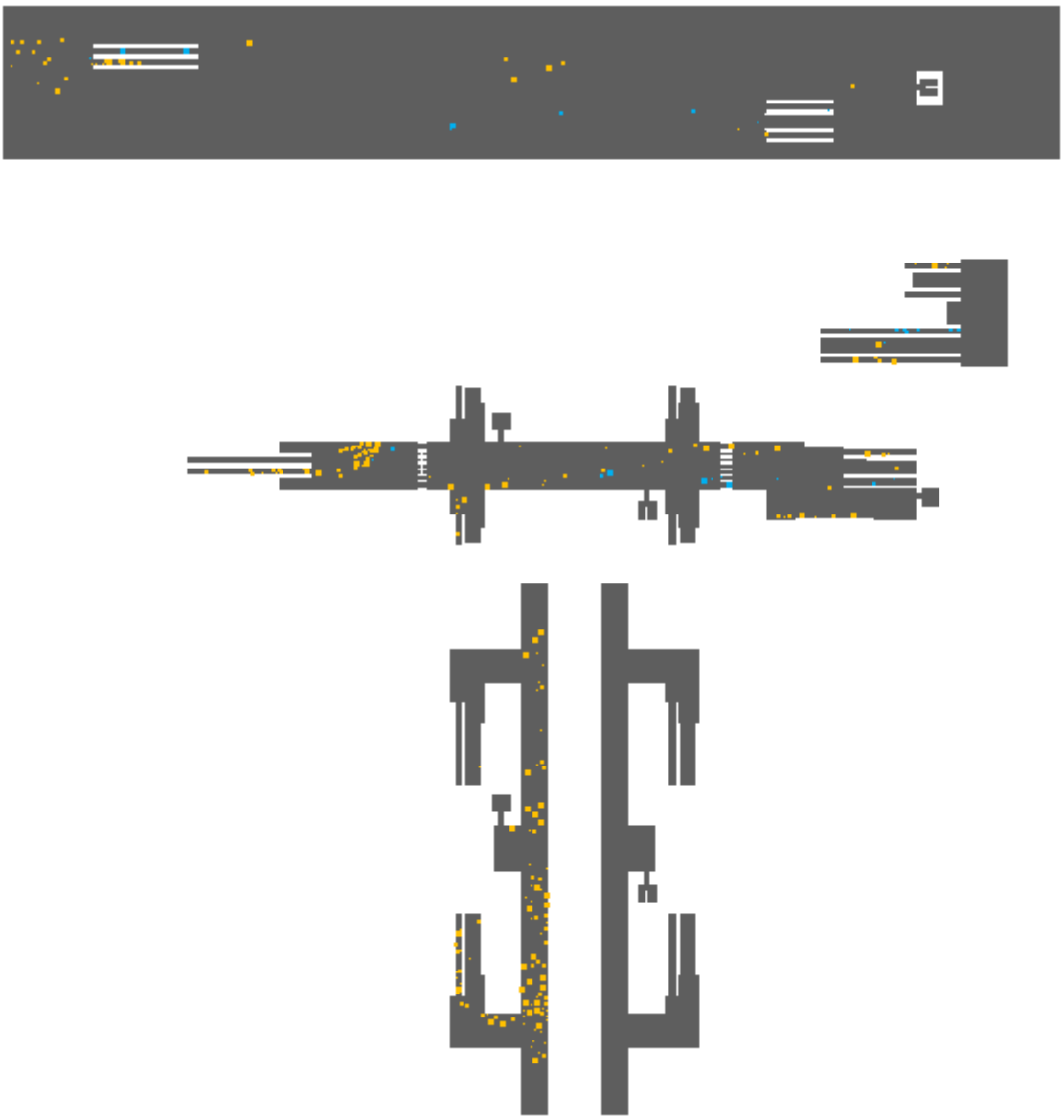
6.4.1.2 Δοκιμή 2 (01+b)

Σε αυτή τη δοκιμή διαφοροποιείται η σύσταση των επιβατών (αυξάνονται οι ηλικιωμένοι/άτομα με κινητικές δυσκολίες και οι χρήστες αναπηρικών αμαξιδίων), κυρίως για να εξετασθεί η περίπτωση κατά την οποία οι επιβάτες κινούνται συνολικά πιο αργά. Επίσης, περισσότεροι επιβάτες θα κάνουν χρήση των ανελκυστήρων και λιγότεροι των κλιμάκων (συγκεκριμένα το 6.75% των επιβατών, ενώ στην δοκιμή 1 χρησιμοποιούσε ανελκυστήρες το 3.5% των επιβατών), επομένως αναμένεται μικρή αύξηση κατά 3 ανά 100 επιβάτες στην ροή των επιβατών στον χώρο μπροστά από τα γραφεία έκδοσης (εικόνα 64).



Εικόνα 64

Επιπλέον, η ροή επιβατών διαφοροποιείται και δίνεται βάρος στην δυτική πρόσβαση, έτσι ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο μπορεί ο σταθμός με την υπάρχουσα μορφή του να διαχειριστεί το πλήθος. Τελικά το σύστημα αποκτά την ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 65

Παρατηρείται συνωστισμός στους δυτικούς αυτόματους πωλητές εισιτηρίων, καθώς οι ουρές αναμονής φτάνουν έως και τα 3.5 μέτρα (εικόνα 66). Λόγω της θέσης των

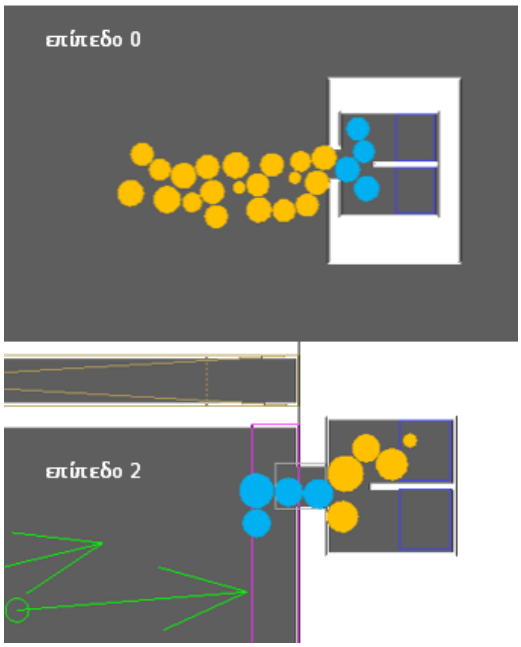
μηχανημάτων, υπάρχει κίνδυνος οι ουρές αυτές να δυσκολέψουν την διέλευση όσων επιβατών επιθυμούν να εξέλθουν από τον σταθμό εάν αυξηθούν περισσότερο οι διερχόμενοι επιβάτες. Με δεδομένη την παρούσα κατανομή επιβατών, όμως, την οποία έχουμε θεωρήσει ως πιθανή ακραία περίπτωση, συμπεραίνουμε ότι τα τρία μηχανήματα στην δυτική πλευρά είναι επαρκή.

Εικόνα 66

6.4.1.3 Δοκιμή 3 (01+c)

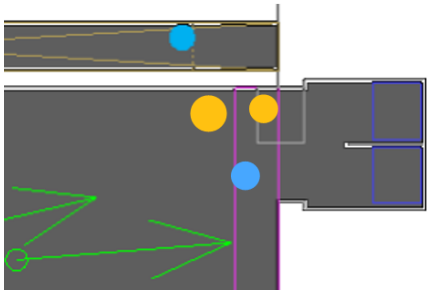
Στην δοκιμή 3 επιβαρύνεται η ανατολική πρόσβαση, επομένως μπορούμε να ελέγξουμε την επάρκεια των ανατολικών πρατηρίων και μηχανημάτων ως προς την διαχείριση έως και του 65% του συνολικού πλήθους.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Κατά την δοκιμή 01+c, παρατηρείται συνωστισμός στις εισόδους του ανελκυστήρα μεταξύ επιπέδων 0 και 2 (σελίδα 67).



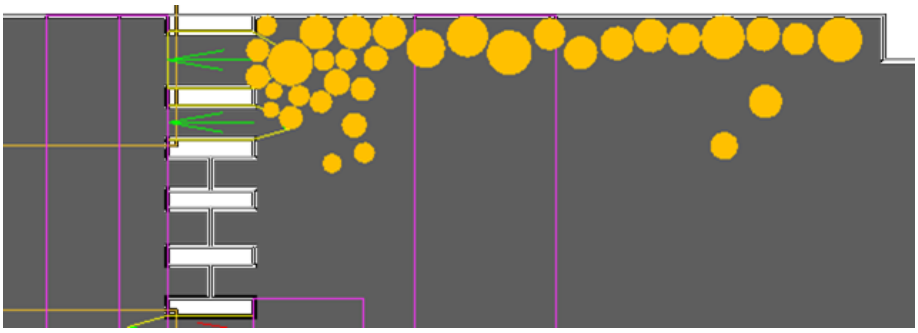
Εικόνα 67

Οι οντότητες του λογισμικού δεν έχουν την ικανότητα να αντιμετωπίσουν τέτοιου είδους καταστάσεις. Η λύση θα είναι να διευρυνθεί κατ' εξαίρεση η συγκεκριμένη θύρα του ανελκυστήρα στην συγκεκριμένη εκδοχή του μοντέλου, ώστε να είναι σε θέση οι οντότητες να εισέλθουν και να εξέλθουν ελεύθερα (εικόνα 68).



Εικόνα 68

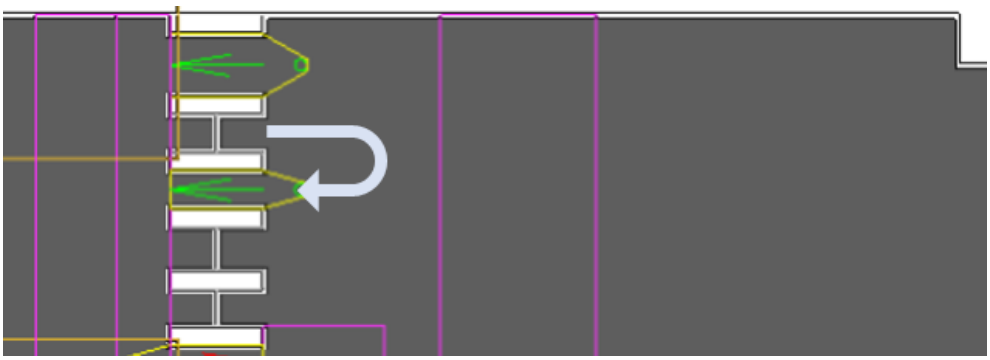
Στο ίδιο μοντέλο, παρατηρείται πρόβλημα συνωστισμού στις πύλες εισόδου.



Εικόνα 69

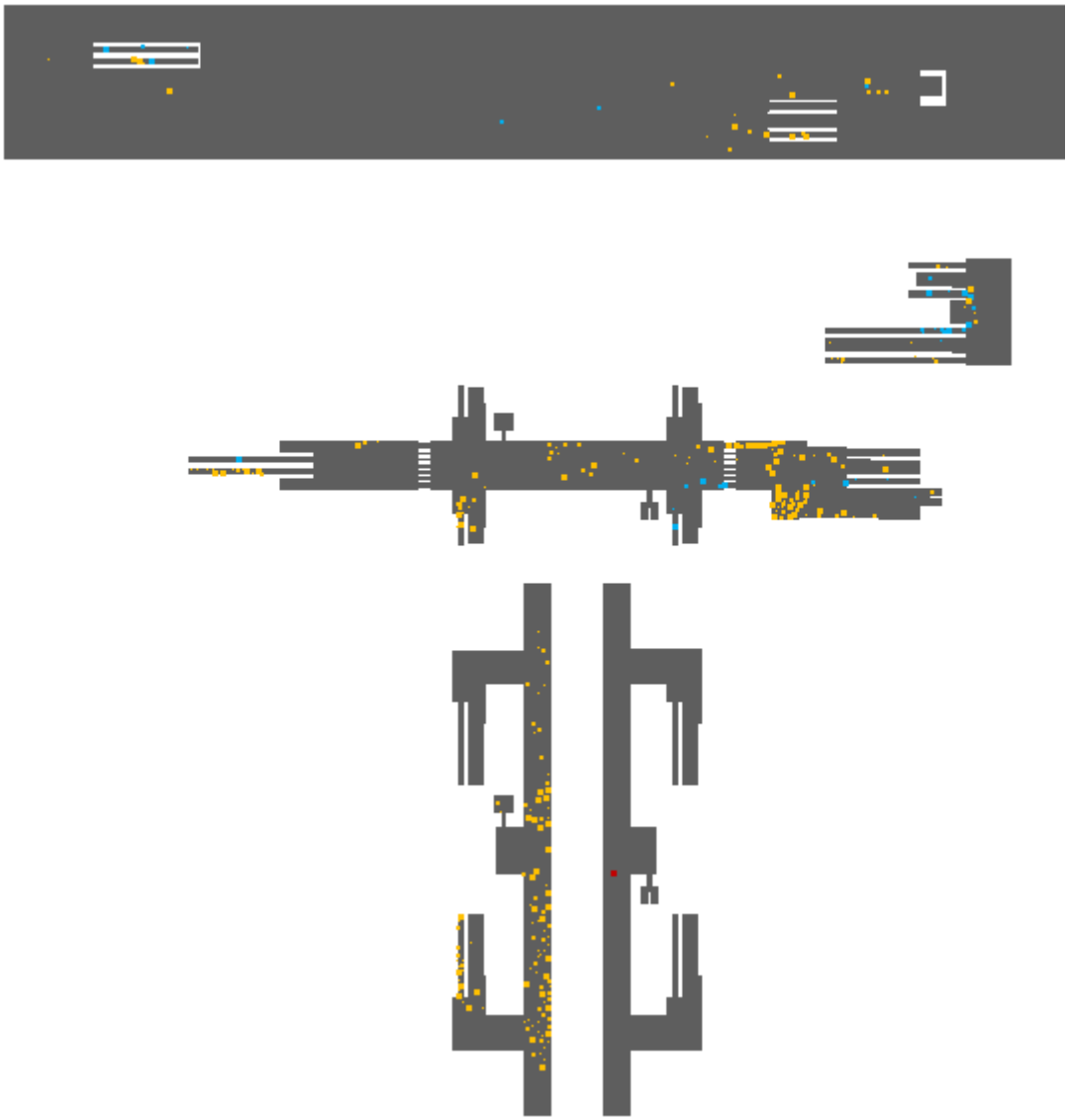
Το πρόβλημα αυτό δεν θα υπήρχε σε πραγματικό σενάριο, προκύπτει από την προσπάθεια του λογισμικού να σχηματίσει ουρές που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους.

Αυτό επιλύεται με την προσωρινή μετακίνηση της κανονικής πύλης, όπως φαίνεται στην εικόνα 70:



Εικόνα 70

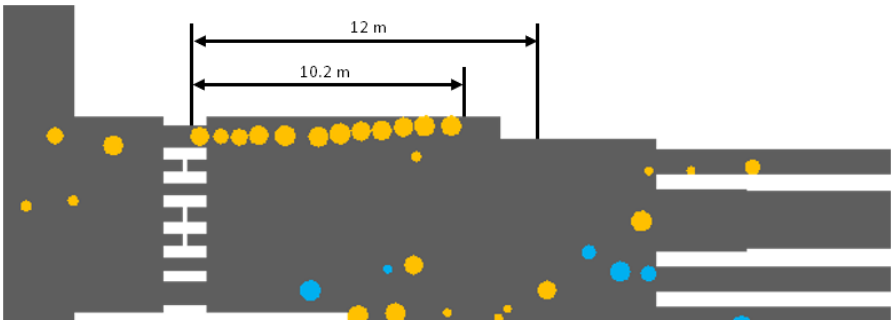
Μετά από 1 ώρα λειτουργίας του σταθμού, προκύπτει η ακόλουθη εικόνα μοντέλου:



Εικόνα 71

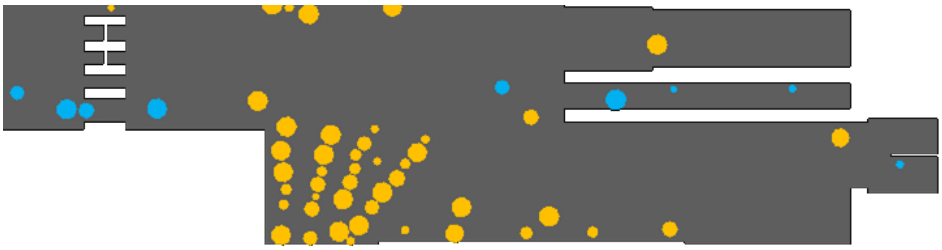
Παρατηρούνται:

1. Μεγάλη ουρά στην ανατολική ευρεία πύλη εισόδου. Η μεγαλύτερη ουρά που σχηματίζεται στο διάστημα της 1 ώρας είναι αύτη που παρατηρείται λίγα δευτερόλεπτα πριν την λήξη της προσομοίωσης, με μήκος περίπου 10.2 μέτρων. Δεν ξεπερνά δηλαδή το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 12 μέτρων που έχει οριστεί από τις προδιαγραφές (εικόνα 72).



Εικόνα 72

2. Ουρές στον ανατολικό χώρο αυτομάτων πωλητών εισιτηρίων. Καθώς δεν υπάρχει προδιαγραφή που να αφορά το συγκεκριμένο θέμα, για να αποφανθούμε ότι δεν αποτελούν πρόβλημα αρκεί το γεγονός ότι οι ουρές δεν εμποδίζουν την διέλευση άλλων επιβατών.

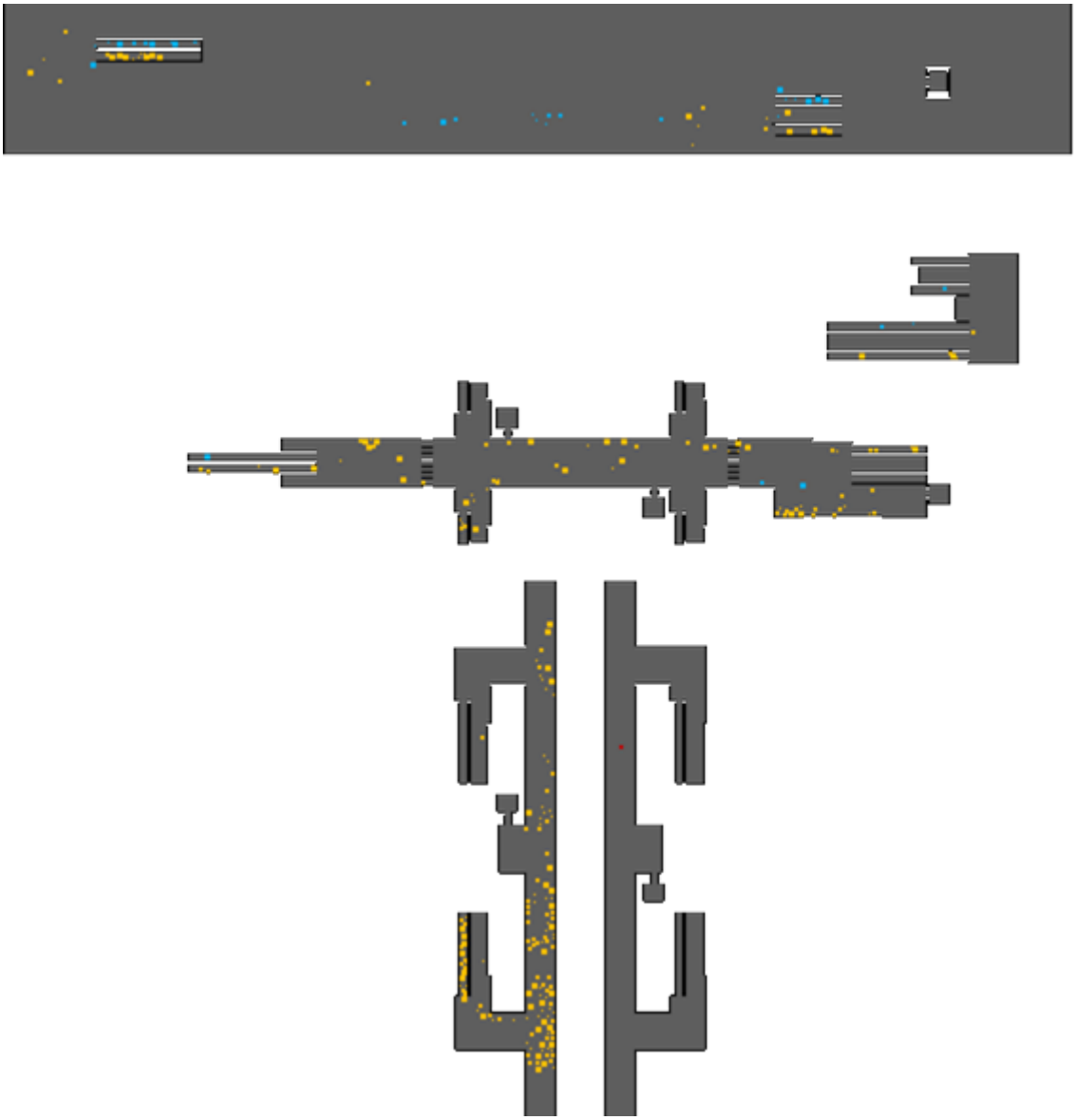


Εικόνα 73

Υπάρχει περιθώριο για περεταίρω καταπόνηση του συστήματος, όχι τόσο στους ανατολικούς αυτόματους πωλητές αλλά κυρίως στην περιοχή των πρατηρίων.

6.4.1.4 Δοκιμή 4 (02+a)

Επιστρέφοντας στην ίση κατανομή του πλήθους από τις δύο εισόδους και στην αρχική σύσταση επιβατών, μειώνουμε τα σημεία εξυπηρέτησης των πρατηρίων κατά 1. Η εικόνα που δίνει η προσομοίωση είναι:



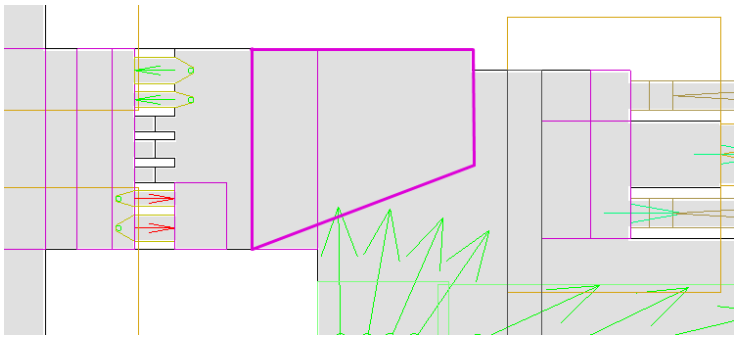
Εικόνα 74

Όπως ήταν αναμενόμενο, υπάρχει μια μικρή αύξηση του μήκους των ουρών αναμονής στα γραφεία έκδοσης. Ωστόσο, δεν παρατηρείται αξιοσημείωτος συνωστισμός ούτε σε εκείνη την περιοχή αλλά ούτε και σε κάποιο άλλο σημείο του σταθμού. Υπάρχει περιθώριο για περεταίρω καταπόνηση του συστήματος.

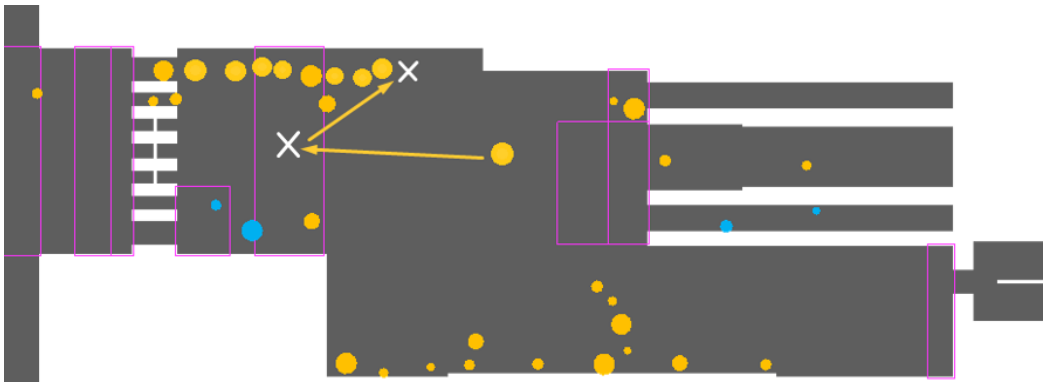
6.4.1.5 Δοκιμή 5 (02+c)

Σε αυτή τη δοκιμή, ελέγχουμε την απόδοση της ανατολικής πρόσβασης σε επιβαρυμένο φορτίο επιβατών με 4 σημεία εξυπηρέτησης.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Λόγω της φόρτισης της περιοχής, επεκτείνουμε όσα DM αφορούν την καθοδήγηση επιβατών στις πύλες εισόδου (εικόνα 75) (διαφορετικά οι επιβάτες κάνουν μία περιττή διαδρομή μέχρι να γυρίσουν προς τα πίσω για να σταθούν στην ουρά εικόνα 76)



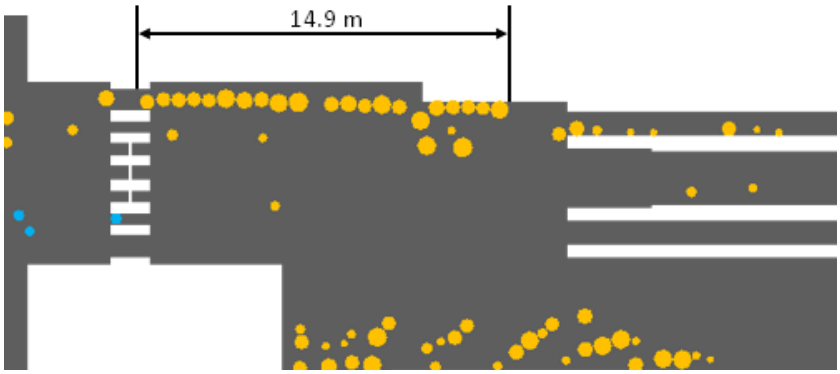
Εικόνα 75: Επέκταση των DM



Εικόνα 76: Διαδρομή επιβατών προς μεγάλη ουρά αναμονής

Επιπλέον, όπως και στο μοντέλο της δοκιμής 3, χρειάζεται να διευρυνθούν οι θύρες του ανελκυστήρα μεταξύ επιπέδων 0 και 2.

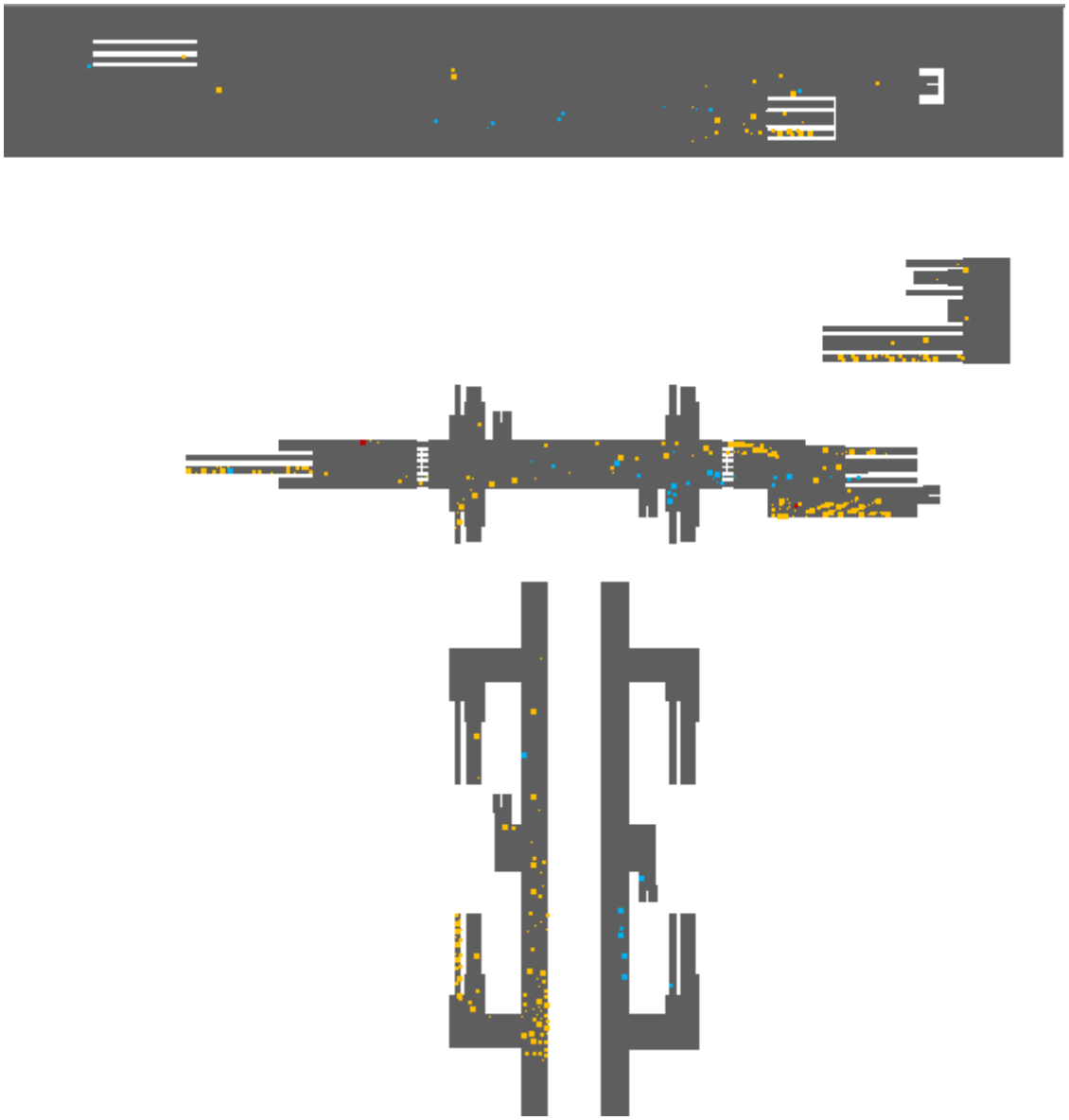
Αφού πραγματοποιείται η δοκιμή, διαπιστώνεται ότι οι πύλες εισόδου στην ανατολική πλευρά, σύμφωνα με την παρούσα μοντελοποίηση, δεν επαρκούν. Η ουρά αναμονής στην ευρεία πύλη ξεπερνά τα 12 μέτρα (εικόνα 77).



Εικόνα 77

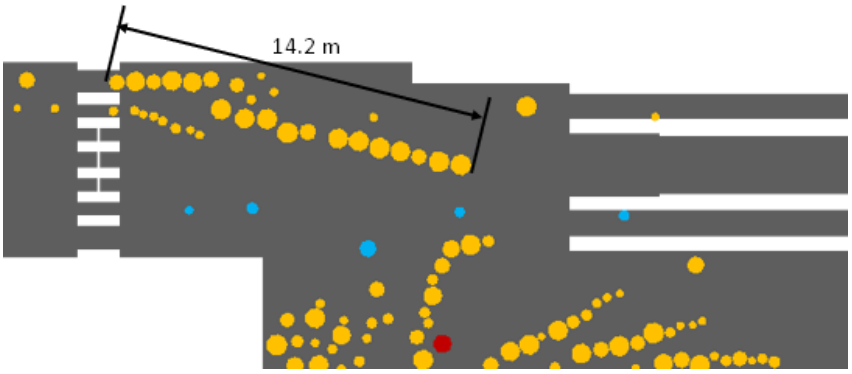
Παρατηρείται ωστόσο ότι η κανονική πύλη παραμένει αχρησιμοποίητη. Υπενθυμίζεται σε αυτό το σημείο ότι για την διέλευση από τις κανονικές πύλες (άνοιγμα 60 εκατοστών) έχει οριστεί ανώτατο όριο πλάτους οντοτήτων στα 55 εκατοστά. Το σκεπτικό είναι ότι οι επιβάτες θα αποφύγουν να επιλέξουν την στενότερη διαδρομή εάν θεωρήσουν ότι ίσως δεν χωρέσουν άνετα, γι' αυτό και δόθηκε περιθώριο 5 εκατοστών. Σε αυτή την περίπτωση, όμως, προτού προταθεί η προσθήκη επιπλέον πύλης, θα γίνει μία επαναληπτική δοκιμή με νέο όριο πλάτους στα 59 εκατοστά.

Η εικόνα του συστήματος μετά από μία ώρα προσομοίωσης είναι:



Εικόνα 78

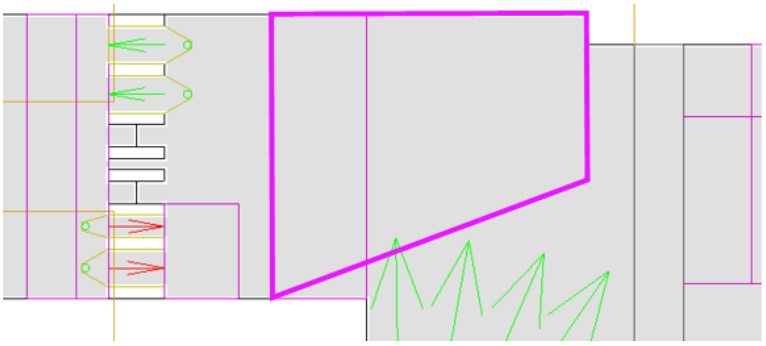
Παρατηρείται ότι ακόμα και με αυτή την τροποποίηση, υπάρχουν στιγμές που η ουρά της ευρείας ανατολικής πύλης ξεπερνά το επιτρεπτό μήκος (εικόνα 79).



Εικόνα 79

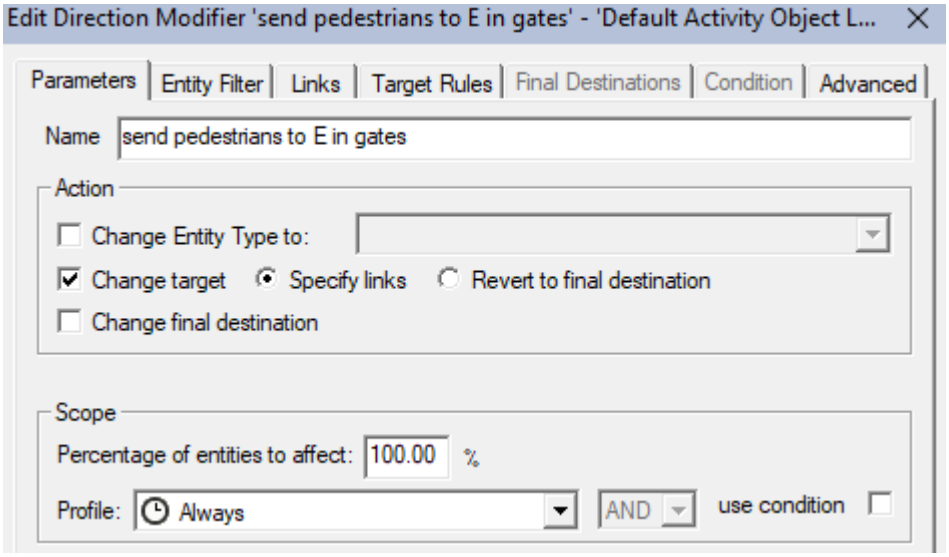
Επομένως σε αυτή την περίπτωση, και υπό τις συνθήκες που έχει γίνει η δοκιμή, κρίνεται ότι μία ευρεία πύλη εισόδου δεν αρκεί. Θα γίνει μία ακόμα δοκιμή, στην οποία η ανατολική γραμμή θα διαθέτει δύο ευρείες πύλες έναντι μιας ευρείας και μιας κανονικής.

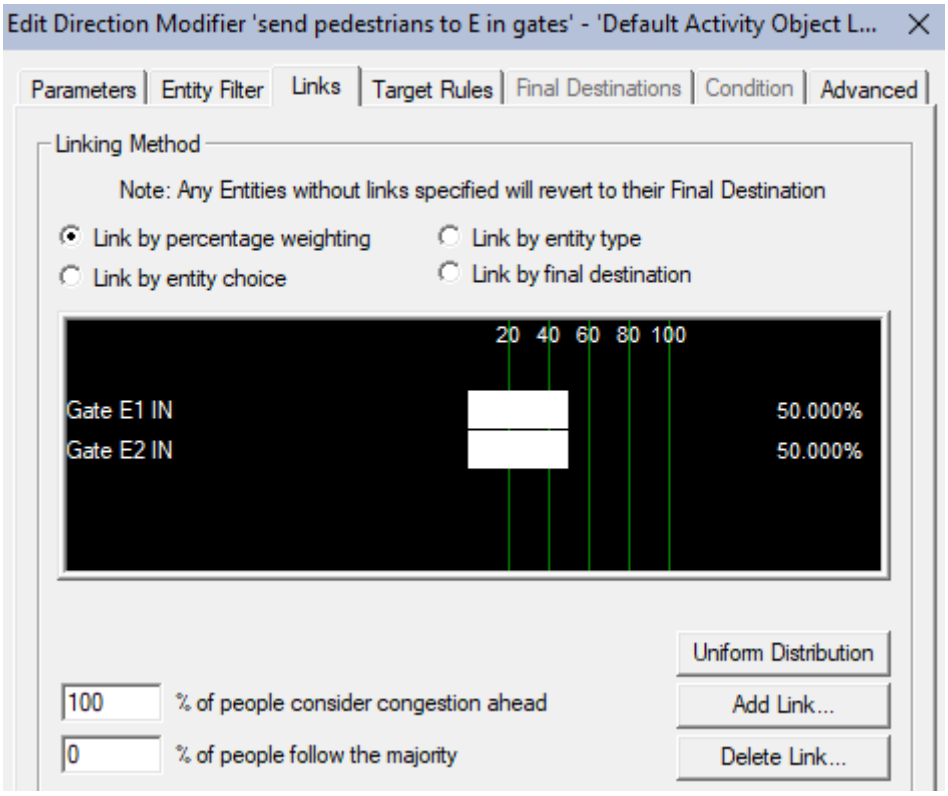
Για αυτή την περίπτωση αρκεί ένα DM, το οποίο θα μοιράζει όλους τους πεζούς ισοδύναμα στις δύο πύλες (εικόνα 80).



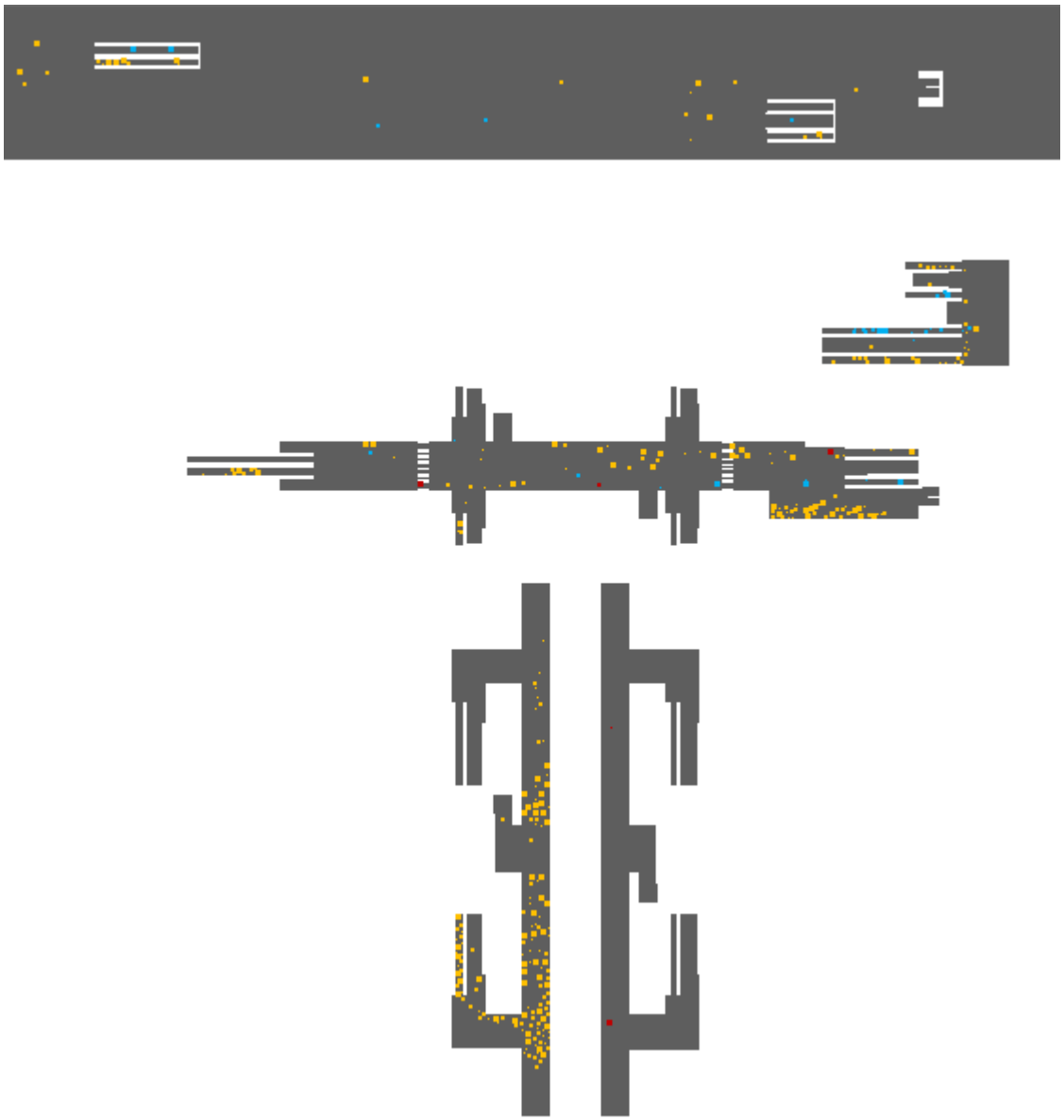
Εικόνα 80

Οι ρυθμίσεις του DM θα είναι:




Edit Direction Modifier 'send pedestrians to E in gates' - 'Default Activity Object L...
Parameters
Entity Filter
Links
Target Rules
Final Destinations
Condition
Advanced
Linking Method
Note: Any Entities without links specified will revert to their Final Destination
Link by percentage weighting
Link by entity type
Link by entity choice
Link by final destination
20 40 60 80 100
Gate E1 IN
50.000%
Gate E2 IN
50.000%
Uniform Distribution
100
% of people consider congestion ahead
Add Link...
0
% of people follow the majority
Delete Link...

Μετά από αυτή την αλλαγή, το μοντέλο αποκτά την ακόλουθη εικόνα:



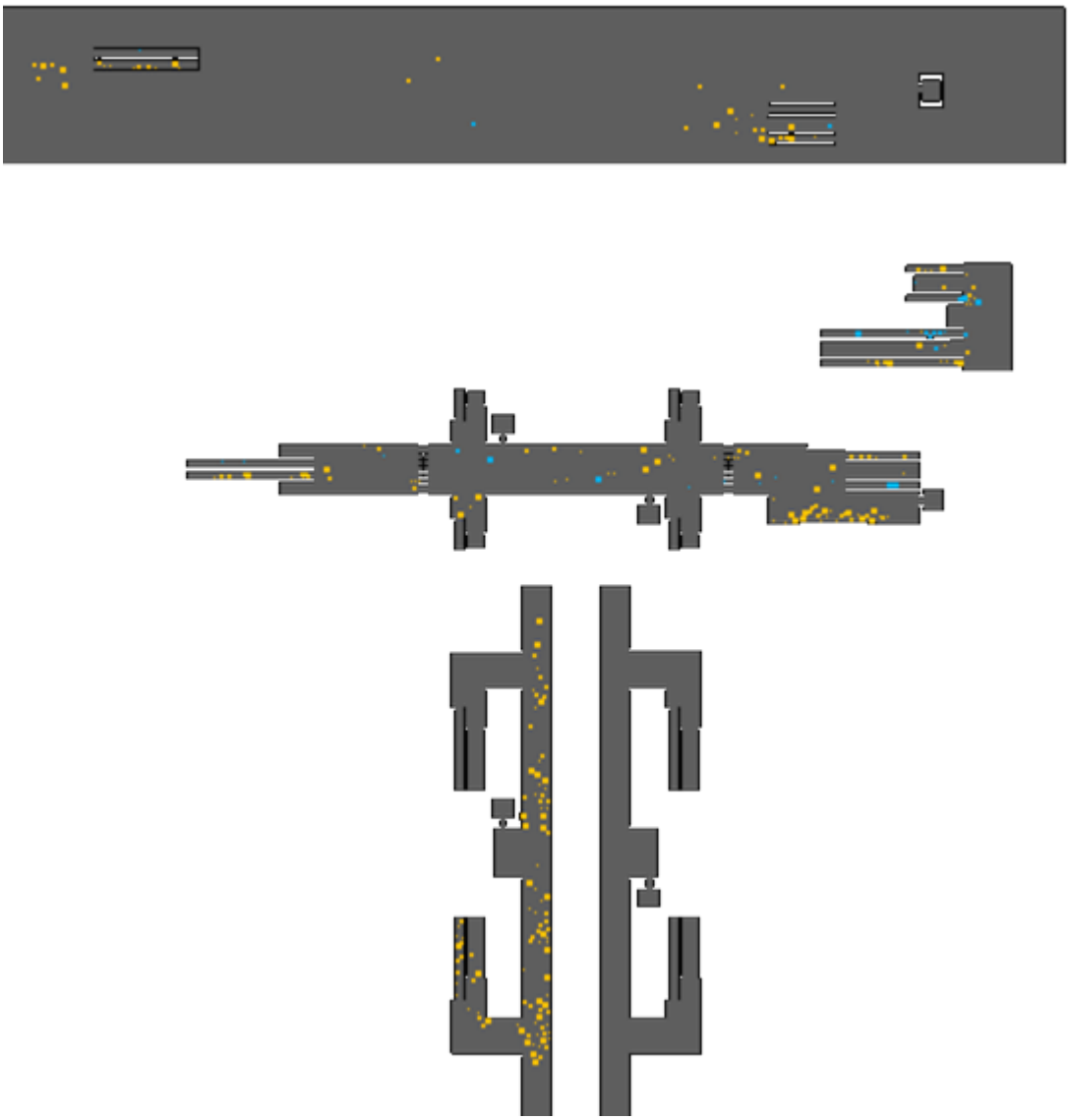
Εικόνα 81

Λόγω της ομοιόμορφης κατανομής στις πύλες, οι ουρές αναμονής δεν ξεπερνούν τα 12 μέτρα (μέγιστο μήκος περίπου 8 μέτρα).

6.4.1.6 Δοκιμή 6 (03+a)

Τροποποιούμε τα ποσοστά επιβατών που επισκέπτονται τα γραφεία έκδοσης προκειμένου να ερευνήσουμε τι επίδραση έχει αυτό στο μοντέλο. Στις προηγούμενες δοκιμές, με βάση τα ποσοστά που είχαν οριστεί, το 15% από κάθε πλευρά χρησιμοποιούσε τους αυτόματους, ενώ μόλις το 10% επισκεπτόταν τα γραφεία έκδοσης. Στις επόμενες δοκιμές τα ποσοστά θα είναι 15% και 15%. Τα σημεία εξυπηρέτησης είναι και πάλι 5, οπότε ουσιαστικά τα αποτελέσματα συγκρίνονται με αυτά των δοκιμών 1 έως 3. Σε περίπτωση που προκύψει περιθώριο πιο βεβαρυμμένης δοκιμής, θα εξετασθεί η περίπτωση των παραπάνω ποσοστών με 4 σημεία εξυπηρέτησης.

Η δοκιμή 6 οδηγεί στην ακόλουθη εικόνα:

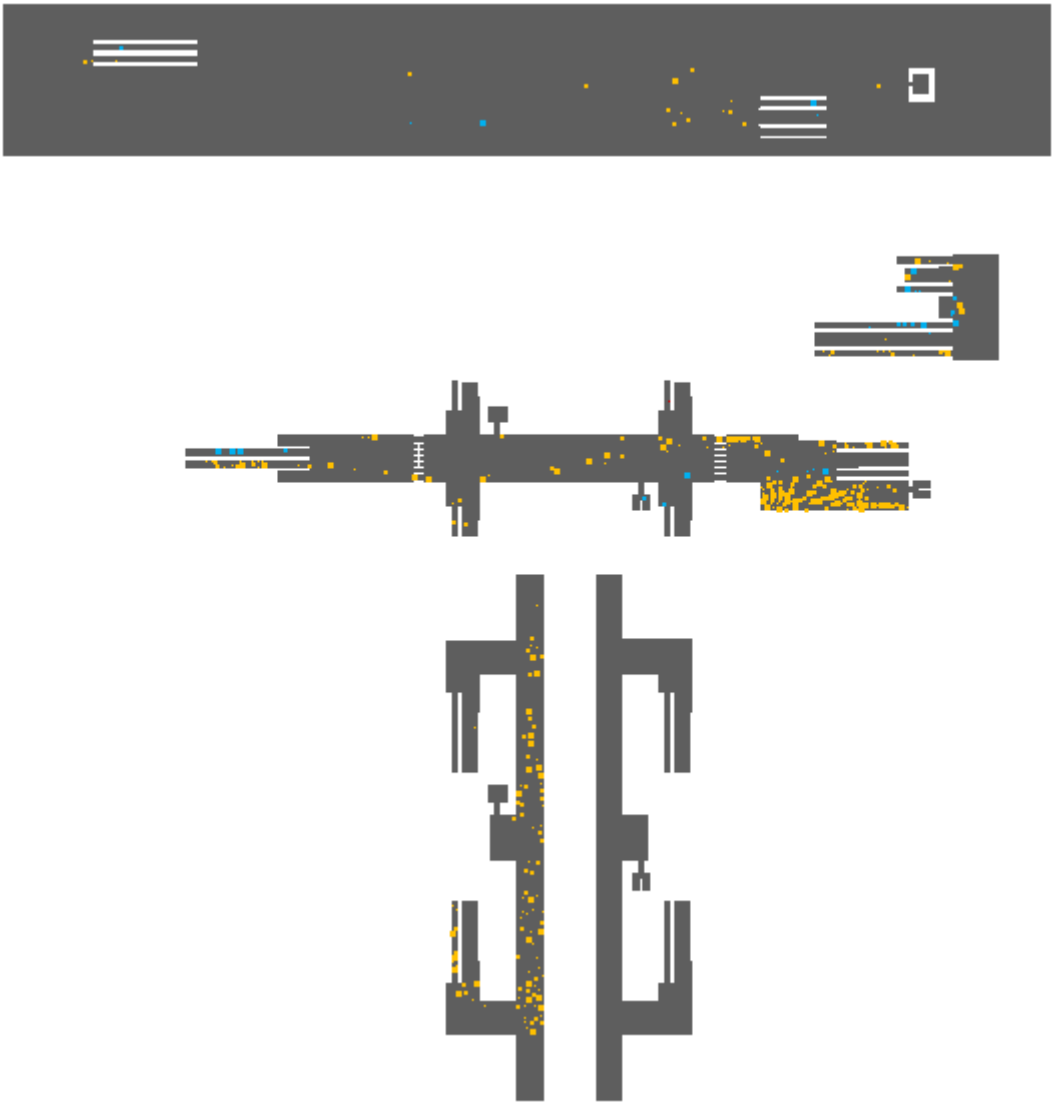


Εικόνα 82

Συμπεραίνουμε ότι για κατανομή 50%-50% των οντοτήτων στις δύο εισόδους, ο σταθμός δεν αντιμετωπίζει κανένα πρόβλημα στην διαχείριση των επιβατών.

6.4.1.7 Δοκιμή 7 (03+c)

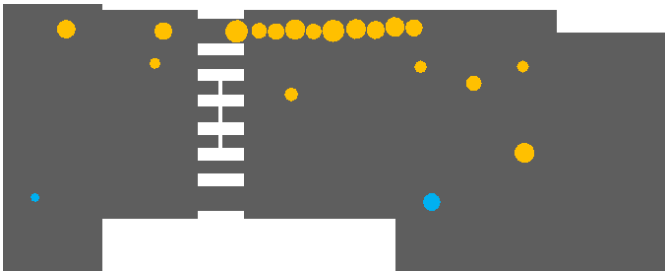
Με επιβάρυνση της ανατολικής πλευράς, το μοντέλο παρουσιάζει την ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 83

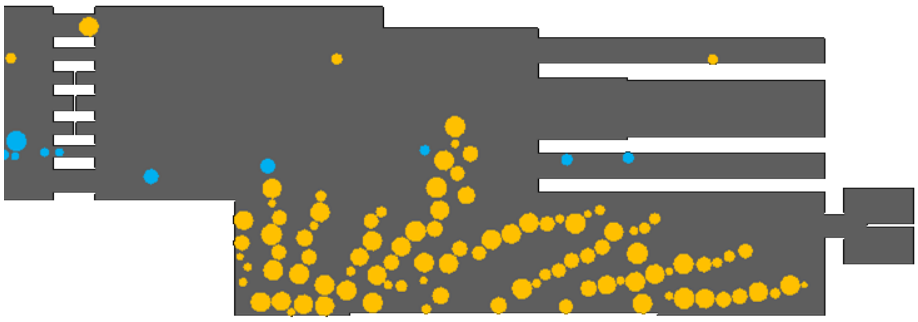
Παρατηρήσεις:

- Η ουρά στην ευρεία πύλη εισόδου είναι μεν μεγαλύτερη από άλλες δοκιμές (έως και περίπου 7.1 μέτρα), όμως δεν παραβιάζει κάποια προδιαγραφή και έτσι δεν αποτελεί πρόβλημα.



Εικόνα 84

- Ο χώρος μπροστά στα γραφεία έκδοσης είναι σε μεγάλο βαθμό κατειλημμένος από τους ανθρώπους που περιμένουν στην ουρά. Εξακολουθεί να είναι λειτουργικός και να μην παρεμποδίζει απαραίτητα την διέλευση άλλων ανθρώπων (υπάρχει ακόμα πρόσβαση στον ανελκυστήρα). Είναι φανερό ωστόσο ότι εάν μειώναμε τα σημεία εξυπηρέτησης στην συγκεκριμένη περίπτωση, τότε θα δημιουργούνταν πραγματικό πρόβλημα συνωστισμού.



Εικόνα 85

6.4.1.8 Σύνοψη

Αποδεικνύεται ότι ο σταθμός, με την παρούσα δομή, τις διαθέσιμες παροχές (μηχανήματα, πύλες κλπ.) και τις παραδοχές που έχουν οριστεί κατά την μοντελοποίηση, είναι γενικά σε θέση να διαχειριστεί τις επιθυμητές ροές επιβατών. Παρατηρούνται σημεία συνωστισμού κυρίως μετά τα 2/3 της ώρας και κυρίως στον ανατολικό χώρο του επιπέδου 2, χωρίς όμως να δημιουργείται πρόβλημα στην ροή των επιβατών.

Στις δοκιμές που έγιναν, παρατηρήθηκε μια παραβίαση των προδιαγραφών (δοκιμή 5), η οποία μπορεί εύκολα να επιλυθεί εάν αντικατασταθεί μια κανονική πύλη εισόδου από μια ευρεία στην ανατολική γραμμή. Η πρόταση αυτή θα εφαρμοστεί στις δοκιμές της λειτουργίας εκκένωσης.

Σε περίπτωση περεταίρω επιβάρυνσης του συστήματος είναι πιθανό να δημιουργηθούν αισθητά προβλήματα πρόσβασης σε επιβαρυμένες περιοχές (μπορεί για παράδειγμα το πλήθος των ανθρώπων στις ουρές αναμονής να καταστήσει αδύνατη την διέλευση ανθρώπων που κατευθύνονται προς και από τον ανελκυστήρα).

6.4.2 Λειτουργία Εκκένωσης

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο σχεδιασμού, γίνεται η υπόθεση ότι η πυρκαγιά εκδηλώνεται στο επίπεδο 3, σε μία από τις 2 αποβάθρες. Θα γίνει μια δοκιμή για την κάθε αποβάθρα. Το εγχειρίδιο δεν αναφέρει λεπτομέρειες για το ακριβές σημείο της εκδήλωσης και δεν απαιτεί να ληφθούν υπόψιν τυχόν επιδράσεις της πυρκαγιάς στην κίνηση των οντοτήτων (εν μέρει οι τυχόν επιπτώσεις καλύπτονται από την χαμηλή ταχύτητα κίνησης με την οποία θα κινούνται οι επιβάτες σε λειτουργία εκκένωσης).

Η προσομοίωση επομένως ελέγχει αποκλειστικά την δυνατότητα εκκένωσης συγκεκριμένου αριθμού επιβατών σε δοσμένο χρόνο, χωρίς να λαμβάνει υπόψιν τυχόν επιδράσεις της πυρκαγιάς στην ταχύτητα κίνησης, την ορατότητα του χώρου, την υγεία των πεζών κλπ.

Η προσομοίωση της λειτουργίας εκκένωσης θα γίνει σε διαφορετικό μοντέλο, το οποίο θα είναι μια κατάλληλα τροποποιημένη εκδοχή του πρώτου. Θα θεωρήσουμε ότι το περιστατικό

εκδηλώνεται το πρώτο δευτερόλεπτο της προσομοίωσης και, ακολουθώντας τα «Πρότυπα Μελέτης Έκτακτης Ανάγκης», θα εξετάσουμε πώς επιδρά ένα τέτοιο φαινόμενο στο σύστημα.

Για αρχή εξετάζουμε το σενάριο πυρκαγιάς στην δυτική αποβάθρα.

6.4.2.1 Μετατροπή Excel Data Sheet

Για τη νέα προσομοίωση θα χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί διαφορετικό Data Sheet, προσαρμοσμένο κατάλληλα στις συνθήκες. Οι αλλαγές θα εξηγηθούν παράλληλα με την παρουσίαση των νέων καρτελών.

6.4.2.1.1 Καρτέλα 1: Entity Profiles

Η ταχύτητα βαδίσματος όλων των επιβατών, σύμφωνα με το εγχειρίδιο σχεδιασμού, θα είναι 1 μέτρο ανά δευτερόλεπτο. Επομένως, θα χρειαστεί αντίστοιχο προφίλ τύπου ταχύτητας “evacuee speed”:

Profile type:	Speed						
Profile name:	evacuee speed						
Composition	Speed [m/s]	0.0 up to 0.1	< 0.6	< 0.7	< 0.8	< 0.9	< 1.0
100,00%	Percentage						100,00%

6.4.2.1.2 Καρτέλα 2: Entities

Είναι προφανές ότι σε περίπτωση ανάγκης δεν αναμένεται από τους χρήστες αναπηρικών αμαξιδίων να εκκενώσουν τον σταθμό ανεβαίνοντας από τις κλίμακες. Ένα σύνηθες πρωτόκολλο που τηρείται σε τέτοιες περιπτώσεις είναι οι υπάλληλοι του σταθμού να εντοπίζουν άμεσα όσους ανθρώπους αντιμετωπίζουν δυσκολίες που θα μπορούσαν να σταθούν εμπόδιο στην άμεση και ασφαλή εκκένωσή τους. Στην συνέχεια μεταφέρουν τους ανθρώπους αυτούς σε ασφαλή περιοχή με την χρήση φορείων ειδικών για εύκολη μεταφορά ατόμων ακόμη και σε κλίμακες. Λόγω της μειονότητας αυτών των περιπτώσεων και της έλλειψης σχετικής αναφοράς στο εγχειρίδιο σχεδιασμού, δεν θα γίνει μοντελοποίηση τέτοιας κατηγορίας οντοτήτων (ένας ή δύο υπάλληλοι που μεταφέρουν κάποιο άτομο σε φορείο).

Λόγω αυτών, την ενιαίας ταχύτητας για όλους τους επιβάτες και της αναγκαστικής χρήσης κλιμάκων, δεν απομένει κάποιο χαρακτηριστικό που να διαφοροποιεί σημαντικά τους επιβάτες μεταξύ τους. Αρκεί επομένως μία μόνο κατηγορία οντότητας: η κατηγορία “evacuee”. Δεν θα χρειαστεί Supply Type.

Entity Types	Entity type	Name	evacuee
		Colour	*(colour)*
		Category	Southern European
		Gender (% male)	50,00%
	Size profiles	Entity size	Default
		Male	
		Female	
		Luggage	Random
	Speed profiles	Flat ground	evacuee speed
		Stair - up	Inferred
		Stair - down	Inferred
		Escalator - up	Inferred
		Escalator - down	Inferred

6.4.2.1.3 Καρτέλα 3: OD Matrix

Δεν καταχωρούνται δεδομένα σε αυτή την καρτέλα. Οι οντότητες στο μοντέλο θα προέλθουν από Evacuation Zone.

6.4.2.1.4 Καρτέλα 4: Data Profiles:

Κατά τις προδιαγραφές, όσες κυλιόμενες κλίμακες κινούνταν αρχικά προς τα κάτω, αναστρέφονται από τους χειριστές του σταθμού εντός 1 λεπτού. Αυτό αποδίδεται με κατάλληλο προφίλ διαθεσιμότητας: “reversed stairs from down to up”.

Στην περίπτωση που χρειαστεί να γίνει εκκένωση του σταθμού, όλες οι πύλες θα ανοίξουν και θα παραμείνουν ανοιχτές για όλους. Δεν αναφέρεται πόσο διάστημα πρέπει να μεσολαβήσει από την εκδήλωση του περιστατικού, οπότε θα γίνει η υπόθεση ότι οι πύλες ανοίγουν 30 δευτερόλεπτα μετά την εκδήλωση. Χρησιμοποιούνται 2 προφίλ “Gate Control” για να μοντελοποιηθεί αυτό.

Τέλος, χρησιμοποιούνται προφίλ καθυστέρησης για τον καθορισμό της ταχύτητας διέλευσης επιβατών. Μέχρι να ανοίξουν οι πύλες, θεωρούμε ότι οι εξακολουθούν να λειτουργούν με μέγιστη ροή 25 ατόμων το λεπτό, το οποίο αντιστοιχεί σε καθυστέρηση 2.4 δευτερολέπτων ανά άτομο. Επιπλέον, έχει δοθεί ότι σε λειτουργία έκτακτης ανάγκης οι κανονικές πύλες επιτρέπουν ροή 50 ατόμων το λεπτό ενώ οι ευρείες επιτρέπουν ροή 80 ατόμων το λεπτό. Αυτά τα ποσά αντιστοιχούν σε καθυστέρηση 1.2 και 0.75 δευτερολέπτων ανά άτομο αντίστοιχα. Τα προφίλ που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση αυτή φαίνονται στον είναι:

			12:00:00	12:01:00	13:00:00
Availability	reversed stairs from down to up		off	on	
			12:00:00	12:00:30	13:00:00
Delay	prev in regular gates		2,4	1,2	
Delay	prev in wide gates		2,4	0,75	
Delay	prev out regular gates		2,4	1,2	
Delay	prev out wide gates		2,4	0,75	
Gate control	prev in gates		IN	FREE OUT	
Gate control	prev out gates		OUT	FREE OUT	

6.4.2.1.5 Καρτέλα 5: Origin Settings

Η καρτέλα αυτή δεν χρησιμοποιείται, καθώς το μοντέλο εκκένωσης δεν θα περιέχει Origins.

6.4.2.1.6 Καρτέλα 6: Platform-Train Settings

Μετά την εκδήλωση του περιστατικού παύουν να καταφτάνουν συρμοί στον συγκεκριμένο σταθμό. Επομένως, η καρτέλα 6 επίσης δεν θα χρησιμοποιείται.

6.4.2.2 Μετατροπή Μοντέλου

Το σενάριο έκτακτης ανάγκης απαιτεί μετατροπή του μοντέλου. Όλες οι οντότητες μέσα στον σταθμό μετατρέπονται εκ νέου σε μια νέα κατηγορία οντοτήτων, αυτή των επιβατών σε κατάσταση εκκένωσης, η οποία κινείται με συγκεκριμένη ταχύτητα όπως ορίζεται από το NSPF 130. Επίσης, σε αυτό το σενάριο δεν έχει νόημα να υπάρχουν είσοδοι οντοτήτων, διερχόμενοι συρμοί, σημεία εξυπηρέτησης και αγοράς εισιτηρίων κλπ.

6.4.2.2.1 Προεργασία

Αρχικά διαγράφονται στοιχεία που είναι περιττά στην λειτουργία εκκένωσης. Συγκεκριμένα γίνεται διαγραφή:

- των εισόδων
- όλων των υπαρχόντων DM
- όλων των MTZ
- όλων των FN
- όλων των objects που αφορούν τους αυτόματους πωλητές και τα γραφεία έκδοσης.
- των αποβάθρων, βαγονιών, συρμών και υπηρεσιών W και E.

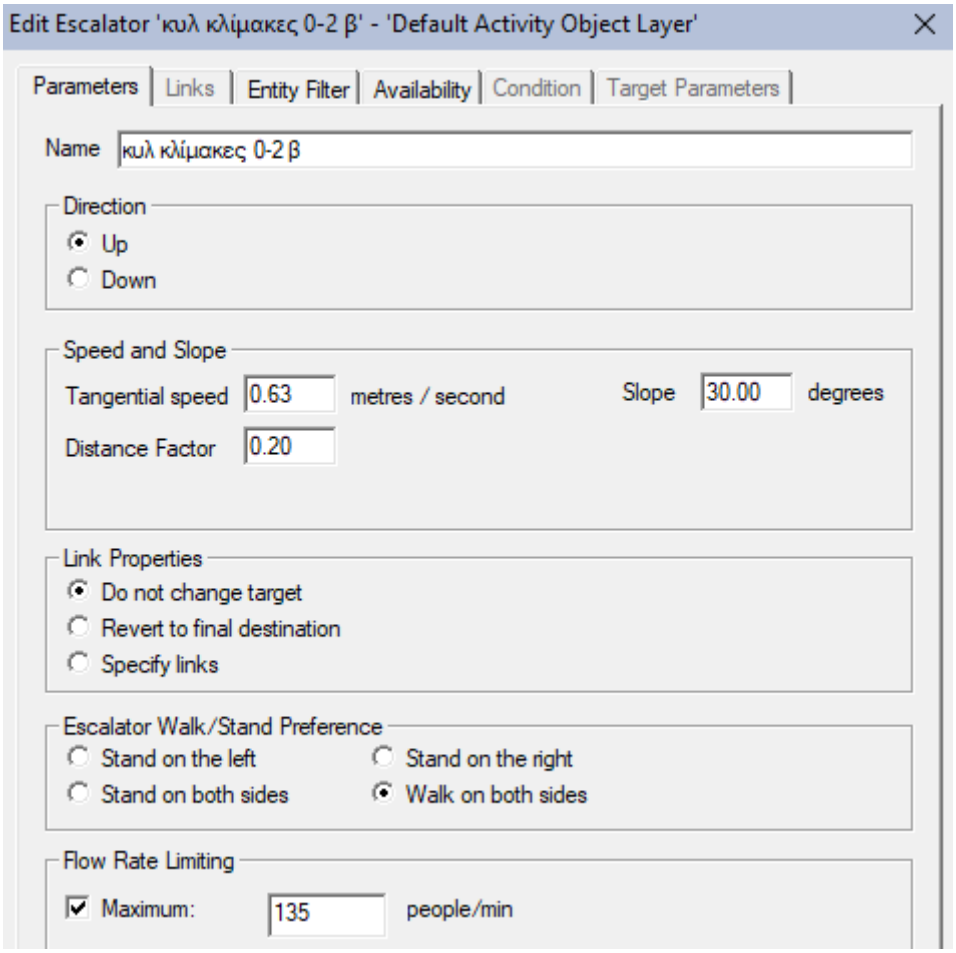
Επίσης:

- Εισάγεται το DS που δημιουργήθηκε για την λειτουργία εκκένωσης.

Αφού γίνουν αυτά προχωρούμε σε περεταίρω μοντελοποίηση.

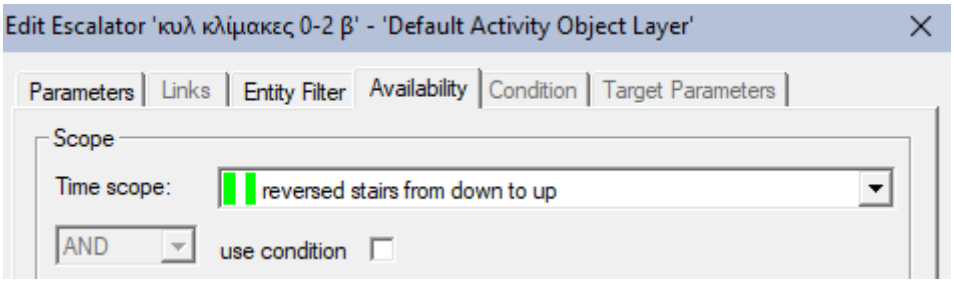
6.4.2.2.2 Κυλιόμενες Κλίμακες

Κάθε κλίμακα θα πρέπει να έχει τις ακόλουθες ρυθμίσεις:



Εξαιρείται η ακίνητη κλίμακα, στην οποία θα ορίσουμε μέγιστη επιτρεπτή ροή τα 50 άτομα/ λεπτό.

Όσες κλίμακες χρησιμοποιούνταν αρχικά για κάθοδο θα πρέπει να ρυθμιστούν ως εξής:



Έτσι θα είναι διαθέσιμες για χρήση μετά το πέρας του ενός λεπτού.

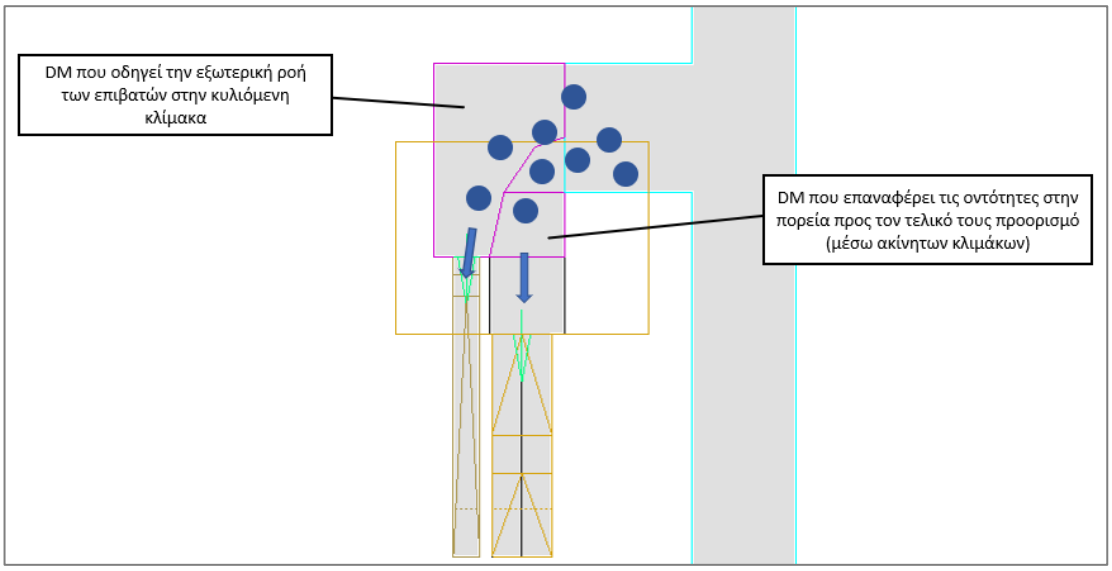
6.4.2.2.3 Κλίμακα Εκτός Λειτουργίας

Κατά το εγχειρίδιο, μία κυλιόμενη κλίμακα από την αποβάθρα θα πρέπει να παραμείνει ακίνητη σε όλη την διάρκεια της εκκένωσης. Ακολουθώντας το δυσμενέστερο σενάριο, επιλέγουμε την κλίμακα ανόδου (στην πλατφόρμα όπου εκδηλώνεται η πυρκαγιά).

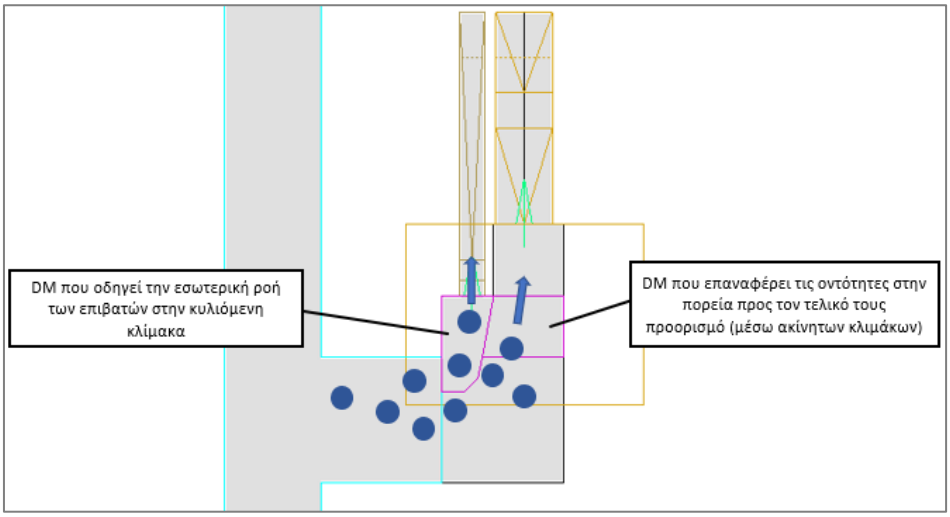
6.4.2.2.4 Διαφυγή Από Κυλιόμενες Και Ακίνητες Κλίμακες

Κάθε επιβάτης επιδιώκει να απομακρυνθεί από την περιοχή κινδύνου όσο ταχύτερα του επιτρέπει το περιβάλλον του (διαρρύθμιση σταθμού, πλήθος, οδηγίες Υπεύθυνου Σταθμού από μεγάφωνα, σημάνσεις). Η προσομοίωση βασίζεται στην υπόθεση ότι οι πεζοί επιλέγουν την διαδρομή που βρίσκεται στο οπτικό τους πεδίο και που θεωρούν ότι θα τους οδηγήσει στην έξοδο πιο γρήγορα, ακολουθώντας εν μέρει άλλους ανθρώπους αλλά προτιμώντας λιγότερο συνωστισμένες επιλογές. Αυτό ισχύει και για την επιλογή κλιμάκων που θα χρησιμοποιήσουν (κυλιόμενων ή μη). Η αναμενόμενη εικόνα είναι μία ομοιόμορφη κάλυψη της διαθέσιμης ροής όλων των κλιμάκων. Για να μοντελοποιηθεί η συμπεριφορά αυτή, αρχικά όλες οι κυλιόμενες κλίμακες μετατρέπονται σε target objects.

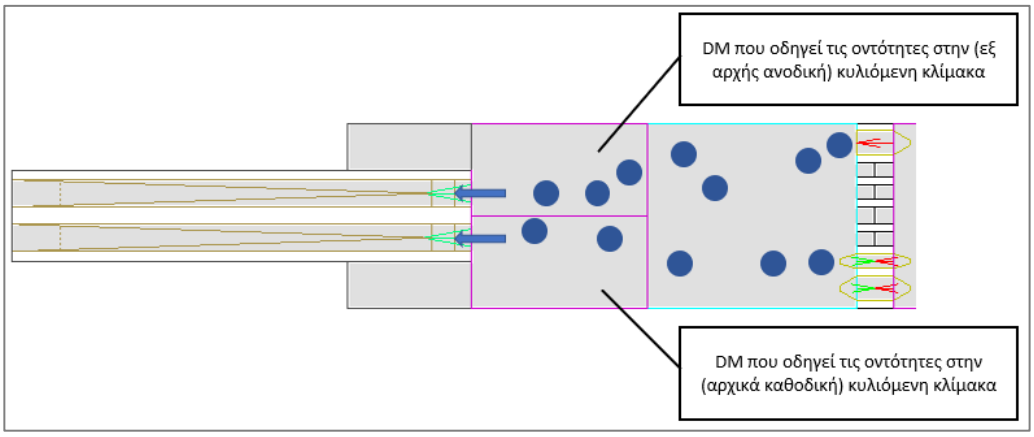
Στη συνέχεια, σε κάθε χώρο που βρίσκεται μπροστά από το κάτω σημείο κλιμάκων, τοποθετούνται συνδυασμοί από DM. Η επιλογή των σχημάτων και των ρυθμίσεων αυτών των DM επιλέγεται μετά από πληθώρα δοκιμών που έγιναν προκειμένου να επιτευχθεί όσο είναι δυνατόν πιο ρεαλιστική συμπεριφορά. Στις επόμενες εικόνες περιγράφονται οι συνδυασμοί που θα χρησιμοποιηθούν.



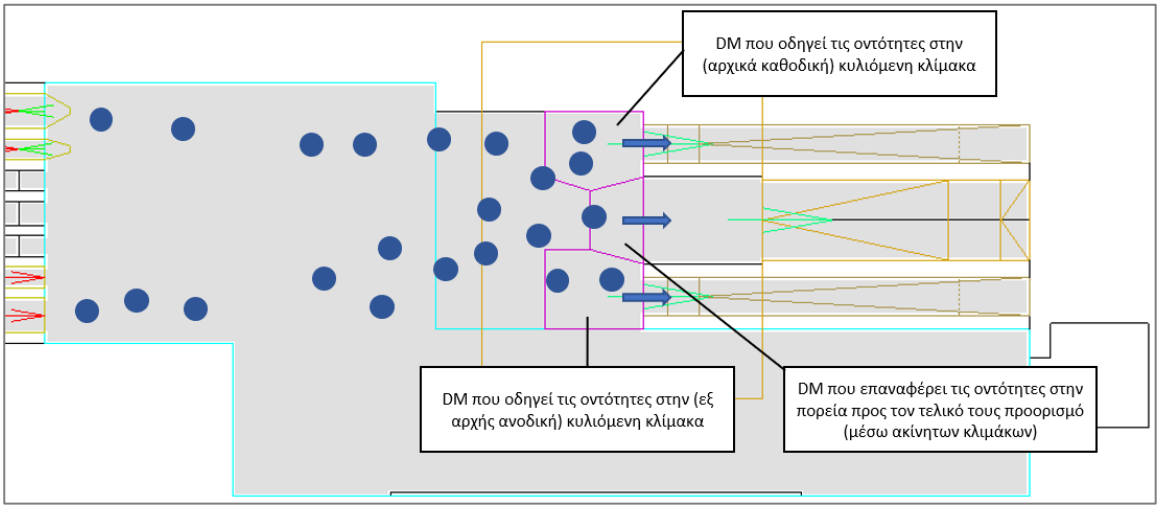
Εικόνα 86: Επίπεδο 3 – Δυτικές κλίμακες



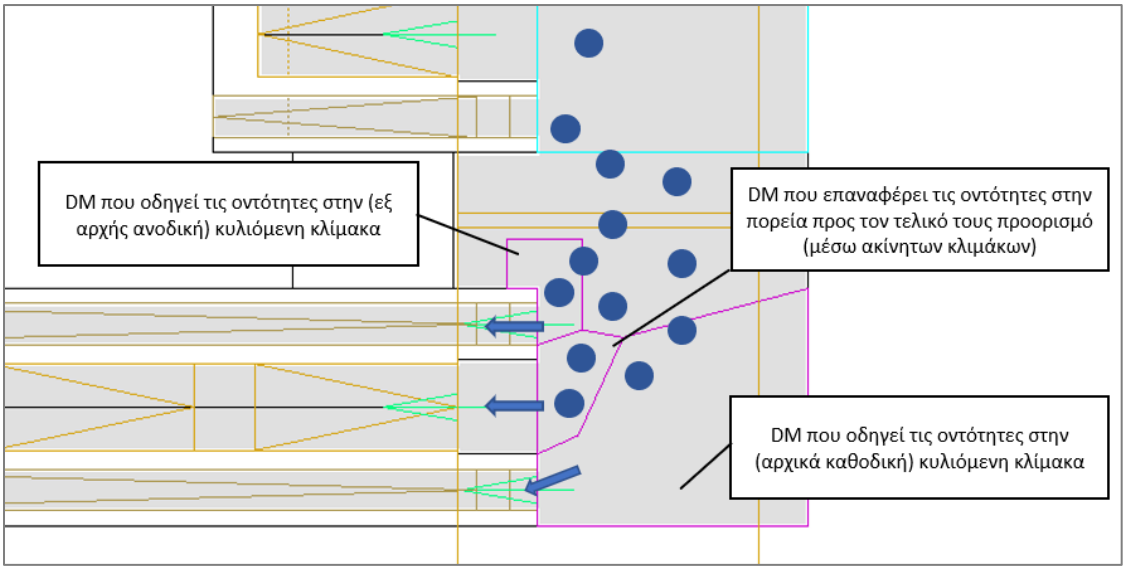
Εικόνα 87: Επίπεδο 3 – Ανατολικές κλίμακες



Εικόνα 88: Επίπεδο 2 – Δυτικές κλίμακες:



Εικόνα 89: Επίπεδο 2 – Ανατολικές Κλίμακες



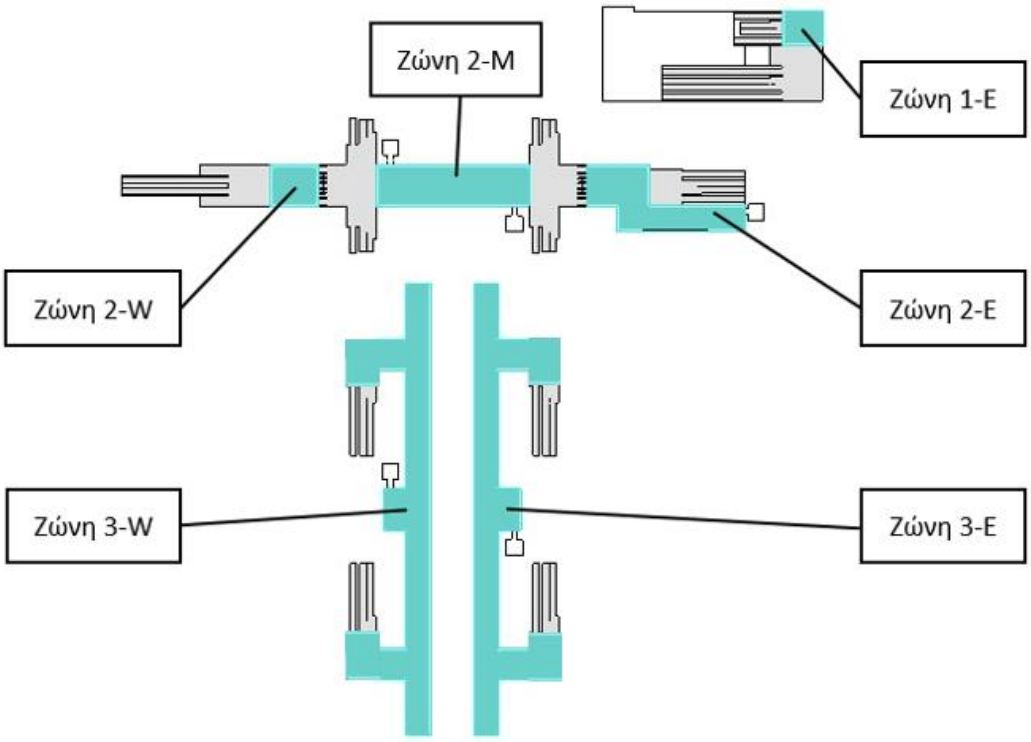
Εικόνα 90: Επίπεδο 1 – Ανατολικές Κλίμακες

Για τα DM ισχύουν:

- Όλα τα DM επηρεάζουν το 100% των επιβατών που διέρχονται μέσα από αυτά.
- Τα DM που αφορούν αρχικά καθοδικές κλίμακες ενεργοποιούνται 60 δευτερόλεπτα μετά την έναρξη, με το αντίστοιχο προφίλ διαθεσιμότητας ("reversed stairs from down to up").

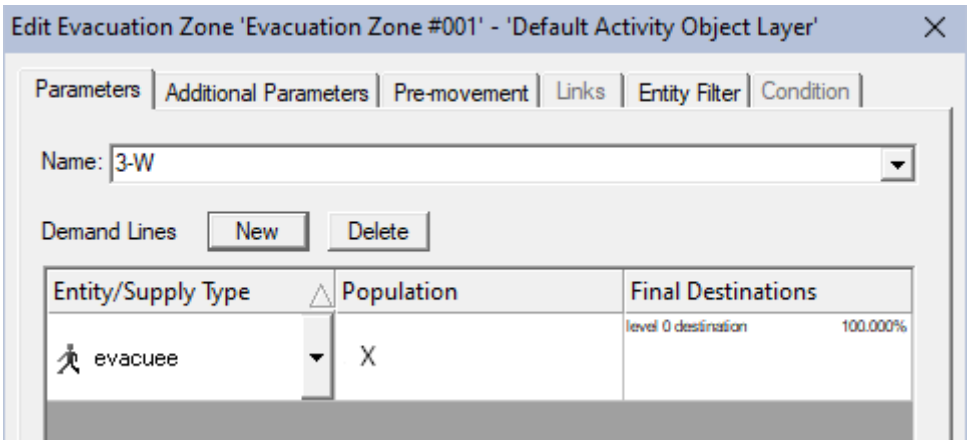
6.4.2.2.5 Ζώνες εκκένωσης

Δημιουργούνται οι ακόλουθες ζώνες εκκένωσης:

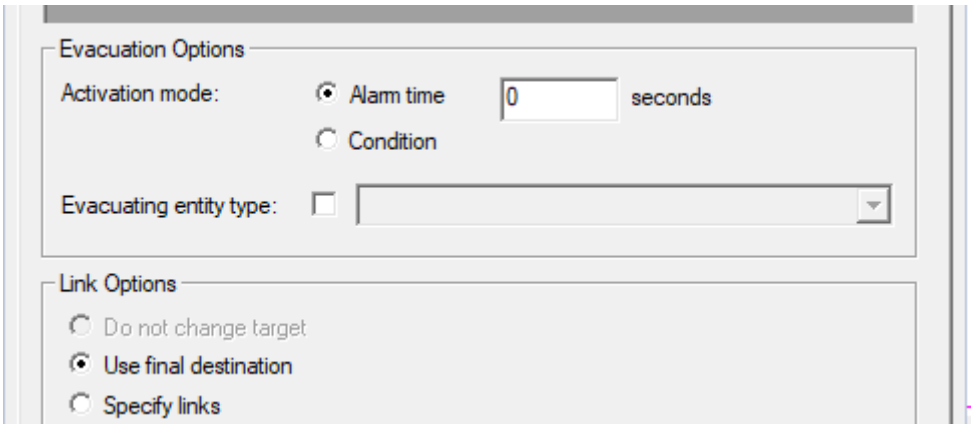


Εικόνα 91: Ζώνες εκκένωσης

Όλες οι ζώνες εκκένωσης ρυθμίζονται κατά τον ίδιο τρόπο:



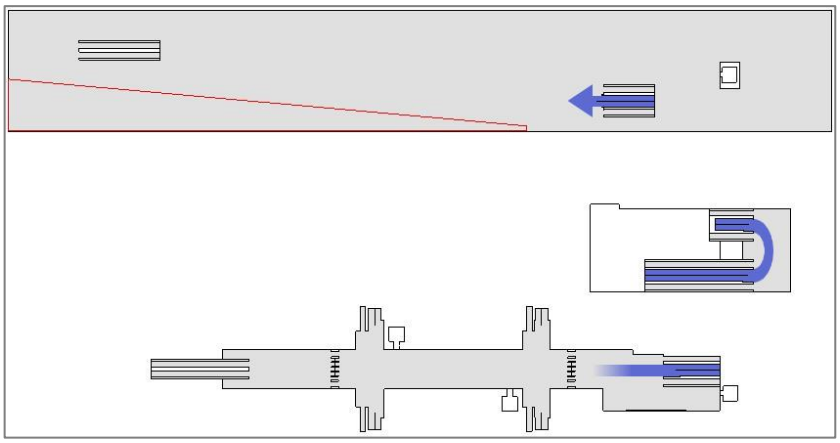
- Όπου X ο αριθμός επιβατών (τύπου “evacuee”) που αντιστοιχεί στην εκάστοτε περιοχή του συστήματος.



- Θεωρείται ότι το περιστατικό εκδηλώνεται από το πρώτο δευτερόλεπτο της προσομοίωσης, οπότε το ”Alarm time" ορίζεται αναλόγως.
- Οι ζώνες 3-E, 3-W, 2-E και 1-E δεν κατευθύνουν τους επιβάτες σε ενδιάμεσους στόχους (επιλογή “Use final destination”).

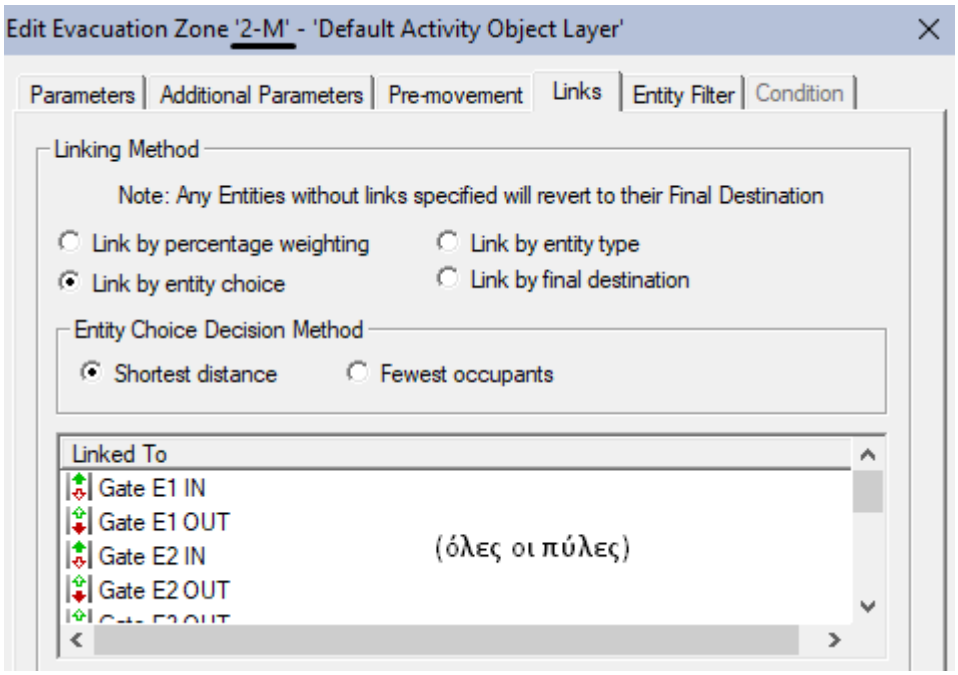
Στις ζώνες 2-W και 2-M, όμως, θα πρέπει να ορίσουμε links προκειμένου να κατευθύνουμε σωστά τους επιβάτες. Αυτό γίνεται διότι λόγω της μετατροπής των κυλιόμενων κλιμάκων σε Target Objects, οι επιβάτες δεν τις αναγνωρίζουν αυτόματα ως πιθανά περάσματα προς τον προορισμό τους. Αντιλαμβάνονται ως μόνη διαθέσιμη διαδρομή το πέρασμα από τις ακίνητες κλίμακες, που παραμένουν Filtering Objects (εικόνα 92).

Εάν δεν ορίσουμε links, όλες οι οντότητες στις ζώνες εκκένωσης που αναφέρθηκαν θα αρχίσουν να κατευθύνονται προς τα δεξιά. Τελικά οι οντότητες της 2-M θα εξέλθουν όλες από τις ανατολικές πύλες (ενώ το επιθυμητό είναι να μοιραστούν σε ανατολικές και δυτικές πύλες) και οι οντότητες της 2-W θα κινηθούν προς τις δυτικές πύλες, όπου θα σταματήσουν (το επιθυμητό είναι να εξέλθουν από τις δυτικές κυλιόμενες κλίμακες).

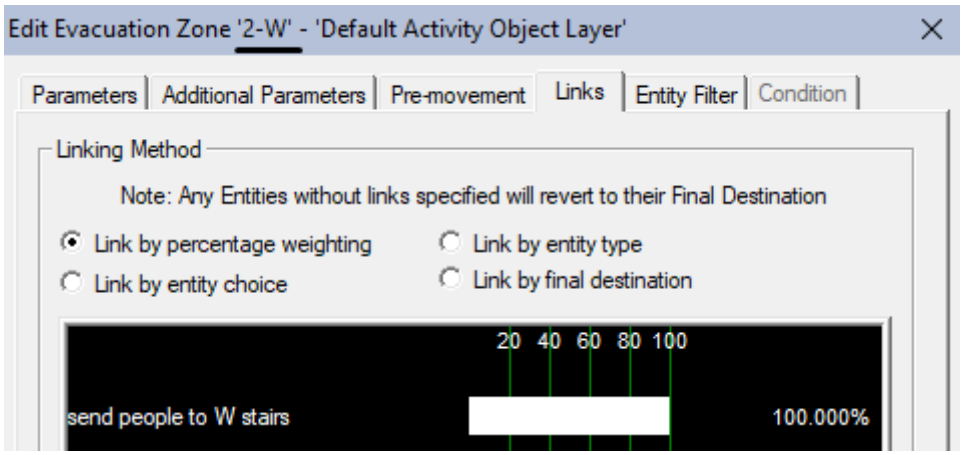


Εικόνα 92: Η διαθέσιμη διαδρομή που μπορούν να εντοπίσουν οι οντότητες

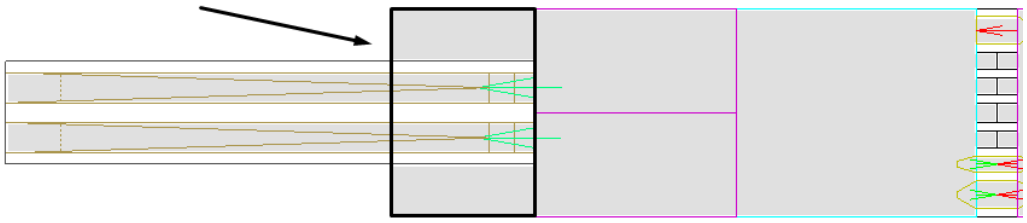
Τα links για τις δύο αυτές ζώνες θα είναι:



και



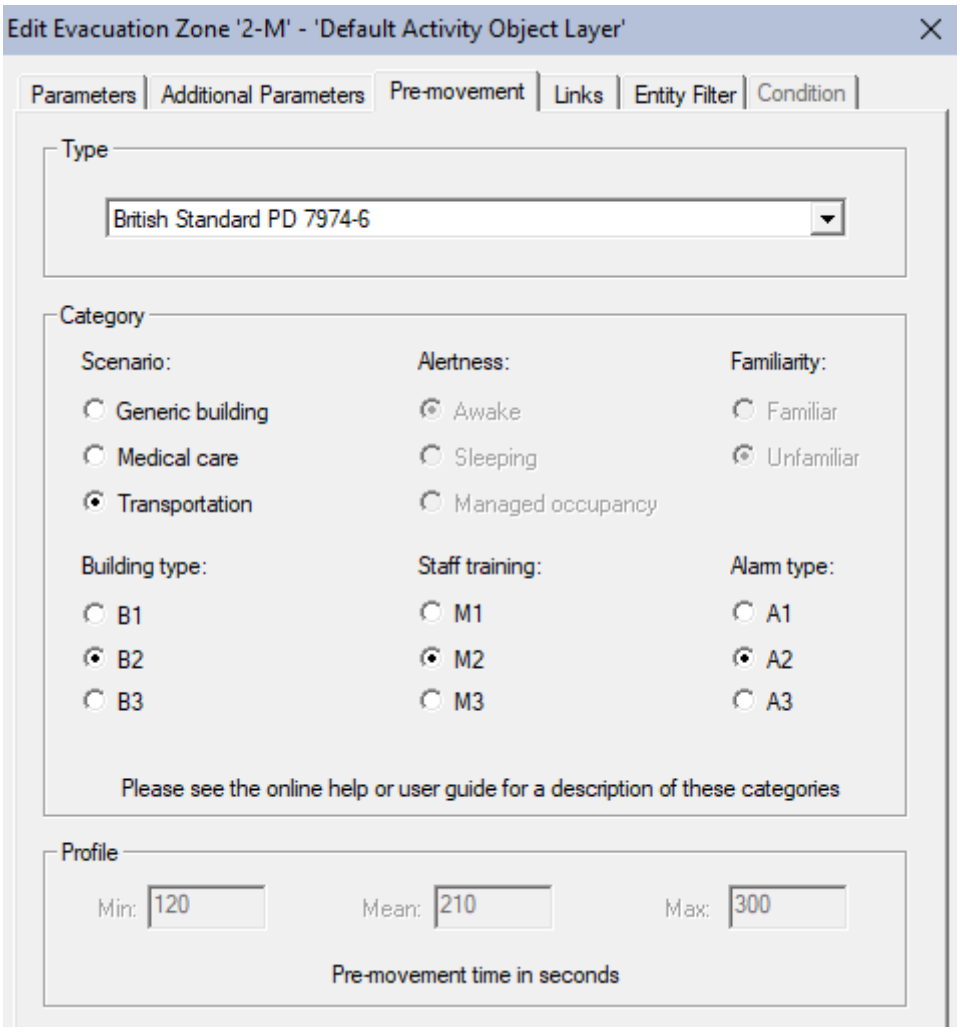
συνδυαστικά με το FN “send people to W stairs”, το οποίο τοποθετείται στο ακόλουθο σημείο:



Εικόνα 93

Συνεχίζοντας με τις ρυθμίσεις των ζωνών εκκένωσης, υπάρχει μια καρτέλα που λέγεται “Pre-movement”. Στην καρτέλα αυτή μπορούμε να ελέγξουμε την αντίδραση των οντοτήτων στην ενεργοποίηση του συναγερμού είτε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του British Standard PD 7974-6, είτε με δικές μας τιμές.

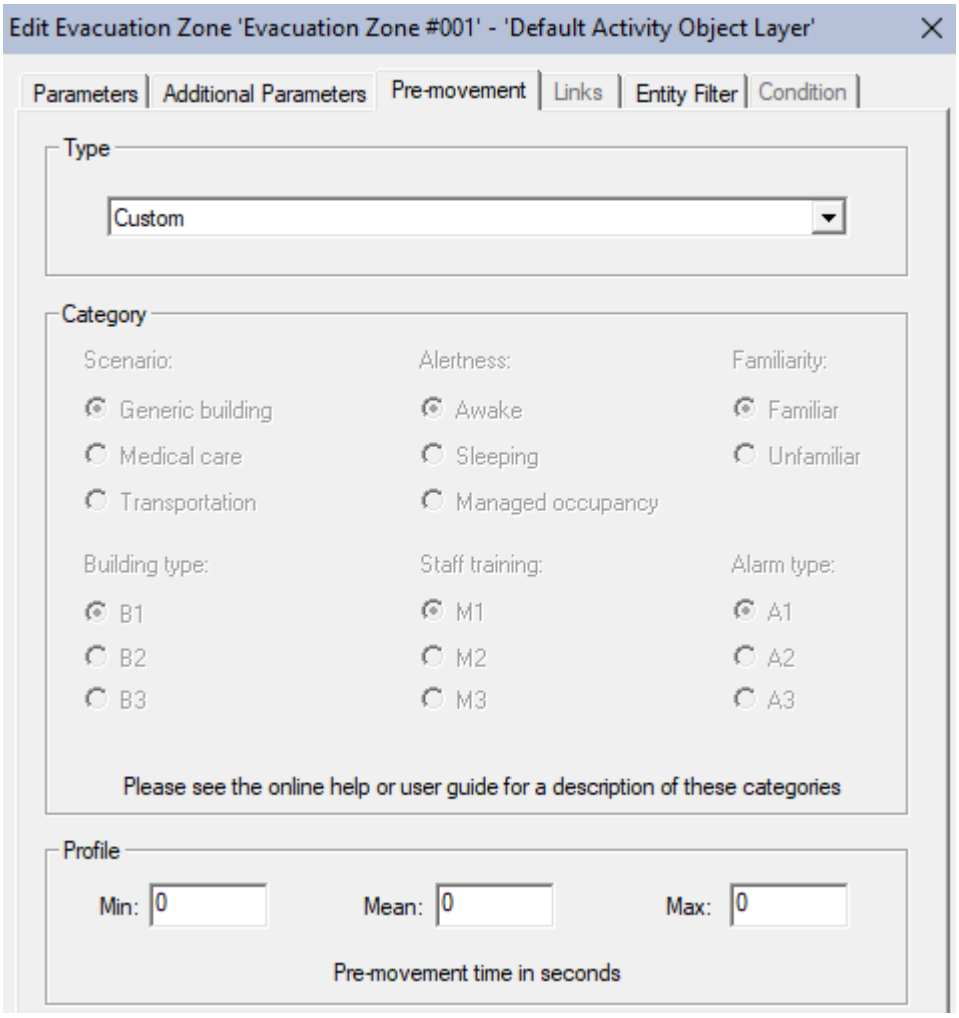
Εάν επιλέγαμε να ακολουθήσουμε το BS, οι τιμές που θα πρόκυπταν θα ήταν:



Είναι προφανές ότι η ελάχιστη τιμή των 120 δευτερολέπτων δεν αντιπροσωπεύει αυτό που θα συνέβαινε σε ένα πραγματικό σενάριο, όπου πολλοί επιβάτες πιθανώς να ήταν παρόντες στην εκδήλωση του κινδύνου και άρα να έσπευδαν άμεσα να απομακρυνθούν προς

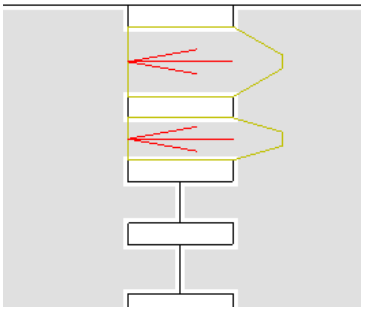
ασφαλέστερο σημείο. Επιπροσθέτως, η μέγιστη τιμή των 300 δευτερολέπτων καθιστά αδύνατη την εκπλήρωση της χρονικής προδιαγραφής που έχει οριστεί.

Επομένως, κρίνεται προτιμότερο να μην οριστεί χρόνος καθυστέρησης της αντίδρασης των επιβατών στην εκδήλωση του περιστατικού. Όλες οι τιμές χρόνου αντίδρασης (min, mean, max) μηδενίζονται:



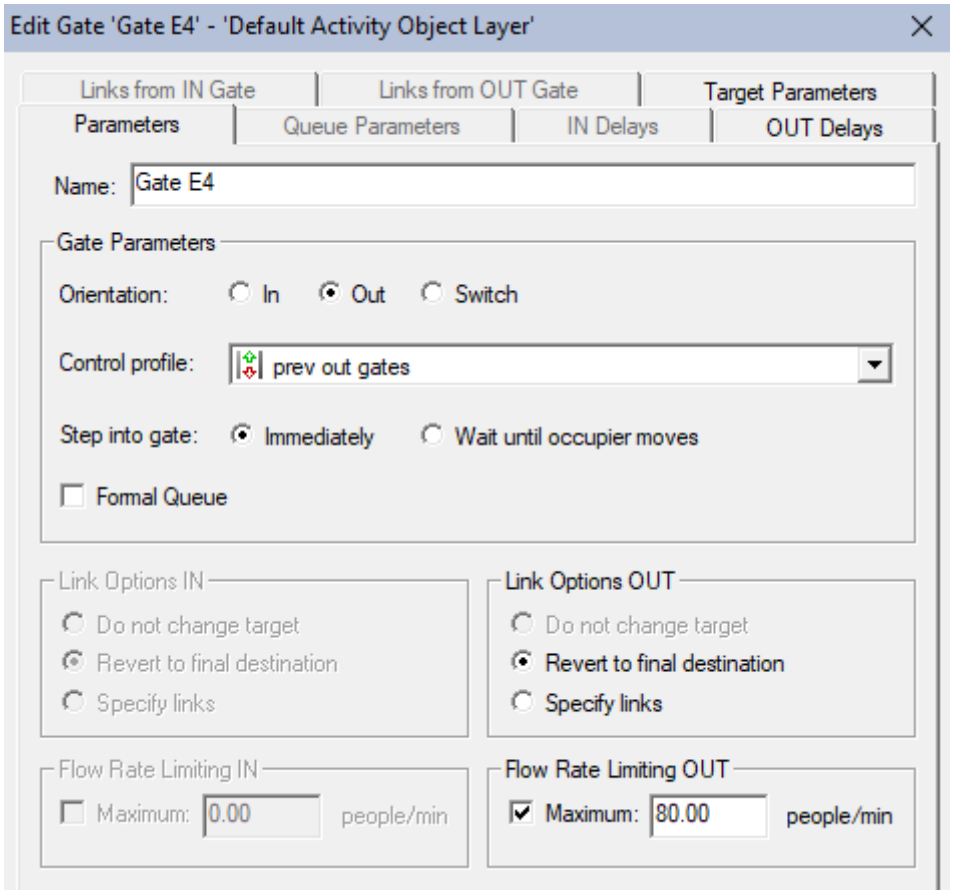
6.4.2.2.6 Πύλες Επικύρωσης

Αρχικά πραγματοποιούμε την αλλαγή που απαιτείται προκειμένου να πληρούνται οι προδιαγραφές της ώρας αιχμής. Μετατρέπουμε δηλαδή την κανονική πύλη της ανατολικής γραμμής σε ευρεία. Στην συνέχεια, μοντελοποιούμε την εφεδρική πύλη εξόδου στην δυτική γραμμή, την οποία υποθέτουμε ότι ο υπεύθυνος Σταθμού ανοίγει μαζί με τις υπόλοιπες:

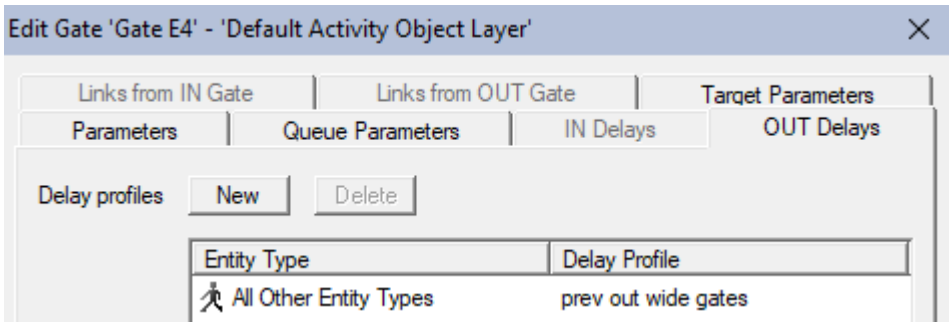


Εικόνα 94: Προσθήκη εφεδρικής πύλης στο μοντέλο

Τροποποιούνται οι ρυθμίσεις των ανατολικών OUT Gates:

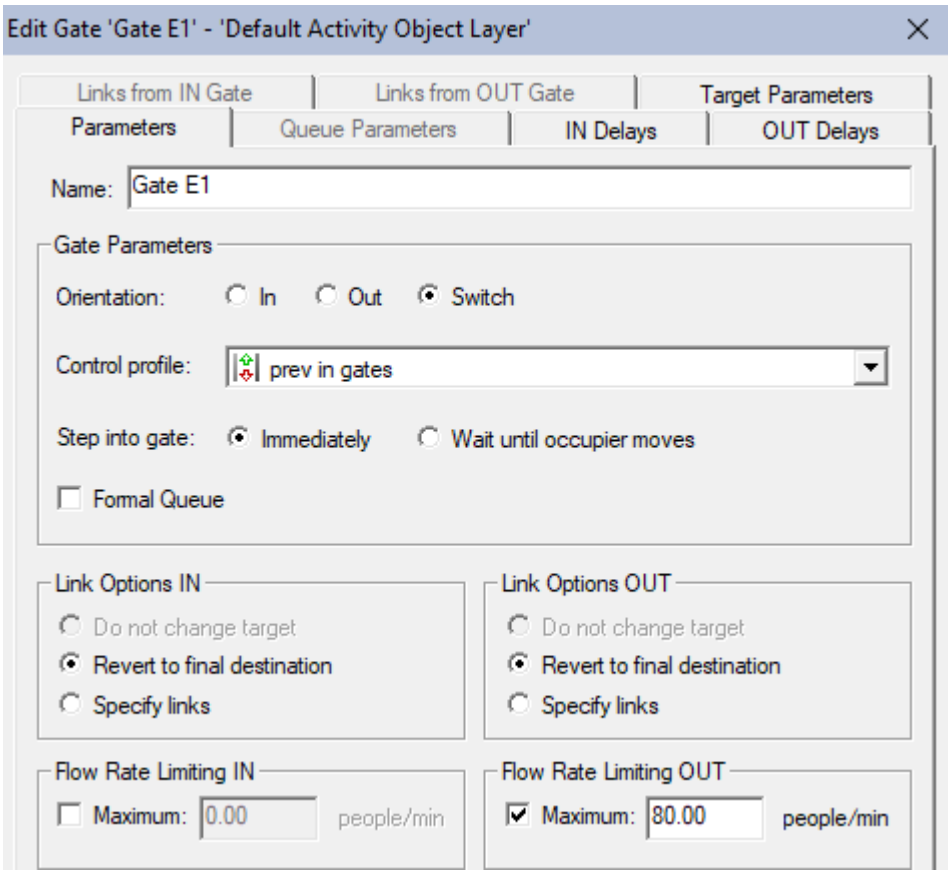


- Η μέγιστη ροή είναι 80 για ευρείες και 50 για κανονικές πύλες.

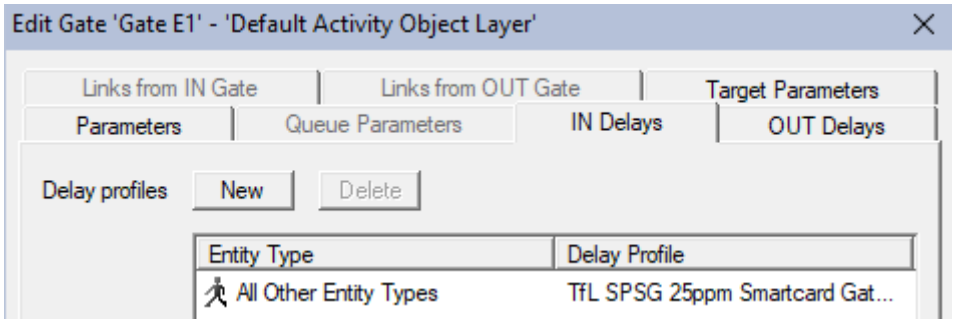


- Οι κανονικές πύλες αντίστοιχα θα έχουν Delay Profile: “prev in regular gates”.

Όλες οι ανατολικές πύλες εισόδου (αρχικά IN Gates) μετατρέπονται σε Switch Gates. Οι νέες ρυθμίσεις αυτών θα είναι:



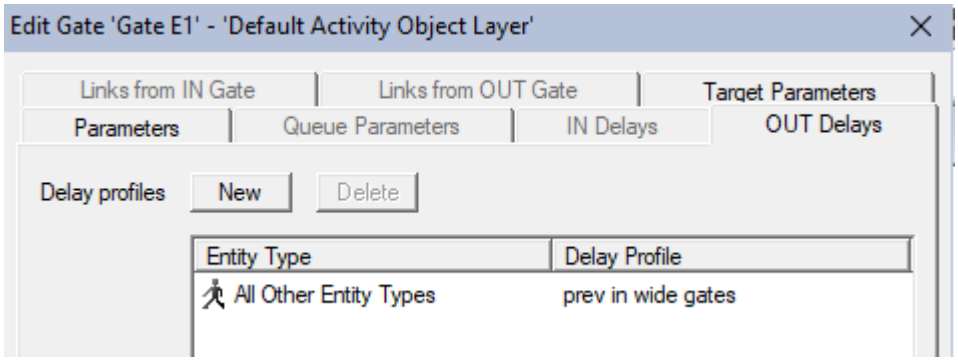
- Η μέγιστη ροή είναι 80 για ευρείες και 50 για κανονικές πύλες.

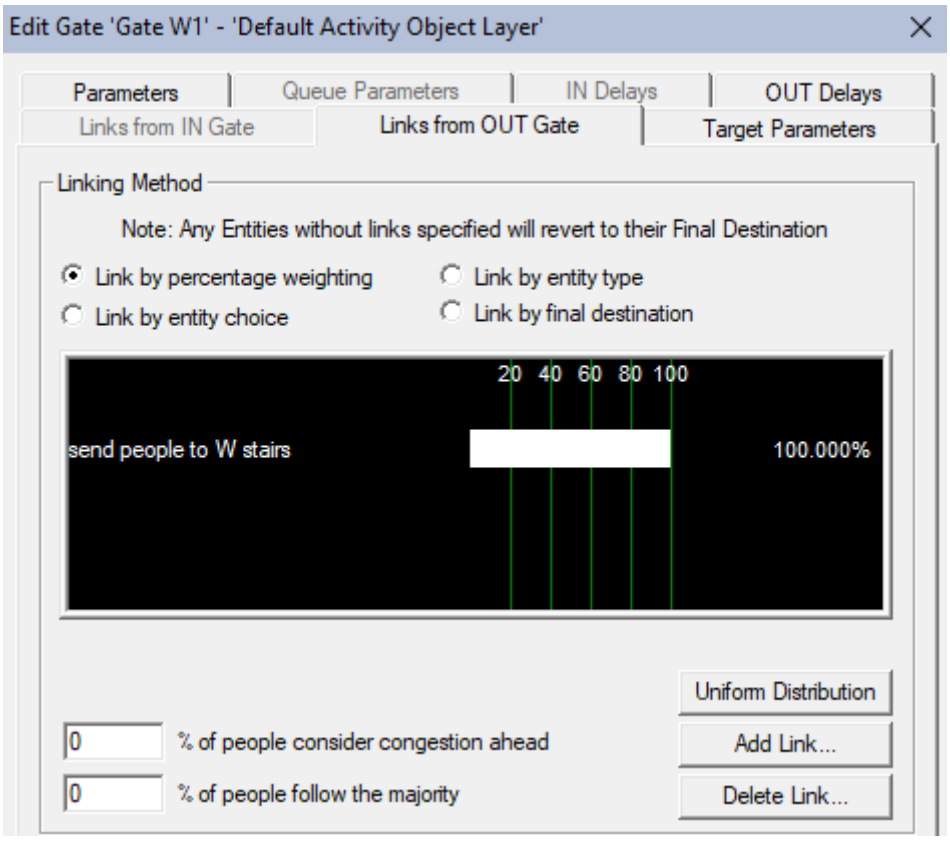


- Οι κανονικές πύλες αντίστοιχα θα έχουν Delay Profile: “prev in regular gates”.

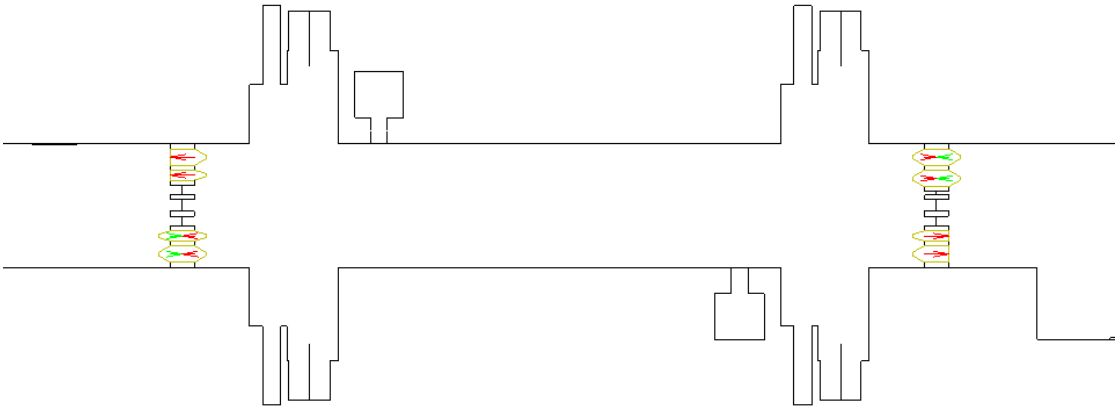
Οι πύλες δεν θα χρησιμοποιηθούν από κανέναν επιβάτη ως IN Gates, ωστόσο τα χαρακτηριστικά τους συμπληρώνονται για πληρότητα.

Οι πύλες στην δυτική γραμμή θα έχουν παρόμοιες ρυθμίσεις, με την διαφορά ότι θα πρέπει να καθοδηγούν τους επιβάτες στον FN που βρίσκεται στις δυτικές κυλιόμενες κλίμακες του επιπέδου 2. Αυτό γίνεται για τον ίδιο λόγο που χρησιμοποιήσαμε links για τις ζώνες εκκένωσης 2-W και 2-M.





Τελικά οι πύλες του επιπέδου 2 έχουν την ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 95

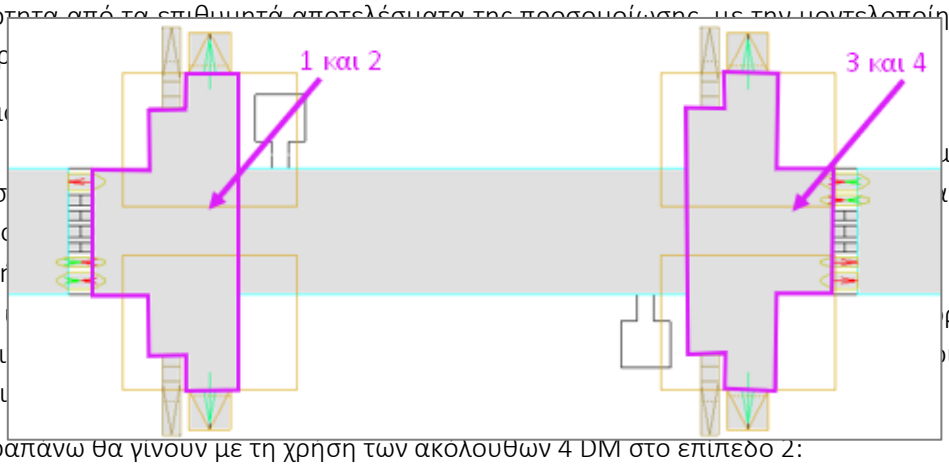
6.4.2.2.7 Οδήγηση Επιβατών στις Πύλες

Πολύ σημαντικό κομμάτι της μοντελοποίησης είναι τα DM που θα οδηγούν τους επιβάτες στις πύλες, και κυρίως τους (περισσότερους από 1000) επιβάτες που θα ανεβαίνουν από τις αποβάθρες στο επίπεδο 2.

Οι επιλογές εξόδου είναι

- 2 ευρείες πύλες και 1 κανονική στην δυτική γραμμή (6 μέτρα από το σημείο άφιξης στο επίπεδο 2), οι οποίες οδηγούν σε 2 κυλιόμενες κλίμακες που καταλήγουν απευθείας στο εξωτερικό του σταθμού
- 2 ευρείες πύλες εξόδου και 2 κανονικές στην ανατολική γραμμή (40 μέτρα από το σημείο άφιξης στο επίπεδο 2), οι οποίες οδηγούν σε 2 κυλιόμενες και 1 σταθερή κλίμακα. Οι κλίμακες οδηγούν στο εξωτερικό του σταθμού μετά από μεσολάβηση ενός ακόμα επιπέδου.

Ανεξάρτητα από τα επιθυμητά αποτελέσματα της προσομοίωσης, με την μοντελοποίηση της συμπερ



- Ομ
- Σε μή που πισ ρα θα απο
- Πλή
- Οι ριο. Το όρι ιμένου αρι

Τα παραπάνω θα γίνουν με τη χρήση των ακόλουθων 4 DM στο επίπεδο 2:

Εικόνα 96: Τα 4 DM που οδηγούν τους επιβάτες στις πύλες

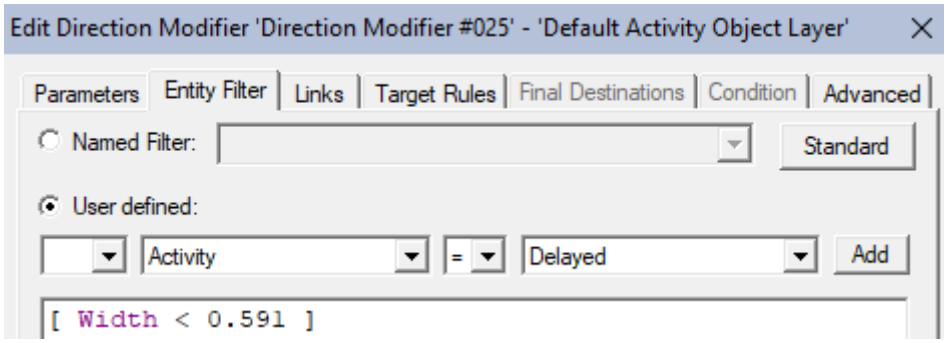
1. DM μπροστά στις κλίμακες από την δυτική αποβάθρα για επιβάτες που μπορούν να περάσουν μόνο από ευρείες πύλες
2. DM μπροστά στις κλίμακες από την δυτική αποβάθρα για επιβάτες που μπορούν να περάσουν από όλες τις πύλες
3. DM μπροστά στις κλίμακες από την ανατολική αποβάθρα για επιβάτες που μπορούν να περάσουν μόνο από ευρείες πύλες
4. DM μπροστά στις κλίμακες από την ανατολική αποβάθρα για επιβάτες που μπορούν να περάσουν από όλες τις πύλες

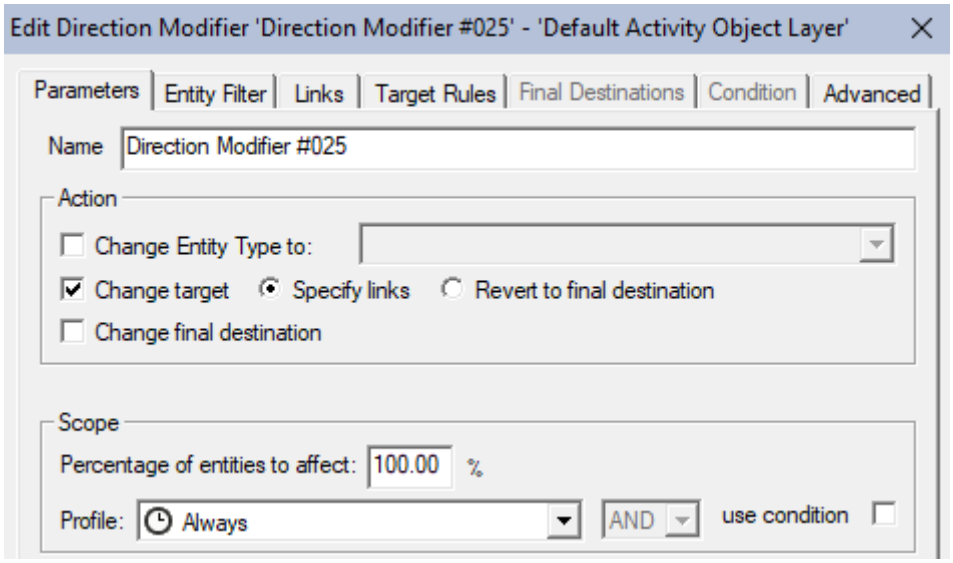
Οι ρυθμίσεις των DM αυτών (ειδικότερα τα ποσοστά κατανομής των οντοτήτων στις πύλες) προέκυψαν μετά από πολλές δοκιμές προκειμένου να βρεθεί μια λύση που να δημιουργεί ικανοποιητική εικόνα σε σχέση με όσα αναφέρθηκαν για την αναμενόμενη εικόνα.

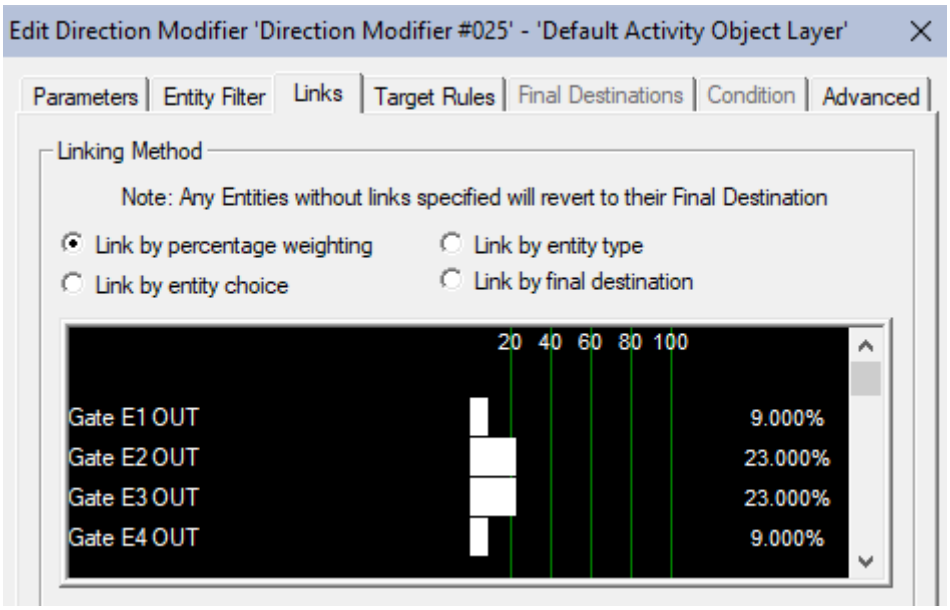
Εκ των υστέρων διαπιστώνεται ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί η ρύθμιση “fewest occupants” για την επιλογή των πυλών διότι η ρύθμιση αυτή λαμβάνει υπόψιν και τον παράγοντα της απόστασης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι επιβάτες να συσσωρεύονται στην πλησιέστερη γραμμή πυλών δημιουργώντας πρόβλημα συνωστισμού και καθυστερώντας την εκκένωση.

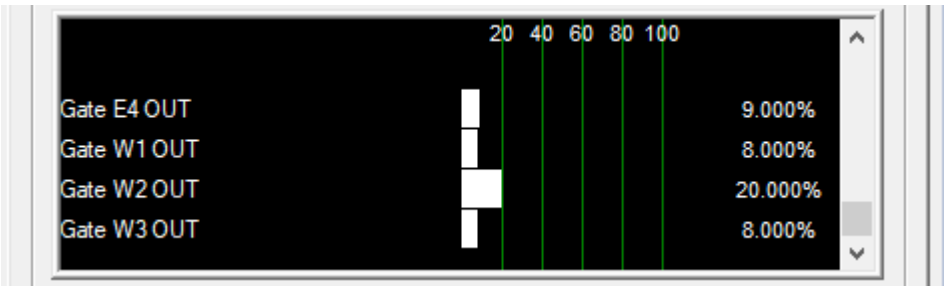
Με κάθε δοκιμή παρατηρείται η κατανομή των επιβατών στις πύλες και τα ποσοστά τροποποιούνται αναλόγως. Δεν υπάρχει εγγύηση ότι η τελική επιλογή είναι και αυτή που αποδίδει τους καλύτερους χρόνους, ωστόσο σε ένα πραγματικό σενάριο το πιθανότερο είναι ότι το πλήθος δεν θα κινηθεί με τον βέλτιστο τρόπο. Για να εξάγουμε λοιπόν ασφαλή συμπεράσματα, αρκεί μια χονδρικά λογική προσομοίωση.

Οι ρυθμίσεις του ανατολικού DM για οντότητες που μπορούν να διέλθουν μόνο από ευρείες πύλες είναι:

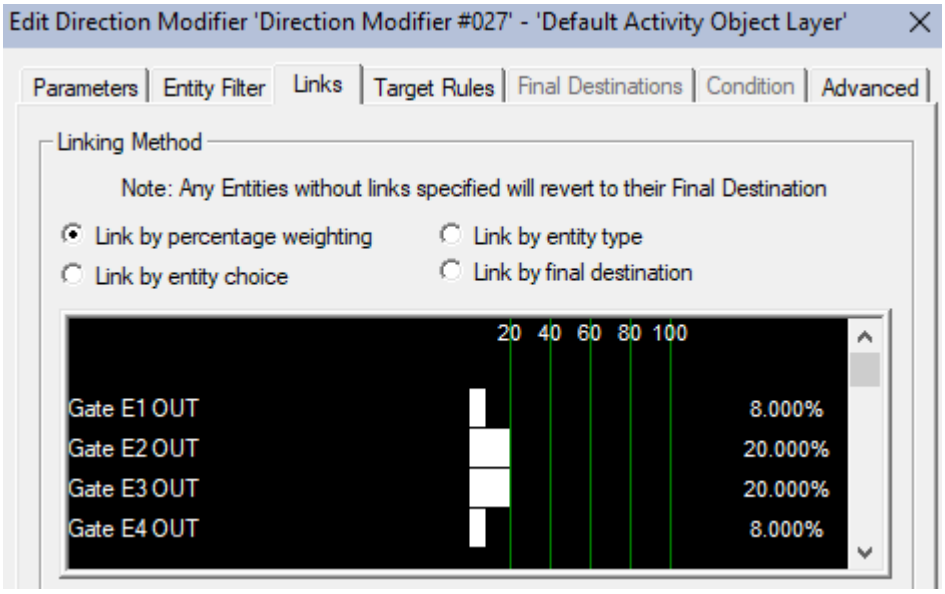


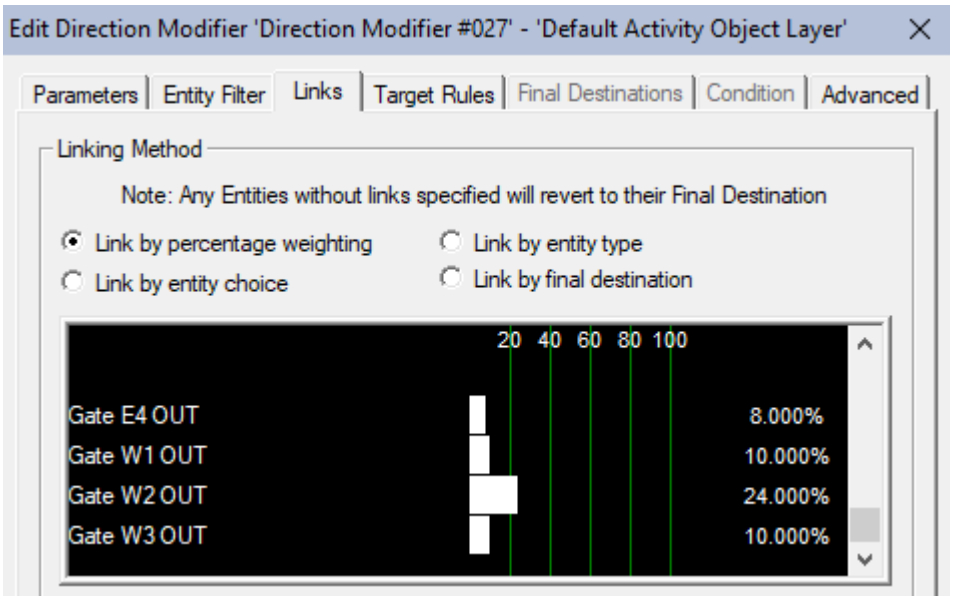




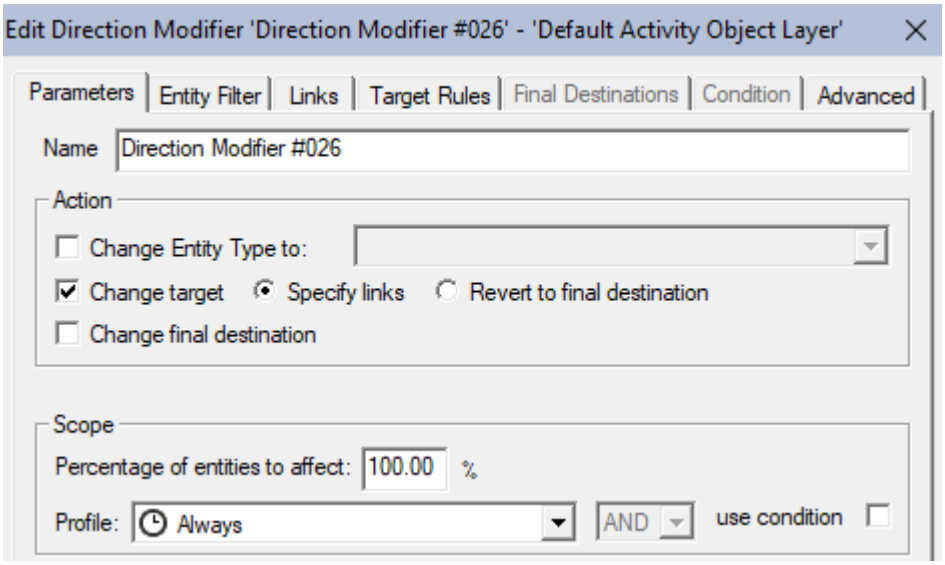


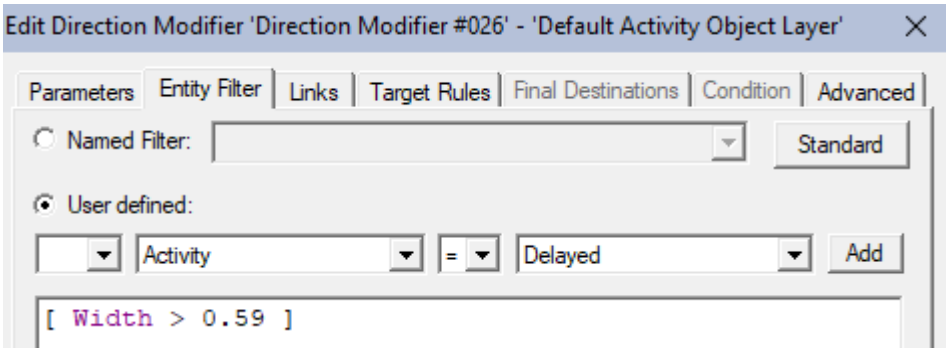
Το αντίστοιχο δυτικό DM διαφέρει μόνο ως προς τα ποσοστά, τα οποία είναι:

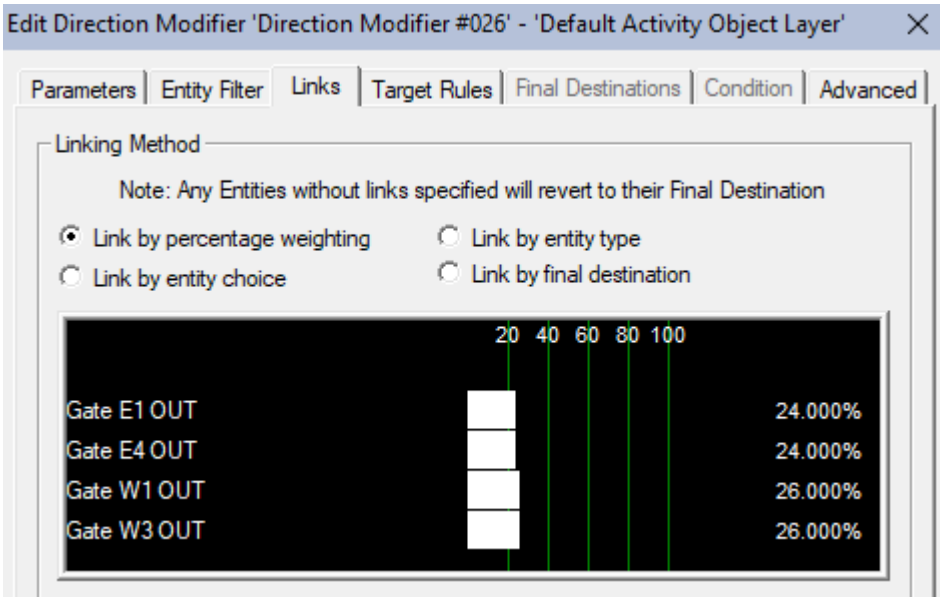




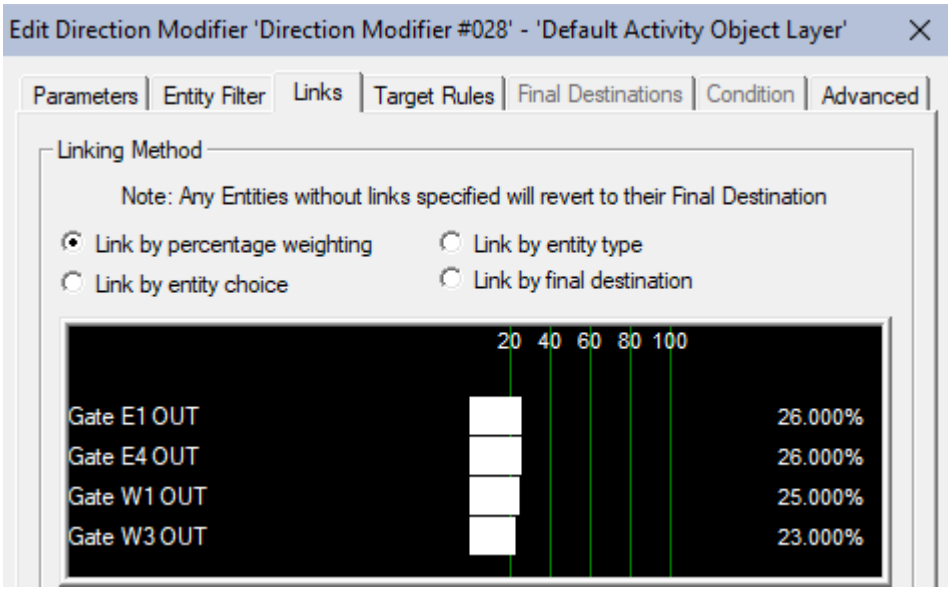
Οι ρυθμίσεις του ανατολικού DM για οντότητες που μπορούν να διέλθουν από όλες τις πύλες είναι:





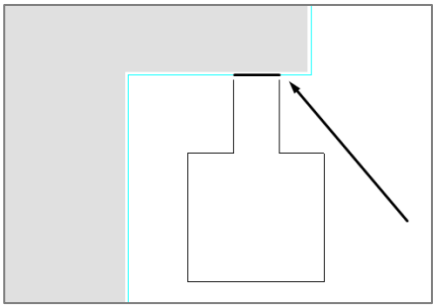


Το αντίστοιχο δυτικό DM διαφέρει μόνο ως προς τα ποσοστά, τα οποία είναι:



6.4.2.2.8 Απαγόρευση Πρόσβασης Σε Ανελκυστήρες

Για να εμποδιστεί η είσοδος στους ανελκυστήρες, προστίθενται γραμμές CAD στις εισόδους των θαλάμων (οι γραμμές CAD θα αντιπροσωπεύουν τις κλειστές θύρες που εμποδίζουν την χρήση ανελκυστήρων σε περίπτωση εκδήλωσης πυρκαγιάς) (εικόνα 97).



Εικόνα 97

6.4.2.3 Τοποθέτηση Επιβατών Στο Μοντέλο

Η διαδικασία που θα ακολουθήσουμε προκειμένου να τοποθετήσουμε τις οντότητες στο νέο μοντέλο είναι:

1. Διακοπή της προσομοίωσης ώρας αιχμής σε κατάλληλη στιγμή.
2. Καταμέτρηση επιβατών μέσα στο μοντέλο, ανά περιοχή ζώνης εκκένωσης.
3. Υπολογισμοί σύμφωνα με το εγχειρίδιο σχεδιασμού.
4. Εισαγωγή κατάλληλου αριθμού επιβατών σε κάθε ζώνη.

Την στιγμή που ξεκινά η προσομοίωση, το σύστημα είναι κενό καθώς ακόμα δεν έχει εισέλθει κανένας επιβάτης σε αυτό. Η ρεαλιστική απόδοση της κινητικότητας μέσα στον σταθμό εν ώρα αιχμής ξεκινά μερικά λεπτά μετά, όταν κάποιοι επιβάτες έχουν ήδη φτάσει στον τελικό τους προορισμό μέσα στο μοντέλο, ενώ όσοι βρίσκονται ακόμα σε κάποιο ενδιάμεσο στάδιο «γεμίζουν» το μοντέλο.

6.4.2.3.1 Διαδικασία Μετρήσεων

Η στιγμή της εκδήλωσης της πυρκαγιάς θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η κατάσταση μέσα στο σύστημα να αντικατοπτρίζει μια δυσμενή περίπτωση. Αρχικά το σύστημα είναι άδειο

ενώ, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, όσο περνά ο χρόνος μέσα στην ώρα αιχμής, τόσο συσσωρεύονται οντότητες στα σημεία συνωστισμού. Επομένως, θα είναι πιο κατάλληλο και ασφαλές να επιλεχθεί στιγμή προς τα τελευταία λεπτά της ώρας.

Έστω ότι το συμβάν εκδηλώνεται 57:00 λεπτά μετά την έναρξη της προσομοίωσης.

Προκειμένου να ορίσουμε πόσες οντότητες αντιστοιχούν σε κάθε ζώνη εκκένωσης του επιπέδου 3, πρέπει να γίνουν κάποιες καταμετρήσεις. Αυτές, με την υπόθεση ότι το συμβάν εκδηλώνεται στην δυτική αποβάθρα, παρουσιάζονται στον πίνακα 23.

Για τον πληθυσμό στην ζώνη εκκένωσης της δυτικής αποβάθρας, θα είναι:

$$X = \alpha + \beta + 1000$$

Για τον πληθυσμό στην ζώνη εκκένωσης της ανατολικής αποβάθρας, θα είναι:

$$X = \gamma$$

Για τις ζώνες εκκένωσης των υπόλοιπων επιπέδων αρκεί να μετρηθούν απευθείας οι οντότητες που βρίσκονται στον σταθμό την στιγμή του συμβάντος.

Αντίστοιχα, εάν θεωρήσουμε εκδήλωση περιστατικού στην ανατολική αποβάθρα, οι καταμετρήσεις παρουσιάζονται στον πίνακα 24.

Για τον πληθυσμό στην ζώνη εκκένωσης της ανατολικής αποβάθρας, θα είναι:

$$X = \alpha + \beta + 1000$$

Για τον πληθυσμό στην ζώνη εκκένωσης της δυτικής αποβάθρας, θα είναι:

$$X = \gamma$$

<table>
<tr><th></th><th colspan="3">Συμβάντα Ανά Πλατφόρμα Στην Λειτουργία Εκκένωσης:</th></tr>
<tr><th></th><th colspan="2">W</th><th>E</th></tr>
<tr><td>00:51:00</td><td colspan="2">Καταφθάνει ένας συρμός, σύμφωνα με το πρόγραμμα.</td><td>Καταφθάνει ένας συρμός, σύμφωνα με το πρόγραμμα.</td></tr>
<tr><td>Ενέργειες στο μοντέλο ώρας αιχμής:</td><td colspan="2">καμία ενέργεια</td><td>καμία ενέργεια</td></tr>
<tr><td>00:54:00</td><td colspan="2">Λόγω καθυστέρησης, δεν καταφθάνει συρμός.</td><td>Καταφθάνει ένας συρμός, σύμφωνα με το πρόγραμμα.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Ενέργειες στο μοντέλο ώρας αιχμής:</td><td>καταμέτρηση όσων επιβιβάστηκαν στον συρμό (έστω α) → αυτοί θα παραμείνουν στο μοντέλο λειτουργίας εκκένωσης (θα προστεθούν στο τέλος)</td><td rowspan="2">καμία ενέργεια</td></tr>
<tr><td>καταμέτρηση όσων αποβιβάστηκαν από τον συρμό (έστω β) → αυτοί θα πρέπει να αφαιρεθούν από το μοντέλο λειτουργίας εκκένωσης
(εκ των υστέρων προκύπτει ότι αυτοί οι επιβάτες έτσι κι αλλιώς εξέρχονται από το μοντέλο πριν την εκδήλωση του συμβάντος, επομένως δεν χρειάζεται να καταμετρηθούν)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">00:57:00</td><td colspan="2">στιγμή εκδήλωσης πυρκαγιάς</td></tr>
<tr><td colspan="2">Καταφθάνει καθυστερημένος συρμός με 1000 επιβάτες.</td><td>Καταφθάνει ένας συρμός, ωστόσο δεν σταματά στην αποβάθρα.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Ενέργειες στο μοντέλο ώρας αιχμής:</td><td>καταμέτρηση όσων περιμένουν στην αποβάθρα για να επιβιβαστούν (έστω γ) → αυτοί θα παραμείνουν στο μοντέλο λειτουργίας εκκένωσης</td><td rowspan="2">καταμέτρηση όσων περιμένουν στην αποβάθρα για να επιβιβαστούν (έστω δ) → αυτοί θα παραμείνουν στο μοντέλο</td></tr>
<tr><td>(Όσοι επιβάτες αποβιβάζονται από τον συρμό αγνοούνται, αφού στην λειτουργία εκκένωσης αυτοί θα αντικατασταθούν από 1000 οντότητες)</td></tr>
</table>

Πίνακας 23: Ενέργειες μέτρησης στο σενάριο εκδήλωσης στην δυτική πλατφόρμα

<table>
<tr><th></th><th colspan="4">Συμβάντα Ανά Πλατφόρμα Στην Λειτουργία Εκκένωσης:</th></tr>
<tr><th></th><th>W</th><th colspan="3">E</th></tr>
<tr><td>00:51:00</td><td>Καταφθάνει ένας συρμός, σύμφωνα με το πρόγραμμα.</td><td colspan="3">Καταφθάνει ένας συρμός, σύμφωνα με το πρόγραμμα.</td></tr>
<tr><td>Ενέργειες στο μοντέλο ώρας αιχμής:</td><td>καμία ενέργεια</td><td colspan="3">καμία ενέργεια</td></tr>
<tr><td>00:54:00</td><td>Καταφθάνει ένας συρμός, σύμφωνα με το πρόγραμμα.</td><td colspan="3">Λόγω καθυστέρησης, δεν καταφτάνει συρμός.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Ενέργειες στο μοντέλο ώρας αιχμής:</td><td rowspan="3">καμία ενέργεια</td><td>καταμέτρηση όσων επιβιβάστηκαν στον συρμό (έστω α)</td><td>→</td><td>αυτοί θα παραμείνουν στο μοντέλο λειτουργίας εκκένωσης (θα προστεθούν στο τέλος)</td></tr>
<tr><td>καταμέτρηση όσων αποβιβάστηκαν από τον συρμό και παρέμειναν στο μοντέλο μέχρι την στιγμή εκδήλωσης (έστω β)</td><td>→</td><td>αυτοί θα πρέπει να αφαιρεθούν από το μοντέλο λειτουργίας εκκένωσης</td></tr>
<tr><td colspan="3">Παρατηρώντας σε ποιο σημείο του μοντέλου έχει φτάσει κάθε οντότητα μέχρι την στιγμή εκδήλωσης, αφαιρούμε αντίστοιχα από κάθε περιοχή.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">00:57:00</td><td colspan="4">στιγμή εκδήλωσης πυρκαγιάς</td></tr>
<tr><td>Καταφθάνει ένας συρμός, ωστόσο δεν σταματά στην αποβάθρα.</td><td colspan="3">Καταφτάνει καθυστερημένος συρμός με 1000 επιβάτες.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Ενέργειες στο μοντέλο ώρας αιχμής:</td><td rowspan="2">καταμέτρηση όσων περιμένουν στην αποβάθρα για να επιβιβαστούν (έστω δ)</td><td>καταμέτρηση όσων περιμένουν στην αποβάθρα για να επιβιβαστούν (έστω γ)</td><td>→</td><td>αυτοί θα παραμείνουν στο μοντέλο λειτουργίας εκκένωσης</td></tr>
<tr><td colspan="3">(Όσοι επιβάτες αποβιβάζονται από τον συρμό αγνοούνται, αφού στην λειτουργία εκκένωσης αυτοί θα αντικατασταθούν από 1000 οντότητες)</td></tr>
<tr><td colspan="4">→ αυτοί θα παραμείνουν στο μοντέλο</td></tr>
</table>

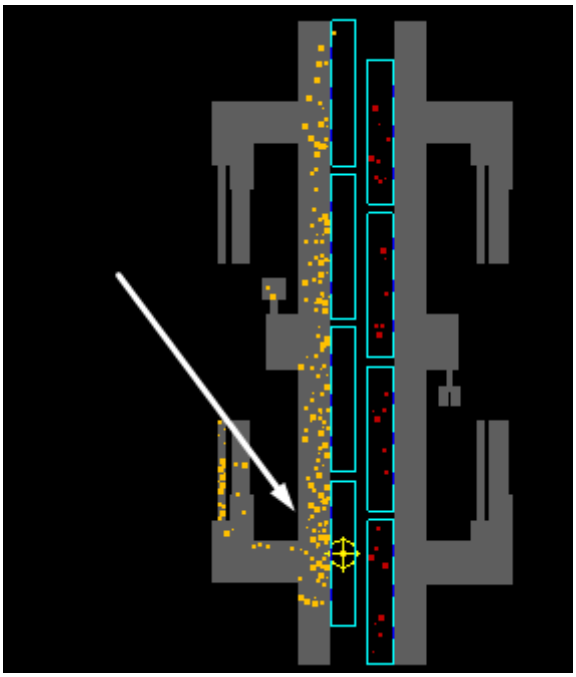
Πίνακας 24: Ενέργειες μέτρησης στο σενάριο εκδήλωσης στην ανατολική πλατφόρμα

Οι μετρήσεις στα υπόλοιπα επίπεδα είναι πιο απλές και εξηγούνται στο παράδειγμα που ακολουθεί.

6.4.2.3.2 Παράδειγμα Μέτρησης

Θα ακολουθήσει ένα παράδειγμα της διαδικασίας που μόλις περιεγράφηκε. Έστω ότι εκδήλωση στην δυτική πλατφόρμα – μοντέλο 01+a):

1. Αφού ανοίξουμε το αρχείο .res (αποτελεσμάτων) του επιθυμητού μοντέλου, προχωρούμε την προσομοίωση στα 54:01 λεπτά και επιλέγουμε να παρακολουθήσουμε όσες οντότητες αποβιβάστηκαν από τον συρμό (1 οντότητα στο παρόν παράδειγμα). Αυτές οι οντότητες θα πρέπει να αφαιρεθούν από το μοντέλο της λειτουργίας εκκένωσης, αφού στην περίπτωση αυτή δεν καταφθάνει συρμός στα 54:00 λεπτά και άρα δεν εισάγει οντότητες.



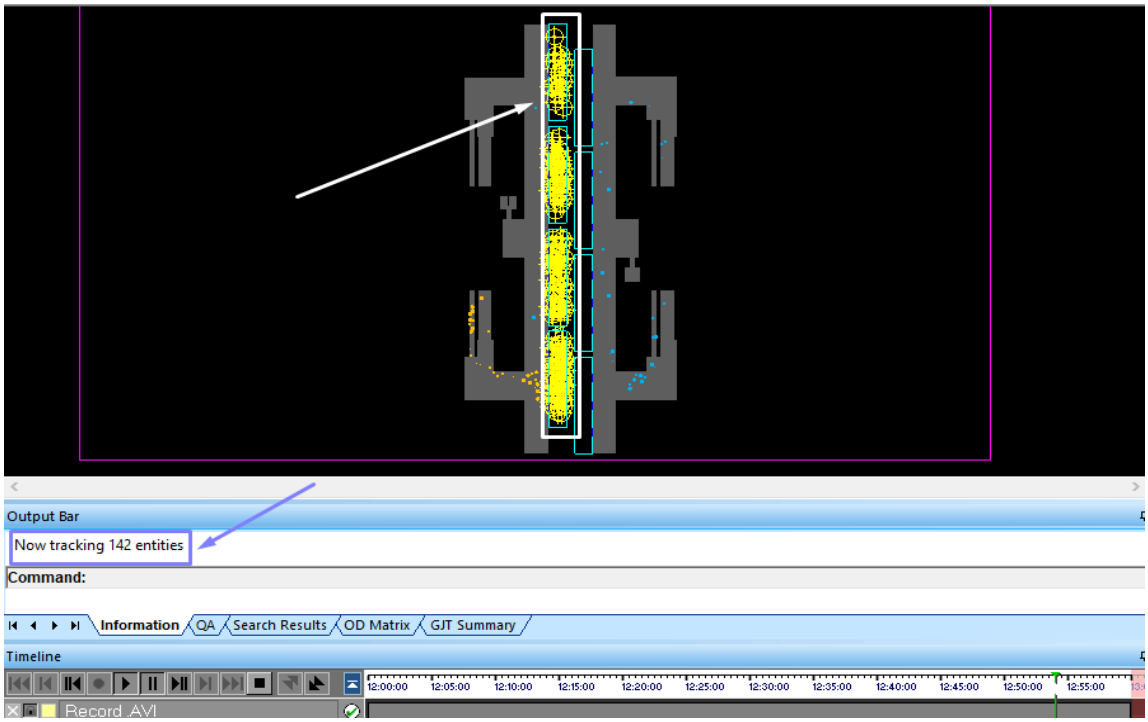
Εικόνα 98

Στη συνέχεια, προχωρώντας στα 57:00 λεπτά, μπορούμε να δούμε πόσες από αυτές τις οντότητες βρίσκονται ακόμα στο μοντέλο (μεταβλητή **β**), και σε ποιές περιοχές του. Στην προκειμένη περίπτωση η οντότητα την στιγμή εκδήλωσης του συμβάντος βρίσκεται στην περιοχή της ζώνης 2-Ε, επομένως από εκεί θα πρέπει να αφαιρεθεί αργότερα.

Εικόνα 99

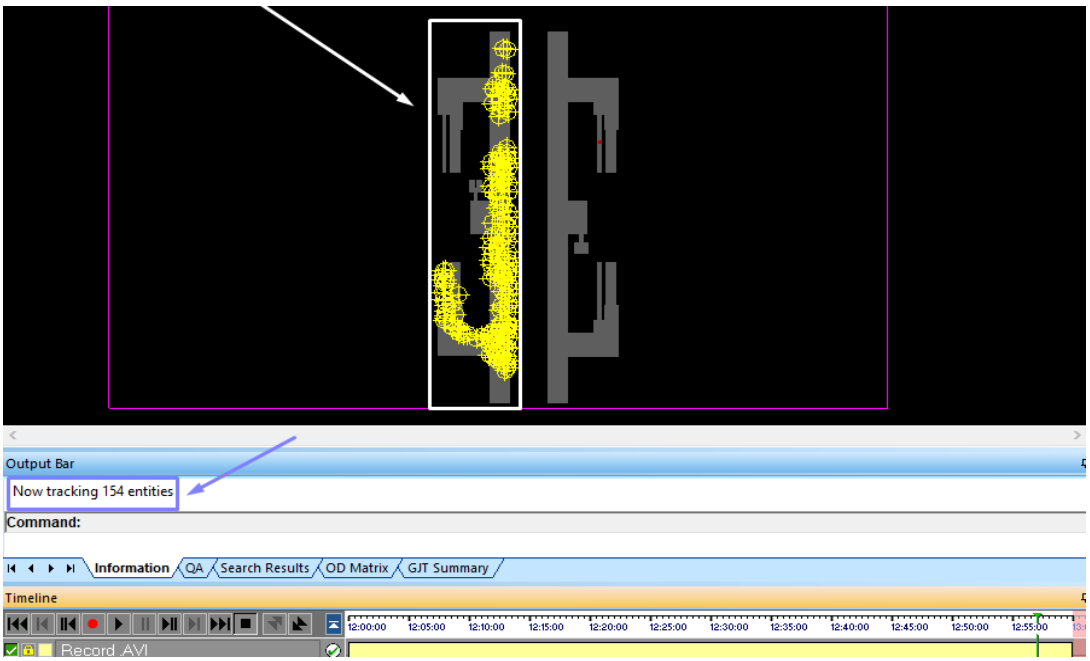
2. Σταματούμε την προσομοίωση στα 54:22 λεπτά, οπότε κλείνουν οι θύρες του συρμού όλοι οι επιβάτες έχουν ήδη επιβιβαστεί. Επιλέγοντας περιοχή που περικλείει όλα τα βαγόνια, μετρούμε πόσοι επιβάτες βρίσκονται σε αυτά. Αυτοί είναι οι επιβάτες που, στο αντίστοιχο

σενάριο εκκένωσης, παραμένουν στην αποβάθρα λόγω της καθυστέρησης 2 χρονοαποστάσεων του συρμού (μεταβλητή **α**).



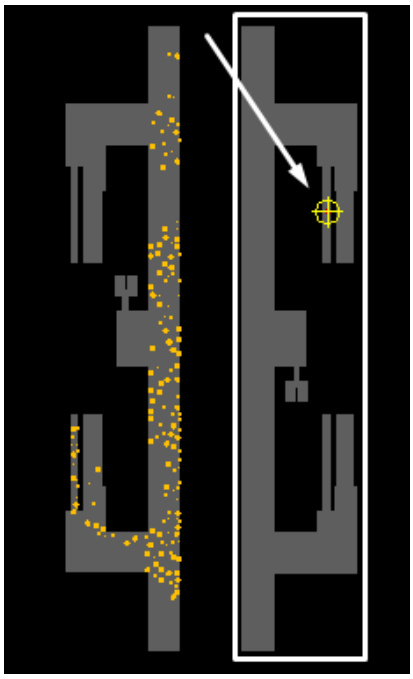
Εικόνα 100

3. Στα 57:00 λεπτά μπορούμε να εντοπίσουμε πόσες οντότητες βρίσκονται στη δυτική πλευρά του επιπέδου 3 (μεταβλητή **γ**). Εάν σε αυτούς προσθέσουμε όσους θεωρητικά δεν επιβιβάστηκαν στο δρομολόγιο των 54:00 (μεταβλητή **α**) και τους 1000 επιβάτες που, σύμφωνα με το εγχειρίδιο σχεδιασμού, θα αποβιβαστούν από τον καθυστερημένο συρμό, τότε προκύπτει ο πληθυσμός Χ της ζώνης εκκένωσης 3-W.



Εικόνα 101

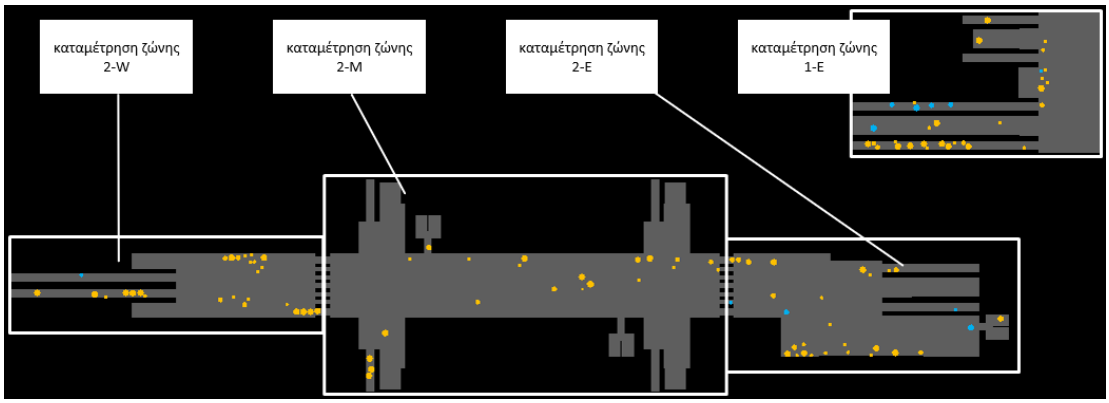
4. Επίσης στα 57:00, καταμετρώνται οι επιβάτες της απέναντι αποβάθρας (μεταβλητή **δ**), που σε αυτή τη περίπτωση είναι 1 άτομο. Αυτός θα είναι ο πληθυσμός της ζώνης εκκένωσης 3-Ε.



Εικόνα 102

5. Προχωρώντας στα ανώτερα επίπεδα του σταθμού, μετρούνται οι οντότητες που βρίσκονται εκεί ανά περιοχή ζώνης εκκένωσης. Κατά παραδοχή λαμβάνονται υπόψιν όσες οντότητες βρίσκονται αυστηρά στις περιοχές που φαίνονται στην εικόνα 103. Για να καταλήξουμε σε ακριβή πληθυσμό ανά ζώνη, αρκεί να αφαιρέσουμε από κάθε περιοχή τον αριθμό που αντιστοιχεί σε επιβάτες που προήλθαν από το δρομολόγιο των 54:00 (μεταβλητή **β**).

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρειάζεται μόνο να αφαιρέσουμε 1 επιβάτη από την περιοχή της ζώνης 2-Ε.



Εικόνα 103

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Στις μετρήσεις του σεναρίου με εκδήλωση στην δυτική πλατφόρμα, το β είναι αμελητέο επειδή ο συρμός αποβιβάζει 1 ή 2 άτομα σε κάθε δοκιμή. Στο σενάριο με

εκδήλωση στην ανατολική αποβάθρα, όμως, το β παίρνει τιμές έως και 15 ατόμων οπότε έχει μεγαλύτερη επίδραση στο αποτέλεσμα.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών τοποθετούνται σε πίνακα, όπως φαίνεται παρακάτω:

# μοντέλου	μεταβλητές				# επιβατών / ζώνη εκκένωσης					
	α	β	γ	δ	1-E	2-W	2-M	2-E	3-W	3-E
εκδήλωση πυρκαγιάς στην πλατφόρμα W										
01+a	142	1	154	1	0	0	0	1	→ έχουν αφαιρεθεί	
					33	27	23	28	1296	1

Η μεταβλητή β χωρίζεται σε τιμή ανά περιοχή ώστε να αφαιρεθεί από την καταμέτρηση κάθε περιοχής ζώνης εκκένωσης

Οι τελικές τιμές των πληθυσμών των ζωνών εκκένωσης των επιπέδων 1 και 2, μετά την αφαίρεση της μεταβλητής β.

(α+γ+1000)

δ

Εικόνα 104: Παράδειγμα πινακοποίησης μετρήσεων

6.4.2.3.3 Αποτελέσματα Μετρήσεων

Ακολουθώντας την μεθοδολογία αυτή σε όλες τις υπόλοιπες εκδοχές του μοντέλου (7 με την υπόθεση εκδήλωσης στην δυτική αποβάθρα και 7 στην ανατολική), συμπληρώνεται πίνακας αποτελεσμάτων:

Μετρήσεις Για Τον # Επιβατών/ Ζώνη Εκκένωσης										
# μοντέλου	μεταβλητές				# επιβατών / ζώνη εκκένωσης					
	α	β	γ	δ	1-E	2-W	2-M	2-E	3-W	3-E
εκδήλωση πυρκαγιάς στην αποβάθρα W										
01+a	142	1	154	1	0	0	0	1	→ έχουν αφαιρεθεί	
					33	27	23	28	1296	1
01+b	115	0	153	1	0	1	0	0	→ έχουν αφαιρεθεί	
					13	54	26	19	1268	1
01+c	132	0	147	1	1	0	0	0	→ έχουν αφαιρεθεί	
					35	18	32	64	1279	1
02+a	126	0	174	1	0	0	0	1	→ έχουν αφαιρεθεί	
					38	20	21	31	1300	1
02+c	146	0	175	1	0	0	0	0	→ έχουν αφαιρεθεί	
					32	21	36	65	1321	1
03+a	135	0	150	1	0	0	0	0	→ έχουν αφαιρεθεί	
					27	24	30	43	1285	1

03+c	119	0	140	0	0	0	0	0	→ έχουν αφαιρεθεί	
					14	12	33	117	1259	0
				Μέσος Όρος:	28	26	29	53	1287	1
				Μέγιστες Τιμές:	38	54	36	117	1321	1
εκδήλωση πυρκαγιάς στην αποβάθρα Ε										
01+a	0	15	1	154	12	1	0	2	→ έχουν αφαιρεθεί	
					21	26	23	29	154	1001
01+b	2	4	1	153	2	2	0	0	→ έχουν αφαιρεθεί	
					13	53	13	13	153	1003
01+c	0	8	1	147	4	3	0	1	→ έχουν αφαιρεθεί	
					32	15	32	63	147	1001
02+a	1	6	1	174	3	0	0	3	→ έχουν αφαιρεθεί	
					35	20	21	32	174	1002
02+c	0	6	1	175	6	0	0	0	→ έχουν αφαιρεθεί	
					26	21	36	65	175	1001
03+a	1	8	1	150	2	5	1	0	→ έχουν αφαιρεθεί	
					25	19	29	43	150	1002
03+c	0	9	1	140	6	0	0	3	→ έχουν αφαιρεθεί	
					8	12	33	114	140	1001
				Μέσος Όρος:	23	24	27	52	157	1002
				Μέγιστες Τιμές:	35	53	36	114	175	1003

Πίνακας 25: Αποτελέσματα μετρήσεων

Θα πραγματοποιηθούν 4 δοκιμές:

1. Δοκιμή με μέσους όρους και εκδήλωση στη δυτική πλατφόρμα (average case scenario).
2. Δοκιμή με μέγιστες τιμές και εκδήλωση στη δυτική πλατφόρμα (worst case scenario).
3. Δοκιμή με μέσους όρους και εκδήλωση στην ανατολική πλατφόρμα (average case scenario).
4. Δοκιμή με μέγιστες τιμές και εκδήλωση στην ανατολική πλατφόρμα (worst case scenario).

	αποβάθρα W	αποβάθρα Ε
Μέσος Όρος	1	2
Μέγιστες Τιμές	3	4

Πίνακας 26

6.4.2.4 Δοκιμές

Σε αυτό το σημείο υπενθυμίζεται ότι τα επιθυμητά αποτελέσματα των προσομοιώσεων είναι:

- Χρόνος εκκένωσης αποβάθρας έως ασφαλές σημείο εντός σταθμού = 5 λεπτά. Ως ασφαλές σημείο μπορεί να θεωρηθεί το επίπεδο 2.
- Χρόνος εκκένωσης αποβάθρας έως επίπεδο οδού = 7 λεπτά

Σε κάθε δοκιμή θα παρουσιάζονται στιγμιότυπα από τη διάρκεια της προσομοίωσης ώστε να δίνεται ικανοποιητική εικόνα για την κατανομή των επιβατών με το πέρασμα του χρόνου.

Πολύ σημαντική πληροφορία είναι η εικόνα του επιπέδου 3 στα 5 λεπτά, όπου σύμφωνα με τις προδιαγραφές επιθυμούμε να μην υπάρχουν πλέον επιβάτες στον χώρο. Το ίδιο ισχύει για τα επίπεδα 2 και 1 στα 7 λεπτά της προσομοίωσης.

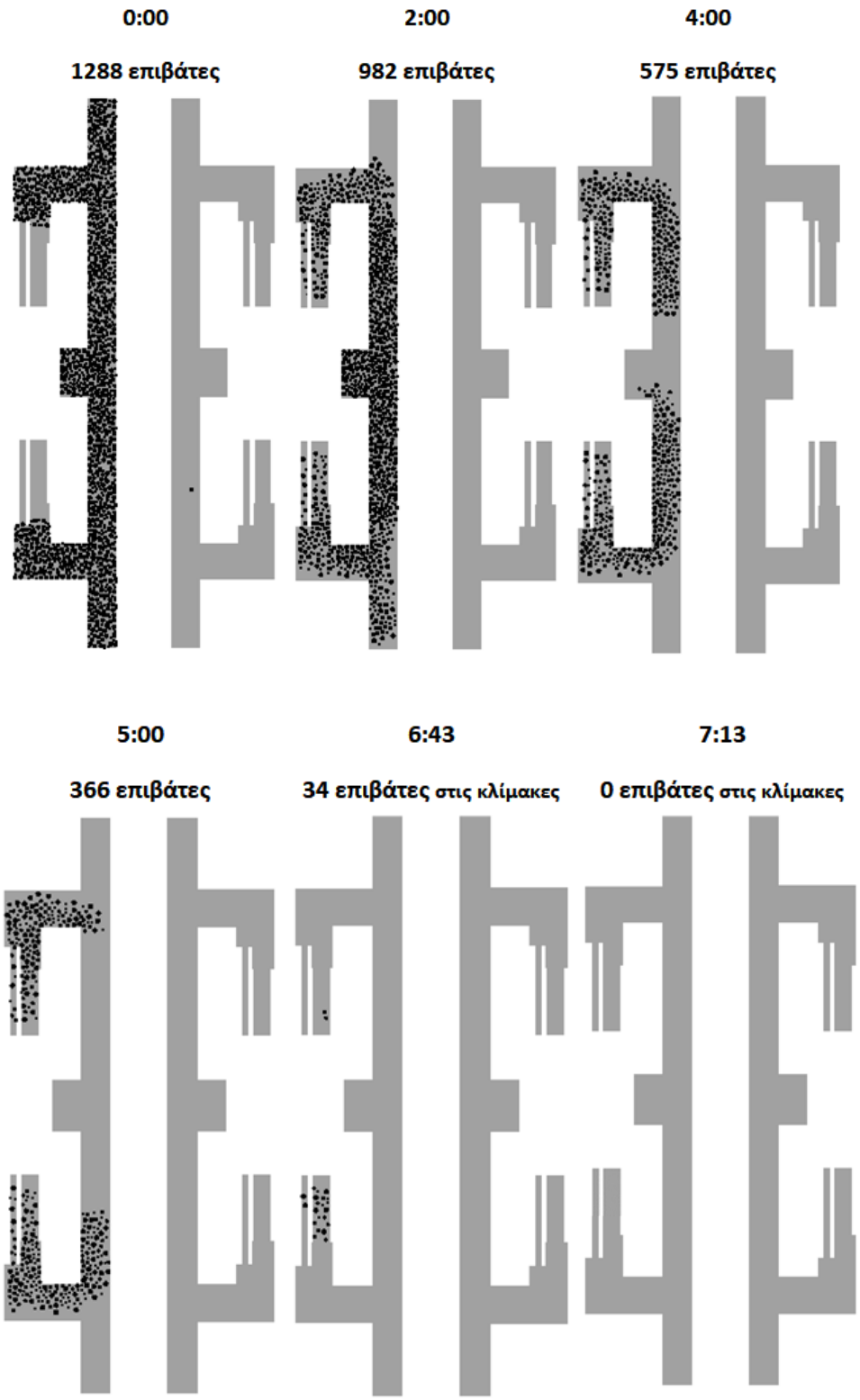
Χρήσιμο είναι επίσης να σημειωθεί ο χρόνος κατά τον οποίον τελικά εκκενώνεται το κάθε επίπεδο. Δεν διευκρινίζεται με ποιον τρόπο θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι επιβάτες στις κλίμακες, επομένως θα σημειώσουμε δύο σχετικά ορόσημα: την εκκένωση του επίπεδου εδάφους και την εκκένωση των κλιμάκων που οδηγούν στο αμέσως υψηλότερο επίπεδο. Υποθέτουμε ωστόσο ότι για ικανοποιητικά αποτελέσματα θα πρέπει να έχουν εκκενωθεί στον απαιτούμενο χρόνο και οι κλίμακες που αντιστοιχούν στο κάθε επίπεδο.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Το ίδιο μοντέλο μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά αποτελέσματα προσομοιώσεων. Υπάρχουν φορές που κάποιες οντότητες παγιδεύονται στο πέρασμα των πυλών και εμποδίζουν την διέλευση με τρόπο που δεν θα συνέβαινε σε πραγματικό σενάριο. Σε αυτές τις περιπτώσεις διακόπτουμε την προσομοίωση και ξεκινάμε από την αρχή. Με λίγες δοκιμές, διαπιστώνεται ότι στις περιπτώσεις που όλα κυλούν ομαλά, τα αποτελέσματα είναι περίπου τα ίδια (μπορεί να προκύψουν διαφορές της τάξης των 10 δευτερολέπτων στους χρόνους). Αρκεί επομένως να ασχοληθούμε με μία μόνο προσομοίωση ανά δοκιμή.

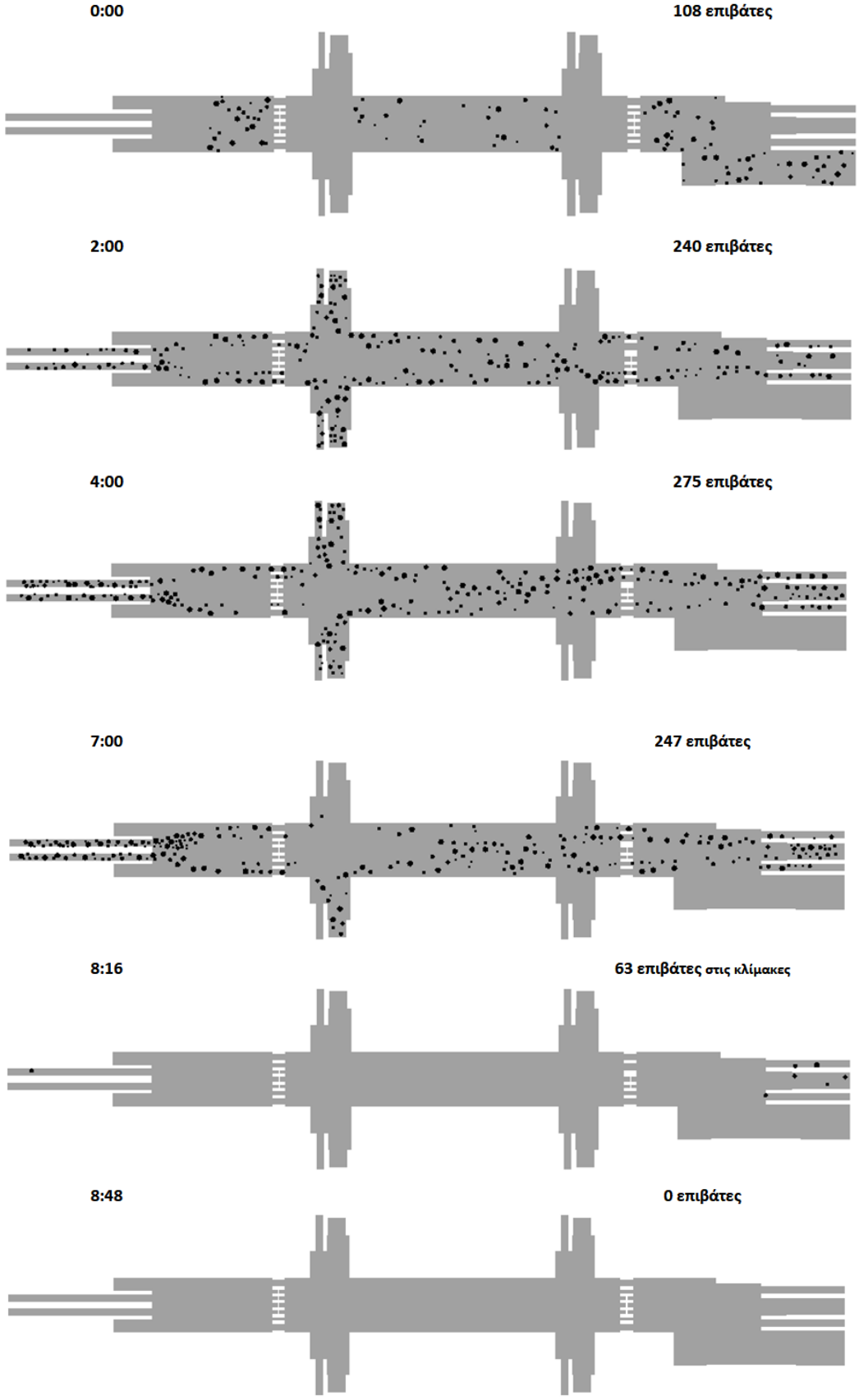
Η κάθε πρώτη δοκιμή θα παρουσιάζεται ανά επίπεδο

6.4.2.4.1 Δοκιμή 1 (W Average)

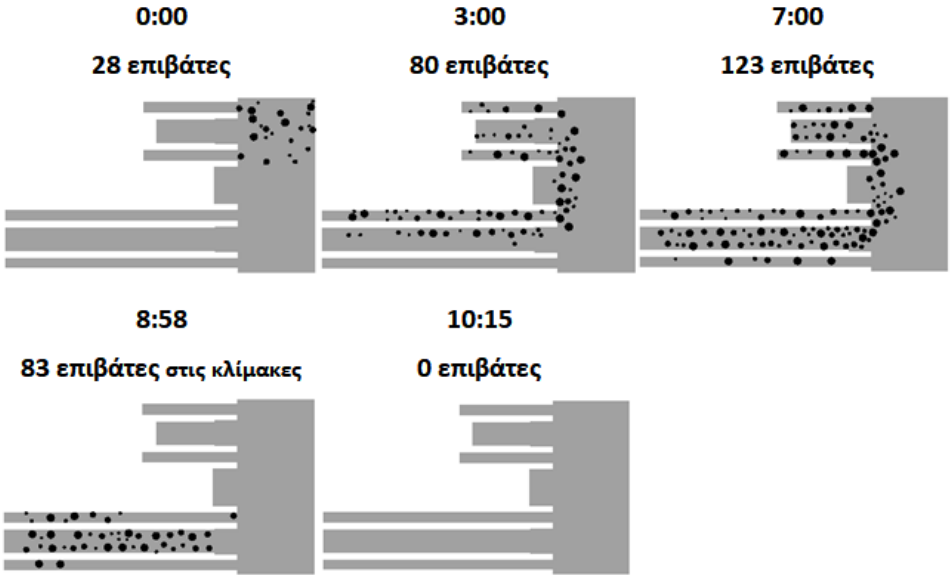
ΕΠΙΠΕΔΟ 3:



ΕΠΙΠΕΔΟ 2:


0:00
108 επιβάτες
2:00
240 επιβάτες
4:00
275 επιβάτες
7:00
247 επιβάτες
8:16
63 επιβάτες στις κλίμακες
8:48
0 επιβάτες

ΕΠΙΠΕΔΟ 1:



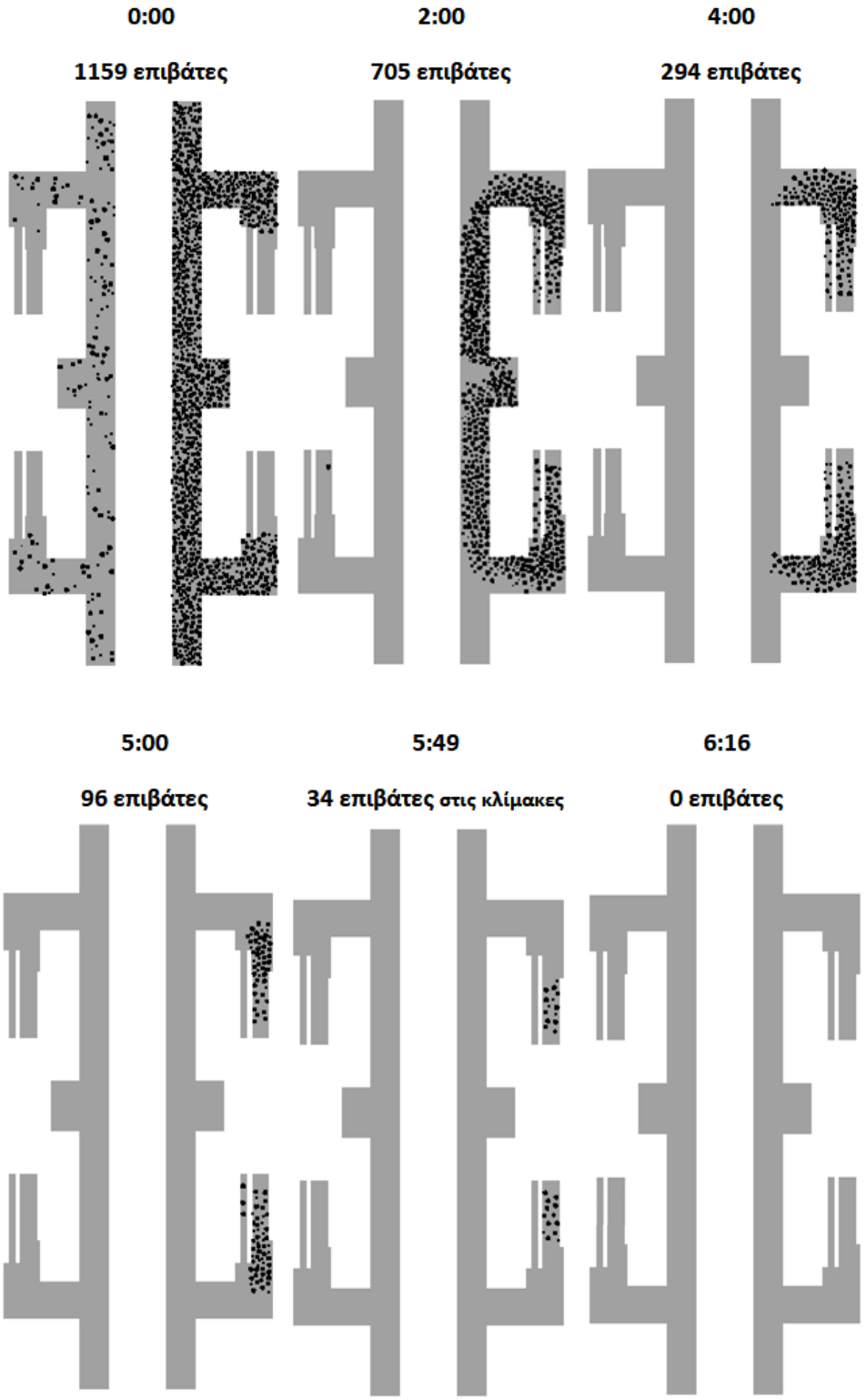
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

- Υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ επιθυμητού και πραγματικού χρόνου εκκένωσης από το επίπεδο των αποβάθρων στο επίπεδο 2 (2 λεπτά και 13 δευτερόλεπτα διαφορά στην συγκεκριμένη προσομοίωση)
- Υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ επιθυμητού και πραγματικού χρόνου εκκένωσης από το επίπεδο 3 σε εξωτερικό χώρο (1 λεπτό και 48 δευτερόλεπτα διαφορά από την δυτική έξοδο, 3 λεπτά και 15 δευτερόλεπτα από την ανατολική έξοδο, στην οποία μεσολαβεί και ένα επιπλέον επίπεδο).

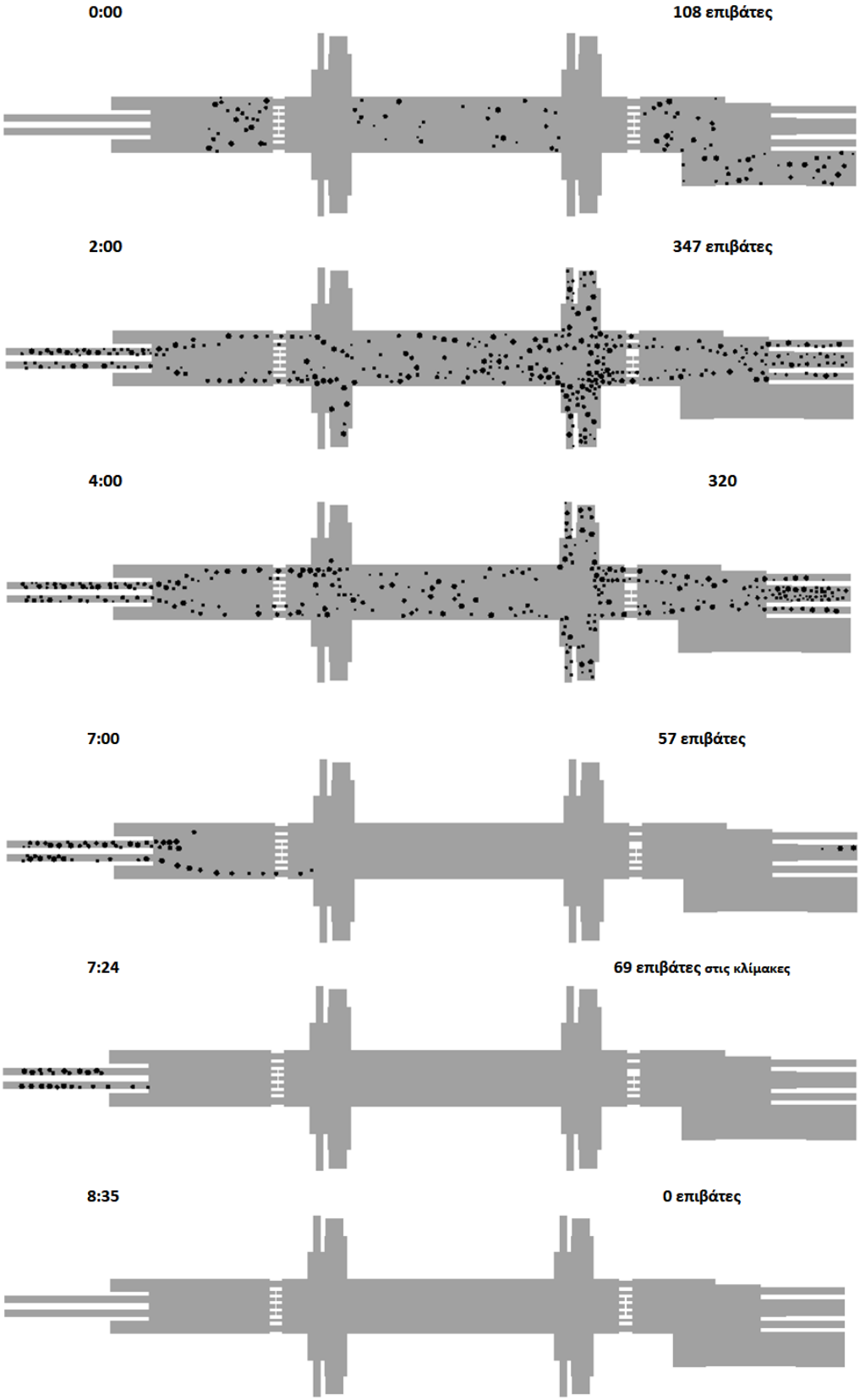
Λόγω των αποτελεσμάτων αυτών, γνωρίζουμε ήδη ότι ο σταθμός είναι ανεπαρκής για ασφαλή εκκένωση (σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΑΜ) και άρα δεν υπάρχει νόημα στην εκτέλεση προσομοίωσης του δυσμενέστερου σεναρίου. Θα χρειαστούν τροποποιήσεις σε στοχευμένα σημεία του μοντέλου προκειμένου το σχέδιο του σταθμού να βρεθεί τελικά εντός προδιαγραφών.

6.4.2.4.2 Δοκιμή 2 (E Average)

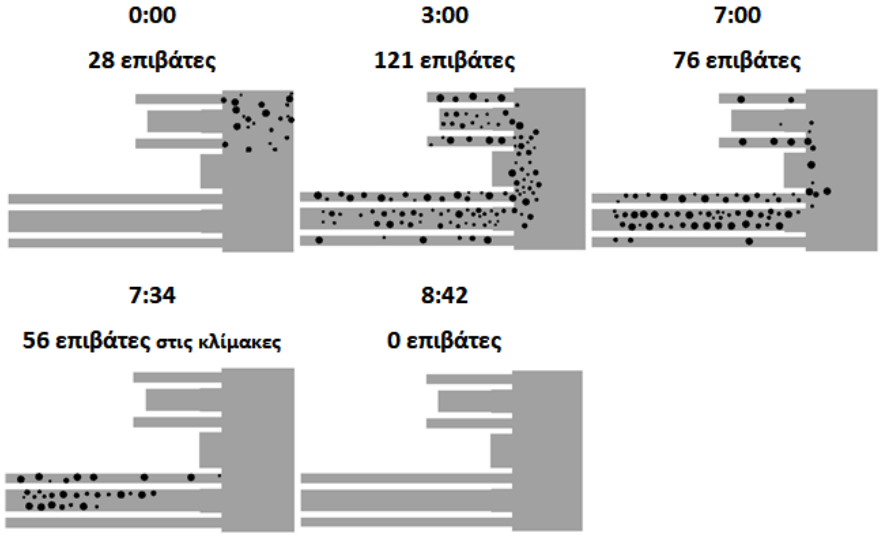
ΕΠΙΠΕΔΟ 3



ΕΠΙΠΕΔΟ 2:


0:00
108 επιβάτες
2:00
347 επιβάτες
4:00
320
7:00
57 επιβάτες
7:24
69 επιβάτες στις κλίμακες
8:35
0 επιβάτες

ΕΠΙΠΕΔΟ 1:



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

- Υπάρχει και πάλι διαφορά μεταξύ επιθυμητού και πραγματικού χρόνου εκκένωσης από το επίπεδο των αποβάθρων στο επίπεδο 2 (1 λεπτό και 16 δευτερόλεπτα διαφορά στην συγκεκριμένη προσομοίωση).
- Υπάρχει επίσης διαφορά μεταξύ επιθυμητού και πραγματικού χρόνου εκκένωσης από το επίπεδο 3 σε εξωτερικό χώρο (1 λεπτό και 35 δευτερόλεπτα διαφορά από την δυτική έξοδο, 1 λεπτό και 42 δευτερόλεπτα από την ανατολική έξοδο, στην οποία μεσολαβεί και ένα επιπλέον επίπεδο).

Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα είναι αισθητά καλύτερα σε αυτή τη περίπτωση, ωστόσο και πάλι θα χρειαστούν διορθωτικές κινήσεις στην διαμόρφωση του σταθμού ώστε να επιτευχθούν οι χρόνοι που ζητώνται από τις προδιαγραφές. Και πάλι, αποδεικνύεται ήδη ότι ο σταθμός κρίνεται ανεπαρκής για ασφαλή εκκένωση και άρα δεν υπάρχει νόημα στην εκτέλεση του χειρότερου σεναρίου.

6.4.3 Βελτιώσεις Μοντέλου

Οι τροποποιήσεις προτείνονται λαμβάνοντας υπόψιν:

- το πιθανό κόστος
- την αρχική δομή του σταθμού, η οποία θα πρέπει να διατηρηθεί όσο είναι δυνατόν
- την σταθερή θέση και διαμόρφωση του χώρου των σηράγγων
- τους περιορισμούς και τα όρια που τίθενται από το περιβάλλον (η μελέτη έχει λάβει υπόψη μελλοντική υπογειοποίηση της λεωφόρου Γαλατσίου).
- την σχετική ευκολία πραγματοποίησης μεταξύ διαφορετικών λύσεων (με κριτήρια το κόστος, το μέγεθος αλλαγής, την ευελιξία, την επήρεια σε άλλους τομείς).
- Την διατήρηση της σχετικής συμμετρίας, η οποία επιδιώκεται εξ αρχής από τα αρχιτεκτονικά σχέδια.

6.4.3.1 Θύρες Έκτακτης Ανάγκης

Η πρώτη διορθωτική κίνηση που θα κάνουμε είναι μια που προτείνεται ήδη από το Εγχειρίδιο Σχεδιασμού σε περιπτώσεις που οι υπάρχουσες πύλες δεν αρκούν για την έγκαιρη έξοδο των επιβατών. Συγκεκριμένα, αναφέρεται:

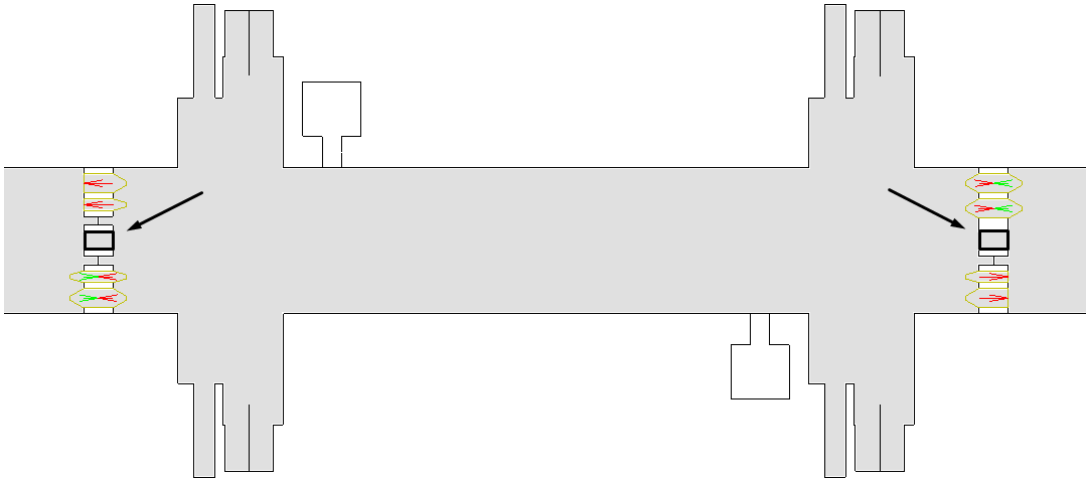
«Οι γραμμές επικύρωσης πλαισιώνονται με πύλες ελέγχου εισιτηρίων και κατά περίπτωση με θύρες έκτακτης ανάγκης και γυάλινα κιγκλιδώματα, ανάλογα με την διαμόρφωση του χώρου και το ανάπτυγμα της γραμμής επικύρωσης εισιτηρίων. Οι θύρες έκτακτης ανάγκης θα προκύπτουν σύμφωνα με τις απαιτήσεις της μελέτης εκκένωσης του εκάστοτε σταθμού και θα εγκαθίστανται όταν ο προβλεπόμενος αριθμός πυλών εισόδου/εξόδου δεν επαρκεί στην κάλυψη των απαιτήσεων της μελέτης εκκένωσης του σταθμού.»

Υποθέτουμε ότι οι θύρες αυτές έχουν πλάτος 1 μέτρου, όπως και οι ευρείες πύλες. Θα σχεδιαστούν ως ελεύθερο πέρασμα και όχι ως πύλες. Στην φάση αυτή τοποθετείται από μία θύρα σε κάθε γραμμή.

Εικόνα 105: Θύρες έκτακτης ανάγκης σε σταθμό το μετρό[23]

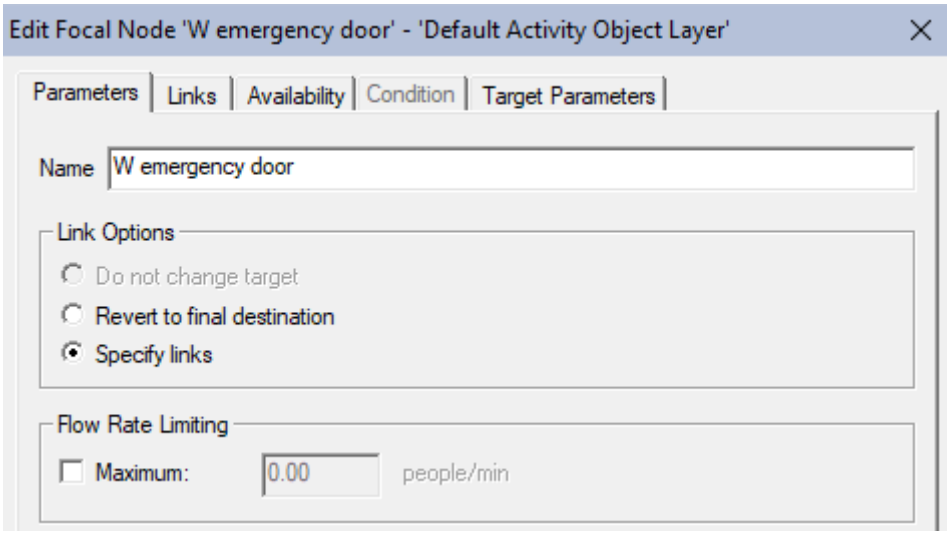
6.4.3.1.1 Μοντελοποίηση Θυρών

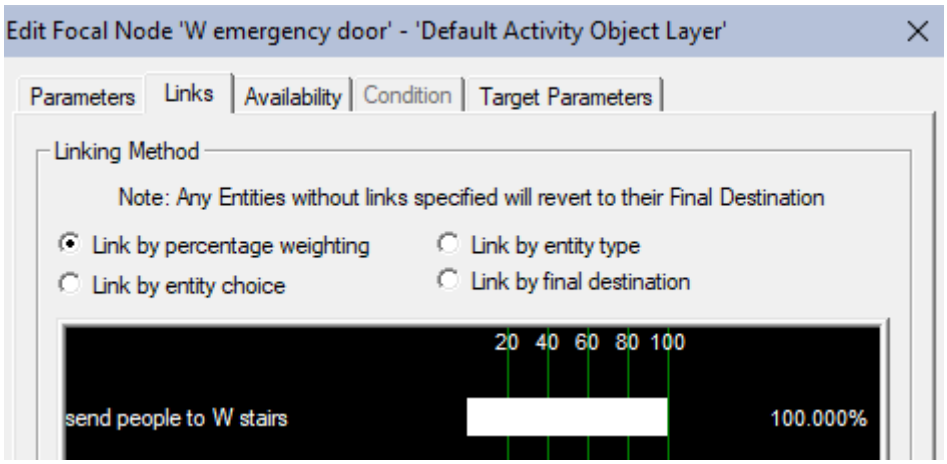
Δημιουργούνται ανοίγματα πλάτους ενός μέτρου στο κέντρο κάθε γραμμής. Στα ανοίγματα τοποθετείται από ένα FN, το οποίο θα λειτουργεί ως ενδιάμεσος στόχος (ακριβώς όπως οι πύλες) (εικόνα 106).



Εικόνα 106: Τοποθέτηση FN ως θύρες έκτακτης ανάγκης

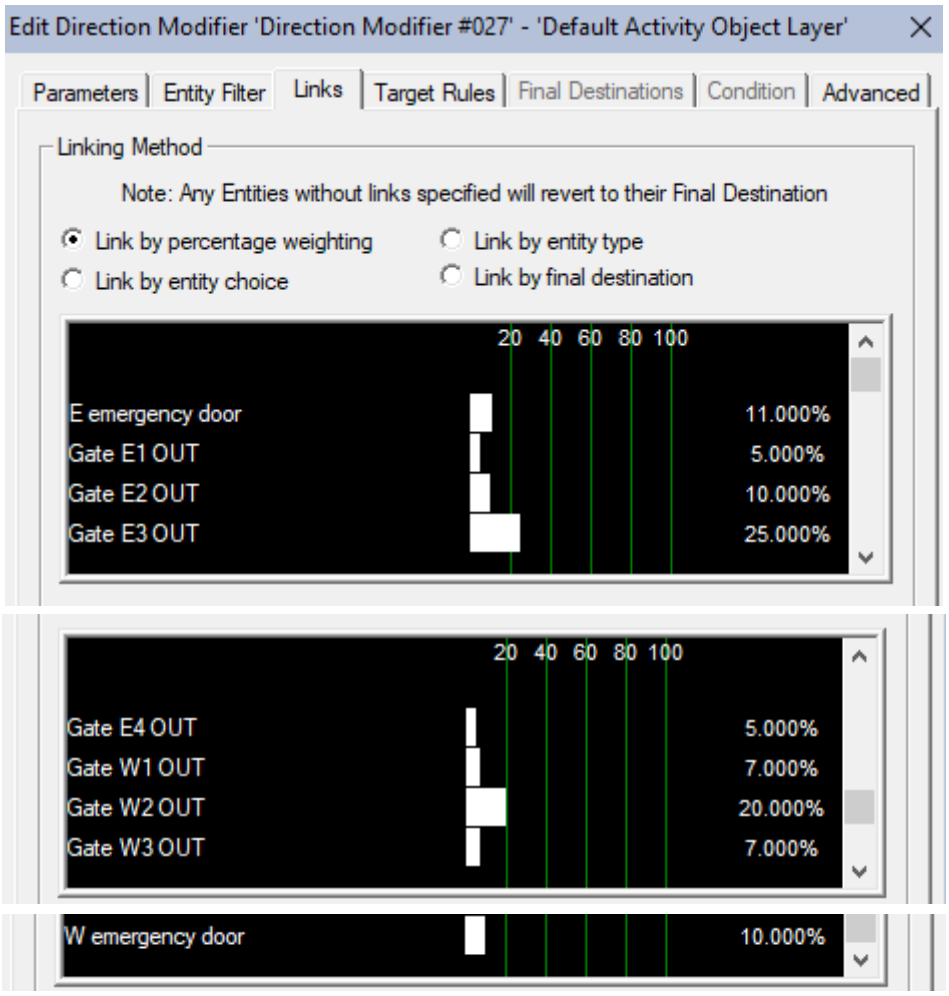
Οι ρυθμίσεις για το δυτικό FN θα είναι:



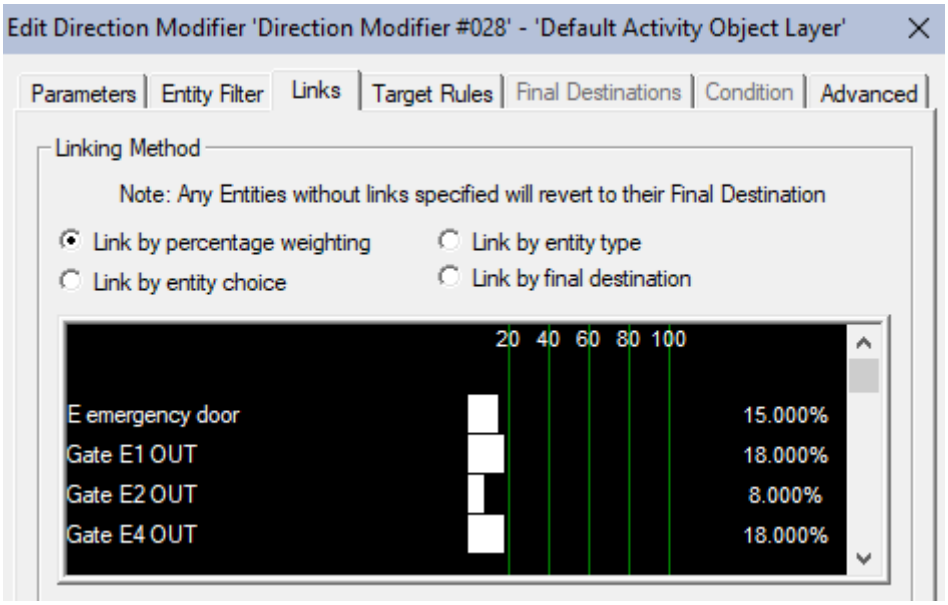


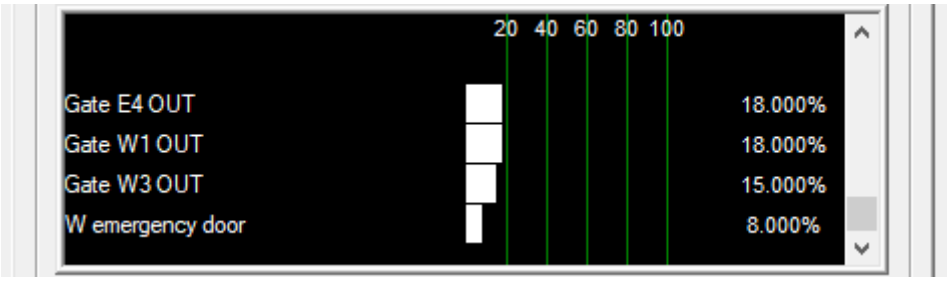
Στο ανατολικό FN χρησιμοποιείται η ρύθμιση “Revert to final destination”.

Τα 4 DM που οδηγούν στις γραμμές πυλών τους επιβάτες τροποποιούνται κατάλληλα ώστε οι επιβάτες να ισομοιράζονται στις πύλες και στις θύρες. Στο δυτικό DM, για τις οντότητες που μπορούν να διέλθουν από όλες τις πύλες, είναι:



Αντίστοιχα, για τις οντότητες που μπορούν να διέλθουν μόνο από τι ευρείες πύλες, είναι:





6.4.3.1.2 Επίδραση Προσθήκης Θυρών

Η προσθήκη θυρών βοηθά στην ελάττωση του συνωστισμού πριν από τις πύλες, ωστόσο το ανώτατο όριο εκροής επιβατών που ορίζουν οι κλίμακες παραμένει ως έχει.

Οι επιδόσεις του συστήματος είναι γενικά ίδιες. Υπάρχουν αλλαγές τάξης μεγέθους των 10 δευτερολέπτων, οι οποίες είναι αμελητέες.

	W		E	
	αρχικός χρόνος	νέος χρόνος	αρχικός χρόνος	νέος χρόνος
εκκένωση επιπέδου 3	7:13	7:07	6:16	6:20
εκκένωση επιπέδου 2	8:48	8:58	8:35	8:33
εκκένωση επιπέδου 1	10:15	10:13	8:42	8:39

Πίνακας 27: Επίδραση προσθήκης θυρών στον χρόνο εκκένωσης

Όπου ο αρχικός χρόνος αφορά την επίδοση του μοντέλου πριν τις βελτιώσεις (πριν δηλαδή την προσθήκη των θυρών ανάγκης).

6.4.3.2 Βήματα Προς Βελτίωση Και Δοκιμές

Προκειμένου να μειωθούν οι χρόνοι εκκένωσης, θα πρέπει να εντοπιστούν τα σημεία του σταθμού που καθυστερούν την γρήγορη εκροή των επιβατών. Τέτοια σημεία εντοπίζονται από χαμηλή ή και μηδενική ταχύτητα βαδίσματος και υψηλή πυκνότητα επιβατών στον χώρο.

Καθώς θα εντοπίζουμε κάθε ένα από τα σημεία αυτά, θα γίνονται προτάσεις για την βελτίωσή τους σε βήματα. Ανά βήμα θα πραγματοποιείται και μια προσομοίωση προκειμένου να επιβεβαιώσουμε ότι πράγματι η κάθε πρόταση συντελεί στην βελτίωση του χρόνου εκκένωσης του σταθμού.

6.4.3.2.1 Βήμα 1 – Πλάτυνση Σταθερών Κλιμάκων (Επίπεδα 2/3)

Στο επίπεδο 0, οι κλίμακες αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για την εκκένωση του επιπέδου των αποβάθρων.

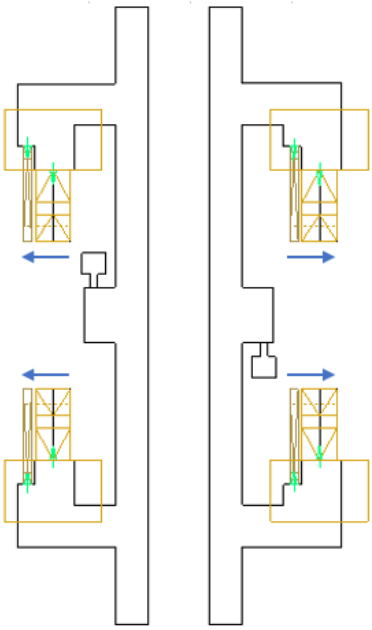
Οι κυλιόμενες κλίμακες επιτρέπουν τη διέλευση 50 ατόμων το λεπτό εκάστη, συνολικά 100 ατόμων ανά λεπτό και 500 ατόμων ανά 5 λεπτά. Ως τώρα οι ακίνητες κλίμακες, με συνολικό πλάτος τα 5 μέτρα και μέγιστη χωρητικότητα τα 62 άτομα ανά μέτρο ανά λεπτό, σε 5 λεπτά θεωρητικά επιτρέπουν την διέλευση 1.550 επιπλέον ατόμων. Θεωρητικά λοιπόν οι υπάρχουσες κλίμακες μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες των επιβατών, βλέπουμε όμως ότι αυτό πρακτικά δεν συμβαίνει.

Προτείνεται η αύξηση του πλάτους των ακίνητων κλιμάκων (είναι οικονομικότερη επιλογή από την τοποθέτηση κυλιόμενων κλιμάκων).

Αυξάνουμε το πλάτος των κλιμάκων κατά 2 μέτρα. Έχουμε:

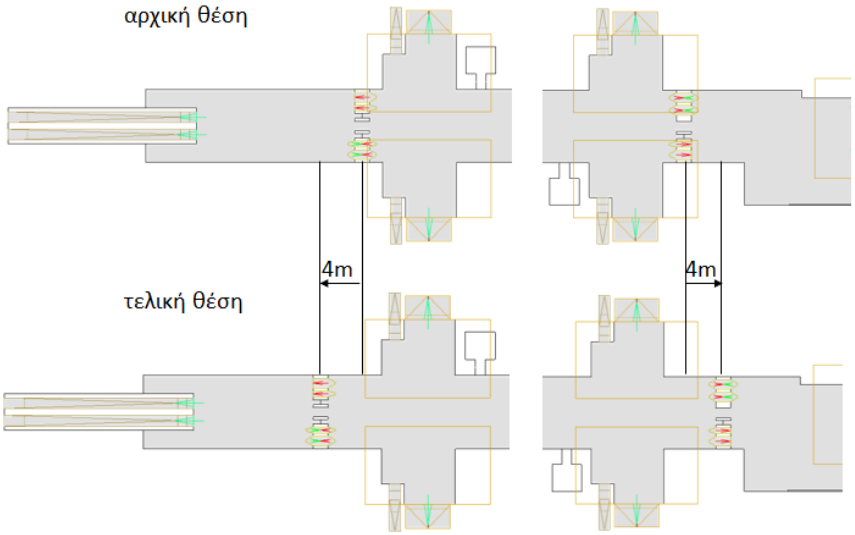
- αρχικό πλάτος: 2.5 μέτρα/ αρχική μέγιστη ροή: 155 άτομα ανά λεπτό
- νέο πλάτος: 4.5 μέτρα/ νέα μέγιστη ροή ανά κλίμακα: 279 άτομα ανά λεπτό.

Οι κλίμακες επεκτείνονται κάθε φορά από την πλευρά που είναι αντίθετη από αυτή όπου βρίσκεται ο ανελκυστήρας:



Εικόνα 107: Αύξηση πλάτους κλιμάκων

Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα το σημείο εξόδου των επιβατών στο επίπεδο δύο να βρεθεί πιο κοντά στην γραμμή πυλών, το οποίο σε συνδυασμό με την μεγαλύτερη ροή ατόμων θα προκαλέσει απαγορευτικό συνωστισμό. Η λύση για αυτό το ζήτημα είναι να απομακρυνθούν οι πύλες από τα σημεία εκείνα. Κάθε γραμμή πυλών μετακινείται κατά 4 μέτρα, όπως φαίνεται στην εικόνα 108:



Εικόνα 108: Μετακίνηση γραμμών πυλών

Οι αλλαγές έχουν σαν αποτέλεσμα την βελτίωση του χρόνου εκκένωσης του επιπέδου 3. Συγκεκριμένα:

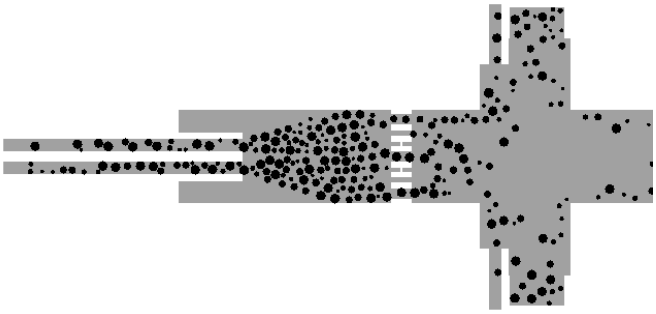
	W		E	
	αρχικός χρόνος	νέος χρόνος	αρχικός χρόνος	νέος χρόνος
εκκένωση επιπέδου 3	7:13	6:33	6:16	4:49
εκκένωση επιπέδου 2	8:48	9:35	8:35	8:09
εκκένωση επιπέδου 1	10:15	9:47	8:42	8:06

Πίνακας 28: Επίδραση αύξησης πλάτους θυρών

Όπου ο αρχικός χρόνος αφορά την επίδοση του μοντέλου πριν τις βελτιώσεις (πριν δηλαδή την προσθήκη των θυρών ανάγκης).

Αρχικά, παρατηρείται ότι στο σενάριο εκδήλωσης στην αποβάθρα Ε, επιτυγχάνεται κάλυψη του ζητούμενου χρόνου για την εκκένωση του επιπέδου 3. Στο σενάριο εκδήλωσης της αποβάθρας W, όμως, απομένουν να καλυφθούν 1 λεπτό και 33 δευτερόλεπτα. Η επόμενη πρόταση βελτίωσης (σημείο 2) θα είναι η προσθήκη δύο επιπλέον κυλιόμενων στην δυτική πλευρά του επιπέδου 3 που θα οδηγούν στο επίπεδο 2. Επίσης, όλες οι κλίμακες θα αυξηθούν σε πλάτος (και άρα θα αυξηθεί και η δυνατότητα εκροής επιβατών).

Παρατηρείται επίσης χειρότερος χρόνος στην εκκένωση του επιπέδου 2, το οποίο πιθανότατα οφείλεται στην πολύ απότομη και υψηλή συγκέντρωση ανθρώπων ανάμεσα στον (πλέον στενότερο) χώρο ανάμεσα στις πύλες και τις κλίμακες:



Εικόνα 109

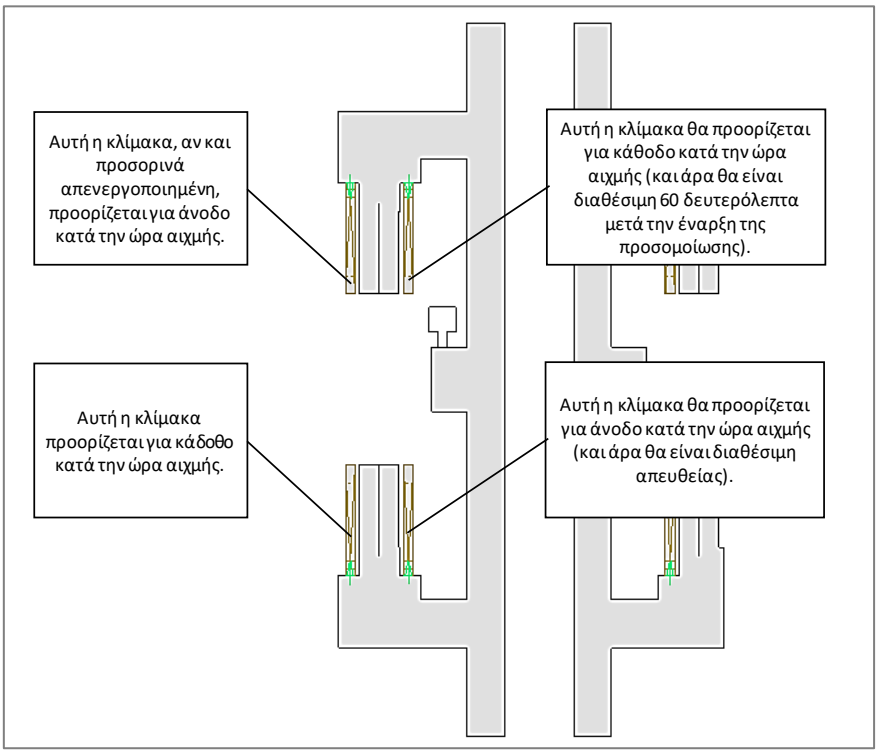
Αυτή η διαπίστωση, συνδυαστικά με το ότι εξακολουθεί να υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ πραγματικών και επιθυμητών χρόνων εκκένωσης επιπέδων 1 και 2, οδηγεί στην πρόταση ενίσχυσης των κλιμάκων στην δυτική πρόσβαση του σταθμού (σημείο 3).

Τέλος, θα πρέπει να αυξηθεί και η εκροή επιβατών προς την ανατολική έξοδο. Το τελευταίο σημείο προς βελτίωση θα είναι οι κλίμακες, και συγκεκριμένα οι ακίνητες κλίμακες, το πλάτος των οποίων προτείνεται να αυξηθεί.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Η κατανομή επιβατών στις δύο αποβάθρες στο σενάριο Ε είναι πιο ευνοϊκή από αυτή στο σενάριο W, το οποίο αποδεικνύεται και από τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει ως τώρα. Για τον λόγο αυτόν, και εφόσον έχουμε καλύψει την προδιαγραφή εκκένωσης της αποβάθρας Ε με την πλάτυνση των σταθερών κλιμάκων. από αυτό το σημείο και έπειτα οι προτάσεις που γίνονται θα δοκιμάζονται με βάση το σενάριο W. Μόνο το τελικό μοντέλο – πρόταση θα δοκιμαστεί με βάση την δυσμενέστερη περίπτωση των σεναρίων Ε και W.

6.4.3.2.2 Βήμα 2 – Προσθήκη Κυλιόμενων Κλιμάκων (Επίπεδα 2/3)

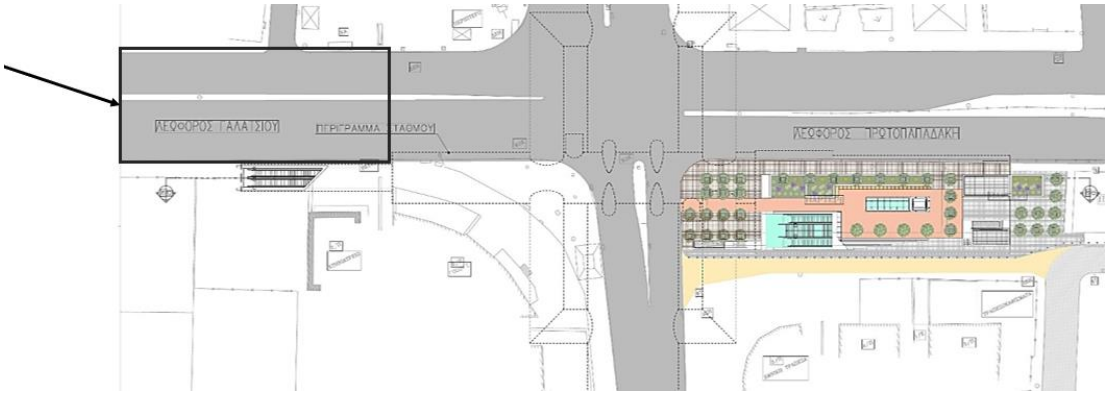
Για να αυξηθεί περεταίρω η εκροή επιβατών από την δυτική αποβάθρα, τοποθετούνται δύο ακόμα κυλιόμενες κλίμακες. Η ρύθμιση της κάθε μίας θα είναι ανάλογη με τις υπόλοιπες κυλιόμενες κλίμακες στον χώρο, δηλαδή:



Εικόνα 110

6.4.3.2.3 Βήμα 3 – Προσθήκη Σταθερών Κλιμάκων (Επίπεδα 2/0)

Εμφανώς οι κλίμακες στην δυτική πρόσβαση δεν αρκούν ως έχουν. Προτείνεται η τοποθέτηση σταθερής κλίμακας ανάμεσα στις δύο κυλιόμενες. Πρέπει ωστόσο να ληφθούν υπόψιν οι περιορισμοί που τίθενται από το εξωτερικό περιβάλλον.

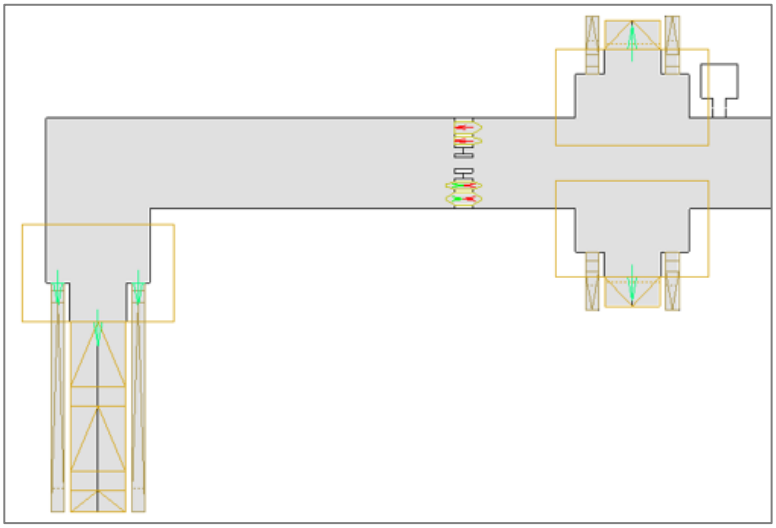


Εικόνα 111: Περιορισμοί του περιβάλλοντος του σταθμού

Το βασικό πρόβλημα είναι ο περιορισμένος διαθέσιμος χώρος, λόγω της θέσης του σταθμού σε σχέση με την λεωφόρο Γαλατσίου (εικόνα 111). Η απλούστερη λύση θα ήταν να τοποθετηθεί ακίνητη κλίμακα ανάμεσα από τις δύο κινητές, όμως για να υλοποιηθεί αυτό θα πρέπει να αλλάξει η συνολική διαρρύθμιση του τμήματος αυτού του σταθμού. Ενδεικτικά,

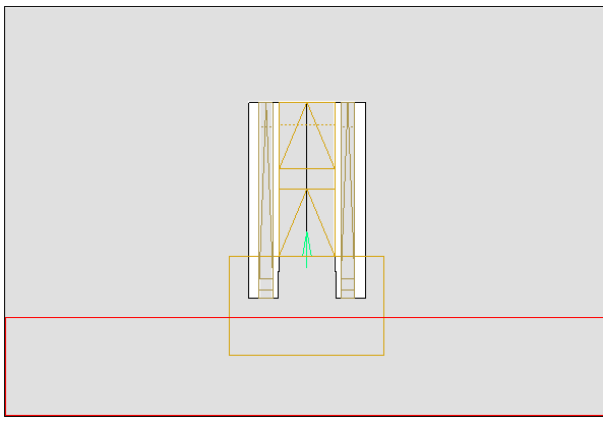
προτείνεται να γίνει διαρρύθμιση τύπου «Γ» ώστε η έξοδος των κλιμάκων να βρεθεί στο εσωτερικό του οικοδομικού τετραγώνου, μακριά από την οδό. Η ουσία αυτής της πρότασης βρίσκεται στην επίδραση που μπορεί να έχει η προσθήκη κλίμακας συγκεκριμένου πλάτους και η ύπαρξη διαδρόμου με γωνία στην κίνηση του πλήθους. Οι ακριβείς διαστάσεις του διαδρόμου στο μοντέλο της προσομοίωσης δεν είναι απαραίτητα απόλυτες (αρκεί να τηρούνται οι σχετικές προδιαγραφές που έχουν αναφερθεί στο Εγχειρίδιο Σχεδιασμού).

Καθώς δημιουργείται επιπλέον χώρος, έχουμε την ευχέρεια να μετακινήσουμε περισσότερο την δυτική γραμμή πυλών (έστω 5 ακόμα μέτρα). Η τελική (αλλά όχι απόλυτη) διαμόρφωση της περιοχής αυτής θα είναι:



Εικόνα 112: Ενδεικτική προτεινόμενη διάταξη – επίπεδο 2

Και στο επίπεδο της οδού:

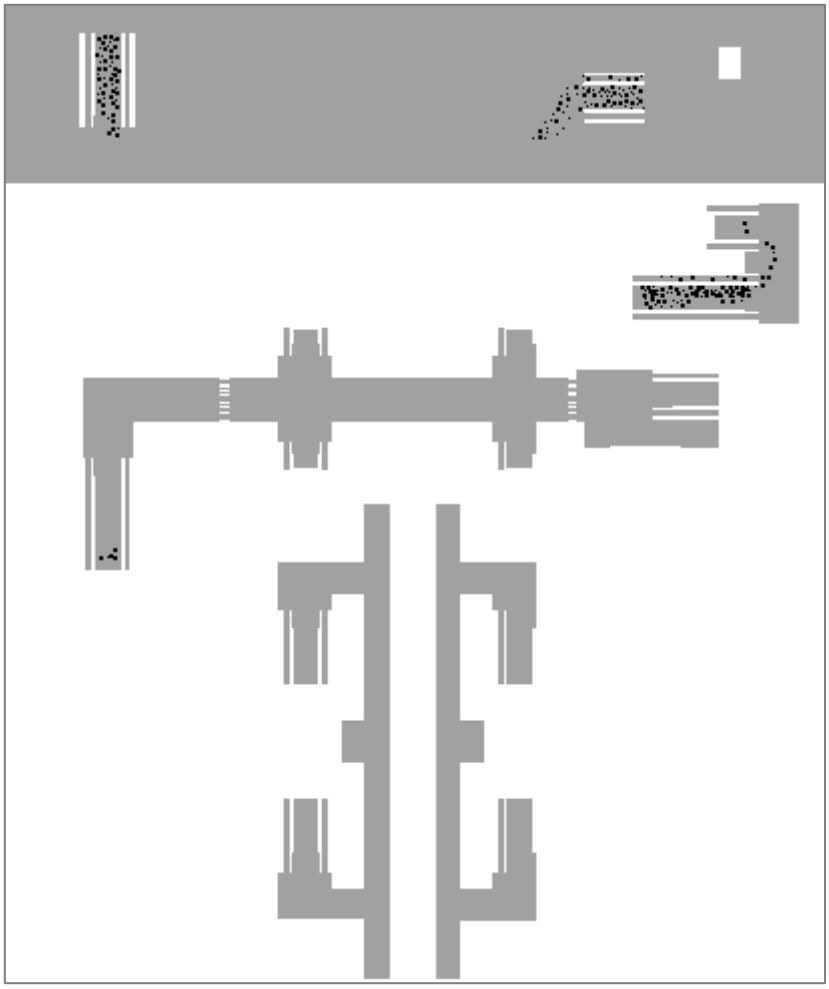


Εικόνα 113: Ενδεικτική προτεινόμενη διάταξη – επίπεδο 0

6.4.3.2.4 Βήμα 4 – Πλάτυνση Σταθερών Κλιμάκων (Επίπεδα 1/2 και 0/1)

Το μήκος των κλιμάκων αυξάνεται κατά δύο μέτρα, από την πλευρά που είναι αντίθετη προς τον θάλαμο του ανελκυστήρα.

- αρχικό πλάτος: 2.3 μέτρα/ αρχική μέγιστη ροή: 142.6 άτομα ανά λεπτό
- νέο πλάτος: 4.3 μέτρα/ νέα μέγιστη ροή ανά κλίμακα: 266.6 άτομα ανά λεπτό.



Με την αλλαγή αυτή, ο σταθμός στο ορόσημο των 7 λεπτών αποκτά την ακόλουθη εικόνα:

Εικόνα 114

Έχουν απομείνει:

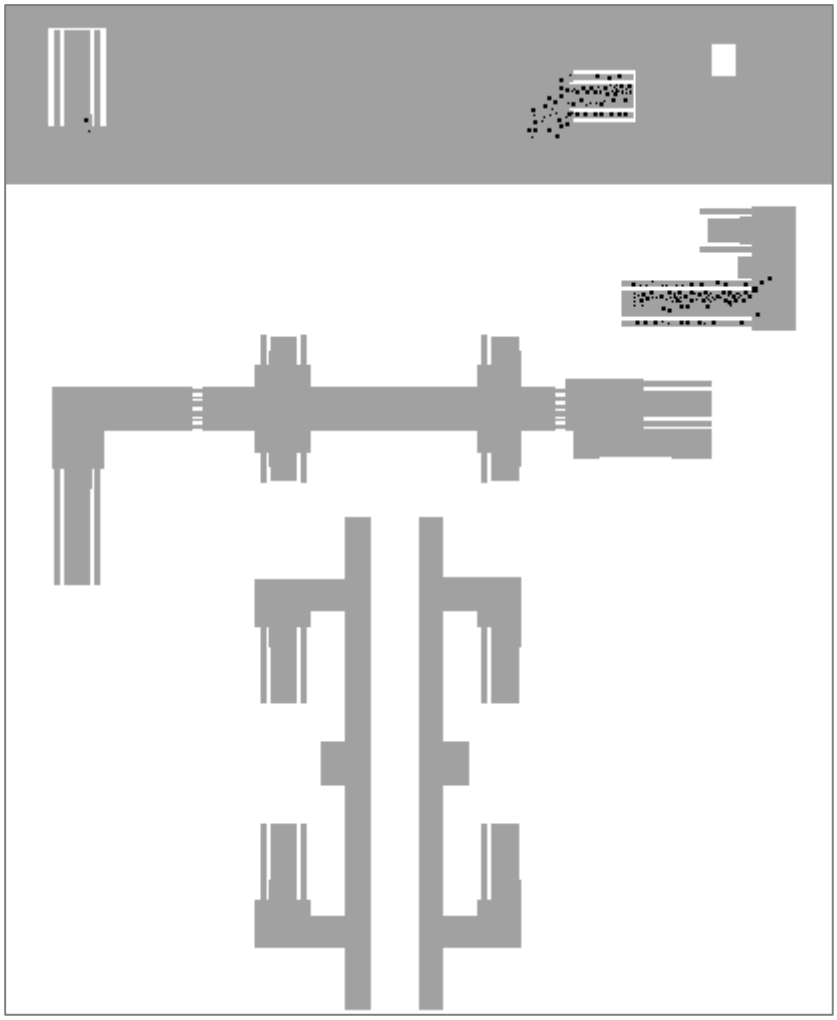
- 15 οντότητες στο επίπεδο 1.
- 121 οντότητες στις κλίμακες που οδηγούν από το επίπεδο 1 στο επίπεδο 0.
- 55 οντότητες στις κλίμακες που οδηγούν από το επίπεδο 1 στο επίπεδο 0.

Τελικά ο σταθμός εκκενώνεται πλήρως στα 7 λεπτά και 48 δευτερόλεπτα από την δυτική πρόσβαση και στα 9 λεπτά από την ανατολική πρόσβαση.

Προχωράμε στην προσθήκη από μιας ακόμα θύρας έκτακτης ανάγκης σε κάθε γραμμή.

6.4.3.2.5 Βήμα 5 – Προσθήκη 2 Επιπλέον Θυρών Έκτακτης Ανάγκης

Με την προσθήκη 2 ακόμα θυρών (πιθανώς να χρειαστεί αύξηση του πλάτους του διαδρόμου κατά 10 με 30 εκατοστά, ανάλογα με τον όγκο του πλαισίου κάθε θύρας), επιτυγχάνεται η ακόλουθη εικόνα του σταθμού στο ορόσημο των 7 λεπτών:



Εικόνα 115

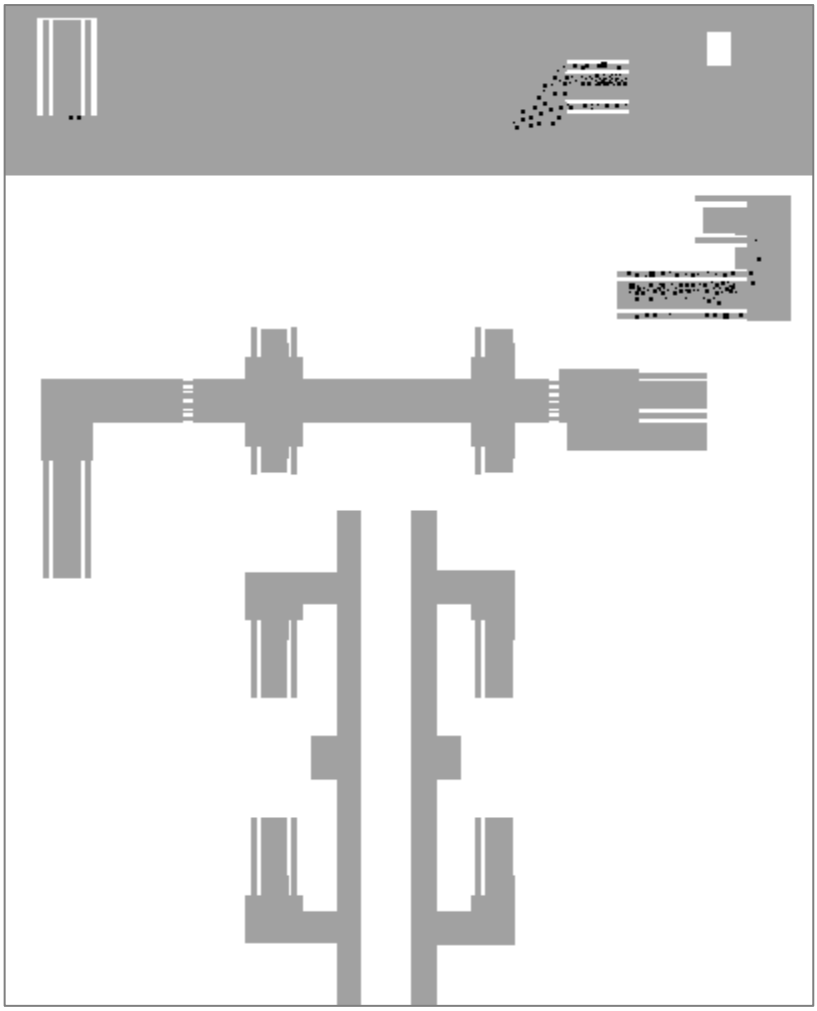
Πλέον απομένουν:

- 9 οντότητες στο επίπεδο 1
- 121 οντότητες στις κλίμακες μεταξύ επιπέδων 0 και 1

Και πάλι, ο σταθμός εκκενώνεται πλήρως στα 9 λεπτά, όμως η εκκένωση του επιπέδου 2 γίνεται πλέον εντός των 7 λεπτών. Απομένει να καλυφθεί η διαφορά των 2 λεπτών από την ανατολική πρόσβαση.

6.4.3.2.6 Βήμα 6 – Περεταίρω Πλάτυνση

Αυξάνουμε το πλάτος των κλιμάκων της ανατολικής πρόσβασης για να δούμε εάν θα επηρεάσει αυτό το αποτέλεσμα. Εντέλει προκύπτει ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα, το οποίο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μέγιστη δυνατή εκροή αυτών των κλιμάκων δεν αποτελεί πλέον παράγοντα που μπορεί να βελτιώσει άλλο τον χρόνο εκκένωσης του επιπέδου 1.



Εικόνα 116

Σε αυτό το σημείο υπενθυμίζεται ότι το Εγχειρίδιο Σχεδιασμού αναφέρει ότι επειδή συχνά είναι ανέφικτη η εκκένωση ενός μεγάλου σταθμού σε τόσο σύντομο χρονικό διάστημα, ως σημεία ασφαλείας μπορούν να οριστούν διάδρομοι που οδηγούν στην οδό και σε χώρους που βρίσκονται επάνω από την περιοχή άμεσου κινδύνου.

Το επίπεδο 1, που στα 7 λεπτά εξακολουθεί να έχει επιβάτες προς εκκένωση, βρίσκεται δύο επίπεδα πάνω από την πηγή του κινδύνου. Επίσης οδηγεί απευθείας σε εξωτερικό χώρο, μπορεί επομένως να θεωρηθεί ως σημείο ασφαλείας.

Λόγω αυτού, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι με τα βήματα που έχουμε προτείνει, οι προδιαγραφές της ΑΜ καλύπτονται και μπορούμε να διακόψουμε εδώ τις προτάσεις βελτίωσης. Για περεταίρω μείωση του χρόνου εκκένωσης θα έπρεπε να γίνουν πιο δραστικές και αλλαγές υψηλότερου κόστους.

Απομένει να δοκιμαστεί το μοντέλο στα τρία εναπομείναντα σενάρια:

	αποβάθρα W	αποβάθρα E
Μέσος Όρος	1	**2**
Μέγιστες Τιμές	**3**	**4**

Πίνακας 29

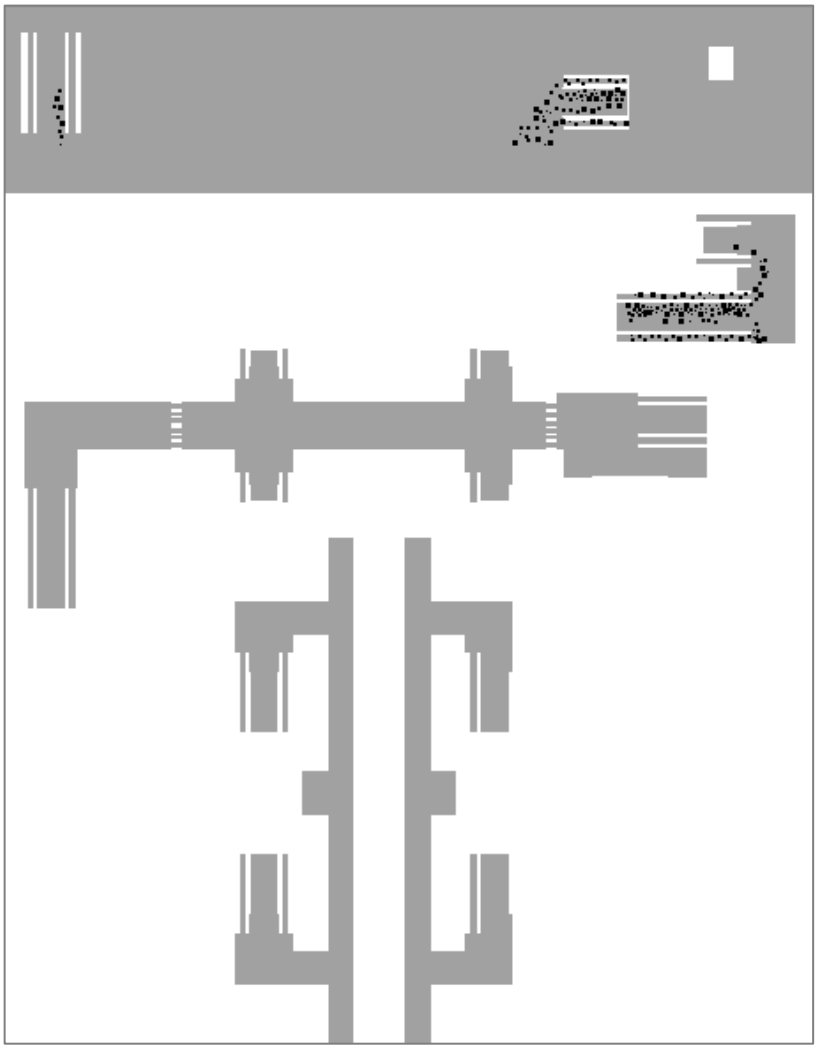
6.4.3.3 Δοκιμές Στο Τελικό Μοντέλο

Το τελικό μοντέλο (με αλλαγές μέχρι και το βήμα 6) δοκιμάζεται με τις προσομοιώσεις των 3 σεναρίων που αναφέρθηκαν. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	E average		W worst case	E worst case
	αρχικός χρόνος	νέος χρόνος	χρόνος	χρόνος
εκκένωση επιπέδου 3	6:16	4:24	5:06	4:16
εκκένωση επιπέδου 2	8:35	7:09	7:07	6:52
εκκένωση επιπέδου 1	8:42	7:41	8:59	7:33

Πίνακας 30: Αποτελέσματα τελικού μοντέλου

Από τα παραπάνω, όπως είναι φυσικό, την χειρότερη επίδοση έχει το δυσμενέστερο σενάριο W. Αυτό, στα 7 λεπτά έχει την ακόλουθη μορφή:



Εικόνα 117

Η εικόνα αυτή είναι αποδεκτή, αφού μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι επιβάτες βρίσκονται σε ασφαλή περιοχή μέχρι το πέρας των 7 λεπτών.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Προτού αναφερθούμε στα τελικά συμπεράσματα της μελέτης, αξίζει να αναφέρουμε ότι στην πορεία της εργασίας διαπιστώνονται τα εξής:

- Τα πρώιμα αρχιτεκτονικά σχέδια του σταθμού καλύπτουν ένα μέρος των προδιαγραφών που αναφέρονται στο ΕΣ, ωστόσο αρκετά είναι τα σημεία που χρειάζονται προσαρμογή. Κάποια από αυτά μπορούν να εντοπιστούν άμεσα, όπως για παράδειγμα το πλάτος της αποβάθρας, ενώ για άλλα χρειάζεται να γίνουν υπολογισμοί που αναφέρονται επίσης στο ΕΣ, όπως είναι για παράδειγμα ο μέγιστος αριθμός συνεχόμενων ριχτιών.
- Το λογισμικό που χρησιμοποιείται και ο τρόπος με τον οποίο είναι δομημένη η προτεινόμενη ροή εργασιών μπορεί να περιορίζει μεν τον χρήστη, αλλά παράλληλα αποτελεί οδηγό που βοηθά κατά την διαδικασία μοντελοποίησης και τον ορισμό του συστήματος.
- Μια μοντελοποίηση μπορεί να γίνει σχεδόν όσο λεπτομερής ή χονδρική επιθυμούμε. Είναι στο χέρι του μελετητή να κρίνει τον βαθμό λεπτομέρειας που αρμόζει στο πρόβλημα που μελετά.
- Συχνά ο αλγόριθμος οδηγεί σε αποτελέσματα τα οποία δεν αντιπροσωπεύουν ρεαλιστικές συμπεριφορές. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιούνται εναλλακτικές χωρίς να επηρεάζεται η εγκυρότητα της τελικής πρόγνωσης.

Όσον αφορά τον έλεγχο της καταλληλότητας του σταθμού σε σχέση με τις αναμενόμενες επιβατικές ροές, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν ότι ο σταθμός «Γαλάτσι» είναι σε θέση να διαχειριστεί τους επιβάτες του κατά την ώρα αιχμής. Μία μικρή μετατροπή (αλλαγή κανονικής πύλης εισόδου σε ευρεία) θα ευνοούσε την ομαλότερη λειτουργία και την αποφυγή μεγάλων ουρών αναμονής.

Διαπιστώθηκε, επίσης, ότι με δεδομένες τις βεβαρυμμένες συνθήκες που ορίζονται από το ΕΣ για την λειτουργία εκκένωσης, το σχέδιο του σταθμού θα πρέπει να υποστεί αλλαγές προκειμένου να βρεθεί εντός ορίων.

Χωρίς να θεωρούμε τις τιμές απόλυτες, με τα υπάρχοντα σχέδια μπορεί να επιτευχθεί εκκένωση των επιπέδων αποβάθρων γύρω στα 6 – 7 λεπτά (αντί για 5) και ολική εκκένωση σε ασφαλές σημείο γύρω στα 8 – 9 λεπτά (αντί για 7).

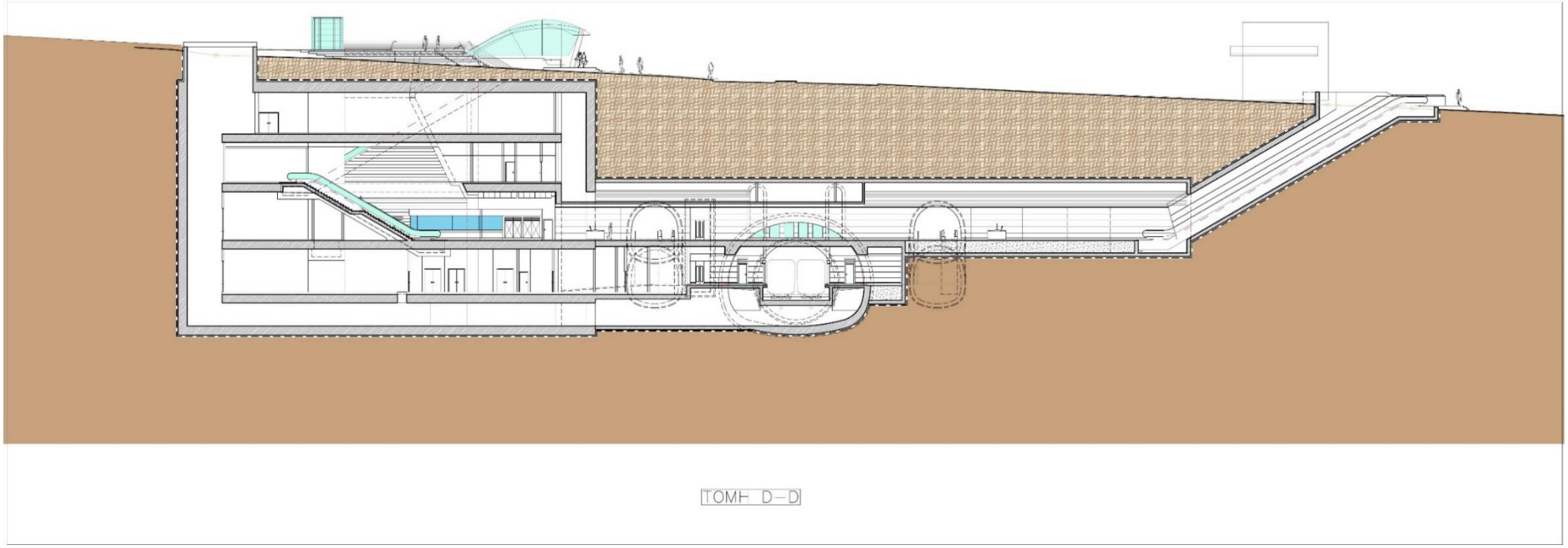
Σύμφωνα με δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε τροποποιημένα μοντέλα, οι χρόνοι αυτοί μπορούν να βελτιωθούν δραστικά και να βρεθούν εντός ορίων εάν αυξηθεί η μέγιστη δυνατή ροή που επιτρέπεται από τις υποδομές. Αυτό συνεπάγεται προσθήκη θυρών εκκένωσης, αύξηση πλάτους των ακίνητων κλιμάκων και προσθήκη επιπλέον κυλιόμενων κλιμάκων.

8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

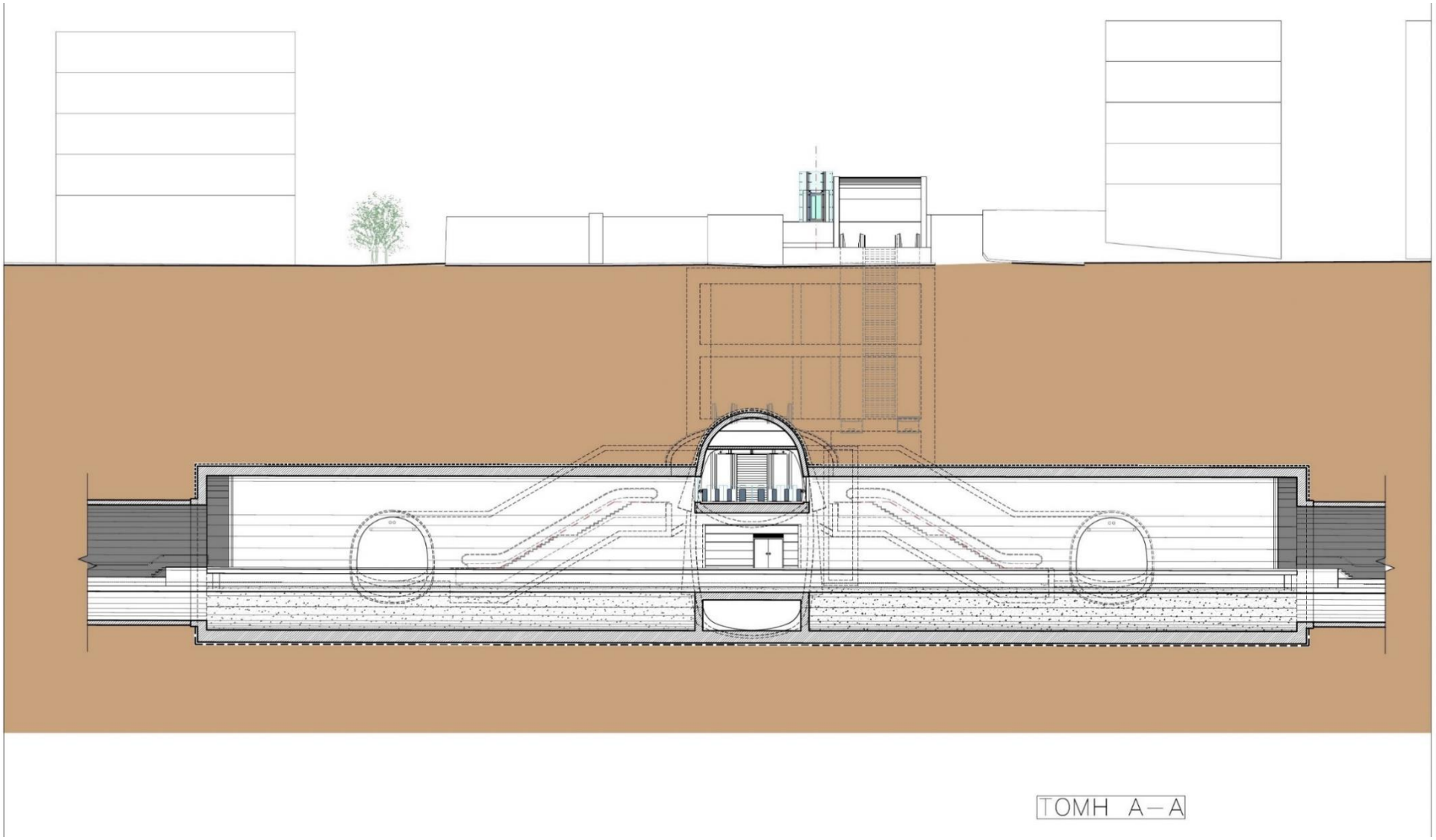
8.1 Παράρτημα 1

Κάτοψη:

Τομή D-D:



Τομή Α-Α:



9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

9.1 Βιβλιογραφικές Αναφορές

[1] image from: Imaginary rendering of Vaucanson's digesting duck in Scientific American (January 1899) – Internet Archive

[2] Αριστοτέλης, Άπαντα, Όργανον Ι, Κατηγορίαι-Περί Ερμηνείας

[3] Αρχαία Ελληνική Γραμματεία «Οι Έλληνες», Εκδόσεις Κάκτος

[4] Νίκος Ζαρμπούτης, «Ανάπτυξη Μεθόδου για τη Διαχείριση της Επικινδυνότητας Πολύπλοκων Κοινωνικό-Τεχνικών Συστημάτων με Χρήση Προσομοίωσης Πολλών Δραστών» (διδακτορική διατριβή), 2005

[5] image from: F. Shi, W. Choi, M. J. S. Lowe, E. A. Skelton and R. V. Craster, "The validity of Kirchhoff theory for scattering of elastic waves from rough surfaces"

[6] Ιστοσελίδα Πυροσβεστικού Σώματος Ελλάδος (https://www.fireservice.gr/el/synola-dedomenon)

[7] Heng Yu 1, Yimin Wang 1, Peiyun Qiu 2, Jiacheng Chen 2, "Analysis of natural and man-made accidents happened in subway stations and trains: based on statistics of accident cases"

[8] Ιστοσελίδα NFPA Journal® (https://www.nfpa.org/Public-Education/Staying-safe/Safety-in-living-and-entertainment-spaces/Nightclubs-assembly-occupancies/The-Cocoanut-Grove-fire)

[9] Ιστοσελίδα CFPA Europe (https://cfpa-e.eu/national-regulations/regulations-greece/)

[10] Moataz Nour, "Fire Safety Design System between Performance-Based vs Prescriptive Design-Tools and Challenges", April 2018, Texas A&M University

[11] Gibelli, Livio, Bellomo, Nicola (Eds.), "Modeling and Simulation in Science, Engineering and Technology"

Springer, "Crowd Dynamics, Volume 1_ Theory, Models, and Safety Problems", (2018)

[12] LE BON, G. Alcan, "Lois Psychlogiques De l'Évolution Des Peuples.", Paris, 1895

[13] MCPHAIL, C., AND TUCKER, C., L. Reynolds and H.-K. NJ., Eds. Walnut Creek, Altamira, "Collective behaviour. In Handbook of Symbolic Interactionism", 2003, pp. 721–741

[14] SCHWEINGRUBER, D., AND WOHLSTEIN, "The madding crowd goes to school: Myths about crowds in introductory sociology textbooks.", April 2005, pp. 136–153

[15] KEATING, J. P., "The myth of panic. Fire Journal", May 1982, pp. 57–62

[16] SIME, "The concept of panic. In Fire and Human Behavior." J. David Fulton Publishers, 1993, ch. 5, pp. 63–82

[17] N. R. JOHNSON, "Panic at "The Who Concert Stampede": An Empirical

Assessment. Social Problems" Vol. 34, October 1987, pp. 362–373

[18] ROGSCH, C., SCHRECKENBERG, M., TRIBBLE, E., KLINGSCH, W., AND KRETZ, "Was it panic? An overview about mass-emergencies and their origins all over the world for recent years." January 2010, pp. 743–755

[19] Nicola Bellomo, Tayfun E. Tezduyar, "Modeling and Simulation in Science, Engineering and Technology" Book Series

[20] Sharon Eve Sonenblum, Stephen Sprigle, Ricardo A Lopez, "Manual Wheelchair Use: Bouts of Mobility in Everyday Life", July 2012, Georgia Institute of Technology

[21] Etienne Duimn, Maria Lucia Lebrão, José Leopoldo Ferreira Antunes, "Walking speed of folder people and pedestrian crossing time", February 2017, School of Public Health, University of São Paulo

[22] Moustafa Elhamshary, Moustafa Youssef, Akira Uchiyama, Hirozumi Yamaguchi; Teruo Higashino, "CrowdMeter: Congestion Level Estimation in Railway Stations Using Smartphones", 2018, Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Japan

[23] image from: https://streeteasy.com/blog/nyc-subway-emergency-exit-can-i-use-it/

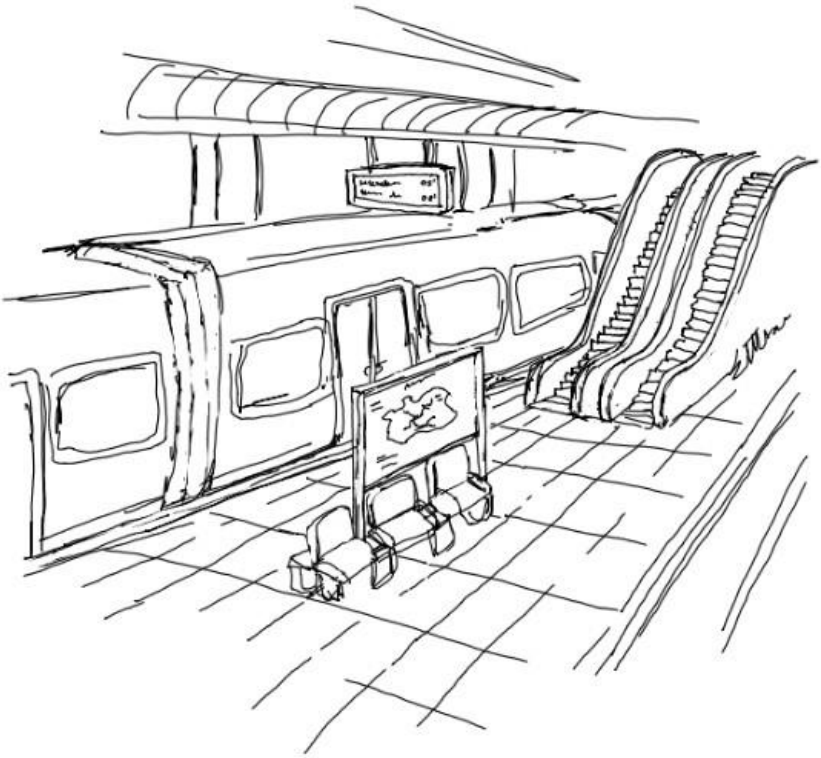
[24] Livio Gibelli, Nicola Bellomo, "Crowd Dynamics, Volume 1_ Theory, Models, and Safety Problems", Springer, 2018

9.2 Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

Livio Gibelli, “Crowd Dynamics, Volume 2, Theory, Models, and Applications”, Birkäuser, September 2018

Noorhazlinda Abd Rahman, “Crowd Behavior Simulation of Pedestrians During Evacuation Process DEM-Based Approach”, Springer

Sebastian Seriani, “Crowd management on metro station platforms” Thesis, 2018, University College London

Shaokuan CHEN1, Yanan ZHANG, Yue DI, Fang LI, Wenzheng JIA, “A MULTI-AGENT-BASED APPROACH FOR THE IMPACTS ANALYSIS OF PASSENGER FLOW ON PLATFORMS IN METRO STATIONS CONSIDERING TRAIN OPERATIONS”, April 2017

Saad Ali, Ko Nishino, Dinesh Manocha, Mubarak Shah, “Modeling, Simulation and Visual Analysis of Crowds - A Multidisciplinary Perspective”, Springer