

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «**Προσομοίωση διαδικασιών εκκένωσης παράκτιας περιοχής λόγω επικείμενης φυσικής καταστροφής με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης διακριτών γεγονότων ARENA**» εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος «Επιχειρησιακή Έρευνα» που διδάσκεται στον τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αφορά τη χρήση της προσομοίωσης σε προβλήματα επιχειρησιακών διαδικασιών και πιο συγκεκριμένα, μελετάται ο σωστός σχεδιασμός των διαδικασιών εκκένωσης μίας παραλιακής πόλης και του παρακείμενου νησιού και οι διαδικασίες συλλογής και διάσωσης των κατοίκων τους, μέσα σε προκαθορισμένο χρονικό ορίζοντα.

Το πρόβλημα βασίζεται σε δεδομένα πραγματικής περιοχής και αποτέλεσε το θέμα του 14<sup>ου</sup> Ετήσιου Παγκοσμίου Διαγωνισμού Προσομοίωσης, που διοργανώνεται από το ΙΙΕ (Institute of Industrial Engineers) και την Rockwell Automation, εταιρία που αναπτύσσει το λογισμικό προσομοίωσης Arena.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας αναλύονται οι έννοιες της Επιχειρησιακής Έρευνας και της Προσομοίωσης, γίνεται μια συνοπτική αναφορά στην ιστορία, στις πρακτικές εφαρμογές, στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προσομοίωσης. Στη συνέχεια περιγράφεται το λογισμικό προσομοίωσης Arena, οι βασικές αρχές που το διέπουν και η βασική λειτουργικότητα του, παρέχοντας έτσι ένα μικρό εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού. Στο δεύτερο μέρος της εργασίας παρουσιάζεται με λεπτομέρεια το πρόβλημα, περιγράφεται με ακρίβεια το μοντέλο προσομοίωσης που αναπτύχθηκε και τέλος αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση του.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας, κ. Σ. Πόνη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε τόσο στην ανάθεση της εργασίας, όσο και στην εκτέλεση αυτής, αλλά και για την άμεση και συνεχή του βοήθεια, καθοδήγηση και τις εύστοχες παρατηρήσεις που συνέβαλαν αποφασιστικά στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τα μέλη της οικογένειας μου και τους στενούς μου φίλους για τη συμπαράσταση, βοήθεια και την ανιδιοτελή προσφορά τους όλο αυτό το διάστημα.

Δελής Άγγελος,

Φεβρουάριος 2011

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>1</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>2</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</b> .....	<b>3</b>
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	6
<b>ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ</b> .....	<b>7</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>8</b>
1.1 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΈΡΕΥΝΑ.....	8
1.1.1 Ορισμός.....	8
1.1.2 Μοντέλα.....	9
1.1.3 Μεθοδολογία της Επιχειρησιακής Έρευνας .....	9
1.1.4 Μέθοδοι Μοντελοποίησης.....	10
1.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ .....	12
1.2.1 Ορισμός.....	12
1.2.2 Ανάγκη για Προσομοίωση .....	13
1.2.3 Τομείς Εφαρμογής Προσομοίωσης .....	14
1.2.4 Πρακτικές Υλοποίησης της Προσομοίωσης .....	15
1.2.5 Ιστορική Αναδρομή.....	16
1.2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα .....	17
1.2.7 Διάκριση Μοντέλων Προσομοίωσης.....	18
<b>2. ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ</b> .....	<b>19</b>
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	19
2.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΤΕΛΩΝ .....	20
2.2.1 Οντότητες (Entities).....	20
2.2.2 Σταθμοί εξυπηρέτησης – Πόροι (Resources) .....	20
2.2.3 Ουρές Αναμονής (Queues).....	20
2.2.4 Μεταβλητές (Variables) – Εκφράσεις (Expressions) .....	20
2.2.5 Ροή Οντοτήτων.....	21
2.2.6 Χρονοδιάγραμμα Συμβάντων .....	21
2.2.7 Ρολόι Προσομοίωσης .....	22
2.2.8 Τυχασιότητα στη Προσομοίωση .....	22
2.2.9 Σύνοψη μιας Μελέτης προσομοίωσης.....	24
<b>3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ARENA (VERSION 8.01)</b> 26	
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	26
3.1.1 Rockwell Arena.....	26
3.1.2 Περιβάλλον Εργασίας.....	26
3.2 ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ MODULES.....	28
3.2.1 Basic Process Panel.....	28
3.2.2 Advanced Process Panel .....	31
3.2.3 Advanced Transfer Panel.....	32
3.3 ΕΚΤΕΛΕΣΗ, ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	33
3.3.1 Γραφικά στοιχεία και Γραφήματα.....	33
3.3.2 Παράμετροι Εκτέλεσης.....	33

3.3.3 Εκτέλεση και Αναφορές.....	34
3.3.4 Διάκριση Στατιστικών Στοιχείων.....	36
3.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	36
3.4.1 Input Analysis.....	36
3.4.2 Arena Input Analyzer.....	37
3.4.3 Output Analysis.....	39
3.4.4 Το Arena Output Analyzer.....	39
3.4.5 Παραμετρική Ανάλυση Σεναρίων (Process Analyzer – PAN).....	40
3.4.6 OptQuest.....	41
<b>ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ.....</b>	<b>43</b>
<b>4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>44</b>
4.1 ROCKWELL SHORES ΚΑΙ ST. ROCKS BARRIER ISLAND.....	44
4.1.1 St.Rocks Barrier Island.....	45
4.1.2 Rockwell Shores.....	45
4.2 ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ.....	46
4.2.1 St.Rocks Barrier Island.....	47
4.2.2 Rockwell Shores.....	47
4.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	49
4.4 ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ.....	50
<b>5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....</b>	<b>51</b>
5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	51
5.1.1 Οντότητες.....	51
5.1.2 Πόροι.....	51
5.1.3 Χρονοδιαγράμματα.....	52
5.1.4 Run Setup.....	52
5.2 ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	53
5.2.1 Παρουσίαση της λογικής πίσω από το μοντέλο.....	53
5.2.2 Επεξήγηση μηχανισμών που χρησιμοποιήθηκαν.....	54
5.2.3 Ο πυρήνας του μοντέλου.....	56
5.2.4 Ενδιάμεσος Σταθμός.....	60
5.2.5 Αρχικός Σταθμός.....	65
5.2.6 Σταθμός «Safe».....	78
5.2.7 Σταθμός Καταφυγίου.....	81
5.2.8 Τερματικός Σταθμός.....	87
<b>6. ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....</b>	<b>89</b>
6.1 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ – VERIFICATION.....	89
6.2 ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ – VALIDATION.....	91
<b>7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>92</b>
<b>8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>98</b>

## Κατάλογος Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1 - ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΕΜΑΧΙΟΥ .....	19
ΕΙΚΟΝΑ 2 - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ARENA .....	27
ΕΙΚΟΝΑ 3 - CREATE MODULE .....	28
ΕΙΚΟΝΑ 4 - ENTITY MODULE .....	29
ΕΙΚΟΝΑ 5 - PROCESS MODULE .....	29
ΕΙΚΟΝΑ 6 - RESOURCE MODULE .....	30
ΕΙΚΟΝΑ 7 - ΓΡΑΜΜΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ANIMATION .....	33
ΕΙΚΟΝΑ 8 - ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΛΟΓΟΥ «RUN SETUP» .....	34
ΕΙΚΟΝΑ 9 - ΓΡΑΜΜΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ «RUN INTERACTION» .....	34
ΕΙΚΟΝΑ 10 - ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ .....	35
ΕΙΚΟΝΑ 11 – ΧΑΡΤΗΣ ROCKWELL SHORES ΚΑΙ ST. BARRIER ISLAND .....	44
ΕΙΚΟΝΑ 12 - ΧΑΡΤΗΣ ROCKWELL SHORES ΚΑΙ ST. ROCKS BARRIER ISLAND ΜΕ ΟΝΟΜΑΤΙΣΜΕΝΟΥΣ ΚΟΜΒΟΥΣ .....	48
ΕΙΚΟΝΑ 13 - ENTITIES .....	51
ΕΙΚΟΝΑ 14 - ΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ RUN SETUP ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	52
ΕΙΚΟΝΑ 15 - ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΡΟΜΟΥΣ 1-42 .....	58
ΕΙΚΟΝΑ 16 - ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΡΟΜΟΥΣ 43-84 .....	59
ΕΙΚΟΝΑ 17 - ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ .....	60
ΕΙΚΟΝΑ 18 - ΠΡΩΤΟ ΤΜΗΜΑ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	60
ΕΙΚΟΝΑ 19 - HOLD MODULE .....	61
ΕΙΚΟΝΑ 20 - DECIDE MODULE ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	61
ΕΙΚΟΝΑ 21 - RELEASE MODULE .....	62
ΕΙΚΟΝΑ 22 - ΔΕΥΤΕΡΟ ΤΜΗΜΑ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	62
ΕΙΚΟΝΑ 23 - SEIZE MODULE .....	63
ΕΙΚΟΝΑ 24 - ΤΡΙΤΟ ΤΜΗΜΑ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	63
ΕΙΚΟΝΑ 25 - DECIDE MODULE ΣΤΟ ΤΡΙΤΟ ΜΕΡΟΣ ΤΟΥ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	64
ΕΙΚΟΝΑ 26 - ASSIGN MODULE ΓΙΑ EMERGENCY ROUTES .....	64
ΕΙΚΟΝΑ 27 - ROUTE MODULE .....	64
ΕΙΚΟΝΑ 28 - ΑΡΧΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ .....	65
ΕΙΚΟΝΑ 29- ΕΙΣΟΔΟΣ ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....	66
ΕΙΚΟΝΑ 30 - CREATE MODULE ΓΙΑ ΤΑ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑ (ΣΤΑΘΜΟΣ Η) .....	66
ΕΙΚΟΝΑ 31 - ASSIGN MODULE ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	67
ΕΙΚΟΝΑ 32 - ΠΡΩΤΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ ΤΩΝ ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ .....	67
ΕΙΚΟΝΑ 33 - DECIDE MODULE ΣΤΟ SUBMODEL ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ ΤΩΝ ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ .	68
ΕΙΚΟΝΑ 34 - ASSIGN MODULE ΣΤΟ SUBMODEL ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟΥ ΤΩΝ ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ .	68
ΕΙΚΟΝΑ 35 - ASSIGN MODULE ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΩΝ ΤΩΝ ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ .....	69
ΕΙΚΟΝΑ 36 – ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....	70
ΕΙΚΟΝΑ 37 - CREATE MODULE .....	70
ΕΙΚΟΝΑ 38 - BATCH MODULE ΓΙΑ ΤΑ ΒΑΝ .....	71
ΕΙΚΟΝΑ 39 - BATCH MODULE ΓΙΑ ΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ .....	71
ΕΙΚΟΝΑ 40 - SUBMODEL ΤΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	71
ΕΙΚΟΝΑ 41 - ASSIGN MODULE ΣΤΟ SUBMODEL ΤΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	71
ΕΙΚΟΝΑ 42 - DECIDE MODULE ΣΤΟ SUBMODEL ΤΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	72
ΕΙΚΟΝΑ 43 - ASSIGN MODULE ΣΤΟ SUBMODEL ΤΟΥ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	72
ΕΙΚΟΝΑ 44 - ΤΕΤΑΡΤΟ ΤΜΗΜΑ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	73
ΕΙΚΟΝΑ 45 - HOLD MODULE ΤΕΤΑΡΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	74
ΕΙΚΟΝΑ 46 - SUBMODEL ΤΟΥ ΤΡΙΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	74

ΕΙΚΟΝΑ 48 - ASSIGN MODULE ΣΤΟ SUBMODEL ΤΟΥ ΤΕΤΑΡΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	75
ΕΙΚΟΝΑ 49 - ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΤΟΥ SUBMODEL ΤΟΥ ΤΡΙΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ .....	75
ΕΙΚΟΝΑ 50- PICK UP MODULE.....	76
ΕΙΚΟΝΑ 51 - ASSIGN MODULE - OLD_PEOPLE_WAITING .....	76
ΕΙΚΟΝΑ 52 - ASSIGN MODULE - NEW_PEOPLE_WAITING .....	76
ΕΙΚΟΝΑ 53 - DELAY MODULE .....	77
ΕΙΚΟΝΑ 54 - ASSIGN MODULE ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΤΩΝ ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ .....	77
ΕΙΚΟΝΑ 55 - ΣΤΑΘΜΟΣ "SAFE" .....	78
ΕΙΚΟΝΑ 56 - SUBMODEL ΣΤΑΘΜΟΥ "SAFE" .....	78
ΕΙΚΟΝΑ 57 - ASSIGN MODULE ΣΤΟ SUBMODEL ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ "SAFE" .....	79
ΕΙΚΟΝΑ 58 - SEPARATE MODULE.....	80
ΕΙΚΟΝΑ 59- BATCH MODULE ΣΤΟ SUBMODEL ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ "SAFE" .....	80
ΕΙΚΟΝΑ 60 - ASSIGN MODULE ΣΤΟ SUBMODEL ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ "SAFE" .....	80
ΕΙΚΟΝΑ 61 - ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ .....	81
ΕΙΚΟΝΑ 62 - ΔΕΥΤΕΡΟ ΤΜΗΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ.....	81
ΕΙΚΟΝΑ 63 - SUBMODEL ΓΙΑ ΤΑ ΜΙΚΡΑ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ RCC.....	82
ΕΙΚΟΝΑ 64 - ΠΡΩΤΗ ΟΜΑΔΑ MODULES .....	82
ΕΙΚΟΝΑ 65 - DROP OFF MODULE .....	83
ΕΙΚΟΝΑ 66 - ASSIGN MODULE ΣΤΟ SUBMODEL ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ.....	84
ΕΙΚΟΝΑ 67 - DECIDE MODULE ΣΤΟ SUBMODEL ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ .....	85
ΕΙΚΟΝΑ 68 - ASSIGN MODULE ΣΤΟ SUBMODEL ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ.....	85
ΕΙΚΟΝΑ 69 - SUBMODEL ΓΙΑ ΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ.....	85
ΕΙΚΟΝΑ 70 - DECIDE MODULE ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ.....	86
ΕΙΚΟΝΑ 71 - ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ .....	87
ΕΙΚΟΝΑ 72 - SUBMODEL ΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ .....	88
ΕΙΚΟΝΑ 73 - SEPARATE MODULE ΣΤΟΝ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ.....	88

## Κατάλογος Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 - ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΣΤΟ ARENA.....	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 – ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΕΤΟΙΜΟ ΠΡΟΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΑΝΑ ΩΡΑ.....	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 – ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΜΕ Η ΧΩΡΙΣ ΙΔΙΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ .....	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 – ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΦΥΓΙΩΝ .....	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 – ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΣΤΟ ROCKWELL SHORES .....	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 - ΌΡΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 7 - ATTRIBUTES .....	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 8 - VARIABLES .....	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 9 - EXPRESSIONS.....	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 10 - ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΜΕ ΙΔΙΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΠΟΥ ΕΙΣΗΛΘΑΝ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑ ΣΤΑΘΜΟ .....	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 11 - ΠΛΗΘΟΣ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΠΟΥ ΕΙΣΗΛΘΑΝ ΣΤΗ ΖΩΝΗ 2 ΑΝΑ ΣΤΑΘΜΟ .....	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 12 - ΠΛΗΘΟΣ ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ .....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 13 - ΠΛΗΘΟΣ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΠΟΥ ΜΕΤΑΦΕΡΘΗΚΑΝ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΚΑΤΑΦΥΓΙΟΥ .....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 14 - ΠΛΗΘΟΣ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΧΩΡΙΣ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΠΟΥ ΕΙΣΗΛΘΑΝ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑ ΣΤΑΘΜΟ.....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 15 - ΧΡΟΝΟΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	95
ΠΙΝΑΚΑΣ 16 - ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΑΥΤΟΥ ΓΙΑ ΕΠΙΤΥΧΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗ .....	96

# Πρώτο Μέρος

Έννοια της Προσομοίωσης

Εισαγωγή στο Arena

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Επιχειρησιακή Έρευνα

### 1.1.1 Ορισμός

Η Επιχειρησιακή Έρευνα αποτελεί ένα διεπιστημονικό κλάδο εφαρμοσμένων μαθηματικών και σύγχρονων επιστημών, που χρησιμοποιεί προχωρημένες αναλυτικές μεθόδους όπως τα μαθηματικά μοντέλα και η στατιστική ανάλυση, με απώτερο στόχο τη βέλτιστη ή σχεδόν βέλτιστη επίλυση σύνθετων προβλημάτων αποφάσεων. Ασχολείται συχνά με τη διερεύνηση του μεγίστου (κέρδους, απόδοσης) ή του ελαχίστου (κόστους, ρίσκου, απώλειας) ενός πραγματικού αντικειμενικού στόχου.

Ο όρος Επιχειρησιακή Έρευνα προκύπτει από τη μετάφραση του Αγγλικού όρου «Operational Research» ή όπως έχει επικρατήσει στην Αμερική «Operations Research». Παρατηρεί κανείς ότι ακριβέστερη μετάφραση θα ήταν «Λειτουργική Έρευνα». Η προέλευση όμως του κλάδου (και κατά συνέπεια της ορολογίας) από τον στρατιωτικό τομέα, όπου οι κυριότερες λειτουργίες ονομάζονται επιχειρήσεις, οδήγησε στην υιοθέτηση και καθιέρωση στην ελληνική γλώσσα του όρου «Επιχειρησιακή Έρευνα».

Ρίζες του κλάδου αναζητούνται στις αρχές του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, την περίοδο 1939 – 1940, όταν για πρώτη φορά έγινε εργασία στον τομέα που είναι σήμερα γνωστός ως Operational Research. Η ανάγκη προέκυψε από τη ραγδαία εξέλιξη της στρατιωτικής τεχνολογίας στο διάστημα του μεσοπολέμου, σε σημείο που δεν μπορούσε πλέον να απορροφάται αποδοτικά από τις γνωστές τότε τακτικές και στρατηγικές διεξαγωγής πολέμου. Οι διοικούντες των ενόπλων δυνάμεων της Μεγάλης Βρετανίας στράφηκαν τότε προς τους επιστήμονες, ζητώντας βοήθεια για την επίλυση των (επιχειρησιακών) προβλημάτων τους. Δημιουργήθηκαν έτσι ομάδες επιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων, που εντάχθηκαν στο Επιτελείο Αεροπορίας της Αγγλίας με στόχο την υποστήριξη των στρατιωτικών επιχειρήσεων με επιστημονικό τρόπο.

Η χαρακτηριστική προσέγγιση της Επιχειρησιακής Έρευνας συνίσταται στην ανάπτυξη επιστημονικού μοντέλου του υπό μελέτη συστήματος, που συχνά περιλαμβάνει μετρήσεις τυχαίων παραγόντων και με το οποίο προβλέπει και συγκρίνει τα αποτελέσματα εναλλακτικών αποφάσεων, στρατηγικών και ελέγχων. Σκοπός της είναι, να βοηθήσει τη διοίκηση να καθορίσει την πολιτική και τις ενέργειές της επιστημονικά, κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Επομένως, ο κλάδος της Επιχειρησιακής Έρευνας αναφέρεται σε προβλήματα λήψης αποφάσεων και ελέγχου της λειτουργίας υπαρχόντων συστημάτων. Εφαρμόζοντας επιστημονική μεθοδολογία με χρήση μαθηματικών προτύπων ή μοντέλων παρέχει πληροφορίες για τη βέλτιστη λύση τους. Στον πυρήνα της υπάρχει η συστημική προσέγγιση, σύμφωνα με την οποία η συμπεριφορά ενός τμήματος του συστήματος επηρεάζει ολόκληρο το σύστημα. Επιπλέον αν και έχει ισχυρή επιστημονική βάση δεν περιορίζεται στα εργαστήρια, αλλά εφαρμόζεται στο χώρο που υπάρχουν τα προβλήματα, λαμβάνοντας ερεθίσματα συνεχώς από τη πραγματική κατάσταση την οποία καλείται να αναλύσει.



### 1.1.2 Μοντέλα

Θεμελιώδες στοιχείο της Επιχειρησιακής Έρευνας είναι η απεικόνιση των υπό εξέταση συστημάτων με χρήση μοντέλων. Υπάρχουν πολλές διακρίσεις προτύπων ή μοντέλων που χρησιμοποιούνται στις διάφορες επιστημονικές μεθόδους. Μια από αυτές, διαχωρίζει τα πρότυπα σε εικονικά, αναλογικά και συμβολικά.

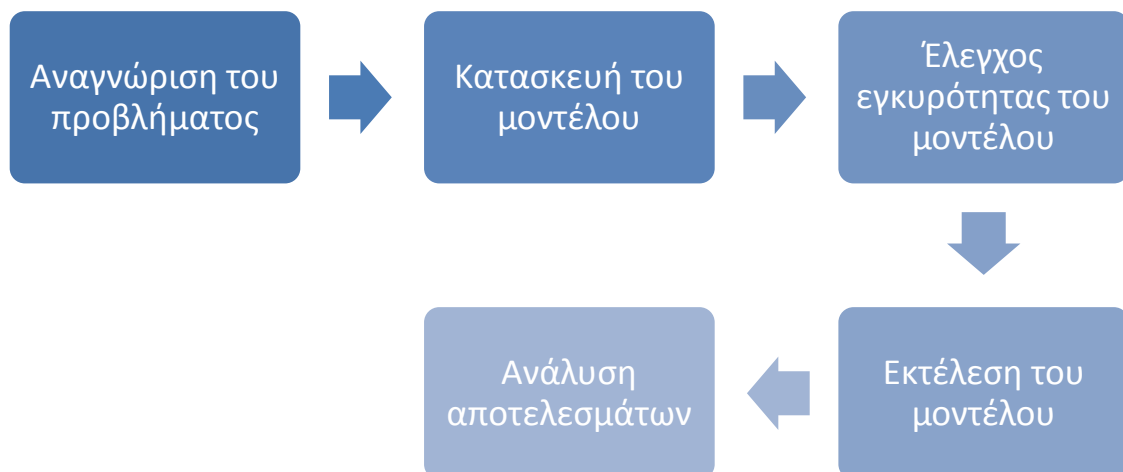
Τα εικονικά πρότυπα αποτελούν πιστή κατά το δυνατόν αναπαράσταση, συνήθως σε μικρογραφία, του υπό μελέτη συστήματος (π.χ. μοντέλα πλοίων δοκιμάζονται σε δεξαμενές, πρότυπα πτερυγίων αεροπλάνου δοκιμάζονται σε αεροδυναμικές σήραγγες κ.ά.). Τα πρότυπα αυτά είναι πλέον ειδικευμένα ανά περίπτωση και επομένως πιο δύσχρηστα.

Στα αναλογικά πρότυπα οι ιδιότητες του συστήματος αναπαρίστανται από άλλες ιδιότητες, λόγου χάριν υδραυλικά συστήματα, ανάλογα κυκλοφοριακών συστημάτων. Τα αναλογικά πρότυπα είναι γενικότερα, λιγότερο συγκεκριμένα και πιο εύχρηστα από τα εικονικά.

Τα συμβολικά πρότυπα χρησιμοποιούν γράμματα, αριθμούς και άλλα σύμβολα για την αναπαράσταση των μεταβλητών και σταθερών παραμέτρων ενός προβλήματος και της μεταξύ τους σχέσης. Συνήθως λαμβάνουν τη μορφή μαθηματικών σχέσεων και γι' αυτό ονομάζονται μαθηματικά πρότυπα ή μαθηματικά μοντέλα. Είναι τα πιο αφηρημένα και γενικά και κατά συνέπεια τα πιο ευρέως εφαρμόσιμα. Για το λόγο αυτό η Επιχειρησιακή Έρευνα χρησιμοποιεί ως επί το πλείστον τα μαθηματικά μοντέλα (ή αλλιώς λογικά μοντέλα).

### 1.1.3 Μεθοδολογία της Επιχειρησιακής Έρευνας

Η σωστή εφαρμογή των αρχών της Επιχειρησιακής Έρευνας προϋποθέτει την εφαρμογή συγκεκριμένων βημάτων. Αυτά είναι:



1. Αναγνώριση του προβλήματος.  
Το βήμα αυτό περιλαμβάνει τη μελέτη του συστήματος, τον εντοπισμό του προβλήματος και τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με το πρόβλημα αυτό. Επιπλέον καθορίζονται οι στόχοι του μοντέλου και τα στοιχεία του προβλήματος.
2. Κατασκευή του μοντέλου  
Το βήμα αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του επιπέδου της λεπτομέρειας που απαιτείται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων και ακολούθως την ορθή επιλογή της μεθόδου μοντελοποίησης.
3. Έλεγχος εγκυρότητας του μοντέλου.  
Αυτό το βήμα αποτελείται από δύο διαδικασίες, την επαλήθευση (Verification) και την επικύρωση (Validation) του μοντέλου.
4. Εκτέλεση του μοντέλου.
5. Ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Τα βήματα αυτά λαμβάνουν διαφορετικό χαρακτήρα ανάλογα με τη μέθοδο μοντελοποίησης που επιλέγεται. Για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να γίνει εις βάθος αναφορά των μεθόδων μοντελοποίησης.

#### 1.1.4 Μέθοδοι Μοντελοποίησης

Έχει αναπτυχθεί πληθώρα μεθόδων μοντελοποίησης, καθεμία εκ των οποίων «ειδικεύεται» σε συγκεκριμένες κατηγορίες προβλημάτων. Η σημαντικότερη διάκριση τις διαχωρίζει σε ντετερμινιστικές (deterministic) και στοχαστικές (stochastic) μεθόδους. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων έγκειται στη φύση των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται κατά τη μοντελοποίηση του συστήματος. Στις μεν ντετερμινιστικές, οι μεταβλητές είναι έχουν καθορισμένες τιμές, ενώ στις στοχαστικές, οι τιμές των μεταβλητών ακολουθούν κάποια στατιστική κατανομή.

Σε ένα πραγματικό σύστημα είναι πρακτικά αδύνατο όλες οι μεταβλητές να έχουν σταθερά προκαθορισμένη τιμή. Παρόλα αυτά, η προσέγγιση μιας στατιστικής κατανομής με τη μέση τιμή και την απόκλιση της μπορεί να αποφέρει ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα σε αρκετές περιπτώσεις. Επιπλέον, η διαμόρφωση μοντέλων ντετερμινιστικών μεθόδων είναι σημαντικά ευκολότερη και για την επίλυσή τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοινά πακέτα λογισμικού (Excel, Visual Basic κ.ά.). Χαρακτηριστικές τέτοιες μέθοδοι είναι οι εξής:

- Γραμμικός Προγραμματισμός
- Δυναμικός Προγραμματισμός
- Ακέραιος Προγραμματισμός
- Ανάλυση Δικτύων

Οι στοχαστικοί τρόποι μοντελοποίησης μπορούν αδιαμφισβήτητα να περιγράψουν με μεγαλύτερη ακρίβεια και πιστότητα ένα πραγματικό σύστημα. Ωστόσο η διαμόρφωση και ιδιαίτερα η επίλυση των μοντέλων αυτών είναι σημαντικά δυσκολότερες διαδικασίες. Εδώ υπεισέρχονται οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και απλουστεύουν τα πράγματα, αναλυτικότερη αναφορά όμως στην προσφορά τους παρατίθεται στο επόμενο εδάφιο. Χαρακτηριστικές μέθοδοι στοχαστικής μοντελοποίησης είναι οι εξής:

- Δέντρα Αποφάσεων
- Αλυσίδες Markov
- Θεωρία Αναμονής
- Προσομοίωση

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη μοντελοποίηση και επίλυση ενός πραγματικού προβλήματος, σε περιβάλλον Rockwell ARENA- Version 8.01, λογισμικό προσομοίωσης επιχειρηματικών μοντέλων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

## 1.2 Προσομοίωση

### 1.2.1 Ορισμός

Οι έννοιες του μοντέλου και της προσομοίωσης έχουν χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών και επομένως έχουν λάβει αρκετούς ορισμούς. Για την αποφυγή παρεξηγήσεων ή ασαφειών, παρατίθενται οι ορισμοί των όρων «Μοντέλο» και «Προσομοίωση» όπως θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια:

«Μοντέλο ενός συστήματος ορίζεται μια περιγραφή του, η οποία παραλείπει τις μη βασικές λεπτομέρειες και αναδεικνύει την ουσία, δηλαδή τα βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία του συστήματος που περιγράφει».

«Προσομοίωση ενός συστήματος είναι η μεθοδολογία εκείνη μέσω της οποίας μελετάται ένα σύστημα με βάση την παρατήρηση της απόκρισης / συμπεριφοράς ενός μοντέλου του σε τεχνητά παραγόμενες εισόδους (inputs)».

Ως κλάδος της επιχειρησιακής έρευνας, η προσομοίωση διατηρεί όλα τα βασικά χαρακτηριστικά της. Η ουσία της μελέτης ενός συστήματος είναι η μοντελοποίηση του. Περιορισμοί ως προς τη φύση του μοντέλου θεωρητικά δεν υπάρχουν, άλλωστε υπάρχουν πειράματα με φυσικά μοντέλα που έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματικά. Στον κλάδο των εστιατορίων fast food για παράδειγμα, πολλές από τις μεγάλες αλυσίδες διαθέτουν από ένα φυσικό αντίγραφο των εστιατορίων τους όπου δοκιμάζουν εναλλακτικές διαδικασίες εξυπηρέτησης. Ωστόσο τα φυσικά μοντέλα παρουσιάζουν αυξημένο κόστος και δυσχρησία. Αντιθέτως, τα μαθηματικά μοντέλα και κυρίως αυτά που υλοποιούνται σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές αποτελούν πλέον την πιο διαδεδομένη μορφή προσομοίωσης.

Μολονότι η αρχή της προσομοίωσης δεν στηρίζεται στην ύπαρξη ηλεκτρονικού υπολογιστή, η ανάπτυξη και ραγδαία εξέλιξη των Η/Υ (όσον αφορά την ταχύτητα και το χαμηλό κόστος απόκτησής τους) είναι αυτή που κατέστησε την προσομοίωση ένα πρακτικό εργαλείο ανάλυσης. Η προσομοίωση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή αναφέρεται λοιπόν σε μεθόδους μελέτης μιας πληθώρας μοντέλων πραγματικών συστημάτων με χρήση ποσοτικών (αριθμητικών) εκτιμήσεων, μέσω ενός πακέτου λογισμικού σχεδιασμένου να μπορεί να μιμηθεί τα χαρακτηριστικά και τις διαδικασίες των συστημάτων. Από πρακτικής άποψης, η προσομοίωση είναι η διαδικασία του σχεδιασμού και δημιουργίας ενός υπολογιστικού μοντέλου ενός ρεαλιστικού συστήματος, με απώτερο σκοπό τη διεξαγωγή αριθμητικών πειραμάτων που θα δώσουν μια πληρέστερη εικόνα της συμπεριφοράς του για ένα σύνολο συγκεκριμένων συνθηκών. Αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη απλών προβλημάτων, το πραγματικό πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής διαφαίνεται όταν επιστρατεύεται για την μελέτη πολύπλοκων συστημάτων.

Σίγουρα η προσομοίωση δεν είναι το μόνο εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη ενός συστήματος. Η δυνατότητα όμως των υπολογιστικών μοντέλων να αναπαριστούν και να αναλύουν τη λειτουργία ακόμα και ιδιαίτερα πολύπλοκων συστημάτων, καθιστά την προσομοίωση τη δημοφιλέστερη επιλογή τα τελευταία χρόνια.

### 1.2.2 Ανάγκη για Προσομοίωση

Συστήματα πολύπλοκα, πολυάριθμα, σε συνεχή αλληλεπίδραση δομούν τη σημερινή κοινωνία και γεννούν κάθε οικονομική δραστηριότητα. Η εξέλιξη καθιστά την εξάρτηση από άλλα συστήματα πιο επιτακτική, την ανάλυσή τους δυσχερή και τα φυσικά τους όρια δυσδιάκριτα.

Ένα εργοστάσιο για παράδειγμα αποτελεί ένα πολύπλοκο σύστημα της παραγωγικής διαδικασίας. Περιλαμβάνει μηχανές, εργαζομένους, μεταφορικές ταινίες, περνοφόρα, αποθήκες. Εξαρτάται από τους προμηθευτές, από τους αγοραστές ακόμα και από τις εταιρίες παροχής τεχνικής υποστήριξης σε εξοπλισμό και υπολογιστικά συστήματα που μπορεί να διαθέτει. Στον τομέα των υπηρεσιών, ένα νοσοκομείο απαρτίζεται από ιατρικό και νοσηλευτικό προσωπικό, εγκαταστάσεις (χειρουργεία, δωμάτια) και ιατρικά μηχανήματα, αλληλεπιδρά όμως και με φαρμακευτικές εταιρίες προμήθειας φαρμάκων και εξαρτάται από αυτές. Τα παραδείγματα είναι αναρίθμητα, απαντώνται δε σε όλες τις πτυχές του σύγχρονου πολιτισμού.

Τα στελέχη διοίκησης, επιχειρηματίες, διευθυντές και κάθε λογής υπεύθυνοι προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν τα συστήματα αυτά, να αυξήσουν την απόδοσή τους, να ελαχιστοποιήσουν το κόστος ή και πολλές φορές να τα σχεδιάσουν προτού υλοποιηθούν. Συνεπώς οι αναλυτές καλούνται να μελετήσουν τέτοια συστήματα και να διερευνήσουν τη συμπεριφορά τους ώστε να καταστεί ευκολότερη – ασφαλέστερη η λήψη αποφάσεων και η θέσπιση στόχων σε διοικητικό επίπεδο. Συχνά η μελέτη επιβάλλει πειραματισμό με το σύστημα και τη λειτουργία του. Κάποιες φορές αυτό είναι εφικτό με αποδεκτό κόστος. Σε ένα πολυκατάστημα για παράδειγμα, ο διευθυντής μπορεί να πειραματιστεί με την κατανομή του ανθρώπινου δυναμικού ώστε να καλύπτονται αποτελεσματικότερα οι ώρες αιχμής της εβδομάδας.

Τις περισσότερες όμως φορές είναι εξαιρετικά δύσκολο, ιδιαίτερα κοστοβόρο, ή εξ ορισμού αδύνατο να εφαρμοστούν πειραματισμοί στο σύστημα, για παράδειγμα:

- Δεν μπορεί να πειραματιστεί κανείς με τη διαρρύθμιση και τα αποτελέσματα της λειτουργίας ενός εργοστασίου αν αυτό δεν έχει χτιστεί ακόμη.
- Ακόμα και σε ένα υπάρχον εργοστάσιο, το κόστος μετάβασης σε μια νέα, πειραματική διαρρύθμιση είναι τεράστιο, και η επιτυχία του δεν είναι εγγυημένη.
- Η δοκιμή μιας νέας διαδικασίας check-in στο αεροδρόμιο πιθανότατα θα προκαλέσει έναν μεγάλο αριθμό εκνευρισμένων ανθρώπων που έχασαν την πτήση τους, αν προκύψουν απρόβλεπτα προβλήματα.
- Θα ήταν μάλλον δύσκολο να φέρει κανείς διτλάσιο αριθμό πελατών σε μια τράπεζα για να μελετήσει την επίδραση του κλεισίματος του γειτονικού υποκαταστήματος.
- Ο πειραματισμός με τα ωράρια και της βάρδιες του προσωπικού ενός τμήματος επειγόντων περιστατικών νοσοκομείου δεν είναι εφικτός, καθώς η όχληση του συστήματος μπορεί να έχει ιδιαίτερα επιζήμιες συνέπειες.

Σε αυτές τις περιπτώσεις, υπεισέρχεται η μοντελοποίηση και προσομοίωση συστημάτων. Ο αναλυτής μπορεί να βρει απαντήσεις σε ερωτήματα της φύσης «Ποια η επίπτωση στο σύστημα αν εφαρμοστεί μια συγκεκριμένη μέθοδος;», «Ποια η αντίδραση του συστήματος αν μια κατάσταση πέρα του ελέγχου μας προέκυπτε;». Με την προσομοίωση μοντέλων

εφόσον οι αλλαγές στα συστήματα γίνονται σε έναν εικονικό κόσμο, κανείς δεν επηρεάζεται, κανείς δεν πληγώνεται και η ελευθερία δοκιμών και πειραματισμών είναι απεριόριστη. Αν αναλογιστεί κανείς τα προτερήματα της εφαρμογής αυτής της διαδικασίας σε ηλεκτρονικό υπολογιστή – ευκολία χρήσης, ταχύτητα υπολογισμών, οπτική αναπαράσταση – καταλαβαίνει γιατί η προσομοίωση είναι από τις δημοφιλέστερες επιλογές ανάλυσης συστημάτων.

### 1.2.3 Τομείς Εφαρμογής Προσομοίωσης

Στο σύγχρονο ανταγωνιστικό περιβάλλον με τις αυτοματοποιημένες μονάδες παραγωγής και εξυπηρέτησης, οι διαδικασίες του σχεδιασμού και της βελτιστοποίησης των μονάδων, καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την επιτυχία μιας επιχειρηματικής επένδυσης. Οι παραδοσιακές σχεδιαστικές και αναλυτικές μέθοδοι έχουν αποδειχθεί ανεπαρκείς στη μελέτη πολύπλοκων διαδικασιών παραγωγής και παροχής υπηρεσιών. Οι περισσότεροι οργανισμοί και εταιρείες στρέφονται στην προσομοίωση ως εργαλείο για τη δυναμική ανάλυση του συστήματος στη φάση του σχεδιασμού. Το ρίσκο και το κόστος είναι συνήθως πολύ μεγάλα για να παραβλέψουν αυτήν την προσέγγιση. Παράλληλα, επειδή μεγάλη πλειοψηφία των συστημάτων μπορεί να προσομοιωθεί, τα πεδία στα οποία εφαρμόζονται τεχνικές της προσομοίωσης καλύπτουν μεγάλο φάσμα των διαδικασιών της σύγχρονης κοινωνίας. Ενδεικτικά αναφέρονται:

- **Στη Βιομηχανία:** Συστήματα διαχείρισης υλικών, γραμμές παραγωγής, αυτοματοποιημένες εγκαταστάσεις, διαχείριση αποθεμάτων, σχεδιασμός συστημάτων και μηχανών και ανάλυση αξιοπιστίας.
- **Στις Επιχειρήσεις:** Πολιτικές κοστολόγησης, στρατηγικές προώθησης, αναλύσεις χρηματορροών, logistics, forecasting και διαχείριση ανθρώπινου δυναμικού.
- **Στα Ηλεκτρονικά Συστήματα:** Hardware και λογισμικό, ανάλυση δικτύων, δομή και διαχείριση βάσεων δεδομένων, ανάλυση πληροφοριών (information processing).
- **Στις Βιοεπιστήμες:** Ανάλυση και έλεγχος επιδημιών, μελέτες βιοϊατρικής και βιολογικής ζωής, ακόμα και ανάλυση επιδόσεων αθλητών.
- **Στην Πολιτική:** Πρόγνωση πληθυσμιακών χαρακτηριστικών, διαχείριση συστημάτων περίθαλψης, δικτύων υδροδότησης και ελέγχου κυκλοφορίας. Προσομοίωση χρησιμοποιείται ακόμα και σε στρατιωτικές επιχειρήσεις, όπως η μελέτη και ανάλυση οπλικών συστημάτων και στρατηγικών.
- **Στην Οικολογία:** Έλεγχος απορριμμάτων και μολύνσεων, πρόγνωση καιρού, ανάλυση σεισμών και ακραίων φυσικών φαινομένων.
- **Στην Κοινωνιολογία:** Όπου η μελέτη κοινωνικών δομών αλλά και ακραίων κοινωνικών φαινομένων αποτελούν εκ φύσεως στοχαστικά συστήματα, με την προσομοίωση να αποτελεί ένα από τα λίγα επιστημονικά εργαλεία ανάλυσης αυτών.

## 1.2.4 Πρακτικές Υλοποίησης της Προσομοίωσης

### 1.2.4.1 Με το χέρι – το Πείραμα του Monte Carlo

Η πρώτη ιστορικά απόπειρα προσομοίωσης έγινε το 1733 από τον Γάλλο νατουραλιστή Georges Louis Leclerc. Το πρόβλημα της βελόνας του Buffon, όπως διατυπώθηκε τότε, αποτέλεσε μια (επιτυχημένη) απόπειρα μέτρησης του αριθμού  $\pi$  με συνδυασμό προσομοίωσης και αναλυτικών μεθόδων. Μια βελόνα μήκους  $a$  ρίχνεται τυχαία σε επίπεδο όπου έχουν χαραχθεί παράλληλες γραμμές σε απόσταση  $d$  μεταξύ τους ( $d < a$ ). Η πιθανότητα να τέμνει η βελόνα μια γραμμή προκύπτει από αναλυτικές μεθόδους ίση με:

$$p = \frac{2a}{\pi d}$$

Ο κόμης του Buffon (τίτλος ευγενείας που του αποδόθηκε αργότερα), εκτελώντας το πείραμα αυτό, υπολόγισε την πιθανότητα  $p$  από τη συχνότητα του γεγονότος στο σύνολο των παρατηρήσεων του και κατ' επέκταση, την τιμή του  $\pi$ . Η έξοχη αυτή ιδέα προσέγγισης ενός ντετερμινιστικού μεγέθους από τα δεδομένα ενός τυχαίου πειράματος έγινε μια πρακτική μεθοδολογία. Πολύ αργότερα, κατά την ανάπτυξη της ατομικής βόμβας, η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε για την αριθμητική ισοδυναμία ολοκληρωμάτων και ονομάστηκε πείραμα του Monte Carlo, όπως και έμεινε γνωστή μέχρι σήμερα.

### 1.2.4.2 Με ηλεκτρονικούς υπολογιστές – Προγραμματισμός σε κοινές Γλώσσες

Με την εμφάνιση των ηλεκτρονικών υπολογιστών τις δεκαετίες του '50 και '60, άρχισε η δημιουργία προγραμμάτων σε κοινές (γενικής χρήσης) γλώσσες προγραμματισμού, όπως η FORTRAN. Αυτή η προσέγγιση παρείχε μεγάλη προσαρμοστικότητα και ευελιξία, αλλά παράλληλα η διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων (που τότε εγγράφονταν σε κάρτες) ήταν επισφαλής και επιρρεπής σε λάθη.

Σημερινός απόγονος αυτής της μεθοδολογίας είναι η συχνή χρήση κοινών λογισμικών spreadsheet (όπως το Excel) για την εκτέλεση προσομοίωσης σε απλά, συνήθως στατικά, μοντέλα. Στη συντριπτική πλειοψηφία των δυναμικών μοντέλων όμως, η εφαρμογή τέτοιων μεθόδων χαρακτηρίζεται, στην καλύτερη περίπτωση, ως αδόκιμη.

### 1.2.4.3 Γλώσσες Προσομοίωσης

Γλώσσες προγραμματισμού ειδικά σχεδιασμένες για την προσομοίωση μοντέλων έκαναν την εμφάνισή τους αρκετά αργότερα. GPSS, Simscript, SLAM και SIMAN ήταν κάποιες από αυτές, και προσέφεραν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για τις εφαρμογές των περισσότερων χρηστών. Οι γλώσσες αυτές έγιναν ιδιαίτερα δημοφιλείς και χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα. Παρόλα αυτά, απαιτείται αρκετός χρόνος και προσπάθεια για την εκμάθησή τους ώστε να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά.

### 1.2.4.3 Εξομοιωτές Υψηλού Επιπέδου

Τέλος, στο πρόσφατο παρελθόν, αναπτύχθηκαν αρκετές πλατφόρμες υψηλού επιπέδου «εξομοιωτών» που ήταν πολύ φιλικές στο χρήστη. Με τον όρο υψηλό επίπεδο προγράμματος προσομοίωσης εννοούμε μια ενιαία γραφική διεπιφάνεια (interface) που παρέχει στο χρήστη έτοιμα βασικά δομικά στοιχεία ενός μοντέλου. Ο χρήστης επεξεργάζεται τις ιδιότητες τους μέσα από πλαίσια διαλόγων και μενού, τα συνδέει μεταξύ τους και τρέχει το μοντέλο με παράλληλη δυνατότητα γραφικής απεικόνισης αυτών. Στον

αντίποδα, πολλά από αυτά τα προγράμματα έχουν περιορισμούς στην ελευθερία προγραμματισμού, έχοντας επίπτωση ενδεχομένως στην ακρίβεια του μοντέλου.

### 1.2.5 Ιστορική Αναδρομή

Με την δραματική αύξηση τα τελευταία 40 με 50 χρόνια των δυνατοτήτων των γλωσσών προσομοίωσης και των λογισμικών πακέτων που τις εμπεριέχουν, άλλαξε πλήρως και η αντίληψη όσον αφορά στο πότε και πώς χρησιμοποιείται η προσομοίωση.

Κατά τις δεκαετίες του '50 και '60, οι περιορισμένες δυνατότητες των Η/Υ και οι τεχνικές δυσκολίες στον προγραμματισμό καθιστούσαν την προσομοίωση ένα απαγορευτικού κόστους εργαλείο. Μοντέλα προσομοίωσης σε υπολογιστή χρησιμοποιούνταν κυρίως από μεγάλες πολυεθνικές αεροπλοΐας και διαστημικών αποστολών, καθώς και βιομηχανίες ατσαλιού. Ανατέθηκε από τους οργανισμούς αυτούς σε επιστήμονες η δημιουργία πολύπλοκων μοντέλων προσομοίωσης, χρησιμοποιώντας τις τότε διαθέσιμες γλώσσες προγραμματισμού. Τα μοντέλα αυτά «έτρεχαν» σε γιγαντιαία mainframes υπολογιστών, με το κόστος χρήσης να αγγίζει μέχρι και τα 1.000 δολάρια την ώρα.

Τη δεκαετία του '70 οι υπολογιστές βελτιώθηκαν σημαντικά, με αποτέλεσμα η προσομοίωση να χρησιμοποιηθεί από μεγαλύτερο φάσμα εταιρειών και βιομηχανιών. Συνήθως όμως, δεν χρησιμοποιούνταν παρά μόνο μέχρι να γίνει κάποια καταστροφή, με σκοπό την εύρεση των αιτιών και την απόδοση ευθυνών.

Η δεκαετία του '80 χαρακτηρίζεται από την εξάπλωση των προσωπικών υπολογιστών, τη χρήση γραφικών στον προγραμματισμό και την οπτική αναπαράσταση των μοντέλων. Πλέον, η χρήση της προσομοίωσης ως εργαλείο ανάλυσης κρίσεων αλλά και σχεδιασμού συστημάτων καθιερώθηκε από πολλές εταιρείες και βιομηχανίες ενώ λίγο αργότερα, αποτέλεσε προϋπόθεση για την έγκριση μεγάλων επενδύσεων από πολλούς οργανισμούς.

Ο κλάδος της προσομοίωσης άρχισε να ωριμάζει τη δεκαετία του '90. Μικρές εταιρίες την χρησιμοποιούν και αναγνωρίζεται πλέον ως σημαντικό εργαλείο ανάλυσης. Πρόσφατα εισήλθε στον τομέα των υπηρεσιών και εξυπηρέτησης, βρίσκοντας εφαρμογή σε πολλά μη παραδοσιακά (για την προσομοίωση) προβλήματα. Η εξάπλωσή της συνεχίζεται μέχρι και σήμερα, αν και δεν αποτελεί ακόμα τυπικό εργαλείο που απαντάται σε όλους τους Η/Υ των επιχειρήσεων και εταιρειών.

Ίσως αυτό που επιβραδύνει τη διάδοση και την εγκαθίδρυση της προσομοίωσης ως ένα καθολικό εργαλείο ανάλυσης είναι οι χρονικές απαιτήσεις για την μοντελοποίηση, αλλά και οι ικανότητες που απαιτούνται για την επιτυχία αυτής. Άλλωστε, η μοντελοποίηση ενός συστήματος είναι περισσότερο “τέχνη”, παρά “επιστήμη”, απαιτεί στοχασμό και μελέτη στο ζύγισμα μεταξύ του πλήθους των λεπτομερειών που θα περιληφθούν στο μοντέλο, και της απλότητας αυτού.



### 1.2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Αξιολογώντας την προσομοίωση ως τεχνική ανάλυσης της επιχειρησιακής έρευνας αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά της.

- Ο πειραματισμός σε μικρό χρονικό διάστημα αποτελεί σίγουρα ένα πλεονέκτημα της προσομοίωσης. Τα πειράματα, χάρη στις επιδόσεις των Η/Υ, πραγματοποιούνται πολύ συντομότερα από ότι αντίστοιχα σε φυσικά μοντέλα. Η εκτέλεση ενός μοντέλου (τρέξιμο) που αναπαριστά λειτουργία γραμμής παραγωγής για έναν ολόκληρο χρόνο είναι μόλις θέμα ωρών.
- Δεν προϋποθέτει ισχυρό μαθηματικό υπόβαθρο από πλευράς μελετητή για την ανάλυση συστημάτων σε αντίθεση με άλλες τεχνικές, όπως η θεωρία αναμονής. Σε κάθε περίπτωση βέβαια οι απαιτούμενες γνώσεις είναι ανάλογες της πολυπλοκότητας του μοντέλου.
- Τα παραγόμενα μοντέλα επιδεικνύονται εύκολα. Η αναπαράστασή τους γίνεται με λογικά διαγράμματα αλλά και γραφικά, χάρη στην τελειοποίηση λογισμικών ανωτέρου επιπέδου προγραμματισμού μοντέλων. Το σημαντικό όφελος από το γεγονός αυτό είναι η ευκολία στην κατανόηση από μεριάς διοικητικού προσωπικού, το οποίο και αφορά σε τελική ανάλυση η μελέτη ενός συστήματος.

Βέβαια, καμία μέθοδος – γνωστή ως τώρα τουλάχιστον – δεν αποτελεί πανάκεια στην ανάλυση συστημάτων. Έτσι και στην προσομοίωση, υπάρχουν κάποια σημεία η άγνοια των οποίων μπορεί να επιφέρει καταστροφικά αποτελέσματα.

- Τα αποτελέσματα δεν μπορεί να είναι αξιόπιστα όταν τα δεδομένα εισόδου είναι ανακριβή. Ισχύει ο κανόνας GIGO (Garbage In Garbage Out). Επομένως, όσο ακριβές και να είναι ένα μοντέλο, αν τα στοιχεία που το τροφοδοτούν είναι αναξιόπιστα δεν θα αποδώσει σωστά αποτελέσματα για το υπό μελέτη σύστημα.
- Επειδή τα πραγματικά συστήματα επηρεάζονται από απρόβλεπτα και τυχαία γεγονότα, τα μοντέλα που αντικατοπτρίζουν αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν τυχαίες τιμές εισόδου οι οποίες προκύπτουν από κάποια στατιστική κατανομή, με αποτέλεσμα τα αποτελέσματα που προκύπτουν να είναι αντίστοιχα τυχαία. Συνεπώς πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό και την ανάλυση πειραμάτων προσομοίωσης ώστε να ληφθεί υπόψη αυτή η αβεβαιότητα, ειδικά αν ο χρονικός ορίζοντας εκτέλεσής τους είναι μικρός.
- Η προσομοίωση δε δίνει απλές απαντήσεις σε πολύπλοκα ερωτήματα. Επεξηγώντας την πρόταση αυτή, πολλοί εσφαλμένα πιστεύουν ότι η προσομοίωση μπορεί να δώσει εύκολη λύση σε οποιοδήποτε πρόβλημα, όσο πολύπλοκο και αν είναι αυτό. Στην πραγματικότητα, η λύση είναι σπανίως μοναδική και ευδιάκριτη. Είναι στην ευχέρεια του μελετητή να αναλύσει όλους τους πιθανούς τρόπους που βελτιστοποιούν ένα σύστημα και να τους παρουσιάσει με την ανάλογη τεκμηρίωση.
- Η προσομοίωση δε λύνει προβλήματα από μόνη της, σε αντίθεση με την πεποιθήση πολλών στελεχών. Αποτελεί ένα εργαλείο μελέτης και εφαρμογής πολλαπλών σεναρίων σε ένα σύστημα και δεν αρκεί απλώς η μοντελοποίηση και το «τρέξιμο» του μοντέλου για να επιλυθεί το πρόβλημα.

### 1.2.7 Διάκριση Μοντέλων Προσομοίωσης

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι κατηγοριοποίησης των μοντέλων προσομοίωσης, οι κυριότεροι από τους οποίους παρουσιάζονται συνοπτικά.

- *Στατικά και Δυναμικά μοντέλα:* Η μεταξύ τους διαφορά είναι η επίδραση του χρόνου. Στα στατικά μοντέλα ο χρόνος είναι ανύπαρκτος. Τα μοντέλα σε μελέτες επιχειρησιακής έρευνας (και κατ' επέκταση προσομοίωσης) είναι κατά κανόνα δυναμικά.
- *Μοντέλα Συνεχούς και Μοντέλα Διακριτού Χρόνου:* Σε ένα μοντέλο συνεχούς χρόνου (continuous model), η κατάσταση του συστήματος μπορεί να αλλάζει συνεχώς σε βάθος χρόνου. Αντιθέτως στα μοντέλα διακριτού χρόνου (discrete models) οι αλλαγές καταστάσεων συμβαίνουν μόνο σε διακριτές χρονικές στιγμές. Η συντριπτική πλειοψηφία των συστημάτων απεικονίζονται σε μοντέλα διακριτού χρόνου. Πάντως, σε ένα μοντέλο μπορούν να συνυπάρχουν συνεχή και διακριτά υπομοντέλα.
- *Ντετερμινιστικά και Στοχαστικά:* Όπως σχολιάσθηκε και νωρίτερα, τα μοντέλα δίχως τυχαιότητα στις εισόδους τους είναι ντετερμινιστικά, ενώ αυτά που οι εισοδοί τους είναι μεταβλητές, στοχαστικά. Οι δυνατότητες των πειραμάτων προσομοίωσης αξιοποιούνται καλύτερα σε στοχαστικά μοντέλα.

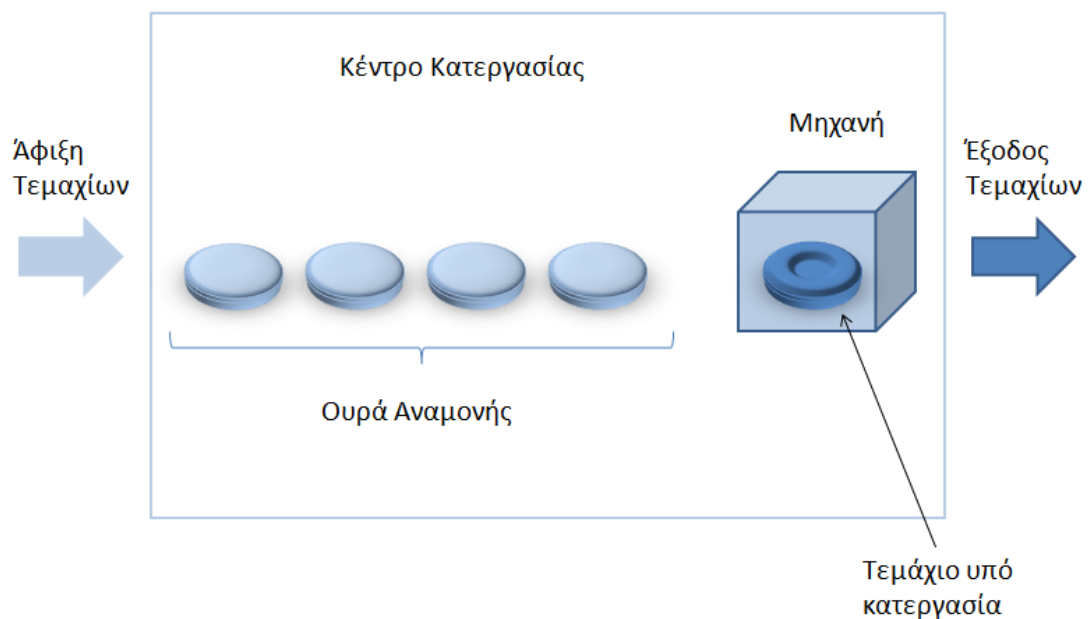
Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την ανάλυση ενός πραγματικού στοχαστικού συστήματος σε μοντέλο διακριτού χρόνου. Σημειώνεται ότι οι όροι προσομοίωση και εξομοίωση έχουν ταυτόσημη έννοια, που προκύπτει από τη μετάφραση του αγγλικού όρου «simulation», και στο εξής αναφέρονται σε προσομοίωση διακριτού χρόνου σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, εκτός αν διευκρινιστεί αλλιώς.

## 2. ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

### 2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται κάποιες από τις βασικές υποκείμενες έννοιες, μέθοδοι και στοιχεία προσομοίωσης διακριτού χρόνου προτού παρουσιαστεί το πρόγραμμα Arena, στο οποίο εκπονήθηκε η παρούσα μελέτη. Οι έννοιες αυτές είναι κοινές σε όλο το εύρος των σύγχρονων λογισμικών προσομοίωσης, τα οποία στοχεύουν σε γρήγορη και εύκολη μοντελοποίηση συστημάτων, χωρίς ιδιαίτερες προγραμματιστικές απαιτήσεις από τον αναλυτή.

Για τους σκοπούς της παρουσίασης θα χρησιμοποιηθεί ένα απλοϊκό παράδειγμα, μιας μηχανής που κατεργάζεται τεμάχια σε τμήμα εργοστασίου. Τα τεμάχια φτάνουν στη μηχανή, επεξεργάζονται από την πρέσα και αποχωρούν. Αν κατά την άφιξή του κάποιο τεμάχιο βρει την πρέσα αδρανή, η επεξεργασία του ξεκινά άμεσα. Αλλιώς, περιμένει σε μια ουρά με κανόνα αναμονής FIFO (First-In First-Out). Το λογικό διάγραμμα έχει ως εξής:



Εικόνα 1 - Λογικό διάγραμμα κατεργασίας τεμαχίου

## 2.2 Βασικά Στοιχεία Μοντέλων

### 2.2.1 Οντότητες (Entities)

Ολόκληρη η διαδικασία της προσομοίωσης στηρίζεται στη μετακίνηση και επεξεργασία οντοτήτων. **Οντότητα (entity)** ορίζεται το στοιχείο του φυσικού συστήματος που παράγεται ή εξυπηρετείται από αυτό. Στην προκειμένη περίπτωση είναι τα τεμάχια που εισέρχονται στο σύστημα (κέντρο κατεργασίας) για να κατεργασθούν.

Οι οντότητες έχουν χαρακτηριστικά, τα οποία ορίζονται και μπορούν να μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στο σύστημα (μοντέλο). Τα χαρακτηριστικά αυτά ονομάζονται **Attributes**. Καθένα από αυτά αποτελεί μια πληροφορία για την οντότητα, η οποία χρησιμοποιείται από το σύστημα είτε μόνη της είτε σε συνδυασμό με άλλες πληροφορίες, για τον προσδιορισμό ζητούμενων στατιστικών μεγεθών ή και για τη διαφοροποίηση παρόμοιων οντοτήτων. Στο παράδειγμά μας, ο χρήστης μπορεί να ορίσει ως attribute τον απαιτούμενο χρόνο κατεργασίας κάθε τεμαχίου (αν φυσικά αυτός διαφέρει).

### 2.2.2 Σταθμοί εξυπηρέτησης – Πόροι (Resources)

Ένας **Σταθμός Εξυπηρέτησης (process server)** χρησιμοποιεί πόρους για να προσδώσει αξία σε μια οντότητα. Στο σύστημα που παρουσιάστηκε η μηχανή είναι σταθμός εξυπηρέτησης και επεξεργάζεται τις οντότητες – τεμάχια. Ο χρόνος εξυπηρέτησης εξαρτάται από τον σταθμό αλλά και από τη διαθεσιμότητα πόρων. Μπορεί να έχει διάφορες καταστάσεις λειτουργίας, οι οποίες ορίζονται από το χρήστη, και να απεικονίζεται με ανάλογα γραφικά. Τέτοιες καταστάσεις λειτουργίας είναι για παράδειγμα οι: αδρανής, κατειλημμένος, εκτός λειτουργίας, βλάβη.

Όπως προαναφέρθηκε, οι πόροι είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με τους σταθμούς εξυπηρέτησης. Στο απλό παράδειγμα συστήματος, πόρος μπορεί να θεωρηθεί η μηχανή, ο χειριστής της ή και το κοπτικό εργαλείο. Σε κάθε σταθμό εξυπηρέτησης πρέπει να είναι σαφώς προσδιορισμένο ποιοι πόροι πρέπει να χρησιμοποιηθούν και σε τι ποσότητα έκαστος.

### 2.2.3 Ουρές Αναμονής (Queues)

Όταν δεν υπάρχουν αρκετοί διαθέσιμοι πόροι οι οντότητες σχηματίζουν **ουρά αναμονής (queue)**, μέχρι να έρθει η σειρά τους να εξυπηρετηθούν. Όταν μια οντότητα θέλει να εξυπηρετηθεί πρέπει να εισέλθει στην ουρά αναμονής, ενώ αντίστροφα αν θέλει να εξέλθει πρέπει, συνήθως, να εξυπηρετηθεί πρώτα. Οι ουρές χαρακτηρίζονται από κανόνες αναμονής, π.χ. First-In First-Out, Last-In First-Out. Παράλληλα, είναι δυνατή η απόδοση **προτεραιοτήτων (priorities)** στις οντότητες ενός συστήματος, παρακάμπτοντας έτσι προσωρινά τους κανόνες. Είναι δυνατή η μοντελοποίηση οποιουδήποτε κανόνα αναμονής μέσω της δημιουργίας μιας **έκφρασης (expression)** από τον μελετητή.

### 2.2.4 Μεταβλητές (Variables) – Εκφράσεις (Expressions)

Οι **μεταβλητές (variables)** είναι ανεξάρτητες από τις οντότητες και η τιμή τους είναι μια αριθμητική ποσότητα η οποία μπορεί να μεταβληθεί ανά πάσα στιγμή (μέσω σχετικής εντολής φυσικά) κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης. Υπάρχουν δύο ειδών μεταβλητές, έτοιμες, και προσδιοριζόμενες από το χρήστη. Τα περισσότερα προγράμματα έχουν

κάποιες έτοιμες μεταβλητές, όπως ο χρόνος προσομοίωσης και ο αριθμός οντοτήτων σε μια ουρά, ενώ παρέχουν τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει τις δικές του ανά πάσα στιγμή. Οι χρήσεις των μεταβλητών είναι ποικίλες και μπορούν να αναπαριστούν και μεγέθη που τροποποιούνται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Στο ανωτέρω παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να ορίσει μια μεταβλητή που να απεικονίζει το συνολικό φόρτο εργασίας στο σύστημα ανά πάσα στιγμή, Total WIP (Total Work In Progress, ο συνολικός φόρτος εργασίας), η οποία να αυξάνεται κατά μία μονάδα κάθε φορά που εισέρχεται ένα τεμάχιο στο κέντρο κατεργασίας και να μειώνεται κάθε φορά που ένα έτοιμο τεμάχιο εξέρχεται.

Αντίστοιχη χρήση με τις μεταβλητές έχουν και οι εκφράσεις (expressions). Η διαφορά τους έγκειται στο ότι οι εκφράσεις ορίζονται από τον προγραμματιστή του μοντέλου και είναι μαθηματικές ή λογικές σχέσεις που μπορούν να περιέχουν στον ορισμό τους ονόματα μεταβλητών και άλλων χαρακτηριστικών του μοντέλου. Απαραίτητη είναι η χρήση σχετικού συντακτικού και γνώση ορισμένων εντολών ανάλογα με το λογισμικό για τον καθορισμό των εκφράσεων.

### 2.2.5 Ροή Οντοτήτων

Ο κορμός της εκτέλεσης ενός μοντέλου προσομοίωσης είναι η κυκλοφορία των οντοτήτων μέσα στο δίκτυο των βασικών δομικών στοιχείων που ο χρήστης έχει κατασκευάσει. Οι οντότητες ενεργοποιούν τα δομικά αυτά στοιχεία (**κυψελίδες – modules**) και πραγματοποιούνται οι εντολές που περιλαμβάνει καθένα από αυτά.

Όταν για παράδειγμα μια οντότητα εισέρχεται σε έναν **Μετρητή (counter)**, ενεργοποιεί την εργασία αυτού, που μπορεί να είναι η προσαύξηση της μεταβλητής Total WIP κατά μία μονάδα. Όταν φτάνει σε ένα σταθμό εξυπηρέτησης, εισέρχεται στην αντίστοιχη ουρά αναμονής. Αν υπάρχουν άλλες οντότητες που προπορεύονται, περιμένει να ολοκληρωθεί η εξυπηρέτησή τους προτού δεσμεύσει αυτή τους απαραίτητους πόρους. Κατόπιν, περιμένει στο σταθμό για χρόνο που ορίζεται από τη διάρκεια της διεργασίας που εκτελείται. Η τιμή αυτή ορίζεται από τον αναλυτή και μπορεί να είναι σταθερά, τυχαία ή να υπακούει σε κάποια στατιστική κατανομή. Τέλος αποδεσμεύει τον πόρο και εξέρχεται του σταθμού εξυπηρέτησης.

Κατά τη διάρκεια της «ζωής» της, μια οντότητα μπορεί να εισέρθει σε μια πληθώρα κυψελίδων. Τις περισσότερες φορές ο χρόνος παραμονής της είναι μηδενικός, με μοναδικό στόχο την ενεργοποίηση συγκεκριμένων λειτουργιών, υπολογισμών και διαδικασιών στο μοντέλο.

### 2.2.6 Χρονοδιάγραμμα Συμβάντων

Σε κάθε δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης, η κατάσταση του συστήματος μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του χρόνου. Επίκεντρο του τρόπου λειτουργίας του μοντέλου, όταν αυτό εκτελείται («τρέχει»), είναι τα **γεγονότα – συμβάντα (events)**. Ένα γεγονός είναι κάτι που συμβαίνει σε μια δεδομένη στιγμή στο χρόνο (προσομοίωσης), που μπορεί να συντελέσει στην αλλαγή χαρακτηριστικών, μεταβλητών, ή και στατιστικών στοιχείων. Στο απλουστευμένο σύστημα του κέντρου κατεργασίας υπάρχουν τριών ειδών γεγονότα:

- Άφιξη ενός τεμαχίου στο σύστημα.
- Αποχώρηση ενός επεξεργασμένου τεμαχίου.

- Ολοκλήρωση προσομοίωσης, στον ορισμένο από το χρήστη χρόνο των 20 λεπτών.

Φυσικά και άλλα πράγματα συμβαίνουν στο μοντέλο αυτό κατά την εκτέλεσή του, δεν είναι όμως απαραίτητο να αποτελούν ξεχωριστά γεγονότα. Για παράδειγμα, ένα τεμάχιο εγκαταλείπει την ουρά και αρχίζει η επεξεργασία του, αλλά αυτό συμβαίνει εξαιτίας της αποχώρησης του προηγούμενου τεμαχίου από το σύστημα.

Για την εκτέλεση του μοντέλου, η προσομοίωση πρέπει να παρακολουθεί τα γεγονότα που πρόκειται να συμβούν στο προσεχές μέλλον (της προσομοίωσης). Σε κάθε πρόγραμμα προσομοίωσης αυτά τα γεγονότα καταγράφονται σε κάποιου είδους χρονοδιάγραμμα. Ο τρόπος λειτουργίας αυτού έχει ως εξής: Όταν η λογική της προσομοίωσης το απαιτεί, καταγράφεται στο χρονοδιάγραμμα μια πληροφορία σχετικά με το γεγονός. Η εγγραφή αυτή περιλαμβάνει ταυτοποίηση της συσχετιζόμενης οντότητας, του χρόνου και του είδους του γεγονότος που θα συμβεί. Οι εγγραφές ταξινομούνται χρονολογικά, με τη συντομότερη να είναι πάντα πρώτη.

Σε ένα μοντέλο διακριτού χρόνου, οι μεταβλητές που περιγράφουν το σύστημα δεν μεταβάλλονται μεταξύ διαδοχικών γεγονότων. Αυτό που είναι σημαντικό στην (event – driven) προσομοίωση, είναι η σωστή κατάστρωση της λογικής αυτών που προκύπτουν ως αποτέλεσμα του κάθε γεγονότος.

### 2.2.7 Ρολόι Προσομοίωσης

Ο τρέχων χρόνος της προσομοίωσης διακριτού χρόνου αποθηκεύεται σε μια μεταβλητή που ονομάζεται **ρολόι προσομοίωσης (simulation clock)**. Σε αντίθεση με τον πραγματικό χρόνο, το ρολόι προσομοίωσης δεν κυλάει συνεχώς. Αντίθετα, παίρνει τιμές μεταπηδώντας από τη χρονική στιγμή ενός γεγονότος σε αυτή του επόμενου. Όπως είναι λογικό, βρίσκεται σε συνεχή «επικοινωνία» με το χρονοδιάγραμμα συμβάντων.

Στην αρχή της προσομοίωσης και στη συνέχεια, μετά από κάθε εκτέλεση γεγονότος, το συμβάν που βρίσκεται πρώτο στη λίστα αφαιρείται από αυτήν. Το ρολόι προχωρεί στη χρονική στιγμή αυτού του γεγονότος και οι πληροφορίες στην αφαιρεθείσα καταχώρηση χρησιμοποιούνται για την εκτέλεσή του συμβάντος. Το πώς ακριβώς γίνεται η εκτέλεση εξαρτάται αποκλειστικά από το είδος του γεγονότος και την κατάσταση του μοντέλου τη συγκεκριμένη στιγμή, αλλά γενικά περιλαμβάνει αναθεώρηση των μεταβλητών και στατιστικών συσσωρευτών, μεταβολή των χαρακτηριστικών οντοτήτων και την τοποθέτηση νέων εγγραφών στο χρονοδιάγραμμα συμβάντων.

### 2.2.8 Τυχαιότητα στη Προσομοίωση

Στην προσομοίωση διακριτού χρόνου χρησιμοποιούνται τυχαίοι αριθμοί για την αναπαράσταση τυχαίων μεταβλητών, που διαμορφώνονται από «συνημμένες» στατιστικές κατανομές, αλλά και στοχαστικών διεργασιών, που ακολουθούν τους νόμους των πιθανοτήτων. Οι ενδιαμέσοι χρόνοι άφιξης πελατών για παράδειγμα, μοντελοποιούνται συνήθως με κατανομή Poisson. Οι χρονικές αυτές τιμές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, αλλά μοιράζονται μια κοινή οριακή κατανομή. Οι διεργασίες (processes) που χρησιμοποιούν τέτοιες μεταβλητές ονομάζονται Independent Identically Distributed (IID) Processes και χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στην προσομοίωση διακριτού χρόνου.

Οι τυχαίοι αριθμοί παράγονται μέσω μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών, Random Number Generator (RNG). Η γεννήτρια αυτή παράγει (IID) αριθμούς που είναι ομοιόμορφα κατανομημένοι μεταξύ 0 και 1. Συνήθως και ανάλογα με την περίπτωση, οι αριθμοί έπειτα μετασχηματίζονται ώστε να συμβαδίζουν με την εκάστοτε ζητούμενη κατανομή. Συνεπώς, παρόλο που χρησιμοποιούμε τον όρο «τυχαίοι αριθμοί» για τους αριθμούς που προκύπτουν από RNG, πρέπει να προσδιοριστεί ότι οι παραγόμενοι αριθμοί δεν είναι και τόσο τυχαίοι. Μια RNG γεννήτρια αποτελεί ουσιαστικά μια ντετερμινιστική διαδικασία, της οποίας οι παραγόμενοι αριθμοί μπορούν πάντα να αναδημιουργηθούν. Παράλληλα όμως είναι «τυχαίοι», κατά την έννοια ότι η αριθμητική ακολουθία που δημιουργείται, περνάει τα στατιστικά τεστ τυχειότητας, στην προκειμένη περίπτωση για την ομοιομορφία των παραγόμενων αριθμών και τη μεταξύ τους ανεξαρτησία.

Όταν εκτελείται ένα πείραμα προσομοίωσης, η γεννήτρια RNG ξεκινάει να παράγει αριθμούς και κάθε φορά που καλείται να παράγει ένα νέο, αναγράφει έναν αύξοντα αριθμό δίπλα σε αυτόν, σε ένα μητρώο. Αυτό σημαίνει ότι αν το πείραμα εκτελεστεί ξανά, η γεννήτρια θα παράγει τους ίδιους τυχαίους αριθμούς και τα ίδια τυχαία αποτελέσματα στην έξοδο. Το πλεονέκτημα που προκύπτει είναι η δυνατότητα επανάληψης ενός μεμονωμένου πειράματος εκτέλεσης. Από την άλλη βέβαια, δε βοηθάει ιδιαίτερα η μελέτη ενός μοναδικού (από πλευράς μεταβλητών) πειράματος.

Για να εκτελεστούν διαφορετικά πειράματα θα πρέπει, μετά το τέλος καθενός, η γεννήτρια να μη μηδενίζεται (initialize), αλλά να συνεχίσει να παράγει τυχαίους (IID) αριθμούς από το σημείο που βρισκόταν. Τα διαδοχικά τρεξίματα – εκτελέσεις ενός μοντέλου που είναι ανεξάρτητα και στατιστικά πανομοιότυπα ονομάζονται **επαναλήψεις (replications)**. Η εκτέλεση μεγάλου αριθμού επαναλήψεων συνεπάγεται διαφορετικές τιμές εξόδου κάθε φορά. Αυτές τις μελετάμε στατιστικά (ή συνήθως, το πρόγραμμα για εμάς) για να υπολογισθεί η μέση τιμή, το εύρος, ακραίες τιμές ή και η προσέγγιση από κάποια γνωστή κατανομή, το οποίο άλλωστε συνδέεται άμεσα με τους απώτερους στόχους της μελέτης. Και μιας και τα αποτελέσματα των διαφόρων επαναλήψεων είναι ανεξάρτητα και ίδιας κατανομής, μπορούμε πολύ εύκολα να υπολογίσουμε το εύρος εμπιστοσύνης για τις τιμές αυτές:

$$\bar{X} \pm t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Όπου  $\bar{X}$  είναι ο μέσος όρος του δείγματος,  $s$  η τυπική του απόκλιση,  $n$  ο αριθμός των επαναλήψεων, και  $t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}$  είναι το άνω  $1-\alpha/2$  κρίσιμο σημείο της κατανομής Student, με  $n-1$  βαθμούς ελευθερίας.

Μια μελέτη προσομοίωσης συνήθως περιλαμβάνει πολλά σενάρια, περιπτώσεις και καταστάσεις του συστήματος. Η χρήση επαναλήψεων είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την εκτίμηση της τυχειότητας των αποτελεσμάτων και τη σύγκριση των σεναρίων. Αν και από μια μεμονωμένη επανάληψη μπορεί να διαφαίνονται κάποια χαρακτηριστικά του συστήματος, τα αποτελέσματα είναι συνήθως παραπλανητικά και η επανάπαυση μόνο σε αυτή, θα έχει μοιραίο αντίκτυπο στη μελέτη.



### 2.2.9 Σύνοψη μιας Μελέτης προσομοίωσης

Μελετώντας το πώς μπορεί να μοντελοποιηθεί ένα σύστημα αντιλαμβάνεται κανείς ότι τα θέματα σχεδιασμού, ανάλυσης και απεικόνισης του μοντέλου δεν είναι τα μοναδικά που πρέπει να λάβει υπόψη. Αν και δεν υπάρχει (και δεν γίνεται να υπάρξει) κάποια συγκεκριμένη συνταγή επιτυχίας, αναφέρονται κάποια από τα συστατικά που είναι στην πλειοψηφία τους αναπόσπαστα από κάθε μελέτη προσομοίωσης.

- **Κατανόηση του Συστήματος:** Είτε το σύστημα είναι υπαρκτό, είτε όχι, ο μελετητής πρέπει να έχει μια πλήρη, σαφή και ολοκληρωμένη εικόνα αυτού. Στην κατεύθυνση αυτή είναι εξαιρετικά χρήσιμες οι επισκέψεις στο χώρο λειτουργίας του συστήματος και αλληλεπίδραση με τους εργαζόμενους σε αυτό.
- **Ξεκάθαροι Στόχοι:** Ο μελετητής δεν πρέπει να δώσει υπερβολικά αισιόδοξες υποσχέσεις σε αυτούς που του αναθέτουν το έργο. Πρέπει να κατανοήσει το τι μπορεί να αποκομισθεί από μια μελέτη προσομοίωσης και αναλόγως να ενημερώσει τον εργοδότη για τα προσδοκώμενα οφέλη και αποτελέσματα. Συνίσταται η εξαρχής αποσαφήνιση των στόχων και ο τακτικός επανέλεγχος αυτών ώστε να μην αποσπάται η προσοχή του μελετητή καθ' όλη τη διάρκεια της δημιουργίας του μοντέλου.
- **Σχηματισμός ενός Μοντέλου Αναπαράστασης:** Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στο επίπεδο λεπτομέρειας του μοντέλου του συστήματος. Κάποια στοιχεία απαιτούν μεγαλύτερη προγραμματιστική ακρίβεια ενώ άλλα μπορούν να αναπαρασταθούν εύκολα, αλλά και αποτελεσματικά με ανώτερα στοιχεία μοντελοποίησης (modules). Επικοινωνία με ηγετικά στελέχη μπορεί να βοηθήσει ουσιαστικά σε αποφάσεις σχετικά με τη σημαντικότητα κάθε στοιχείου που θα μοντελοποιηθεί.
- **Μετάφραση σε Λογισμικό Μοντελοποίησης:** Εφόσον τεθούν όλες οι προδιαγραφές, προσδιοριστούν οι ανάγκες και γίνουν οι απαραίτητες παραδοχές, ο μελετητής πρέπει να μεταφέρει το μοντέλο στο λογισμικό προσομοίωσης. Δυσκολίες είναι πολύ πιθανό να υπάρξουν. Πρέπει να αντιμετωπισθούν προσεκτικά και έντιμα, παρά να συγκαλυφθούν. Συνεννόηση και παρουσίαση του προβλήματος σε εργαζόμενους και στελέχη είναι ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης, ενώ η χρήση γραφικών απεικόνισης του μοντέλου (animation) βοηθά στην κατεύθυνση κατανόησης αυτού.
- **Επαλήθευση του μοντέλου (Verification):** Μόλις ολοκληρωθεί η κατασκευή του μοντέλου, πρώτο μέλημα είναι η επαλήθευση ότι αυτό λειτουργεί σύμφωνα με τις προσδοκίες. Αυτό περιλαμβάνει μια σειρά από «πειράματα» στις τιμές εισόδου, παρατηρήσεις των γραφημάτων και του animation, και γενικότερα μελέτη της συμπεριφοράς του ώστε να σιγουρευτεί ο μελετητής για τη λειτουργική του ακεραιότητα.
- **Επικύρωση του μοντέλου (Validation):** Περιλαμβάνει όλους εκείνους τους ελέγχους που αποσκοπούν στη διαβεβαίωση, ότι τα αποτελέσματα του μοντέλου βάσει των τιμών και κατανομών εισόδου είναι ρεαλιστικά και σωστά. Τα στατιστικά τεστ αλλά και η κοινή λογική του μελετητή είναι τα κλειδιά στο στάδιο αυτό.
- **Σχεδιασμός των Πειραμάτων:** Ανάλογα με τις ανάγκες της μοντελοποίησης πρέπει να σχεδιαστούν τα πειράματα που θα προσφέρουν τις απαραίτητες λύσεις στο υπό



μελέτη πρόβλημα. Συχνά επιστρατεύονται αρχές κλασικού στατιστικού πειραματικού σχεδιασμού στο βήμα αυτό.

- **Εκτέλεση Πειραμάτων και Ανάλυση Αποτελεσμάτων:** Η εκτέλεση των πειραμάτων από το πρόγραμμα μοντελοποίησης μπορεί να είναι χρονοβόρα, για το λόγο αυτό απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός στα προηγούμενα στάδια για αποφυγή λαθών που θα οδηγήσουν σε σημαντικό χάσιμο χρόνου. Όταν ολοκληρωθούν τα πειράματα, ακολουθεί η ανάλυση των αποτελεσμάτων. Εδώ ο μελετητής καλείται να χρησιμοποιήσει τα κατάλληλα στατιστικά τεστ και αναλύσεις ώστε τα συμπεράσματα της μελέτης που θα εξάγει να είναι ασφαλή.
- **Γραπτή Τεκμηρίωση και Αναφορά Αποτελεσμάτων:** Συνοψίζοντας, πρέπει να καταγραφούν όλα όσα έγιναν από μέρος μελετητή, αφενός για να τεκμηριώσει τα συμπεράσματα και τις προτάσεις του προς τον εργοδότη, αφετέρου για να είναι εύκολη η κατανόηση της εργασίας του σε μελλοντικό χρόνο από κάποιον άλλο που θα επιχειρήσει αλλαγές ή/και επέκταση στο μοντέλο που κατασκευάστηκε.

## 3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΣΜΟΙΩΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ARENA (VERSION 8.01)

### 3.1 Εισαγωγή

#### 3.1.1 Rockwell Arena

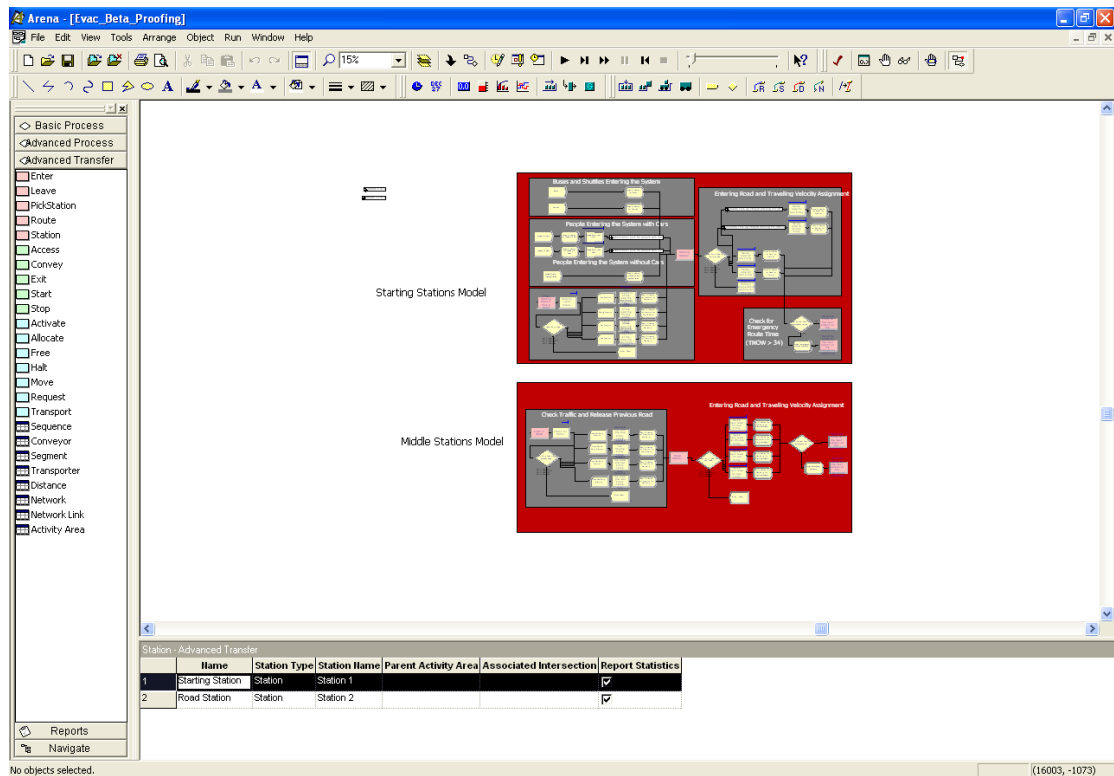
Το πρόγραμμα προσομοίωσης Arena είναι προϊόν της Rockwell Software, με έδρα την Αμερική. Βασίζεται στη γλώσσα προσομοίωσης SIMAN, διατηρεί τη βασική δομή της αλλά προσθέτει σε αυτή ένα πλήρως γραφικό περιβάλλον. Μπορεί εύστοχα να χαρακτηριστεί ως η αντικειμενοστραφής έκδοση της SIMAN.

Το πρόγραμμα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε, να συνδυάζεται η ευκολία χρήσης που απαντάται στους εξομοιωτές υψηλού επιπέδου με την ευελιξία που παρέχουν οι γλώσσες προσομοίωσης, αλλά ακόμα και οι πιο γενικευμένες γλώσσες αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού όπως η Visual Basic και η C. Αυτό επιτυγχάνεται παρέχοντας μια σειρά από templates που περιέχουν βασικά δομικά στοιχεία προσομοίωσης και ανάλυσης μοντέλων (modules), τα οποία ο χρήστης μπορεί να συνδυάσει απρόσκοπτα δημιουργώντας έτσι μια πληθώρα μοντέλων προσομοίωσης. Για λόγους ευχρηστίας, τα δομικά αυτά στοιχεία είναι ομαδοποιημένα σε παράθυρα (panels) συγκροτώντας πρότυπα – templates. Αλλάζοντας panel, ο χρήστης έχει πρόσβαση σε μια πληθώρα νέων δομικών στοιχείων και δυνατοτήτων προσομοίωσης. Η ευελιξία του Arena συνίσταται ακριβώς στο ότι μπορούν να συνδυαστούν modules από διαφορετικά panels (και κατ' επέκταση διαφορετικά επίπεδα προγραμματισμού προσομοίωσης) σε ένα ενιαίο μοντέλο.

#### 3.1.2 Περιβάλλον Εργασίας

Το Arena είναι σχεδιασμένο για Windows και συνεπώς έχει το σύνηθες παραθυρικό περιβάλλον που έχουν όλες οι εφαρμογές για το λειτουργικό της Microsoft. Υπάρχουν όλες οι βασικές γραμμές εργαλείων και εντολές του λειτουργικού (File, Edit, View – Save, Load, Print κλπ). Πέρα από αυτές, υπάρχουν πολλές ακόμα γραμμές εργαλείων στο επάνω μέρος της οθόνης που σχετίζονται με την προσομοίωση, στις οποίες θα γίνει λεπτομερής αναφορά όπου αυτό είναι απαραίτητο.

Στα αριστερά της οθόνης βρίσκεται η Project Bar. Σε αυτή την επιφάνεια βρίσκονται όλα τα ενεργά panels (Basic Process, Advanced Process κ.ά.). Επιπλέον, υπάρχουν δύο επίσης πολύ σημαντικά panels: Reports και Navigate. Το Reports συνοψίζει σε μια δενδρική μορφή τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (αφού το μοντέλο ολοκληρωθεί και εκτελεσθεί) στα οποία ο χρήστης μπορεί να περιηγηθεί και να δει με ευκολία τις αναφορές για συγκεκριμένα σημεία του μοντέλου. Η καρτέλα Navigate επιτρέπει στον χρήστη να αλλάξει οπτικές γωνίες (views) στο μοντέλο και να μεταβεί σε κάποιο υπομοντέλο στη περίπτωση που το μοντέλο είναι ιεραρχικό και υπάρχουν πολλά επίπεδα.



Εικόνα 2 - Περιβάλλον Εργασίας του Arena

Το μεγαλύτερο τμήμα της οθόνης αφορά το μοντέλο στο οποίο εργαζόμαστε και χωρίζεται σε δύο τμήματα: Flowchart View και Spreadsheet View. Η πρώτη αποτελεί την διαγραμματική οπτική γωνία, όπου διακρίνονται όλα τα δομικά στοιχεία που εισάγει ο χρήστης, οι μεταξύ τους σύνδεσμοι και γραφικά στοιχεία που έχουν δημιουργηθεί από το μελετητή (διαγράμματα, animation κ.ά.). Κάνοντας διπλό κλικ σε οποιοδήποτε module εμφανίζεται ένα πλαίσιο διαλόγου με τις βασικές επιλογές για το στοιχείο αυτό. Στο κάτω μέρος της οθόνης βρίσκεται η οπτική γωνία spreadsheet. Εκεί υπάρχουν ομαδοποιημένες, όλες οι παράμετροι και επιλογές για κάθε δομικό στοιχείο του μοντέλου τις οποίες ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει ανά πάσα στιγμή. Ο μελετητής μπορεί μέσα από σχετική επιλογή να ορίσει αν θα βλέπει μία ή και τις δύο οπτικές γωνίες (View > Split Screen). Αν και ο τρόπος εργασίας ανάγεται πάντα στις προτιμήσεις του χρήστη, ενδείκνυται η παράλληλη χρήση και των δύο οπτικών γωνιών (flowchart και spreadsheet).

Τέλος, στο κατώτερο μέρος της οθόνης βρίσκεται πάντα η Status Bar. Εκεί απεικονίζονται ποικίλες πληροφορίες, ανάλογα με το τι συμβαίνει την τρέχουσα στιγμή στο πρόγραμμα. Τέτοιες μπορεί να είναι οι συντεταγμένες θέσης του κέρσσορα του ποντικιού ή ο χρόνος και ο αριθμός επαναλήψεων στην περίπτωση που το μοντέλο εκτελείται.

## 3.2 Θεμελιώδη Modules

Στην παράγραφο που ακολουθεί παρουσιάζονται τα βασικά δομικά στοιχεία του λογισμικού Arena, εξηγείται συνοπτικά η λειτουργία και οι δυνατότητες καθενός, ώστε να μπορεί ο αναγνώστης να κατανοήσει με ευκολία τη δομή του μοντέλου που παρουσιάζεται αργότερα.

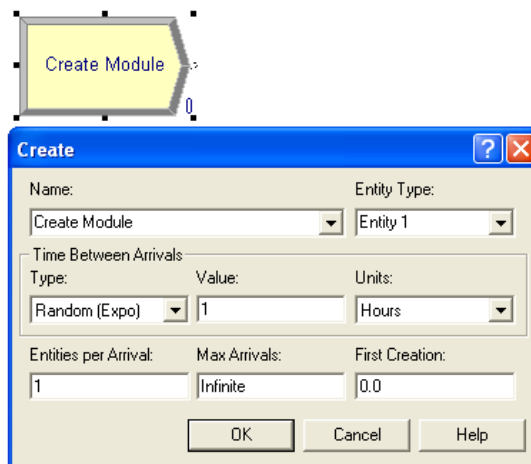
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το Arena είναι αντικειμενοστραφές πρόγραμμα προσομοίωσης επιχειρηματικών μοντέλων. Επίκεντρο του τρόπου αυτού προσομοίωσης είναι οι οντότητες (entities). Οι οντότητες δημιουργούνται, αλληλεπιδρούν με τους πόρους του συστήματος και τέλος καταστρέφονται – εξάγονται από το σύστημα. Οι οντότητες μπορεί να αναπαριστούν πελάτες, τηλεφωνικές κλήσεις, προϊόντα και γενικώς οτιδήποτε απαιτεί η περίπτωση που μελετάται.

### 3.2.1 Basic Process Panel

Το Panel αυτό υπάρχει στη Project Bar, και μπορεί να «αποκολληθεί» (detach) ή να «προσκολληθεί» (attach) μέσω της σχετικής επιλογής που βρίσκεται στο File > Template Panel > Attach ή Detach (ανάλογα με ποια λειτουργία είναι επιθυμητή). Περιέχει τα πιο βασικά modules, τα οποία είναι :

#### 3.2.1.1 Create Module

Αρχικό στοιχείο κάθε μοντέλου, το Create module φροντίζει τη δημιουργία μιας οντότητας. Στο μενού επιλογών αυτού (διπλό κλικ) ο χρήστης μπορεί να ορίσει το όνομα του στοιχείου (το οποίο εμφανίζεται πάντα στο κέντρο του σχήματος που το απεικονίζει) καθώς και τον τύπο της οντότητας που γεννιέται.

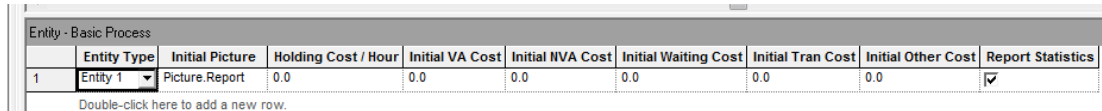


Εικόνα 3 - Create Module

Κατόπιν, ο χρήστης μπορεί να ορίσει με λεπτομέρεια το χρόνο μεταξύ αφίξεων, δηλαδή το χρόνο μεταξύ δημιουργίας οντοτήτων. Αυτός μπορεί να είναι βάσει προγράμματος, πιθανότητας, σταθερός ή και τυχαίος (εκθετική κατανομή). Η επιλογή δεν είναι πάντα εύκολη, συνήθως εξαρτάται από τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί για την εν λόγω μελέτη, αλλά πάντα υπόκειται και στην κρίση του μελετητή. Τέλος ορίζονται ο αριθμός οντοτήτων ανά άφιξη, ο μέγιστος αριθμός αφίξεων και η χρονική στιγμή πρώτης δημιουργίας.

### 3.2.1.2 Entity Module

Με την καταχώρηση στοιχείων στο Create module το λογισμικό Arena δημιουργεί αυτόματα μια οντότητα με το όνομα το οποίο έδωσε ο χρήστης. Επιλέγοντας το στοιχείο «Entity» στο Basic Process Panel, παρουσιάζονται στο κάτω μέρος της οθόνης (Spreadsheet View) όλες οι επιλογές της οντότητας.



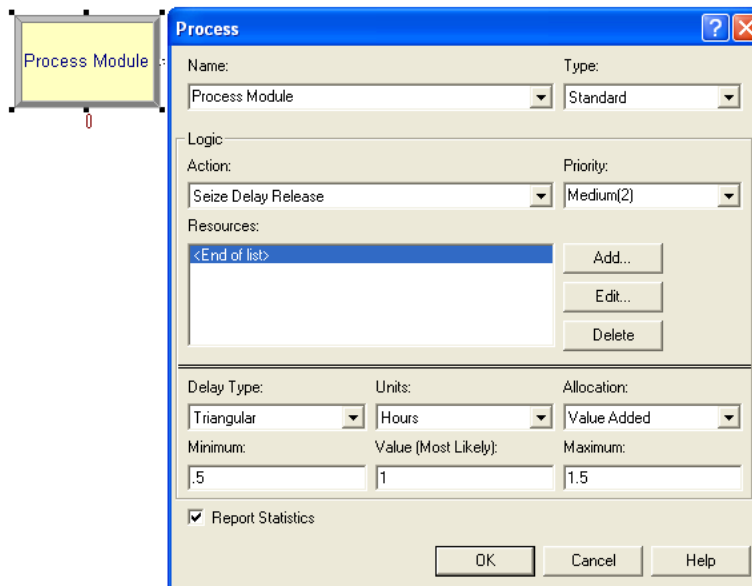
Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
Entity 1	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 4 - Entity Module

Εκεί ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τον τύπο της οντότητας και την εικόνα με την οποία θα παρίσταται γραφικά όταν το μοντέλο τρέχει, αλλά και να εισάγει στοιχεία κόστους αν το απαιτεί η μελέτη.

### 3.2.1.3 Process Module

Απεικονίζει την κάθε διεργασία που γίνεται στο πραγματικό σύστημα και περιλαμβάνει τους πόρους που χρησιμοποιούνται, την ουρά αναμονής και την καθυστέρηση της οντότητας μέχρι η τελευταία να εξυπηρετηθεί.



Process Module

Name: Process Module Type: Standard

Logic: Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources: <End of list> Add... Edit... Delete

Delay Type: Triangular Units: Hours Allocation: Value Added

Minimum: 0.5 Value (Most Likely): 1 Maximum: 1.5

Report Statistics

OK Cancel Help

Εικόνα 5 - Process Module

Ο μελετητής πρέπει εδώ να καθορίσει τη λογική που διέπει την αλληλεπίδραση της οντότητας με τους διαθέσιμους πόρους. Σε μια γραμμή παραγωγής για παράδειγμα, όπου ένα τεμάχιο εισέρχεται για κατεργασία σε μια μηχανή θα χρησιμοποιηθεί η Seize Delay Release. Το τεμάχιο καταλαμβάνει μια μονάδα διαθέσιμου πόρου, π.χ. μηχανή (seize), μένει εκεί όσο χρειάζεται για να εξυπηρετηθεί, δηλαδή να κατεργαστεί (delay) και τέλος ελευθερώνει τη μηχανή (release), η οποία είναι πλέον έτοιμη να κατεργαστεί το επόμενο τεμάχιο. Παράλληλα πρέπει να οριστεί η διάρκεια της διεργασίας. Οι επιλογές είναι και εδώ πολλές, καθώς ο χρήστης έχει στη διάθεσή του κάποιες συνήθεις κατανομές (τριγωνική, κανονική κλπ.) αλλά μπορεί να δημιουργήσει και τη δική του έκφραση. Στο πεδίο των

πόρων (Resources) εκλέγονται αυτοί που θα εξυπηρετήσουν την οντότητα, ο τύπος και η ποσότητα καθενός εξ αυτών.

### 3.2.1.4 Resource Module

Από το στοιχείο αυτό μπορεί ο χρήστης να ελέγξει τις παραμέτρους που σχετίζονται με τους πόρους του συστήματος. Επιλέγεται αν η διαθεσιμότητά τους θα είναι σταθερό μέγεθος ή θα μεταβάλλεται βάσει προγράμματος και υπάρχει δυνατότητα ορισμού πιθανών βλαβών.

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Resource 1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-click here to add a new row

Εικόνα 6 - Resource Module

Τέλος ο μελετητής μπορεί να ορίσει στοιχεία κόστους λειτουργίας αν απαιτούνται αντίστοιχα αποτελέσματα στην έρευνα.

### 3.2.1.5 Queue Module

Το συγκεκριμένο στοιχείο εμφανίζει στο Spreadsheet View τις επιλογές των ουρών αναμονής του μοντέλου. Ουρές περιλαμβάνονται σε κάθε στοιχείο process. Ο μελετητής πρέπει να ορίσει τον κανόνα αναμονής (FIFO, LIFO κτλ.), ενώ επίσης έχει τη δυνατότητα να φτιάξει μια «κοινόχρηστη» ουρά αναμονής αν οι συνθήκες επιβάλλουν κάτι ανάλογο.

### 3.2.1.6 Λοιπά Στοιχεία

Όλα τα προαναφερθέντα modules βρίσκονται στο panel «Basic Process» του Arena. Αναφέρονται επιγραμματικά τα υπόλοιπα στοιχεία που ανήκουν στο ίδιο template.

Το Decide module επιτρέπει την μοντελοποίηση επιλογών, είτε αυτές είναι τυχαίες είτε όχι. Ο χρήστης ορίζει τον αριθμό εξόδων και τον κανόνα της επιλογής. Ο κανόνας μπορεί να είναι βάσει τύχης (chance) ή συνθήκης. Στην πρώτη περίπτωση ο αναλυτής εισάγει την πιθανότητα % για κάθε έκβαση, ενώ στην τελευταία καλείται να ορίσει τη συνθήκη και την έκβαση για κάθε αποτέλεσμα αυτής.

Το στοιχείο Dispose αποτελεί την κατάληξη κάθε οντότητας, το σημείο που αυτή εξαγεται από το σύστημα και κατ' επέκταση παύει να υπάρχει. Ο «κύκλος της ζωής» μιας οντότητας ξεκινάει πάντα από το δομικό στοιχείο Create και ολοκληρώνεται στο Dispose.

Τα στοιχεία Separate και Batch αναλαμβάνουν να διαχωρίσουν («κλωνοποιήσουν») και να ξαναενώσουν μια οντότητα όπου αυτό είναι απαραίτητο.

Το Assign module είναι αυτό που επιτρέπει στο χρήστη να τροποποιήσει μεταβλητές, ιδιότητες και γενικότερα τις διάφορες τιμές και παραμέτρους του συστήματος αντικαθιστώντας την προηγούμενη τιμή με μια καινούρια. Εξαιρετικά σημαντικό σε κάθε μοντέλο.

Το στοιχείο Record από την άλλη είναι ο «πρωταγωνιστής» στη διαμόρφωση και εξαγωγή στατιστικών στοιχείων από το μοντέλο. Περνώντας μια οντότητα από αυτό, ο μελετητής μπορεί να ορίσει την τροποποίηση κάποιου μετρητή, αναλόγως πάντα των απαιτήσεων της μελέτης.

Μέσα από το Variable module μπορούν να ελεγχθούν όλες οι παράμετροι των μεταβλητών που υπάρχουν στο σύστημα, ενώ μέσω του «Schedule» να διαμορφωθούν χρονοδιαγράμματα. Τα τελευταία είναι πολλές φορές απαραίτητα για των προσδιορισμό αφίξεων οντοτήτων (πρόγραμμα αφίξεων κ.ά.) ή και διαθεσιμότητας πόρων (λ.χ. βάρδιες υπαλλήλων).

Πολλά επιπλέον modules βρίσκονται στα υπόλοιπα templates του προγράμματος (Advanced Process, Advanced Transfer, Blocks κ.ά.). Αυτά αποτελούν δομικά απλούστερα στοιχεία από τα προαναφερθέντα παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία και περισσότερες επιλογές στο χρήστη. Στον αντίποδα, χρειάζεται μεγαλύτερη εμπειρία στη μοντελοποίηση από μεριάς μελετητή. Ως εκ τούτου συνίσταται η χρήση βασικών (απλών) δομικών στοιχείων όσο οι συνθήκες το επιτρέπουν και η προσφυγή σε χαμηλότερα επίπεδα μοντελοποίησης μόνο όταν αυτό είναι απολύτως απαραίτητο. Παρόλα αυτά, γίνεται μια σύντομη αναφορά στα περιεχόμενα των panels Advanced Process και Advanced Transfer.

Στην παρουσίαση του μοντέλου θα επεξηγηθούν αναλυτικότερα σημεία όπου έχει γίνει χρήση προχωρημένων (προγραμματιστικά) δομικών στοιχείων και θα σχολιαστεί η ανάγκη χρήσης αυτών.

### 3.2.2 Advanced Process Panel

Τα δομικά στοιχεία που περιλαμβάνονται σε αυτή την ομάδα έχουν μεγάλη συγγένεια ως προς τη λογική και τη λειτουργία τους με αυτά του Basic Process Panel. Παρουσιάζονται συνοπτικά τα χρησιμότερα εξ αυτών.

Το Delay module αναλαμβάνει να καθυστερήσει μια οντότητα που εισέρχεται σε αυτό. Ο χρόνος της καθυστέρησης αυτής μπορεί να είναι μια σταθερά ή να υπακούει σε κάποια στατιστική κατανομή.

Τα στοιχεία Seize και Release επιτρέπουν την μοντελοποίηση της κατάληψης και απελευθέρωσης ενός ή και περισσότερων πόρων. Μια ομάδα modules με τη σειρά Seize – Delay – Release απεικονίζει πλήρως τη λειτουργία ενός Process module.

Τα modules Store και Unstore αναλαμβάνουν την αποθήκευση μιας οντότητας και αντίστοιχα, την έξοδο αυτής από την συγκεκριμένη κατάσταση. Η χρησιμότητά τους έγκειται συνήθως στη δυνατότητα που παρέχουν για γραφική απεικόνιση μιας οντότητας που είναι αποθηκευμένη σε κάποιο σημείο του μοντέλου. Η απεικόνιση αυτή γίνεται μέσω της επιλογής Storage, που βρίσκεται στη γραμμή εργαλείων Animate Transfer. Συχνά χρησιμοποιούνται ομαδικά μαζί με ένα Delay module με τη σειρά Store – Delay – Unstore.

Τα δομικά στοιχεία Hold – Signal επίσης λειτουργούν συνεργατικά. Το module Hold αναλαμβάνει να παρακρατήσει μια οντότητα. Υπάρχουν δύο επιλογές για τη διάρκεια αυτής της καθυστέρησης: μέχρι μια ορισμένη έκφραση να γίνει αληθής, ή μέχρις ότου ληφθεί κάποιο σήμα. Η έκφραση μπορεί να είναι οτιδήποτε ορίσει ο χρήστης και ελέγχεται η ισχύς της στην αρχή κάθε βήματος του διακριτού χρόνου. Το σήμα «εκπέμπεται» από το στοιχείο Signal τη στιγμή που κάποια άλλη οντότητα εισέλθει σε αυτό.

Εξαιρετικά χρήσιμα στοιχεία που βρίσκονται σε αυτό το panel είναι τα modules Expression και Statistic. Το πρώτο επιτρέπει τον ορισμό εκφράσεων που μπορούν να ανακληθούν

οποτεδήποτε εντός άλλων στοιχείων του μοντέλου. Οι εκφράσεις αυτές ποικίλουν από μοναδικές τιμές μέχρι μητρώα πολλών κελιών, και από σταθερές τιμές μέχρι πολύπλοκες στατιστικά εκφράσεις. Το στοιχείο Statistic επιτρέπει τη διαμόρφωση και έκδοση στατιστικών στοιχείων πέρα από αυτά που δημιουργεί αυτόματα το πρόγραμμα με το πέρασ κάθε εκτέλεσης. Καθοριστική η σημασία του στην πλειοψηφία των μοντέλων.

### 3.2.3 Advanced Transfer Panel

Στην ομάδα αυτή δομικών στοιχείων περιλαμβάνονται modules που επιτρέπουν την ακριβέστερη μοντελοποίηση των μετακινήσεων των οντοτήτων μέσα στο σύστημα. Το Arena επιτρέπει την μοντελοποίηση τεσσάρων τρόπων μετακινήσεων:

- Route. Αφορά διαδρομές, στις οποίες η οντότητα μετακινείται «μόνη της».
- Transport. Αφορά μετακινήσεις στις οποίες η οντότητα μεταφέρεται με τη βοήθεια ενός transporter, ενός οχήματος δηλαδή. Τέτοιο μπορεί να είναι κάποιο καροτσάκι, περονοφόρο, AGV, κλπ.
- Convey. Απεικονίζει τη μεταφορά οντοτήτων με χρήση μεταφορικών ταινιών.
- Network. Οι οντότητες μεταφέρονται σε προκαθορισμένο δίκτυο διαδρομών και αποστάσεων είτε με transporters είτε μόνες τους.

Σε συνδυασμό με τη γραμμή εργαλείων Animate Transfer το επίπεδο ρεαλισμού της γραφικής απεικόνισης ενός μοντέλου μπορεί κυριολεκτικά να εκτοξευθεί. Αποτελεί μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση όσον αφορά στην παρουσίαση. Το ενδιαφέρον του animation μετατοπίζεται από την κίνηση των οντοτήτων μεταξύ των modules σε μια παράπλευρη περιοχή, όπου ο χρήστης έχει σχεδιάσει σταθμούς και διαδρομές που αναπαριστούν τις μετακινήσεις αυτές πολύ ακριβέστερα.

Κομβικής σημασίας σε αυτή την προσέγγιση είναι το δομικό στοιχείο Station. Τέτοιοι σταθμοί τοποθετούνται μέσα στο χώρο και αποτελούν πύλες από τις οποίες διέρχονται οι οντότητες. Οι βασικές μετακινήσεις μεταξύ αυτών περιγράφονται στα modules «Route», όπου προσδιορίζεται ο σταθμός προορισμού και ο χρόνος μεταφοράς. Όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί κάποιος άλλος τρόπος μεταφοράς, με την χρήση δηλαδή κάποιου μέσου, επιστρατεύονται τα στοιχεία Leave και Enter. Τα modules αυτά εμπεριέχουν την απαιτούμενη λογική για να κληθεί κάποιο transporter, ή να γίνει πρόσβαση σε κάποια μεταφορική ταινία. Για περισσότερες πληροφορίες ο αναγνώστης καλείται να μελετήσει το Κεφ. 8 «Entity Transfer», (Kelton, Sadowski, & Swets, 2010).

Ανεξάρτητα πάντως από την ανάγκη για ακρίβεια μοντελοποίησης στις μετακινήσεις, η χρήση Stations και Routes μπορεί να αλλάξει πλήρως την διαμόρφωση οποιουδήποτε μοντέλου. Επιτρέπει την ανάπτυξη συστημάτων χωρίς τον περιορισμό της χαρακτηριστικής γραμμικής κίνησης των οντοτήτων μεταξύ δομικών στοιχείων, πράγμα που καθιστά πολύπλοκη την παρουσίασή τους, ειδικά όσο αυξάνεται το μέγεθός τους.



## 3.3 Εκτέλεση, Αναφορές και Παρουσίαση Μοντέλου

### 3.3.1 Γραφικά στοιχεία και Γραφήματα

Το λογισμικό Arena παρέχει στο χρήστη μια πληθώρα επιλογών και δυνατοτήτων σχετικά με την οπτική αναπαράσταση στοιχείων του μοντέλου όταν αυτό τρέχει. Τα γραφικά αλλά και τα διάφορα γραφήματα έχουν πρωταρχικό στόχο την ευκολότερη κατανόηση του μοντέλου από τα άτομα στα οποία (συνήθως) απευθύνεται η μελέτη, αλλά μπορούν επίσης να βοηθήσουν σημαντικά στη διαπίστωση της προγραμματιστικά σωστής (ή και όχι) λειτουργίας του μοντέλου (verification & validation όπως έχει αναφερθεί). Πρόσβαση στις σχετικές επιλογές παρέχεται από τη γραμμή εργαλείων Animation.



Εικόνα 7 - Γραμμή εργαλείων Animation

Ο μελετητής μπορεί από εκεί να τροποποιήσει την εμφάνιση των ουρών, των οντοτήτων, να δημιουργήσει γραφήματα ποικίλων ειδών, να μοντελοποιήσει συστήματα μεταφοράς αγαθών και πρώτων υλών (transporters, conveyors), ακόμα και να εισάγει κάποιο ρολόι στο μοντέλο που να αναδεικνύει το πέρασμα του χρόνου καθώς αυτό εκτελείται. Το πρόγραμμα παρέχει αρκετά έτοιμα σχέδια προς χρήση σε οργανωμένες «βιβλιοθήκες» (picture libraries), που επιπλέον τροποποιούνται πολύ εύκολα για να καλύψουν τις ανάγκες κάθε μοντέλου.

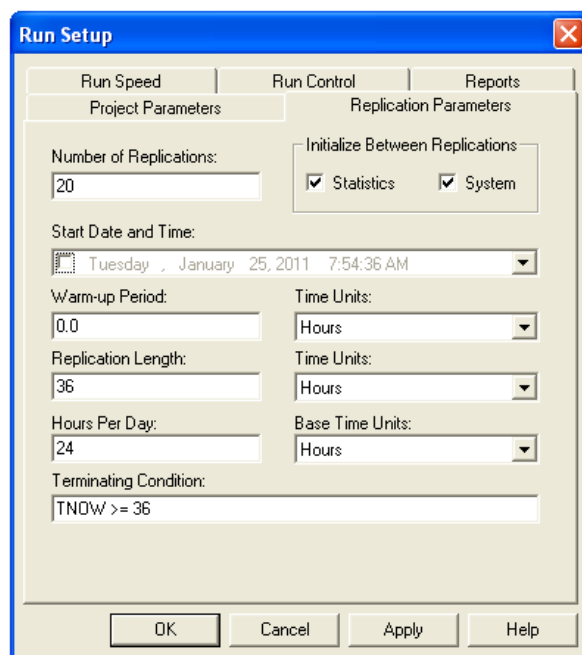
### 3.3.2 Παράμετροι Εκτέλεσης

Όλες οι επιλογές γύρω από την εκτέλεση του πειράματος και των επαναλήψεων βρίσκονται στο μενού Run > Setup του ARENA. Ο αναλυτής μπορεί από εδώ να ορίσει τη διάρκεια κάθε “τρέξιματος”, τον αριθμό των επαναλήψεων που θα γίνουν, αλλά και να κάνει ρυθμίσεις απαραίτητες για τη σωστή λειτουργία κάθε μοντέλου, όπως οι μονάδες χρόνου και η συνθήκη τερματισμού των επαναλήψεων. Ακολουθεί μια πιο αναλυτική περιγραφή των διαθέσιμων επιλογών στο υπομενού αυτό.

Στην καρτέλα Project Parameters ο χρήστης μπορεί να εισάγει στοιχεία όπως τίτλος μελέτης και περιγραφή αυτής, καθώς και το όνομα του αναλυτή. Παράλληλα μπορούν να επιλεγθούν τα βασικά χωρία στα οποία θα επικεντρωθούν τα στατιστικά στην αναφορά μετά την εκτέλεση του μοντέλου (ουρές, κόστη, διεργασίες κ.ά.).

Στην καρτέλα Replication Parameters, που διακρίνεται και στην εικόνα, ο μελετητής μπορεί να επιλέξει τον αριθμό των επαναλήψεων. Επίσης έχει μια σειρά επιλογών που αφορούν στην εκτέλεση του πειράματος: μονάδες χρόνου, περίοδος «ζεστάματος» εκτέλεσης και χρονική διάρκεια επανάληψης, καθώς και να ορίσει – αν το επιθυμεί – συγκεκριμένη ώρα και ημερομηνία για το «τρέξιμο» του μοντέλου. Σημειώνεται ότι η χρησιμότητα της περιόδου «ζεστάματος» της εκτέλεσης (warm-up period) έγκειται στην χρήση και εκκαθάριση με το πέρας αυτής της περιόδου των στατιστικών συσσωρευτών και μετρητών, αφήνοντας την επίδραση τυχόν άτυπων αρχικών συνθηκών να εξαφανιστεί σταδιακά. Το χωρίο της συνθήκης τερματισμού (Terminating Condition) επιτρέπει στον χρήστη να καθορίσει πολύπλοκους ή και ανεξαρτήτως χρόνου κανόνες τερματισμού. Είναι βασικό

συστατικό της μοντελοποίησης ο σχεδιασμός του τρόπου που λήγει μια επανάληψη και ο μελετητής πρέπει πάντα να δίνει αρκετή προσοχή στη θέσπιση των κανόνων τερματισμού.



Εικόνα 8 - Πλαίσιο Διαλόγου «Run Setup»

Στις υπόλοιπες καρτέλες οι επιλογές που παρέχονται χρησιμοποιούνται σπανιότερα, σε ειδικές περιπτώσεις. Αξίζει να αναφερθούμε στην επιλογή Run Speed που επιτρέπει στο χρήστη να μεταβάλλει τον χρονικό πολλαπλασιαστή του προγράμματος κατά το «τρέξιμο» ενός μοντέλου. Μειώνοντας την ταχύτητα αυτή γίνονται ευκολότερα αντιληπτά όλα τα συστατικά των γραφικών και γραφημάτων που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια των εκτελέσεων.

### 3.3.3 Εκτέλεση και Αναφορές

Αφού έχει ολοκληρωθεί η βασική δομή του μοντέλου, πρέπει να ελεγχθεί η δομική του ακεραιότητα. Το Arena εκτελεί αυτόματα τον έλεγχο αυτό την πρώτη φορά που ο χρήστης επιχειρεί να τρέξει ένα μοντέλο, παρόλα αυτά γίνεται πολύ εύκολα ανά πάσα στιγμή από την επιλογή Run > Check Model ή με το πλήκτρο F4. Αν υπάρχουν σφάλματα, το πρόγραμμα τα εντοπίζει και ενημερώνει το χρήστη σχετικά, ενώ παρέχει και βοήθεια για την επίλυσή τους. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή και ως debugging.



Εικόνα 9 - Γραμμή Εργαλείων «Run Interaction»

Στην εργαλειοθήκη Run Interaction βρίσκονται τα πλήκτρα ελέγχου της εκτέλεσης του πειράματος. Μοιάζουν αρκετά με κουμπιά που απαντώνται σε συσκευές (ή και προγράμματα) αναπαραγωγής μουσικής αφενός γιατί εκτελούν αντίστοιχες λειτουργίες και αφετέρου για λόγους ευκολίας. Ο χρήστης μπορεί να εκκινήσει τις επαναλήψεις, να παύσει την εξέλιξη ανά πάσα στιγμή και, φυσικά, να τερματίσει την εκτέλεση (πρόωρα). Παράλληλα έχει την επιλογή βηματικής μετάβασης μεταξύ γεγονότων (ένα κλικ αντιστοιχεί

σε ένα event) ή και να μεταβεί γρήγορα στο τέλος των επαναλήψεων. Η τελευταία επιλογή διακόπτει την εξέλιξη των γραφικών και γίνονται «κρυφά» όλοι οι υπολογισμοί ώστε να εκδοθούν τα αποτελέσματα του πειράματος το γρηγορότερο δυνατό. Η μπάρα που διακρίνεται στα δεξιά της εικόνας επιτρέπει να μεταβάλλεται η ταχύτητα κίνησης των οντοτήτων στο animation του μοντέλου.

Με το πέρας μιας εκτέλεσης επαναλήψεων το λογισμικό Arena δημιουργεί αυτόματα αναφορές που περιέχουν όλα τα στατιστικά στοιχεία που ο χρήστης επέλεξε από τις επιλογές Run > Control > Project Parameters, καθώς κι εκείνα που προκύπτουν από μετρητές και στατιστικούς συσσωρευτές (counters, tallies) που τοποθετήθηκαν στο μοντέλο. Το πρόγραμμα δημιουργεί εξ ορισμού κάποιες αναφορές για τις οντότητες, τους πόρους, τις ουρές αναμονής και τις διεργασίες, όπως ο μέσος χρόνος αναμονής σε ουρά, απασχόληση πόρων κ.ά. Τα στοιχεία που προκύπτουν από «παρεμβάσεις» του μελετητή αναρτώνται σε ξεχωριστή ενότητα με τίτλο «User specified».

Count	Value
Cars Enter A	2547.00
Cars Enter C	2184.00
Cars Enter C Alt	2965.00
Cars Enter F	752.00
Cars Enter F Alt	1543.00
Cars Enter H	4034.00
Cars Enter H Alt	1493.00
Cars Enter I	2037.00
Cars Enter I Alt	1205.00
Cars Enter O	41.0000
Cars Enter O Alt	636.00
Cars Enter S1	6157.00
Cars Enter S2	6226.00
Cars Enter S3	6541.00
Cars exit through RCC	0.00
Cars exit through RCH	0.00
Cars Exit through RRS	3.0000
Cars exit through RRA	3.0000
Cars exit through T	6990.00
Cars exit through U	8356.00
Cars exit through V	7525.00
Cars exit through W	5428.00
Cars exit through X	5428.00
Cars exit through Y	4631.00
Cars pass Safe 1	8971.00
Cars pass Safe 2	12826.00
Cars pass Safe 3	1077.00
Cars pass Safe 4	2469.00
Cars pass Safe 5	8367.00
Cars pass Safe 6	4631.00

Εικόνα 10 - Αναφορά Εκτέλεσης

Οι αναφορές εκδίδονται με τη βοήθεια της πλατφόρμας Crystal Reports, προϊόν της SAP. Αυτές εμφανίζονται σε ένα νέο παράθυρο (εντός του προγράμματος) και είναι οργανωμένες σε δενδρική μορφή όπως φαίνεται στην εικόνα. Ο χρήστης μπορεί πολύ εύκολα να περιηγηθεί και να δει τα αποτελέσματα στις διάφορες ενότητες «ενδιαφέροντος» του μοντέλου: οντότητες, διεργασίες, ουρές, πόροι κ.ά. Επίσης έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύσει την αναφορά σε μια πληθώρα τύπων αρχεία και να την εκτυπώσει.

### 3.3.4 Διάκριση Στατιστικών Στοιχείων

Πολλοί από τους αριθμούς στις αναφορές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως στατιστικά tally, time persistent ή counter. Ακολουθεί ορισμός και διάκριση των ειδών αυτών, ώστε να αποφεύγεται η σύγχυση τους.

Στατιστικά τύπου tally (συσσωρευτές) αποκαλούνται αυτά που προκύπτουν από την μέση, ελάχιστη, ή μέγιστη τιμή ενός συνόλου αριθμών. Για παράδειγμα, ο μέσος και μέγιστος συνολικός χρόνος παραμονής στο σύστημα είναι στατιστικά tally, καθώς είναι η μέση και μέγιστη τιμή αντίστοιχα, των συνολικών χρόνων παραμονής οντοτήτων, που εξήχθησαν του συστήματος κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης. Πολλές φορές αποκαλούνται και στατιστικά διακριτού χρόνου (discrete time statistics), αφού η κατηγοριοποίηση των τιμών από τις οποίες προκύπτουν είναι διακριτή, ακολουθώντας τη σειρά με την οποία έγιναν οι παρατηρήσεις (γεγονότα).

Time persistent, ή αλλιώς στατιστικά συνεχούς χρόνου. Είναι αυτά που προκύπτουν παίρνοντας το χρονικό μέσο, ελάχιστο ή μέγιστο του γραφήματος μιας μεταβλητής κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, όπου ο χρόνος είναι συνεχής και απεικονίζεται στον οριζόντιο άξονα. Ο μέγιστος και μέσος αριθμός οντοτήτων που βρίσκονται σε μια ουρά είναι μεταβλητές συνεχούς χρόνου, όπως επίσης και η στιγμιαία χρησιμοποίηση – εκμετάλλευση πόρων.

Τα στατιστικά τύπου counter, ή απλούστερα μετρητές, αποτελούν αθροιστικά σύνολα. Συχνά είναι απλά απαρίθμηση συμβάντων, για παράδειγμα πόσες οντότητες εξήχθησαν συνολικά από το σύστημα, μπορεί όμως να είναι και άθροισμα άλλων μεγεθών (πέραν της μονάδας), όπως ο αθροιστικός χρόνος αναμονής σε μια ουρά (accumulated waiting time), που προκύπτει από την πρόσθεση των χρόνων αναμονής κάθε οντότητας στην ουρά αυτή.

Τέλος, ένα λιγότερο χρησιμοποιούμενο στατιστικό, αλλά άξιο αναφοράς είναι οι συχνότητες, frequencies. Οι συχνότητες καταγράφουν τη συχνότητα εμφάνισης σε βάθος χρόνου μιας έκφρασης ή μιας κατάστασης πόρου (αδρανής, κατειλημμένος, εκτός λειτουργίας), στα πλαίσια που ορίζει ο χρήστης για την έκφραση ή την κατάσταση. Όλες οι συχνότητες ορίζονται από σχετικό module στο panel Advanced Process του Arena.

## 3.4 Ανάλυση Δεδομένων

Η στοχαστικότητα που διακρίνει κάθε μοντέλο προσομοίωσης ενός πραγματικού συστήματος καθιστά απαραίτητη την εξονυχιστική αξιολόγηση και ανάλυση των δεδομένων που τροφοδοτούν το μοντέλο, αλλά και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την προσομοίωση. Στο κεφάλαιο αυτό θα σχολιαστεί η ανάλυση των δεδομένων αυτών και θα παρουσιαστούν τα εργαλεία που περιλαμβάνονται στο πακέτο Arena που διευκολύνουν τον αναλυτή στην αποστολή αυτή.

### 3.4.1 Input Analysis

Τα δεδομένα εισόδου είναι βασικά συστατικά μιας μελέτης προσομοίωσης. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για την αρχικοποίηση των παραμέτρων και μεταβλητών ή και για την κατασκευή μοντέλων των διαφόρων συστατικών του υπό μελέτη συστήματος. Κάποια δεδομένα εισόδου είναι εύκολα στον προσδιορισμό τους, όπως ο αριθμός των πόρων, το επιθυμητό επίπεδο αποθέματος, ποσότητες αναπαραγγελιών κ.ά. Χρόνοι εξυπηρέτησης,

και ενδιάμεσοι χρόνοι μεταξύ βλαβών από την άλλη, είναι πιο τυχαία μεγέθη από τη φύση τους και για τη μοντελοποίηση τους χρησιμοποιούνται στατιστικές κατανομές και πιθανότητες. Τέτοια τυχαία δεδομένα πρέπει πρώτα να μοντελοποιηθούν ως μεταβλητές και έπειτα οι τιμές τους προκύπτουν από γεννήτριες τυχαίων αριθμών (RNGs), όπως περιγράφηκε νωρίτερα.

Η διαδικασία μοντελοποίησης τυχαίων συνιστωσών του συστήματος καλείται *input analysis* (ανάλυση δεδομένων εισόδου)<sup>1</sup>. Από μεθοδολογικής σκοπιάς, είναι πολλές φορές εύχρηστος ο διαχωρισμός της ανάλυσης αυτής σε μια σειρά από βασικά στάδια:

1. Συλλογή δεδομένων. Περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων για τα χαρακτηριστικά του συστήματος. Απαραίτητη για την αποτελεσματική μοντελοποίηση, αλλά παράλληλα και το πρώτο στάδιο που περιλαμβάνει ρίσκο, απορρέον είτε από την έλλειψη διαθέσιμων δεδομένων, είτε από παρωχημένα ή λανθασμένα υπάρχοντα.
2. Ανάλυση δεδομένων, που ακολουθεί τη συλλογή. Ο μελετητής μπορεί να ελέγξει τα δεδομένα πριν τη δημιουργία του μοντέλου. Στο στάδιο αυτό περιλαμβάνεται ανάλυση μέσω διαφόρων εμπειρικών στατιστικών μεθόδων, όπως ιστογράμματα, μέση και τυπική απόκλιση καθώς και συσχετισμός με κατανομές.
3. Μοντελοποίηση δεδομένων. Αποτελεί το επίκεντρο της ανάλυσης δεδομένων εισόδου. Στο στάδιο αυτό, ένα μοντέλο πιθανοτήτων προσαρμόζεται στα εμπειρικά δεδομένα που συλλέχθηκαν. Παραδείγματα εμπειρικών παρατηρήσεων είναι ο ρυθμός άφιξης οντοτήτων σε μια ουρά και η συχνότητα βλαβών σε μία μηχανή. Ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων που θα μοντελοποιηθούν το στάδιο αυτό χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες, ανεξάρτητες και εξηρημένες παρατηρήσεις. Οι ανεξάρτητες παρατηρήσεις του συστήματος μοντελοποιούνται ως σειρές IID τυχαίων μεταβλητών. Τα εξηρημένα δεδομένα μοντελοποιούνται ως τυχαίες διεργασίες με χρονική εξάρτηση. Όσον αφορά το «ταίριασμα» κατανομών στα εμπειρικά δεδομένα, είναι στην ευχέρεια του μελετητή η επιλογή μεθόδου προσέγγισης.
4. Έλεγχος καλής εφαρμογής των επιλεχθέντων κατανομών. Η καλή εφαρμογή εκτιμάται μέσα από μια σειρά στατιστικών ελέγχων. Τα τεστ  $\chi^2$  και *Kolmogorov – Smirnov* είναι τα δημοφιλέστερα για τον έλεγχο αυτό, και χρησιμοποιούνται από το *Arena Input Analyzer*, που θα παρουσιασθεί παρακάτω.

### 3.4.2 Arena Input Analyzer

Αποτελεί συνοδευτικό πρόγραμμα στο πακέτο λογισμικού προσομοίωσης *Arena* και η λειτουργία του έγκειται στη παροχή βοήθειας στο μελετητή, για τη διεκπεραίωση των δύο τελευταίων σταδίων της ανάλυσης δεδομένων εισόδου που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Αναλαμβάνει την προσαρμογή των δεδομένων σε κατανομές, καθώς και τον έλεγχο αυτής μέσω σχετικών τεστ.

Ο χρήστης μπορεί να προσδιορίσει συγκεκριμένες κατανομές και να ζητήσει από το *Input Analyzer* να επιλέξει τις ορθότερες παραμέτρους αυτών ή εναλλακτικά, ο χρήστης μπορεί να ζητήσει την επιλογή και της κατανομής και των παραμέτρων αυτής. Το *Input Analyzer* είναι συμβατό με όλες της κατανομές που χρησιμοποιεί το *Arena* και τις παραμέτρους τους.

Για να εκτελέσει τις διεργασίες αυτές το Input Analyzer ο χρήστης πρέπει αρχικά να τροφοδοτήσει τις τιμές στο πρόγραμμα. Αυτό γίνεται μέσω ενός αρχείου κειμένου ASCII, που περιέχει όλα τα δεδομένα. Οποιοσδήποτε κειμενογράφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό, αρκεί να υπάρχει ένα κενό ανάμεσα σε κάθε τιμή, και να επιλεγθεί το ανάλογο format αποθήκευσης. Για μεγαλύτερη ευκολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί το Notepad των Windows.

Πίνακας 1 - Στατιστικές Κατανομές στο Arena

Κατανομή	Ονομασία στο Arena	Παράμετροι του Arena
Εκθετική	EXPO	Mean
Κανονική	NORM	Mean, StdDev
Τριγωνική	TRIA	Min, Mode, Max
Ομοιόμορφη	UNIF	Min, Max
Erlang	ERLA	ExpoMean, k
Beta	BETA	Beta, Alpha
Γάμμα	GAMM	Beta, Alpha
Johnson	JOHN	G, D, L, X
Λογαριθμική Κανονική	LOGN	LogMean, LogStdDev
Poisson	POIS	Mean
Weibull	WEIB	Beta, Alpha
Συνεχής	CONT	P1,V1,P2,V2, ....
Διακριτή	DISC	P1,V1,P2,V2, ....

Το πρόγραμμα εκκινεί είτε από το αρχικό μενού του λειτουργικού συστήματος, είτε μέσα από το Arena (μέσω Tools > Input). Επιλέγοντας «New» στο Input Analyzer και ανοίγοντας το αρχείο των δεδομένων, δημιουργείται ένα νέο παράθυρο με πληροφορίες και στατιστική ανάλυση των δεδομένων που μόλις εισήχθησαν καθώς και ένα ιστόγραμμα των τιμών τους.

Στο μενού Fit του προγράμματος, υπάρχουν επιλογές για την προσαρμογή συγκεκριμένων στατιστικών κατανομών στα δεδομένα. Μετά την επιλογή μιας κατανομής, το Input Analyzer σχεδιάζει την συνάρτησή της πάνω στο ιστόγραμμα και υπολογίζει τις καταλληλότερες μεταβλητές για την εφαρμογή της. Στο κάτω μέρος του παραθύρου εμφανίζονται οι μεταβλητές μαζί με την πλήρη έκφραση που χρειάζεται για την αναπαράσταση της κατανομής. Ο χρήστης μπορεί πολύ εύκολα να τη μεταφέρει εύκολα στο Arena επιλέγοντας Edit > Copy Expression. Παράλληλα, το Input Analyzer εφαρμόζει τα στατιστικά  $\chi^2$  και *Kolmogorov – Smirnov*, και εμφανίζει τα αποτελέσματά τους ώστε να κρίνει ο αναλυτής την καταλληλότητα της επιλεγμένης κατανομής

Αν ο χρήστης δεν έχει προτίμηση στην κατανομή που θα εφαρμοστεί, το Input Analyzer αναλαμβάνει να μελετήσει την εφαρμογή όλων των διαθέσιμων (θεωρητικών) κατανομών και να αποφανθεί για την καταλληλότερη. Αυτό γίνεται μέσω της επιλογής Fit > Fit All και εμφανίζει στο τέλος μια σύνοψη με το μέσο τετραγωνικό σφάλμα κάθε κατανομής.

Ποτέ δεν υπάρχει «καλύτερη» κατανομή. Τα διαφορετικά στατιστικά τεστ μπορεί να αναδεικνύουν διαφορετικά αποτελέσματα καταλληλότητας. Στην προσπάθεια επιλογής ο μελετητής πρέπει να λάβει υπόψη έναν αριθμό παραγόντων. Τέτοιοι είναι η ανάγκη (ή όχι)

για φραγμένη κατανομή και η ευκολία στην μετέπειτα μεταβολή των παραμέτρων μιας κατανομής.

### 3.4.3 Output Analysis

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων εξόδου ασχολείται με το σχεδιασμό των επαναλήψεων, τον υπολογισμό στατιστικών από αυτές και τη γραπτή και εικονική παρουσίασή τους. Εκτός από ελάχιστες απλές περιπτώσεις, όπως το πείραμα του Monte Carlo, οι σχέσεις των πιθανοτήτων και οι κανόνες που εφαρμόζονται σε ένα μοντελοποιημένο σύστημα είναι πολύ πολύπλοκοι για να καταγραφούν και να αναλυθούν τα αποτελέσματά τους με κλασικές αναλυτικές μεθόδους. Συνεπώς, εφαρμόζεται ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την προσομοίωση, γνωστή ως Output Analysis. Τα βασικά ζητήματα στα οποία απευθύνεται αυτή η ανάλυση είναι τα εξής:

- **Σχεδιασμός επαναλήψεων.** Ένας σωστός σχεδιασμός των replications σε μια μελέτη προσομοίωσης επιτρέπει στον αναλυτή να αποκομίσει το βέλτιστο αριθμό πληροφοριών με το λιγότερο υπολογιστικό κόστος. Εν προκειμένω, στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του αριθμού επαναλήψεων αλλά με παράλληλη εξασφάλιση αξιόπιστων στατιστικών.
- **Εκτίμηση μέτρων απόδοσης.** Τα στατιστικά από τις επαναλήψεις παρέχουν τα δεδομένα για τον υπολογισμό εκτιμήσεων και διαστήματος εμπιστοσύνης για σημαντικές παραμέτρους του συστήματος. Κρίσιμοι παράγοντες της εκτίμησης αυτής είναι το μέγεθος του δείγματος και η ανεξαρτησία των παρατηρήσεων που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό στατιστικών.
- **Ανάλυση συστήματος και πειραματισμός.** Στόχος των στατιστικών μελετών και εκτιμήσεων είναι η κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος και η δημιουργία προβλέψεων απόδοσης σε διαφορετικές συνθήκες – σενάρια λειτουργίας. Ο πειραματισμός με διαφορετικούς σχεδιασμούς του συστήματος μπορεί να αποσαφηνίσει τα σχετικά τους οφέλη και να τονίσει πιθανά μειονεκτήματά τους.

Όσον αφορά τη στατιστική ανάλυση των εκτελέσεων και τον υπολογισμό της απόδοσης των στοιχείων του συστήματος, το Arena υπολογίζει πολλά στατιστικά στοιχεία και μετρητές «αυτόματα» κατά την έκδοση αναφορών, όπως έχει σημειωθεί σε προηγούμενη παράγραφο. Πολλές φορές οι αναλύσεις αυτές δεν είναι αρκετές, ειδικά στη σύγκριση διαφορετικών σεναρίων, οπότε και ο μελετητής μπορεί να χρησιμοποιήσει επιπλέον εργαλεία για την ανάλυση του συστήματος.

### 3.4.4 To Arena Output Analyzer

Είναι και αυτό μια ξεχωριστή εφαρμογή που περιλαμβάνεται στο πακέτο λογισμικού προσομοίωσης Arena. Το Output Analyzer χρησιμοποιεί αρχεία εξόδου που δημιουργούνται αυτόματα από το Statistics module του Arena. Ενώ κάποιες από τις λειτουργίες του γίνονται και στο περιβάλλον του βασικού προγράμματος (όπως ο καθορισμός εύρους εμπιστοσύνης και εκτίμηση μέτρων απόδοσης), το Output Analyzer προσφέρει επιπλέον δυνατότητες, και η στατιστική σύγκριση δύο σεναρίων είναι μία από τις βασικότερες.



Ανοίγοντας το Output Analyzer και επιλέγοντας File > New μπορούμε να επιλέξουμε τα αρχεία δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν. Αυτά αποθηκεύονται σε ομάδες δεδομένων και ο χρήστης μπορεί να σώσει την κάθε ομάδα ώστε να μη χρειάζεται η επιλογή τους κάθε φορά που εκκινεί το πρόγραμμα. Για κάθε ομάδα δεδομένων που προστίθεται (μέσω της επιλογής Add) υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης δύο αρχείων, τα οποία να ανήκουν σε διαφορετικά μοντέλα (ή σενάρια του ίδιου): Data File A και Data File B. Έπειτα, ο χρήστης έχει μια πληθώρα επιλογών από το μενού Analyze του προγράμματος.

Η επιλογή Batch / Truncate μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ομαδοποίηση δεδομένων που προέκυψαν από ανεξάρτητες παρατηρήσεις. Για κάθε τέτοια ενέργεια το Output Analyzer δημιουργεί μια αναφορά που ενημερώνει το χρήστη για τις παραμέτρους της ομαδοποίησης και την εκτιμώμενη διακύμανση μεταξύ batches.

Η εκτίμηση του απαιτούμενου εύρους εμπιστοσύνης των (ομαδοποιημένων) δεδομένων μπορεί να γίνει μέσω της επιλογής «Confidence Interval On Mean». Το Output Analyzer διαθέτει δύο τρόπους για την επίτευξη αυτού: Classical ή Standardized Time Series.

Το μενού Analyze παρέχει επίσης τις επιλογές «Compare Means» και «Compare Variances» (Σύγκριση Μέσων & Διακύμανσης). Εξαιρετικά χρήσιμες για την μελέτη μέσων όρων και διακυμάνσεων μεταξύ δεδομένων από διαφορετικούς πληθυσμούς (και κατ' επέκταση σενάρια), προσφέρουν στατιστική σύγκριση αυτών. Το Output Analyzer παρέχει αριθμητικές πληροφορίες αλλά και γραφική αναφορά για τα αποτελέσματα της σύγκρισης.

Τέλος, για να μετρηθεί η στατιστική εξάρτηση μεταξύ των τιμών ενός δείγματος, ο αναλυτής μπορεί να χρησιμοποιήσει την επιλογή «Correlogram». Αυτή υπολογίζει την αυτοσυσχέτιση (autocorrelation) του δείγματος και εμφανίζει τις αριθμητικές τιμές των σημείων αυτοσυσχέτισης, καθώς και το γράφημά τους.

#### **3.4.5 Παραμετρική Ανάλυση Σεναρίων (Process Analyzer – PAN)**

Ο όρος παραμετρική ανάλυση αφορά στη διαδικασία πολλαπλών εκτελέσεων ενός μοντέλου με διαφορετικές παραμέτρους και μεταβλητές σε κάθε «τρέξιμο», και η μετέπειτα σύγκριση των αποτελεσμάτων. Σκοπός της παραμετρικής ανάλυσης είναι η κατανόηση του αντίκτυπου της αλλαγής παραμέτρων στη συμπεριφορά του συστήματος. Είναι συχνά απαραίτητη η ανάλυση αυτή κατά την προσπάθεια εύρεσης μιας βέλτιστης λύσης – σεναρίου ή ένας συνδυασμός αυτών, στο πρόβλημα το οποίο μελετάται.

Το Arena έρχεται με ένα ακόμα εργαλείο, το Process Analyzer (PAN), το οποίο βοηθάει τον χρήστη στα εξής:

- Πρακτική και εύκολη αλλαγή μεταβλητών του μοντέλου για την απεικόνιση διαφορετικών σεναρίων. Υπό κανονικές συνθήκες, οι αλλαγές σε ένα μοντέλο και η όλη διεργασία αποθήκευσης ξεχωριστών αρχείων για κάθε σενάριο είναι διαδικασία επίπονη και επισφαλής.
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με στατιστικά έγκυρες μεθόδους, ώστε να διαγνωσθούν αδυναμίες και πλεονεκτήματα σε κάθε περίπτωση, καθώς και αναπαράσταση των αποτελεσμάτων με χρήση γραφημάτων.



Το PAN χρησιμοποιεί αρχεία Arena με την κατάληξη «.p». Τα αρχεία αυτά δημιουργούνται αυτόματα την πρώτη φορά που εκτελείται έλεγχος του μοντέλου. Ένα σενάριο για το Process Analyzer είναι ο συνδυασμός ενός τέτοιου αρχείου με μια σειρά τιμών για τον έλεγχο εισόδων (input controls) και μια ομάδα μεταβλητών απόκρισης εξόδου (output responses). Μια συλλογή από τέτοια σενάρια αποτελεί ένα PAN project, και αποθηκεύεται σε ξεχωριστά αρχεία με την κατάληξη «.pan».

Ο ορισμός των input controls γίνεται από τις υπάρχουσες μεταβλητές και τους πόρους του μοντέλου (variables & resources). Η επιλογή των αποκρίσεων εξόδου γίνεται από τα αποτελέσματα του μοντέλου (outputs), όπως αυτά διαμορφώνονται από το Arena. Αφού ο χρήστης ορίσει τις μεταβλητές εισόδου και τα θεμιτά αποτελέσματα που θα μελετηθούν το PAN «τρέχει» το μοντέλο και υπολογίζει τα ζητούμενα για κάθε σενάριο. Έτσι για παράδειγμα μπορεί να μελετηθεί η επίδραση της αλλαγής του αριθμού υπαλλήλων που εξυπηρετούν, των μηχανημάτων που είναι διαθέσιμα σε ένα σύστημα κ.ά.

Αφού ο αναλυτής εκτελέσει όσα διαφορετικά σενάρια κρίνει απαραίτητα, μπορεί να δημιουργήσει γραφήματα των αποτελεσμάτων για ευκολότερη απεικόνιση. Αυτό γίνεται μέσω της επιλογής Insert > Chart. Οι διαθέσιμοι τύποι γραφημάτων είναι πολυάριθμοι, ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων και τις ανάγκες της παρουσίασης.

#### 3.4.6 OptQuest

Το εργαλείο OptQuest, προϊόν της OptTek Systems Inc. παρέχεται μαζί με την πλήρη έκδοση του λογισμικού Arena. Αφορά στην παραμετρική ανάλυση σεναρίων και έχει μεγάλη συγγένεια με το Process Analyzer όσον αφορά το έργο που επιτελεί.

Η ουσιαστική διαφορά, και παράλληλα ανυπολόγιστη βοήθεια προς το μελετητή, έγκειται στον τρόπο με τον οποίο το OptQuest προσεγγίζει τη βέλτιστη κατάσταση του συστήματος. Αντίθετα με το PAN, όπου ο χρήστης πρέπει ο ίδιος να «παίξει» με τις μεταβλητές και να συγκρίνει μόνος του τα αποτελέσματα, το OptQuest αναλαμβάνει να μεταβάλλει το ίδιο όσες παραμέτρους επιλεχθούν, σε ότι εύρη τιμών οριστούν και λαμβάνοντας υπόψη τους εισαχθέντες περιορισμούς, να αναδείξει μια βέλτιστη λύση.

Σκόπιμα αναφέρεται «μια» βέλτιστη λύση και όχι «η» βέλτιστη λύση. Κύριο πρόβλημα στην παραμετρική ανάλυση πολύπλοκων μοντέλων είναι ο χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση. Όταν ο αριθμός των επαναλήψεων είναι μεγάλος και το εύρος των πιθανών τιμών των παραμέτρων είναι επίσης μεγάλο, μπορεί να χρειαστούν ώρες, μέρες ή και μήνες για την πλήρη διερεύνηση όλων των πιθανών σεναρίων. Το OptQuest χρησιμοποιεί ιδιαίτερα heuristics, γνωστά ως tabu search και scatter search για να μεταβαίνει «έξυπνα» μεταξύ τιμών, προσπαθώντας να βρει γρήγορα μια καλή λύση για το σύστημα. Πράγματι, μπορεί να «βρει» μια καλή λύση σε διάστημα λεπτών.

Ανοίγοντας την εφαρμογή, μέσω της επιλογής Tools > OptQuest από το περιβάλλον εργασίας, το OptQuest εξετάζει το υπάρχον μοντέλο στο Arena. Πατώντας New ο χρήστης καλείται να ορίσει πρώτα τα σημεία ελέγχου, απόρροια των μεταβλητών του συστήματος. Για κάθε ένα control εισάγεται ανώτερη και κατώτερη τιμή, καθώς και ο τύπος της μεταβλητής, διακριτή ή συνεχή. Έπειτα ο μελετητής μπορεί να εισάγει περιορισμούς μεταξύ των μεταβλητών ελέγχου. Στη συνέχεια και από τα δεδομένα εξόδου (outputs) του

μοντέλου, πρέπει να ορισθεί ο στόχος της ανάλυσης και τυχόν επιπλέον περιορισμοί, οι οποίοι να αφορούν τα responses. Τέλος, ο χρήστης επιλέγει συγκεκριμένο αριθμό εκτελέσεων ή χρονική διάρκεια για την εκτέλεση της βελτιστοποίησης. Ορίζεται επίσης η ακρίβεια κάθε εκτέλεσης, μέσω του αριθμού επαναλήψεων.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία, το OptQuest παρουσιάζει τη βέλτιστη κατάσταση όσον αφορά τις μεταβλητές και τις αποκρίσεις. Σε ένα ξεχωριστό διάγραμμα εμφανίζεται κάθε προσομοίωση που βελτιστοποίησε την κατάσταση, συναρτήσει του χρόνου (αριθμός εκτέλεσης). Ο αναλυτής μπορεί να ζητήσει ανάλυση ευαισθησίας του αποτελέσματος, οπότε παρουσιάζονται όλες οι κοντινές καλές λύσεις από τη βέλτιστη που βρέθηκε.

Συνεπώς, το OptQuest μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμο σε δύο περιπτώσεις: πρώτον, όταν η πολυπλοκότητα του συστήματος και το μέγεθός του είναι τέτοια που καθιστούν χρονοβόρα την παραμετρική ανάλυση όλων των πιθανών σεναρίων ή σε περιπτώσεις που δεν είναι ξεκάθαρο το εύρος των τιμών, στο οποίο πρέπει να κινηθούν οι μεταβλητές για να υπάρξει κάποιο καλό αποτέλεσμα.

# Δεύτερο Μέρος

Εφαρμογή της προσομοίωσης

Ανάλυση μοντέλου

Αποτελέσματα μελέτης

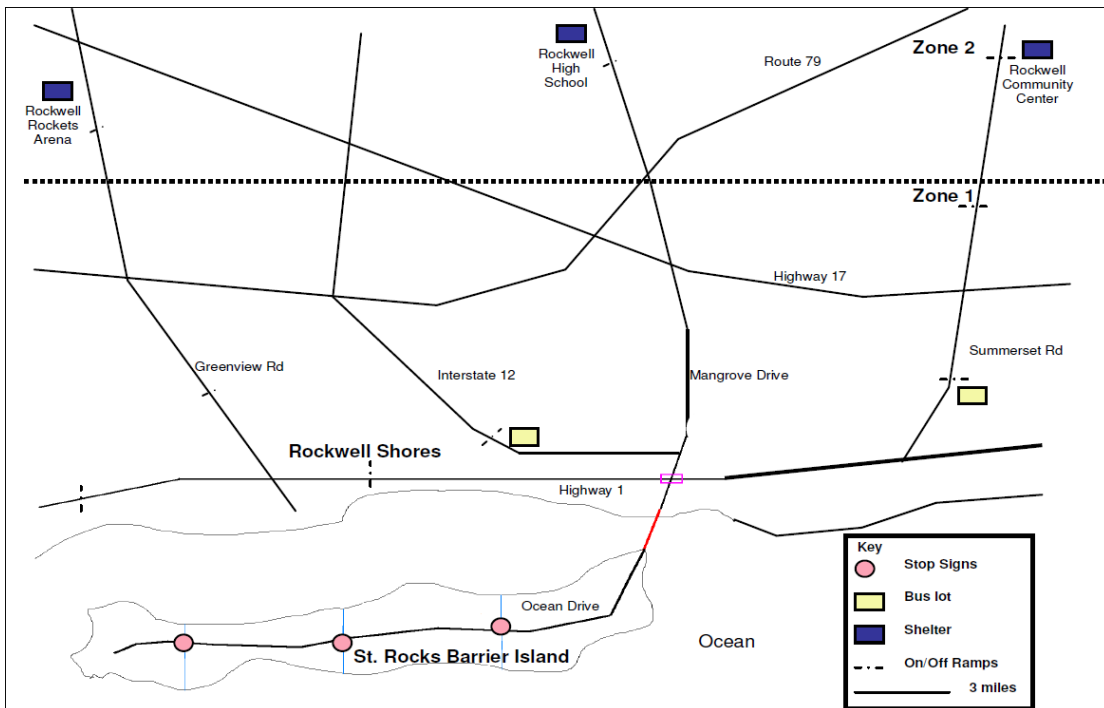
## 4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η παρούσα μελέτη αφορά τη διαδικασία εκκένωσης ενός νησιού και μιας παραλιακής πόλης σε περίπτωση κινδύνου από τυφώνα. Η μελέτη γίνεται με τη χρήση προσομοίωσης και του προγράμματος Rockwell Arena. Αν και το παρόν πρόβλημα είναι φανταστικό, τα στοιχεία προέρχονται από τη περιοχή Florida Keys των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής και το θέμα αποτελεί μέρος του 14<sup>ου</sup> ετήσιου διαγωνισμού προσομοίωσης.

### 4.1 Rockwell Shores και St. Rocks Barrier Island

Οι υπό μελέτη περιοχές, Rockwell Shores και St. Rocks Barrier Island, είναι δημοφιλείς προορισμοί διακοπών. Ειδικά τα τελευταία χρόνια η προσέλευση τουριστών έχει αυξηθεί σημαντικά, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί η ανάγκη επανεξέτασης των τρεχουσών υποδομών και διαδικασιών εκκένωσης από τις Δημοτικές και τις Κρατικές αρχές. Οι υποδομές υπό εξέταση αφορούν γενικά το οδικό σύστημα, αλλά και πιο ειδικά τη γέφυρα που ενώνει το St. Rocks Barrier Island με το Rockwell Shores, τη χωρητικότητα των καταφυγίων και τη διαθεσιμότητα προσωπικού σε περίπτωση εκκένωσης.

Οι τυφώνες είναι ο κύριος λόγος εκκένωσης στη περιοχή. Με ανύψωση τριών μέτρων (3m) ακόμα και ένας τυφώνας επιπέδου ένα (1) θα μπορούσε να καλύψει εξολοκλήρου το St. Rocks island. Το ύψος της ακτογραμμής των Rockwell Shores κυμαίνεται μεταξύ τριών με πέντε μέτρων (3-5m). Επομένως, σε περίπτωση ισχυρού τυφώνα οι κάτοικοι των Rockwell Shores θα πρέπει να **περάσουν στη Ζώνη 2** για να είναι ασφαλείς. Το ακόλουθο σχεδιάγραμμα αποτυπώνει τις υπό μελέτη περιοχές.



Εικόνα 11 – Χάρτης Rockwell Shores και St. Barrier Island

#### 4.1.1 St.Rocks Barrier Island

Το St.Rocks Barrier Island έχει δύο εμπορικά κέντρα, ένα στην αρχή του νησιού μετά τη γέφυρα που το ενώνει με το Rockwell Shores και ένα στην άλλη άκρη του νησιού. Αυτά τα εμπορικά κέντρα ενώνονται με τον Ocean Drive, τον κεντρικό δρόμο του νησιού συνολικού μήκους 18,67 μιλίων. Ο δρόμος αυτός είναι διπλής κατεύθυνσης με μια λωρίδα ανά κατεύθυνση και υπάρχουν τρεις (3) μεγάλες διασταυρώσεις, όπως φαίνεται στο χάρτη.

Στο νησί διαμένουν 2,567 μόνιμοι κάτοικοι και κατά τη τουριστική περίοδο οι επισκέπτες κυμαίνονται από 3,500 έως 50,000. Οι κατοικίες είναι διασκορπισμένες σε όλο το νησί και υπάρχουν μικροί επαρχιακοί δρόμοι που καταλήγουν μέσω διασταυρώσεων στον Ocean Drive.

Η πρόσβαση στο St.Rocks Barrier Island μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους :

1. Οδικώς, μέσω της γέφυρας που ξεκινά στη διασταύρωση των δρόμων Highway 1 και Mangrove Drive στο Rockwell Shores και καταλήγει στο πρώτο Εμπορικό κέντρο του νησιού. Η γέφυρα αυτή είναι διπλής κατεύθυνσης με μια λωρίδα ανά κατεύθυνση και έχει μήκος 3,34 μιλίων.
2. Ακτοπλοϊκώς, με ferry boat.
3. Αεροπορικώς, μέσω του μικρού αεροδρομίου στο κέντρο του νησιού.

Από τους τρεις αυτούς τρόπους μετακίνησης μόνο ο πρώτος είναι διαθέσιμος σε περίπτωση εκκένωσης.

#### 4.1.2 Rockwell Shores

Το Rockwell Shores είναι μία πόλη 40,000 κατοίκων με υποδομές να υποδεχθεί περίπου 20,000 τουρίστες. Το 60% του μόνιμου πληθυσμού βρίσκεται στο κέντρο της πόλης, το οποίο είναι δυτικά του Mangrove Drive, το 20% των μόνιμων κατοίκων έχει κατοικίες στη παραλιακή περιοχή, ενώ το υπόλοιπο 20% κατοικεί την ανατολική περιοχή της πόλης. Οι παραθεριστές κυρίως μένουν σε ξενοδοχεία στην παραλιακή περιοχή.

## 4.2 Τρέχουσα διαδικασία εκκένωσης

Σε περίπτωση επερχόμενου τυφώνα, αρχικά οι δημοτικές αρχές θα σπεύσουν να ενημερώσουν τους κατοίκους μέσω εκτάκτων δελτίων στα Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης και μεγαφώνων που έχουν εγκατασταθεί τόσο στο Rockwell Shores όσο και στο St.Rocks Barrier Island. Ωστόσο ο ρυθμός με τον οποίο οι κάτοικοι και οι παραθεριστές θα ετοιμαστούν για να εκκενώσουν τη περιοχή διαφέρει. Στατιστικά στοιχεία που συλλέχθηκαν σε προηγούμενα συμβάντα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 2 – Ποσοστό πληθυσμού έτοιμο προς εκκένωση ανά ώρα

Χρόνος πριν το τυφώνα (ώρες)	Ποσοστό των κατοίκων που είναι έτοιμοι για εκκένωση
30-36	7%
25-30	13%
20-25	17%
15-20	26%
10-15	18%
5-10	11%
4-5	7%
3-4	1%
2-3	0%
1-2	0%
0-1	0%

Ωστόσο, σε προηγούμενες εκκενώσεις παρατηρήθηκε ότι μερικοί μόνιμοι κάτοικοι δεν επιχείρησαν να εκκενώσουν τη περιοχή. Αυτοί οι κάτοικοι αποτελούν λιγότερο από το 1% του συνολικού πληθυσμού του St.Rocks Barrier Island και μεταξύ του 7%-10% του πληθυσμού του Rockwell Shores.

Οι κάτοικοι και παραθεριστές που πρόκειται να επιχειρήσουν να εκκενώσουν τη περιοχή, χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα :

Πίνακας 3 – Ποσοστό πληθυσμού με ή χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς

Κατηγορία κατοίκου	Ποσοστό Πληθυσμού	
	St. Rocks Island	Rockwell Shores
Κάτοικοι με πρόσβαση σε ίδια μέσα μεταφοράς	95%	92%
Κάτοικοι χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς	5%	8%

Οι κάτοικοι χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς, θα περιμένουν λεωφορεία σε προκαθορισμένα σημεία για να τους μεταφέρουν σε ένα από τα τρία καταφύγια. Τα καταφύγια αυτά, καθώς και η χωρητικότητά τους περιγράφονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 4 – Χωρητικότητα καταφυγίων

Καταφύγιο	Χωρητικότητα
Rockwell Rockets Arena (RRA)	15,000
Rockwell High School (RHS)	3,000
Rockwell Community Center (RCC)	750

Οι κάτοικοι με ίδια μέσα μεταφοράς θα επιχειρήσουν να μετακινηθούν προς την ενδοχώρα είτε σε σπίτια συγγενών, είτε σε ξενοδοχεία. Σε κάθε περίπτωση, θεωρούνται εκτός κινδύνου μόλις περάσουν στη Ζώνη 2. Κάτοικοι που βρίσκονται στη Ζώνη 1 δύο (2) ώρες πριν την «στιγμή μηδέν» θα πρέπει υποχρεωτικά να κατευθυνθούν σε κάποιο καταφύγιο.

#### 4.2.1 St.Rocks Barrier Island

Στο St.Rocks Barrier Island οι κάτοικοι με δικά τους μέσα μεταφοράς θα εισέλθουν στον Ocean Drive μέσω των τριών (3) διασταυρώσεων και θα κινηθούν προς το Rockwell Shores και κατόπιν προς τη Ζώνη 2. Στις διασταυρώσεις αυτές δεν υπάρχουν φωτεινοί σηματοδότες, αλλά μόνο πινακίδες STOP. Επομένως ο τρόπος με τον οποίο εισέρχονται στον Ocean Drive ακολουθεί την αρχή First Come First Serve (FCFS). Εφόσον οι κατοικίες είναι διάσπαρτες σε όλο το νησί υποθέτουμε ότι οι κάτοικοι που θα εκκενώσουν τη περιοχή, κατανέμονται ισόποσα στις τρεις διασταυρώσεις.

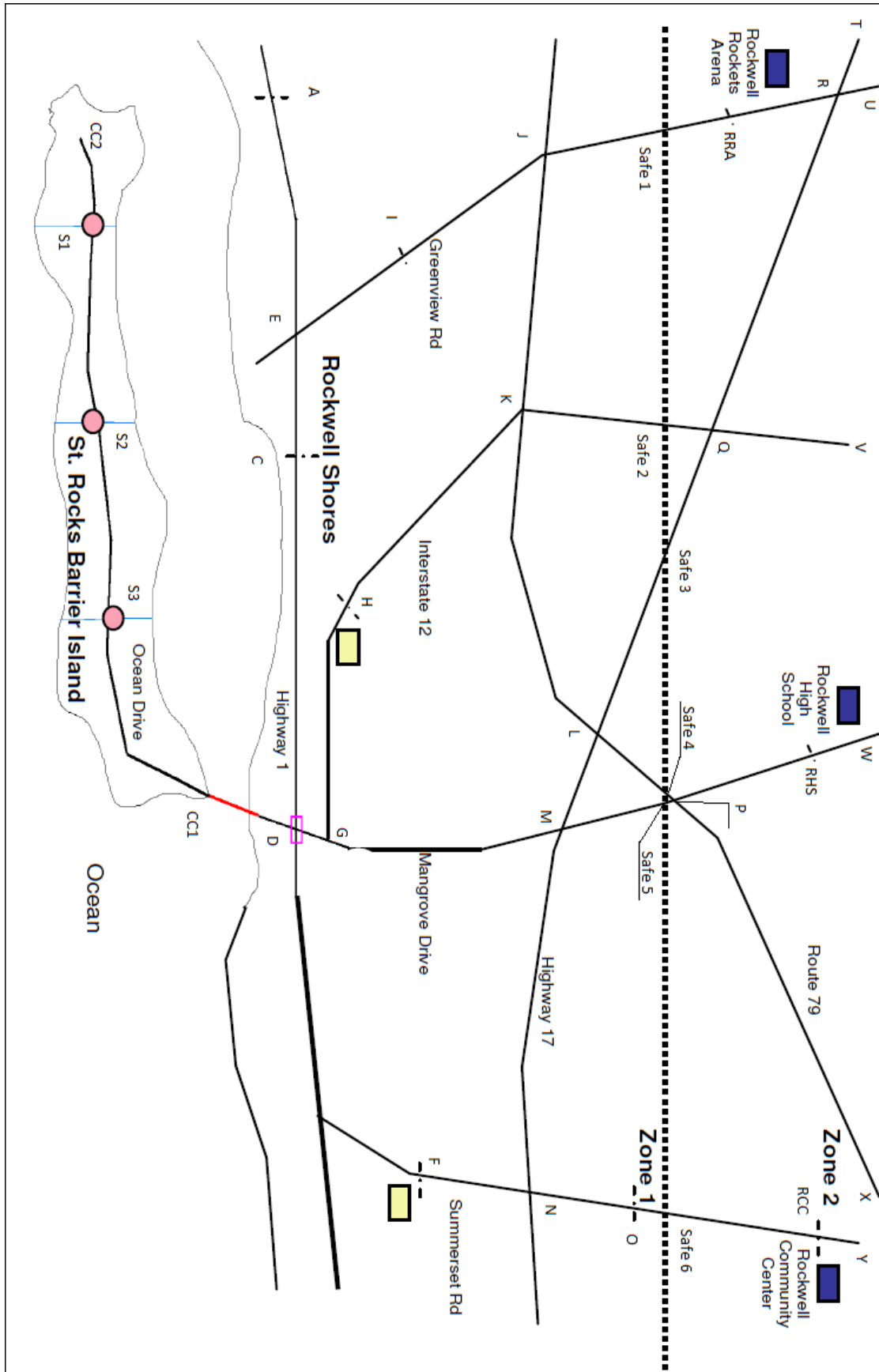
Οι κάτοικοι χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς θα περιμένουν, όπως προαναφέρθηκε, λεωφορεία σε προκαθορισμένα σημεία για να τους μεταφέρουν στα καταφύγια. Τα προκαθορισμένα σημεία αυτά είναι οι τρεις διασταυρώσεις και τα δύο εμπορικά κέντρα. Εφόσον οι κατοικίες είναι διάσπαρτες σε όλο το νησί, υποθέτουμε ότι οι κάτοικοι κατανέμονται ισόποσα στα πέντε σημεία αναμονής.

#### 4.2.2 Rockwell Shores

Στο Rockwell Shores, οι κάτοικοι με ίδια μέσα μεταφοράς θα κινηθούν στο τοπικό οδικό δίκτυο και ακολούθως θα εισέλθουν στους κύριους οδικούς άξονες της περιοχής μέσω κόμβων (On/Off Ramps), όπως φαίνεται στον ανωτέρω χάρτη. Λόγω της δομής των κόμβων αυτών, ο τρόπος με τον οποίο τα αυτοκίνητα εισέρχονται στους δρόμους αυτούς ακολουθεί το μοντέλο First Come First Serve (FCFS).

Οι κάτοικοι χωρίς μέσα μεταφοράς, θα περιμένουν στους κόμβους αυτούς τα λεωφορεία για να μεταφερθούν σε κάποιο καταφύγιο.

Κατά τη διαμόρφωση του μοντέλου κρίθηκε σκόπιμο να δοθούν ονομασίες σε όλες τις διασταυρώσεις και τους κόμβους. Επομένως, αν και πρώιμα, ακολουθεί ο χάρτης της περιοχής με τις ονομασίες για καλύτερη αναφορά:



Εικόνα 12 - Χάρτης Rockwell Shores και St. Rocks Barrier Island με ονοματισμένους κόμβους



Με βάση τον προηγούμενο χάρτη, η κατανομή πληθυσμού για τους κατοίκους του Rockwell Shores είναι :

Πίνακας 5 – Κατανομή Πληθυσμού στο Rockwell Shores

Κόμβος	Ποσοστό μόνιμων κατοίκων	Ποσοστό Παραθεριστών
A	10%	20%
C	10%	60%
F	15%	5%
O	5%	-
I	20%	10%
H	40%	5%

### 4.3 Γενικά στοιχεία

Οι κάτοικοι με ίδια μέσα μεταφοράς, αφού εισέλθουν στους κύριους οδικούς άξονες, θα επιχειρήσουν να κινηθούν εντός του 10% πλέον του ορίου ταχύτητας. Ωστόσο η συμφόρηση στους δρόμους θα οδηγήσει στη μείωση της ταχύτητας των οχημάτων. Τα όρια ταχύτητας των δρόμων συγκεντρώθηκαν στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 6 - Όρια Ταχύτητας

Ονομασία δρόμου	Όριο ταχύτητας (mph)
Greenview Rd	50
Interstate 12	45
Mangrove Drive	35
Sommerset Rd	45
Highway 1	45
Highway 17	65
Route 79	65
Ocean Drive	25

Επιπλέον, από στατιστικά που συλλέχθηκαν τα προηγούμενα χρόνια, διαπιστώθηκε ότι το 80% των κατοίκων και παραθεριστών οδηγούν αυτοκίνητα, ενώ το υπόλοιπο 20% οδηγούν βαν. Τα αυτοκίνητα έχουν 13 πόδια (ft) μήκος και το πλήθος των επιβατών προσεγγίζεται από τριγωνική κατανομή με ελάχιστη τιμή 1, μέση τιμή 4 και μέγιστη τιμή 6. Τα βαν έχουν μήκος 17 πόδια και το πλήθος των επιβατών προσεγγίζεται από τριγωνική κατανομή με ελάχιστη τιμή 1 μέση τιμή 8 και μέγιστη τιμή 12.

Υπάρχουν διαθέσιμα 35 λεωφορεία, τα οποία έχουν 41 πόδια μήκος και μπορούν να μεταφέρουν 40 επιβάτες (θα αναφέρονται ως Buses), και 25 μικρότερα λεωφορεία τα οποία έχουν 30 πόδια. μήκος και μπορούν να μεταφέρουν 25 επιβάτες (θα αναφέρονται ως Shuttles). Τα λεωφορεία αυτά βρίσκονται σταθμευμένα στους κόμβους H και F. Η ακριβής διαδικασία με την οποία τα λεωφορεία παραλαμβάνουν τους κατοίκους χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς δεν είναι επακριβώς καθορισμένη. Σύμφωνα με το τρέχον πλάνο εκκένωσης στο 10% των λεωφορείων έχει «ανατεθεί» αποκλειστικά η διάσωση των κατοίκων του νησιού. Όλα τα οχήματα για λόγους ασφαλείας αφήνουν 4 πόδια. απόσταση μεταξύ τους.

#### 4.4 Ζητούμενα

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εύρεση της βέλτιστης διαδικασίας εκκένωσης των Rockwell Shores και St.Rocks Barrier Island. Επιπλέον, θα εξεταστεί αν η παρούσα διαδικασία εκκένωσης είναι επαρκής και σε περίπτωση που δεν είναι, πόσο θα κοστίσουν οι απαραίτητες βελτιώσεις για τη διόρθωση των προβλημάτων.

Κύριος παράγοντας της μελέτης είναι το πλήθος των ανθρώπων που έχουν περάσει στη Ζώνη 2 και είναι επομένως ασφαλείς ή με άλλα λόγια, αν όλος ο πληθυσμός της υπό μελέτη περιοχής προλαβαίνει να διασχίσει τη Ζώνη 1. Παράλληλα με αυτό το πρωτεύον ερώτημα μελετήθηκαν και τα ακόλουθα:

1. Το πλήθος του προσωπικού που θα χρειαστεί για μια επιτυχή εκκένωση.
2. Ανάγκη για αύξηση του πλήθους των διαθέσιμων λεωφορείων.
3. Αναζήτηση των υποδομών που χρειάζονται βελτίωση.
4. Πρόταση διαχείρισης των διασταυρώσεων στο St.Rocks Barrier Island.
5. Αποτελεσματικότητα της εφαρμογής επίσημων διαδρομών εκκένωσης.
6. Ανάγκη για αύξηση της χωρητικότητας των καταφυγίων.
7. Προσδοκώμενο κόστος της διαδικασίας εκκένωσης.

## 5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται ο τρόπος και οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για να μοντελοποιηθεί η διαδικασία εκκένωσης. Λόγω του μεγάλου μεγέθους του μοντέλου, αλλά και της πολυπλοκότητας του, θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει αρχικά περιγραφή των οντοτήτων και των πόρων του συστήματος, έπειτα η παρουσίαση της λογικής που ακολουθήθηκε και τέλος η αναλυτική παρουσίαση του μοντέλου που διαμορφώθηκε.

### 5.1 Γενικά στοιχεία

#### 5.1.1 Οντότητες

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε αφορά ουσιαστικά στη μεταφορά ανθρώπων από το χώρο διαμονής τους σε κάποιο ασφαλή προορισμό. Εύλογα λοιπόν, η **πιο σημαντική οντότητα στο σύστημά μας είναι οι άνθρωποι που πρέπει να διασωθούν (People)**. Επιπλέον υπάρχουν ως οντότητες **τα μεταφορικά μέσα που θα χρησιμοποιηθούν**, δηλαδή αυτοκίνητα, βαν, λεωφορεία (Buses) και μικρά λεωφορεία (Shuttles). Αν και θα επεξηγηθεί πιο αναλυτικά στη συνέχεια, αξίζει να σημειωθεί ότι τα αυτοκίνητα και τα βαν δεν είναι ξεχωριστές οντότητες, **αλλά ομαδοποίηση (batch) των οντοτήτων «άνθρωποι»**. Αντιθέτως, τα Buses και Shuttles είναι ξεχωριστές οντότητες.

Η οντότητα People χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

1. **People with transportation** : Αντιπροσωπεύει όσους ανθρώπους έχουν ίδια μέσα μετακίνησης και χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες
  - a. **People with Cars**: Αντιπροσωπεύει το 80% του πληθυσμού αυτής της κατηγορίας, οι οποίοι χρησιμοποιούν αυτοκίνητα για να μετακινηθούν.
  - b. **People with Vans**: αντιπροσωπεύει το εναπομείναν 20% του πληθυσμού, οι οποίοι θα μετακινηθούν με βαν.
2. **People Without transportation**: Αντιπροσωπεύει όσους ανθρώπους δεν έχουν ίδια μέσα μετακίνησης και περιμένουν τα λεωφορεία για να τους μεταφέρουν σε κάποιο καταφύγιο.

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial IIVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	Car	Picture.Car	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Van	Picture.Van	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
3	People	Picture.Man	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Bus	Picture.Bus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Shuttle	Picture.Shuttle	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 13 - Entities

#### 5.1.2 Πόροι

Πόροι του συστήματος είναι τα πόδια (ft) δρόμου που είναι διαθέσιμα για να κινηθούν τα αυτοκίνητα και η χωρητικότητα των καταφυγίων.

Κάθε κομμάτι δρόμου (μία κατεύθυνση) αντιστοιχεί σε ένα πόρο (Resource), τον οποίο καταλαμβάνουν (Seize) οι οντότητες όταν μετακινούνται πάνω του.

Σε κάθε καταφύγιο αντιστοιχεί ένα resource το οποίο έχει συγκεκριμένη χωρητικότητα. Όταν μια οντότητα People φτάνει σε κάποιο καταφύγιο, καταλαμβάνει αυτόν τον πόρο.

### 5.1.3 Χρονοδιαγράμματα

Γνωρίζοντας την κατανομή πληθυσμού ανά περιοχή, το προσδοκώμενο ποσοστό πληθυσμού που θα είναι έτοιμο για εκκένωση ανά ώρα και λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχουν προκαθορισμένα σημεία εισόδου των αυτοκινήτων και βαν στους μεγάλους οδικούς άξονες, καθίσταται δυνατή η μοντελοποίηση του ρυθμού αφίξεων μέσω χρονοδιαγραμμάτων (Schedules).

Στο σχετικό module (Schedules – Basic Process Panel) βρίσκονται τα χρονοδιαγράμματα ρυθμού άφιξης των ανθρώπων για κάθε σημείο εισόδου. **Τα σημεία εισόδου, όπως προαναφέρθηκε, είναι οι κόμβοι A, C, F, H, I, O, S1, S2, S3, CC1, CC2.** Επειδή έχουμε ουσιαστικά τρεις κατηγορίες ανθρώπων υπάρχουν τρία schedules ανά κόμβο εισόδου (π.χ. Schedule Cars A, Schedule H Vans, Schedule I People κ.ο.κ.).

Στη περίπτωση του St. Rocks Barrier Island, εφόσον οι κάτοικοι είναι ισοκατανεμημένοι, είναι δυνατόν να ομαδοποιηθούν τα σχετικά schedules, οπότε και υπάρχουν μόνον τα Schedule Island Cars, Schedule Island People και Schedule Island Vans.

**Στους κόμβους C, F, H, I, και O,** λόγω της δομής του μοντέλου, είναι αναγκαίο να υπάρχουν **schedules ανά κατεύθυνση** (π.χ. Schedule H Cars Reverse). Κάτι τέτοιο είναι αναγκαίο εφόσον στο παρόν μοντέλο οι διαδρομές που θα ακολουθήσουν οι άνθρωποι κατά την εκκένωση είναι τυχαίες. Οι διαδρομές αυτές είναι νευραλγικό σημείο του συστήματος και θα αναλυθούν σε βάθος στη συνέχεια.

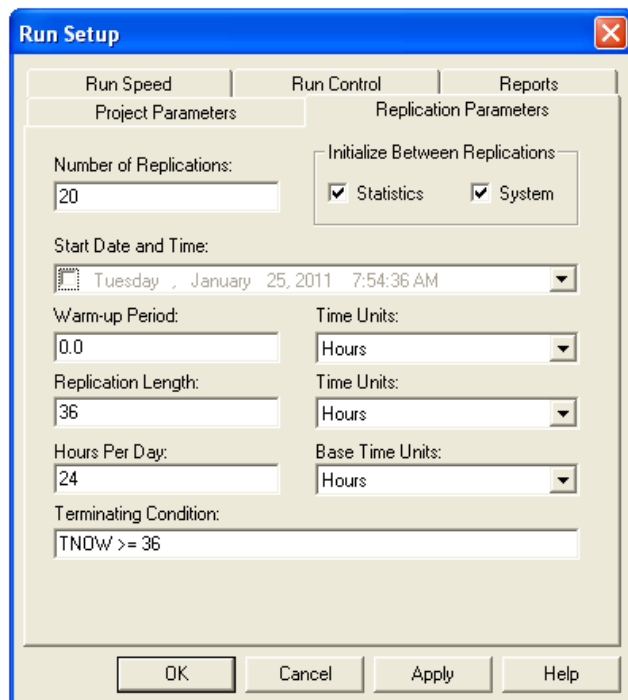
### 5.1.4 Run Setup

Στο μενού Run > Setup βρίσκονται όλες οι παράμετροι που αφορούν τον προγραμματισμό και την εκτέλεση του μοντέλου.

Η διαδικασία εκκένωσης ξεκινά μόλις ειδοποιηθούν οι αρχές της πόλης ότι πρόκειται να συμβεί ένας τυφώνας. Η πρόγνωση αυτή δεν είναι δυνατόν να γίνει πιο νωρίς από 36 ώρες πριν το συμβάν. Για αυτό το λόγο η διάρκεια της προσομοίωσης είναι 36 ώρες.

Για ασφάλεια, προσθέσαμε τη συνθήκη «TNOW >= 36» στη συνθήκη τερματισμού, σύμφωνα με την οποία μόλις το ρολόι του προγράμματος φτάσει τις 36 ώρες, θα τερματιστεί η τρέχουσα προσομοίωση.

Ο αριθμός των επαναλήψεων ορίστηκε στις 20, επαρκής αριθμός για ορθά στατιστικά αποτελέσματα



Εικόνα 14 - Το πλαίσιο Run Setup του μοντέλου

και ταυτόχρονα ικανοποιητικός αριθμός επαναλήψεων όσο αφορά τη διάρκεια εκτέλεσης του μοντέλου.

## 5.2 Το Βασικό Μοντέλο

### 5.2.1 Παρουσίαση της λογικής πίσω από το μοντέλο

Πριν τη παρουσίαση αυτού καθεαυτού του μοντέλου στο λογισμικό Arena, κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστεί η λογική που ακολουθήθηκε για να προσομοιωθεί η κίνηση στους δρόμους, ένας παράγοντας που παίζει κυρίαρχο ρόλο στα αποτελέσματα.

Κατόπιν εκτενούς αναζήτησης, τόσο σε ξενόγλωσση βιβλιογραφία, αλλά και στο διαδίκτυο, παρατηρήθηκε ότι δεν υπάρχει κάποιος ξεκάθαρος και καθολικά αποδεκτός τρόπος για τη προσομοίωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στους δρόμους. Οι προσεγγίσεις διαφέρουν αρκετά, και φαίνεται να είναι ιδιαίτερα εξειδικευμένες, δηλαδή αφορούν ένα συγκεκριμένο οδικό σύστημα.

Το λογισμικό Arena φαίνεται να έχει τη δυνατότητα αυτής της προσομοίωσης, δηλαδή οντότητες ταξιδεύουν πάνω σε μία διαδρομή με κάποια ταχύτητα και μόλις συναντήσουν μία άλλη οντότητα μπροστά τους, επιβραδύνουν και κινούνται με τη ταχύτητα της προπορευόμενης οντότητας. **Αυτό γίνεται με χρήση των Transporters τα οποία κινούνται πάνω σε ένα δίκτυο (Network).** Έτσι λοιπόν φαίνεται πολύ εύλογο να γίνει χρήση αυτής της μεθόδου στην παρούσα μελέτη, εφόσον υπάρχουν οντότητες (People) οι οποίες πρέπει να μεταφερθούν με αυτοκίνητα, βαν και λεωφορεία στους προορισμούς τους. Ωστόσο αυτός ο μηχανισμός είναι προορισμένος για προσομοίωση κυρίως φορτηγών, φορείων και περονοφόρων ανυψωτικών μηχανημάτων σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις και δεν επιτρέπει τη χρήση τόσο πολλών transporters.

Έτσι λοιπόν, παρουσιάστηκε η ανάγκη της διαμόρφωσης ενός μηχανισμού από το μελετητή, για την προσομοίωση της συμφόρησης των κινούμενων οχημάτων στο οδικό δίκτυο. Παρατηρώντας την κίνηση των οχημάτων σε ένα πραγματικό κομμάτι δρόμου, διαπιστώθηκε ότι τα οχήματα κινούνται με τη μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα όταν δεν υπάρχουν άλλα οχήματα γύρω τους, ενώ ανάλογα με το πλήθος των οχημάτων που βρίσκονται στο δρόμο, μειώνεται η ταχύτητα κίνησης τους. Έτσι λοιπόν ακόμα και αν τα οχήματα κινούνται, δηλαδή δεν έχουν ακινητοποιηθεί λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης, κινούνται με μικρότερη ταχύτητα από τη μέγιστη δυνατή. Έχοντας αυτό το συμπέρασμα σα γνώμονα, διαμορφώθηκε ο ακόλουθος τύπος, ο οποίος αποτυπώνει τη κυκλοφοριακή συμφόρηση :

$$\text{Ταχύτητα Οχημάτων} = \left( 1,1 - \frac{\text{Μήκος δρόμου που έχει οχήματα}}{\text{Συνολικό μήκος δρόμου}} \right) \times \text{Όριο ταχύτητας}$$

Ο συντελεστής «1,1» αντιπροσωπεύει ότι τα οχήματα θα κινηθούν στο 10% του ορίου ταχύτητας, όπως επιτάσσει το πρόβλημα και ότι σε περίπτωση μέγιστης συμφόρησης τα οχήματα θα εξακολουθήσουν να κινούνται, με πολύ μικρή ταχύτητα. Η στάση των οχημάτων λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης έχει προσομοιωθεί με χρήση των κατάλληλων modules, όπως θα παρουσιαστεί στη συνέχεια. Ο παραπάνω τύπος μεταφράζεται στη «γλώσσα» του Arena ως :

$$Speed = \frac{Road\_Length(Current\_Position)}{\left(1,1 - \left(\frac{NR(Road\_Congestion(Current\_Position))}{Road\_Length(Current\_Position)}\right)\right)} \times Speed\_Limit(Current\_Position)$$

Όπου :

- **Speed** είναι ο χρόνος που θα χρειαστεί για να διανύσει μία οντότητα το συγκεκριμένο κομμάτι δρόμου.
- **Road\_Length** είναι ένας πίνακας που περιέχει τα μήκη των δρόμων.
- **Speed\_Limit** είναι ένας πίνακας που περιέχει τα όρια ταχύτητας των δρόμων
- **Road\_Congestion** είναι ένας πίνακας που περιέχει τους πόρους του συστήματος (Resource 1 – Resource 84) οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τα πόδια (ft) που είναι διαθέσιμα για τη κίνηση των οχημάτων.
- **NR** είναι μία εντολή του Arena που επιστρέφει το μέρος του πόρου (Resource) που είναι απασχολημένο (Busy)
- **Current\_Position** είναι ένα χαρακτηριστικό οντότητας το οποίο αντιπροσωπεύει την τρέχουσα θέση της οντότητας.

Η σύνταξη «**Road\_Length(Current\_Position)**» επιτρέπει στο πίνακα **Road\_Length** να λειτουργήσει ως διάνυσμα με όρισμα το **Current\_Position**. Έτσι είναι δυνατόν κάθε οντότητα να γνωρίζει ποιο κομμάτι δρόμου διανύει κι έτσι γίνεται δυνατός ο υπολογισμός της ταχύτητάς της. Πιθανότατα στο σημείο αυτό ο αναγνώστης να έχει αρκετές απορίες γύρω από τον παραπάνω τύπο, ωστόσο όλοι οι παραπάνω μηχανισμοί θα εξηγηθούν στη συνέχεια. Με τον τρόπο αυτό λοιπόν, καθίσταται δυνατή η προσομοίωση της συμφόρησης ενός δρόμου ή πιο ορθά η προσομοίωση της συμφόρησης μίας κατεύθυνσης ενός δρόμου.

### 5.2.2 Επεξήγηση μηχανισμών που χρησιμοποιήθηκαν

Κρίνεται σκόπιμο στο σημείο αυτό να γίνει πιο αναλυτική αναφορά σε κάποιες πτυχές του λογισμικού Arena για να γίνουν πιο κατανοητές ορισμένες έννοιες. Όπως προαναφέρθηκε, με χρήση του module Assign, είναι δυνατόν να δοθούν στις οντότητες ορισμένα χαρακτηριστικά υπό τη μορφή Attributes και Variables. Ουσιαστική διαφορά αυτών είναι ότι η τιμή των Variables (Μεταβλητές) είναι δυνατόν να αλλάζει, ενώ στα Attributes πρέπει να δίνεται μια συγκεκριμένη τιμή. Αυτή η διαφορά είναι κεφαλαιώδους σημασίας όταν υπάρχει ανάγκη για «ονομασία» των οντοτήτων μέσω αρίθμησης. Επιπλέον τα Attributes ακολουθούν τις οντότητες διατηρώντας τις τιμές τους έως ότου γίνει χρήση Assign module για να αλλαχθούν οι τιμές αυτές. Τα Variables όταν αλλάζουν τιμές, αλλάζουν απευθείας σε όλες τις οντότητες. Τα σημαντικότερα Attributes και Variables που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν μοντέλο είναι:

Πίνακας 7 - Attributes

Attribute	Λειτουργία
Current_Position	Αντιστοιχεί στο τμήμα δρόμου που εισέρχεται η οντότητα
Seize_Position	Αντιστοιχεί στο επόμενο τμήμα δρόμου που θα εισέλθει η οντότητα
Release_Position	Αντιστοιχεί στο τμήμα δρόμου που εξήλθε η οντότητα
Bus_No	Αύξουσα αρίθμηση των λεωφορείων
Shuttle_No	Αύξουσα αρίθμηση των μικρών λεωφορείων

Πίνακας 8 - Variables

Variable	Λειτουργία
BusCount	Βοηθητικός μετρητής για το Bus_No
ShuttleCount	Βοηθητικός μετρητής για το Shuttle_No
Bus_FreeSeats_# <sup>1</sup>	Αποθηκεύει τις ελεύθερες θέσεις του κάθε λεωφορείου
Shuttle_FreeSeats_#	Αποθηκεύει τις ελεύθερες θέσεις του κάθε μικρού λεωφορείου
Old_People_Waiting	Βοηθητικός μετρητής για τις ελεύθερες θέσεις των λεωφορειών
New_People_Waiting	Βοηθητικός μετρητής για τις ελεύθερες θέσεις των λεωφορειών

Τα **Attributes Current\_Position, Seize\_Position και Release\_Position** είναι σημαντικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν, μεταξύ άλλων, για να προσομοιωθεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση των δρόμων. Όπως είναι προφανές, αυτά τα attributes θα πρέπει να γίνονται assign κάθε φορά που μία οντότητα εξέρχεται ή εισέρχεται σε ένα δρόμο. Κάτι τέτοιο γίνεται δυνατό με τη χρήση των «Assignments» που βρίσκονται στο module Sequence του Template Panel «Advanced Transfer».

Τα **Sequences** είναι ο μηχανισμός που επιτρέπει στις οντότητες να ακολουθούν συγκεκριμένες, προκαθορισμένες διαδρομές από σταθμό σε σταθμό. Οι σταθμοί αυτοί φαίνονται στο χάρτη της εικόνας 12. Μέσω του module Route, οι οντότητες εισέρχονται στο επόμενο κομμάτι δρόμου και μέσω του module Enter, εξέρχονται από αυτό. Αν και κάτι τέτοιο φαίνεται αντιφατικό, ο σχεδιασμός του μοντέλου επιβάλλει τη χρήση αυτών των modules κατά αυτό τον τρόπο. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα καινούργια Attributes που βρίσκονται στο «Assignments» των Sequences, αντιστοιχίζονται (γίνονται assign) στις οντότητες αμέσως πριν το Leave module. Αυτή η παρατήρηση επεξηγεί τον τρόπο με τον οποίο γίνονται αυτά τα Assignments.

Σε προηγούμενη ενότητα, αναφέρθηκε ότι οι διαδρομές που ακολουθούν οι άνθρωποι κατά τη διαδικασία εκκένωσης είναι τυχαίες, ενώ στην προηγούμενη παράγραφο ειπώθηκε ότι οι διαδρομές που ακολουθούν οι οντότητες μέσω των Sequence είναι προκαθορισμένες. Η δήλωση αυτή δεν είναι αντιφατική, διότι αποτυπώθηκαν στα Sequences όλες οι πιθανές (και λογικές) διαδρομές που μπορούν να ακολουθήσουν οι άνθρωποι προς διάσωση με ίδια μέσα μεταφοράς και κατόπιν με ίσες πιθανότητες «ανατέθηκαν» σε αυτούς. **Έτσι λοιπόν από κάθε σταθμό εκκίνησης (A, C, F, H, I, O, S1, S2, S3), υπάρχουν Sequences προς όλα τα σημεία εξόδου T, U, V, W, X, Y, με περισσότερες από μία διαδρομές ανά σημείο εξόδου, όπου αυτό ήταν δυνατό και πιθανό (π.χ. S3 to V και S3 to V Alt ή F to U, F to U Alt, F to U Alt 2, F to U Alt 3).**

Στο Template Panel «Advanced Process» υπάρχει το module «Expression» όπου, όπως προαναφέρθηκε, είναι δυνατόν να οριστούν μητρώα και πολύπλοκες μαθηματικές και στατιστικές εκφράσεις. Στο παρόν μοντέλο γίνεται εκτενής χρήση expressions, κυρίως της ιδιότητάς τους να λειτουργούν ως μητρώα, δίνοντας την δυνατότητα παραμετροποίησης πολλών εκφράσεων. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διαμόρφωση του μοντέλου παρουσιάστηκε

<sup>1</sup> Σημείωση: Κατά τη περιγραφή του μοντέλου θα χρησιμοποιηθούν εκφράσεις της μορφής «Bus\_FreeSeats\_#». Το σύμβολο «#» μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή από 1 έως 35 για τα λεωφορεία και από 1 έως 25 για τα μικρά λεωφορεία. Για να αποφευχθούν τυχόν παρεξηγήσεις, επιλέχθηκε να γίνει χρήση αυτής της έκφρασης για να καλυφθούν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί.



η ανάγκη αποθήκευσης της τρέχουσας και της επόμενης θέσης κάθε οντότητας, του υπολογισμού του χρόνου κίνησης κάθε οντότητας σε κάθε τμήμα δρόμου, της εύκολης και χρηστικής μεθόδου ορισμού του δρομολογίου κάθε λεωφορείου καθώς και της παρακολούθησης των ελεύθερων θέσεων κάθε λεωφορείου. Όλα τα ανωτέρω επιτυγχάνονται με τη χρήση των ακόλουθων expressions:

Πίνακας 9 - Expressions

Expression	Λειτουργία
Speed	Τύπος υπολογισμού του χρόνου κίνησης κάθε οχήματος
Road_Length	Πίνακας με τα μήκη των δρόμων
Speed_Limit	Πίνακας με τα όρια ταχύτητας
Road_Congestion	Πίνακας με τους πόρους του συστήματος
Get	Πίνακας με τους πόρους του συστήματος
LetGo	Πίνακας με τους πόρους του συστήματος
Bus_FreeSeats	Πίνακας με το πλήθος των ελεύθερων θέσεων για κάθε λεωφορείο
Shuttle_FreeSeats	Πίνακας με το πλήθος των ελεύθερων θέσεων για κάθε μικρό λεωφορείο
Bus Schedule	Πίνακας με τις διαδρομές των λεωφορείων με αφητηρία τους αρχικούς σταθμούς H και F
Shuttle Schedule	Πίνακας με τις διαδρομές των μικρών λεωφορείων με αφητηρία τους αρχικούς σταθμούς H και F
Bus_RCC_Departure	Πίνακας με τις διαδρομές των λεωφορείων με αφητηρία το σταθμό RCC
Bus_RHS_Departure	Πίνακας με τις διαδρομές των λεωφορείων με αφητηρία το σταθμό RHS
Bus_RRA_Departure	Πίνακας με τις διαδρομές των λεωφορείων με αφητηρία το σταθμό RRA
Shuttle_RCC_Departure	Πίνακας με τις διαδρομές των λεωφορείων με αφητηρία το σταθμό RCC
Shuttle_RHS_Departure	Πίνακας με τις διαδρομές των λεωφορείων με αφητηρία το σταθμό RHS
Shuttle_RRA_Departure	Πίνακας με τις διαδρομές των λεωφορείων με αφητηρία το σταθμό RRA

Έχοντας αυτά τα στοιχεία υπόψη, ο αναγνώστης είναι σε θέση να καταλάβει πλήρως τη περιγραφή του μοντέλου που ακολουθεί.

### 5.2.3 Ο πυρήνας του μοντέλου

Το παρόν μοντέλο αντιπροσωπεύει ουσιαστικά ένα οδικό δίκτυο πάνω στο οποίο θα μετακινηθούν οχήματα. Ο υπολογισμός της ταχύτητας των οχημάτων γίνεται μέσω του τύπου που είναι αποθηκευμένος στο **Expression Speed**. Ο τύπος αυτός, προφανώς, λειτουργεί με μεγαλύτερη ακρίβεια αντιστρόφως ανάλογα με το μήκος του δρόμου. Με άλλα λόγια όσο πιο μικρό το τμήμα του δρόμου, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια δίνει ο εν λόγω τύπος. Για το λόγο αυτό λοιπόν, το οδικό δίκτυο των Rockwell Shores και St.Rocks Barrier Island χωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα, τα οποία αριθμήθηκαν για ευκολότερη αναφορά. Επειδή οι δρόμοι είναι διπλής κατεύθυνσης (μία λωρίδα ανά κατεύθυνση), κάθε κομμάτι

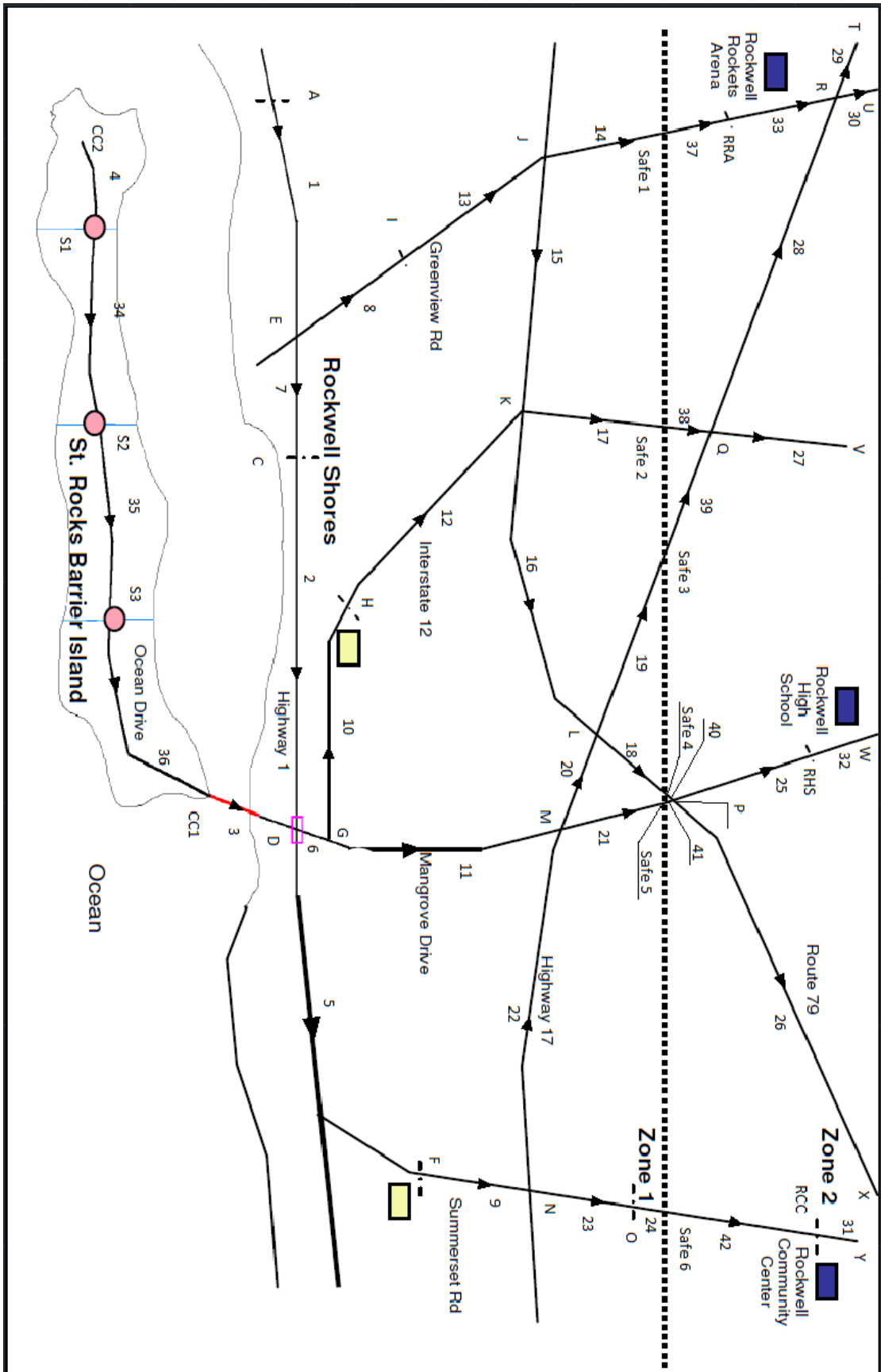


δρόμου φέρει διπλή αρίθμηση, ένα αριθμό ανά κατεύθυνση. Η φορά κίνησης που επιλέχθηκε και η αντίστοιχη αρίθμηση φαίνονται στις εικόνες 15, 16.

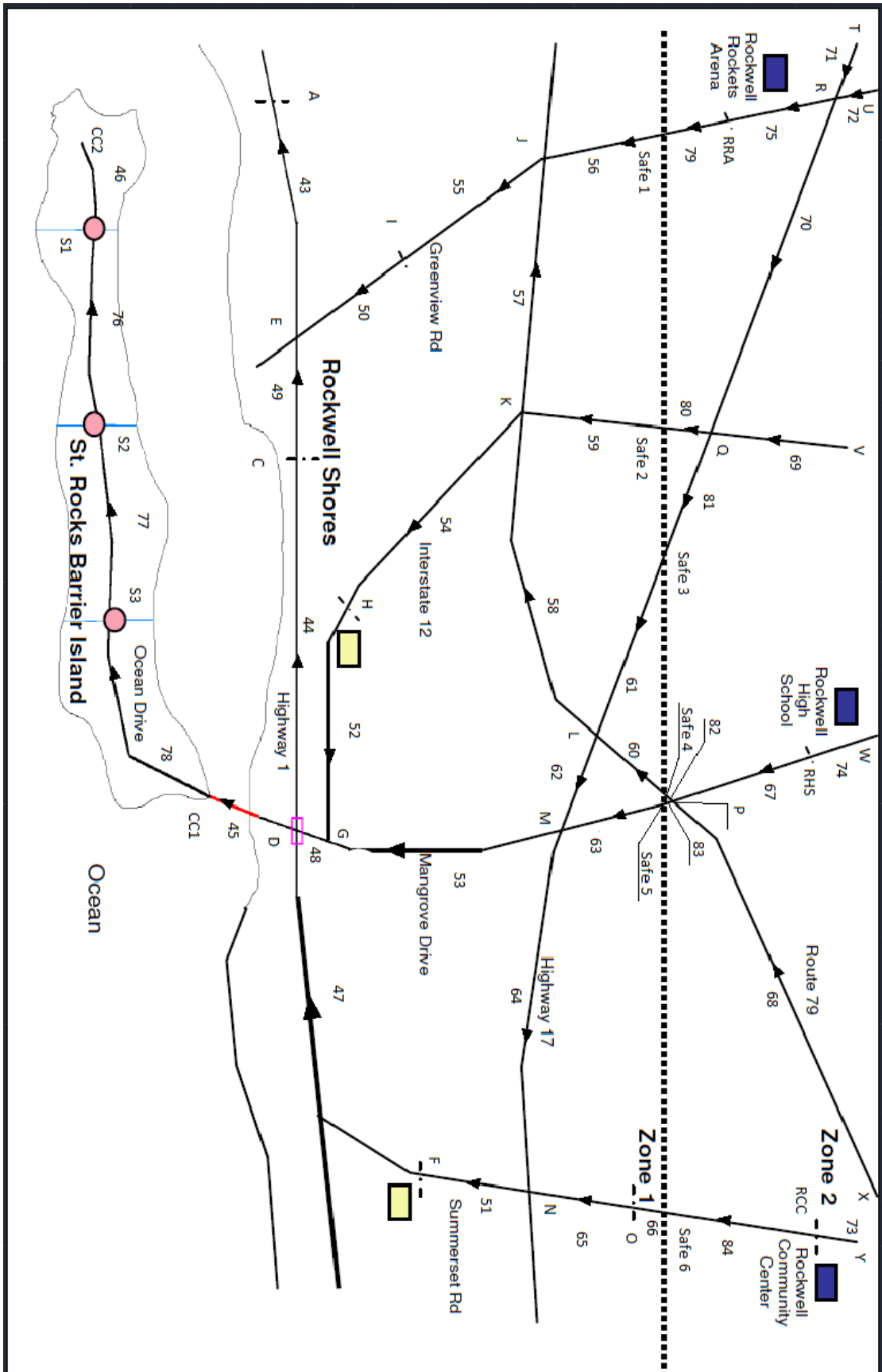
Με υπόψη τα ανωτέρω, προκύπτει το συμπέρασμα ότι το μοντέλο αποτελείται ουσιαστικά από επαναλήψεις ομάδων modules, με κάθε μία ομάδα να αντιστοιχεί σε ένα κομμάτι δρόμου. Στη συνέχεια λοιπόν, θα γίνει αναλυτική περιγραφή αυτών των πρότυπων ομάδων modules, οι οποίες αποτελούν το πυρήνα του μοντέλου. Υπάρχουν πέντε (5) ομάδες modules οι οποίες μοιράζονται μερικά στοιχεία, αλλά εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς. Οι ομάδες αυτές είναι :

1. **Ενδιάμεσος Σταθμός.** Πρόκειται για τη πιο βασική ομάδα modules η οποία αντιπροσωπεύει ένα κομμάτι δρόμου. Περιέχει τους μηχανισμούς για τη στάση των οχημάτων, πριν εξέλθουν από το κομμάτι δρόμου στο οποίο βρίσκονται, σε περίπτωση που το επόμενο κομμάτι δρόμου είναι γεμάτο με οχήματα, τον υπολογισμό της ταχύτητας των οχημάτων και τέλος Record modules για τη μέτρηση διαφόρων στατιστικών.
2. **Αρχικός σταθμός.** Αυτή η ομάδα modules περιλαμβάνει τα Modules του ενδιάμεσου σταθμού και έχει επιπλέον τα creates, από τα οποία δημιουργούνται οι οντότητες και το μηχανισμό με τον οποίο τα λεωφορεία παίρνουν τους ανθρώπους χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς.
3. **Σταθμός «Safe».** Πρόκειται για τους σταθμούς που βρίσκονται στο τέλος της Ζώνης 1. Περιλαμβάνει τα modules του ενδιάμεσου σταθμού, καθώς και ένα μηχανισμό για τη καταγραφή των ανθρώπων που είναι ασφαλείς, εφόσον πέρασαν στη Ζώνη 2.
4. **Σταθμός Καταφυγίου.** Αυτή η ομάδα modules αντιπροσωπεύει τα τρία καταφύγια RCC, RHS, RRA, (προφανώς κάθε καταφύγιο έχει τη δική του ομάδα Modules) και έχει τους μηχανισμούς με τους οποίους τα λεωφορεία αφήνουν τους ανθρώπους χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς στα καταφύγια καθώς και μηχανισμούς για τη καταμέτρηση όσων ανθρώπων με αυτοκίνητα ή βαν καταλήξουν στα καταφύγια λόγω έλλειψης χρόνου.
5. **Τερματικός σταθμός.** Πρόκειται για τους σταθμούς T, U, V, X, Y, W, στους οποίους καταστρέφονται οι οντότητες μέσω των Dispose modules, καθώς εξέρχονται από τα τελευταία κομμάτια δρόμου του συστήματος.

Ακολουθεί η ανάλυση κάθε μίας ομάδας modules ξεχωριστά:



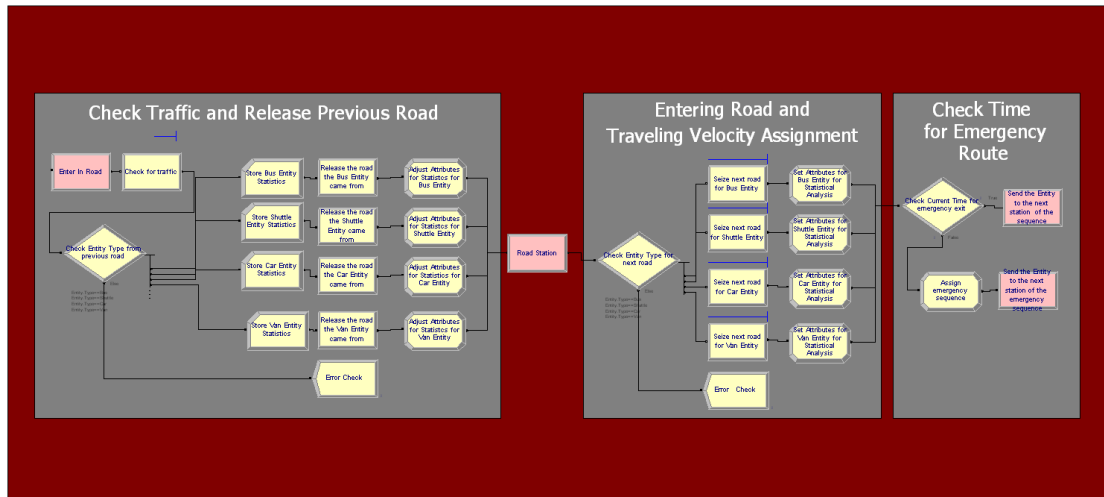
Εικόνα 15 - Χάρτης με τους δρόμους 1-42



Εικόνα 16 - Χάρτης με τους δρόμους 43-84

## 5.2.4 Ενδιάμεσος Σταθμός

Ένας ενδιάμεσος σταθμός έχει τη δομή που φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα :

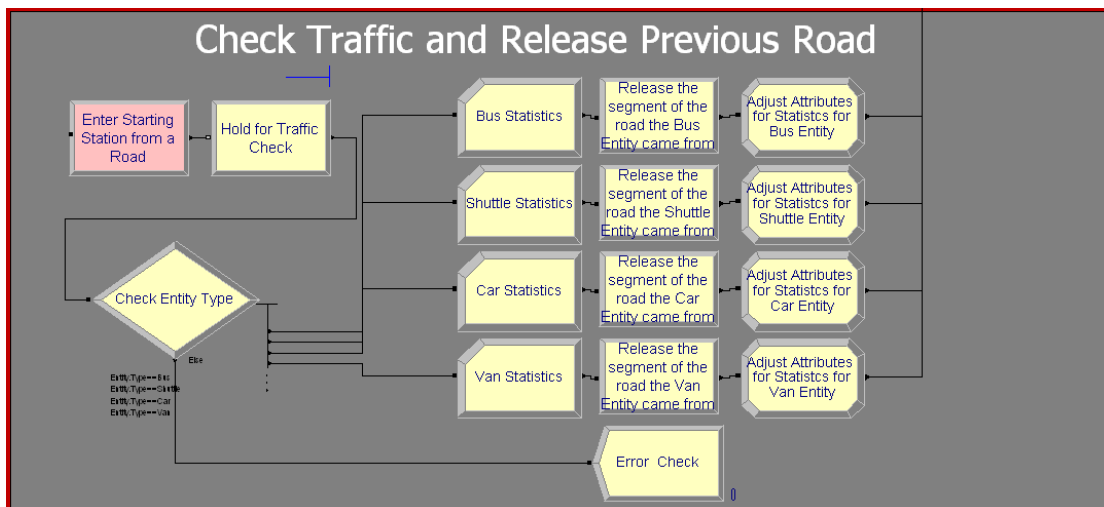


Εικόνα 17 - Ενδιάμεσος Σταθμός

Φαίνεται λοιπόν, ότι οι ενδιάμεσοι σταθμοί αποτελούνται από τρία τμήματα. Αυτά είναι:

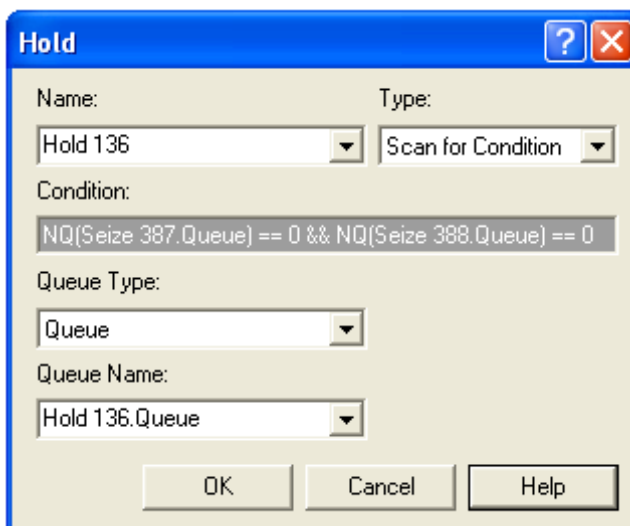
1. Έλεγχος επόμενου δρόμου για έξοδο του οχήματος από τον τρέχοντα δρόμο.
2. Είσοδος στο επόμενο κομμάτι δρόμου.
3. Έλεγχος ώρας για αλλαγή τελικού προορισμού.

Το πρώτο τμήμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 17, περιέχει ένα Hold module, κατόπιν ένα Decide το οποίο οδηγεί τις οντότητες ανάλογα με το είδος τους (car, van, bus, shuttle) στο αντίστοιχο Release Module. Επιπλέον υπάρχουν Record modules τα οποία καταγράφουν στατιστικά σχετικά με τους χρόνους κίνησης των οχημάτων και Assign modules τα οποία αλλάζουν τις μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιούνται στο animation του μοντέλου.



Εικόνα 18 - Πρώτο Τμήμα Ενδιάμεσου Σταθμού

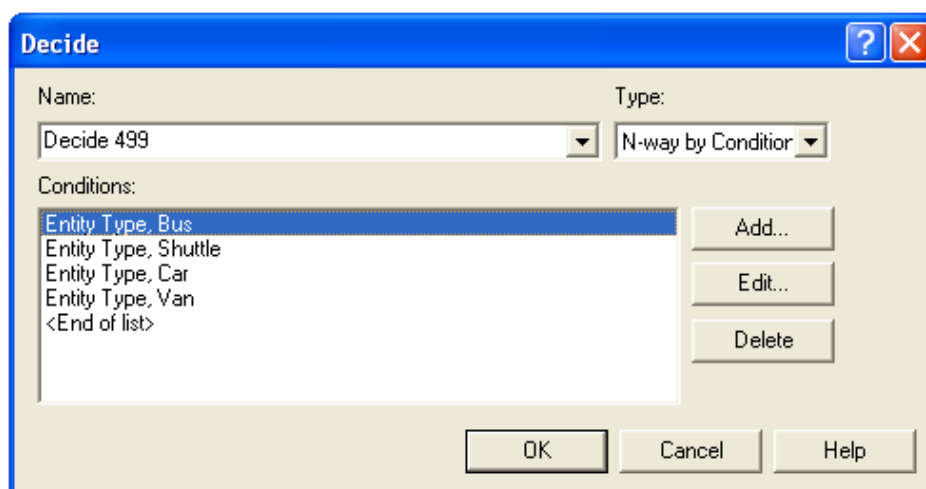
Στο Hold module έχει επιλεγεί η λειτουργία «Scan for condition», με συνθήκη την έκφραση «NQ(Seize Car.Queue) == 0 && NQ(Seize Van.Queue) == 0 && NQ(Seize Bus.Queue) == 0 && NQ(Seize Shuttle.Queue) == 0». Αυτή η συνθήκη επιτρέπει στις οντότητες να περάσουν το Hold module μόνο όταν η ουρά αναμονής στα Seize modules του δεύτερου τμήματος είναι άδεια, δηλαδή υπάρχει χώρος στο επόμενο κομμάτι δρόμου. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατή η



Εικόνα 19 - Hold Module

**προσομοίωση της στάσης των αυτοκινήτων σε περίπτωση υπερβολικής κυκλοφοριακής συμφόρησης.** Επιπλέον επειδή αυτό το Hold module βρίσκεται πριν τα Release modules σε περίπτωση που ο επόμενος δρόμος είναι γεμάτος, το όχημα δεν εξέρχεται από τον τρέχοντα δρόμο και εξακολουθεί να καταλαμβάνει χώρο σε αυτόν, όπως δηλαδή γίνεται και στη πραγματικότητα. Σε αντίθετη περίπτωση, αν δηλαδή το Hold module βρισκόταν μετά το Release module θα υπήρχε ένας «μαγικός» χώρος μεταξύ των δρόμων στον οποίο θα περίμεναν τα οχήματα.

Το Decide module έχει επιλεγείσα λειτουργία «N-way by condition» και ως παράμετρο το «Entity Type». Επομένως ανάλογα με το τύπο της (Car, Van, Bus, Shuttle), κάθε οντότητα κατευθύνεται προς το Release module που της αντιστοιχεί. Κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο για να γίνει εφικτή η παραμετροποίηση των Release καθώς και των Seize modules.



Εικόνα 20 - Decide Module για το Πρώτο τμήμα του ενδιάμεσου σταθμού

Τα Release modules έχουν ως παράμετρο την έκφραση «LetGo(Release\_Position)» και ανάλογα με ποιος τύπος οντοτήτων (entity type) οδηγείται προς αυτά, **ποσότητες (Quantity) 17, 21, 34, 45 για τα Car, Van, Shuttle και Bus αντίστοιχα.** Έτσι λοιπόν, με χρήση

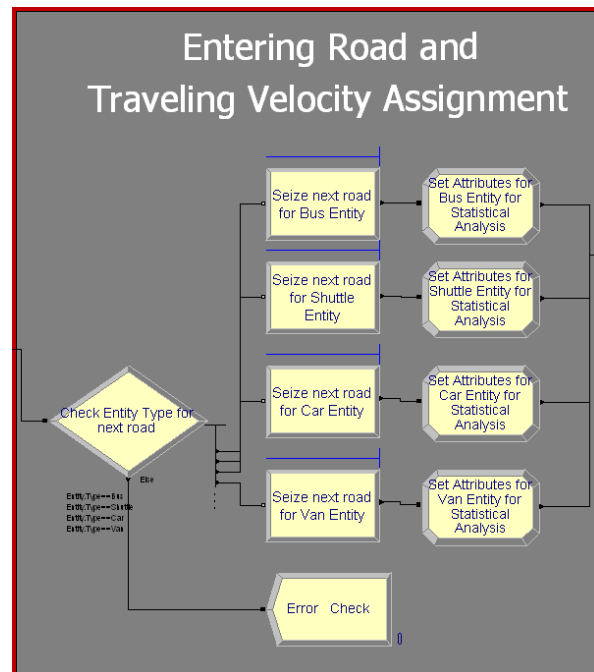
του Attribute Release\_Position οι οντότητες έχουν μνήμη του δρόμου από τον οποίον ήρθαν και επομένως δε δημιουργείται κάποιο λάθος στις διασταυρώσεις (π.χ. Σταθμός D). Οι ποσότητες που γίνονται Release είναι ουσιαστικά το μήκος του οχήματος προσαυξημένο κατά τέσσερα (4) πόδια (ft) που είναι η απόσταση ασφαλείας που πρέπει να τηρούν οι οδηγοί.



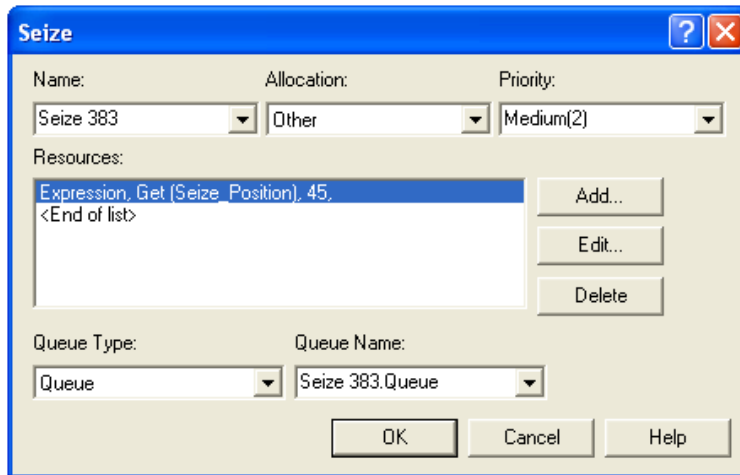
Εικόνα 21 - Release Module

Το δεύτερο τμήμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 22, αποτελείται από ένα Decide module, όμοιο με το Decide module του πρώτου τμήματος, Seize modules αντίστοιχα με τα Release modules του πρώτου τμήματος και Assign modules τα οποία αλλάζουν μερικές μεταβλητές για το animation του μοντέλου.

Τα Seize modules έχουν ως παράμετρο την έκφραση «Get(Seize\_Position)» και όμοια με τα Release modules, ανάλογα με το Entity Type στο οποίο αντιστοιχούν (Car, Van, Shuttle, Bus) ποσότητες (Quantity) 17, 21, 34, 45. Με τη χρήση του attribute Seize\_Position οι οντότητες ορθά καταλαμβάνουν το κομμάτι του δρόμου στο οποίο θα κινηθούν. Στο σημείο αυτό οι οντότητες δεν έχουν εξέλθει από το σταθμό, επομένως σε περίπτωση όπου δεν υπάρχει χώρος για αυτές, θα περιμένουν στην αρχή του δρόμου μέχρι να ελευθερωθεί επαρκές μήκος δρόμου και επομένως επειδή θα εισέλθουν στην ουρά των Seize modules, θα δώσουν σήμα στο Hold module του πρώτου τμήματος, να μην επιτρέψει σε κάποια άλλη οντότητα να εισέλθει στο σταθμό.

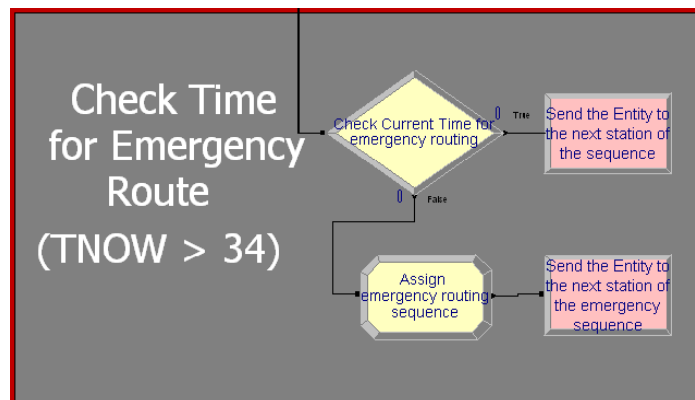


Εικόνα 22 - Δεύτερο Τμήμα Ενδιάμεσου Σταθμού



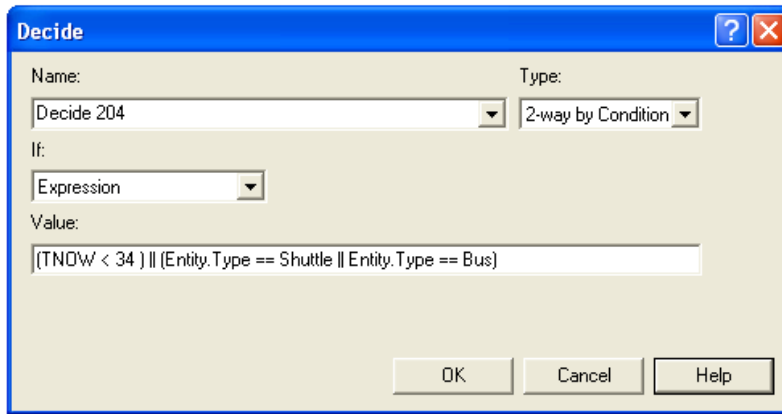
Εικόνα 23 - Seize Module

Το τρίτο τμήμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 24, αποτελείται από ένα Decide module, ένα Assign module και δύο Route Modules. Αν και μικρό σε μέγεθος σε σχέση με τα άλλα δύο τμήματα, έχει πολύ σημαντικό ρόλο, καθώς κάνει έλεγχο της κυκλοφορίας.



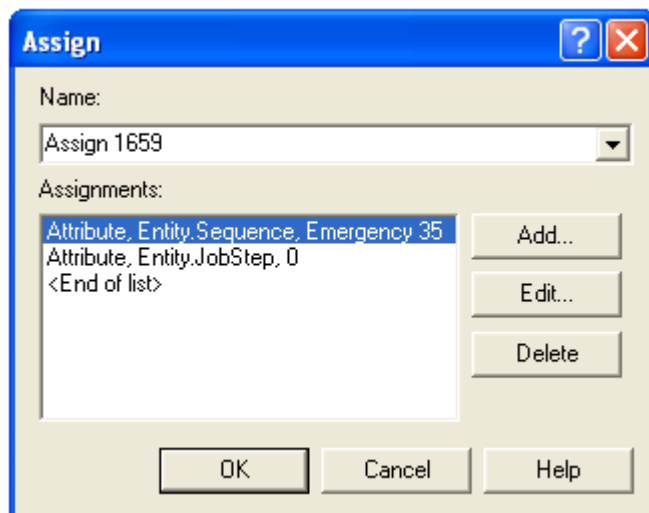
Εικόνα 24 - Τρίτο τμήμα Ενδιάμεσου Σταθμού

Σε αυτό το τμήμα του ενδιάμεσου σταθμού, το Decide module έχει τη λειτουργία «**2-way by condition**» και ελέγχει την τρέχουσα ώρα του μοντέλου και τον τύπο των οντοτήτων. Αν η **τρέχουσα ώρα του μοντέλου (TNOW) έχει ξεπεράσει την τιμή «34»**, τότε σύμφωνα με τις παραμέτρους του προβλήματος, όσα αυτοκίνητα και βαν βρίσκονται στη Ζώνη 1 θα πρέπει να κινηθούν προς τα καταφύγια για μεγαλύτερη ασφάλεια. Ωστόσο τα λεωφορεία θα πρέπει να συνεχίσουν το έργο τους, δηλαδή την περισυλλογή των ανθρώπων χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς. Έτσι λοιπόν αυτό το Decide module έχει ως παράμετρο την έκφραση «**TNOW < 34 || Entity.Type == Bus || Entity.Type == Shuttle**». Αυτή η έκφραση οδηγεί όλες τις οντότητες μέχρι τη 34<sup>η</sup> ώρα εκτέλεσης του μοντέλου και σε κάθε περίπτωση τα λεωφορεία, στην έξοδο «True», ενώ μετά τη 34<sup>η</sup> ώρα εκτέλεσης του μοντέλου οδηγεί τα αυτοκίνητα (Car) και τα βαν (Van) στην έξοδο «False».

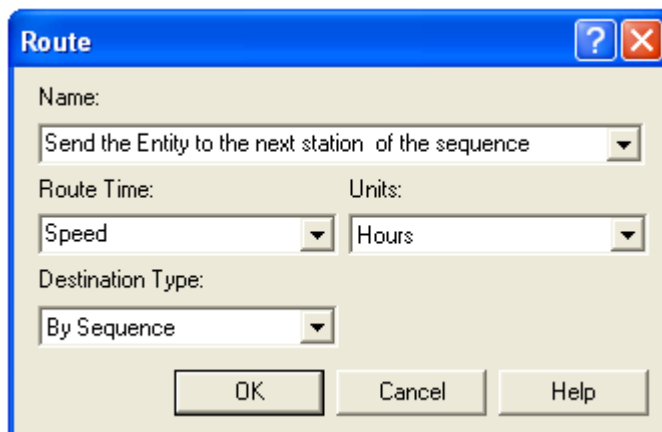


Εικόνα 25 - Decide Module στο Τρίτο μέρος του Ενδιάμεσου Σταθμού

Σε περίπτωση που μία οντότητα οδηγηθεί στην έξοδο «False» του ανωτέρω Decide module, θα περάσει από το Assign module πριν εξέλθει τελικά από το σταθμό μέσω του Leave module. Στο Assign module, αντικαθίσταται το τρέχον **Sequence** με το κατάλληλο **Emergency Sequence** το οποίο θα οδηγήσει την οντότητα σε κάποιο από τα τρία καταφύγια. Ωστόσο για να λειτουργήσει σωστά το καινούργιο Sequence πρέπει να τεθεί και στο **Entity.Jobstep** η τιμή **0**. Το Jobstep είναι ένας αριθμός ο οποίος καθορίζει σε ποιο βήμα της ακολουθίας βρίσκεται η οντότητα. Μετά από κάθε Leave ή Route module το Jobstep αυξάνεται αυτομάτως κατά 1.



Εικόνα 26 - Assign Module για Emergency Routes



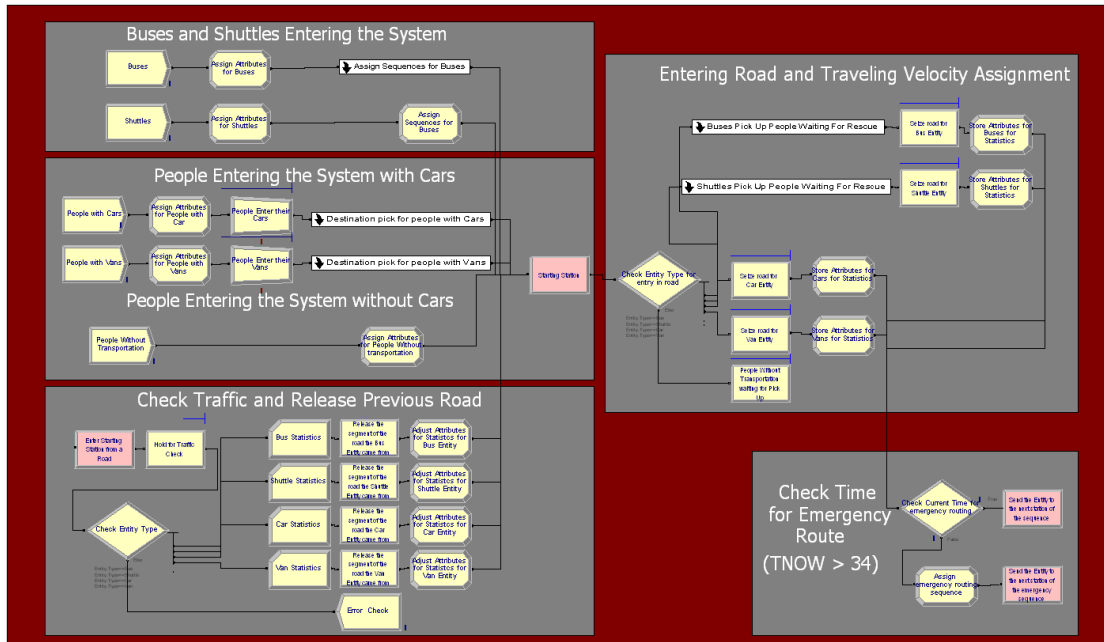
Εικόνα 27 - Route Module

Τέλος, σε κάθε περίπτωση, στην έξοδο του σταθμού βρίσκεται ένα Route module το οποίο έχει ως παραμέτρους «**Speed**» για το Route Time, «**Hours**» για το Units και «**By Sequence**» για το Destination Type, όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα. Μέσω αυτού του Route module η οντότητα οδηγείται στο επόμενο βήμα της ακολουθίας.



## 5.2.5 Αρχικός Σταθμός

Ένας Αρχικός Σταθμός έχει τη δομή που φαίνεται στην εικόνα 28 :



Εικόνα 28 - Αρχικός Σταθμός

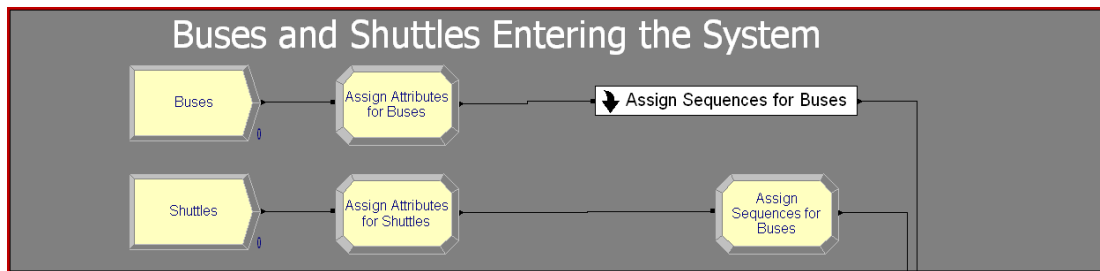
Όπως προαναφέρθηκε, ο Αρχικός Σταθμός αποτελείται από τις ομάδες modules οι οποίες δημιουργούν τις οντότητες, τους μηχανισμούς με τους οποίους τα λεωφορεία παραλαμβάνουν τους ανθρώπους χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς και τα τμήματα του Ενδιάμεσου Σταθμού. Ο αρχικός σταθμός της εικόνας περιλαμβάνει και την ομάδα modules η οποία είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία των λεωφορείων.

Ο σταθμός αυτός λοιπόν χωρίζεται σε πέντε (5) τμήματα, τα οποία είναι:

1. Είσοδος λεωφορείων στο σύστημα.
2. Είσοδος Ανθρώπων στο σύστημα.
3. Έλεγχος επόμενου δρόμου για έξοδο του οχήματος από τον τρέχοντα δρόμο.
4. Είσοδος στο επόμενο κομμάτι δρόμου.
5. Έλεγχος ώρας για αλλαγή τελικού προορισμού.

Το Τρίτο και το Πέμπτο τμήμα του Αρχικού Σταθμού είναι πανομοιότυπα με το Πρώτο και το Τρίτο τμήμα του Ενδιάμεσου σταθμού αντίστοιχα.

Το πρώτο τμήμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 29 αποτελείται από δύο (2) Create modules, τρία (3) Assign modules και ένα Submodel. Το Submodel και το τρίτο Assign εξυπηρετούν τον ίδιο σκοπό, ο οποίος είναι ο καθορισμός των διαδρομών που θα ακολουθήσουν τα λεωφορεία, ωστόσο αυτή η διαδικασία προσεγγίστηκε από δύο διαφορετικές «ιδεολογίες» προγραμματισμού με σκοπό τη σύγκριση και αποτίμηση κάθε μίας από αυτές.



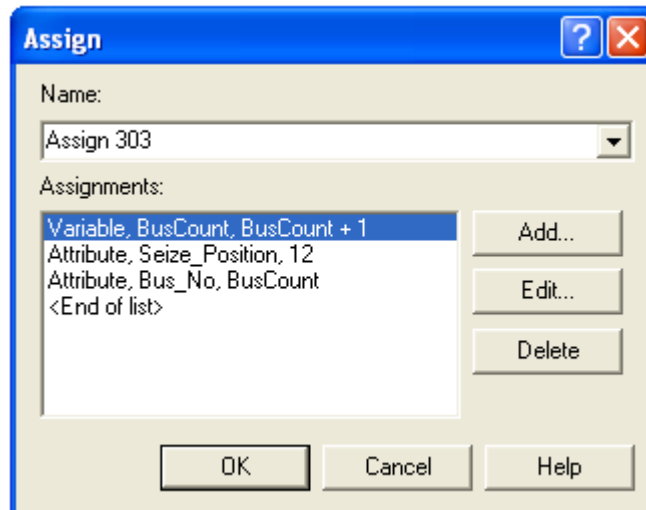
Εικόνα 29- Είσοδος λεωφορείων στο σύστημα

Τα εν λόγω Create Modules δεν έχουν όμοιες τιμές σε όλα τα σημεία του μοντέλου, εφόσον ήταν ένα από τα ζητούμενα του προβλήματος και επομένως μέσω της μεθόδου δοκιμής – σφάλματος επιλέχθηκε ο βέλτιστος συνδυασμός λεωφορείων. Ένα από τα Create modules, συγκεκριμένα του σταθμού Η, παρατίθεται στην εικόνα 30. Όπως φαίνεται έχει επιλεγεί **τύπος οντοτήτων «Bus»** και **ρυθμός εισόδου είναι μία (1) οντότητα ανά τρεις (3) ώρες με μέγιστο πλήθος εισελθουσών οντοτήτων τις πέντε (5)**. Η πρώτη από αυτές τις οντότητες θα εισέλθει στο σύστημα όταν το ρολόι της προσομοίωσης δείξει 01:00.

The screenshot shows the 'Create' dialog box for a module named 'Buses H'. The 'Entity Type' is set to 'Bus'. The 'Time Between Arrivals' is set to 'Constant' with a 'Value' of 3 and 'Units' of 'Hours'. The 'Entities per Arrival' is 1, 'Max Arrivals' is 5, and 'First Creation' is 1. The dialog box has 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons at the bottom.

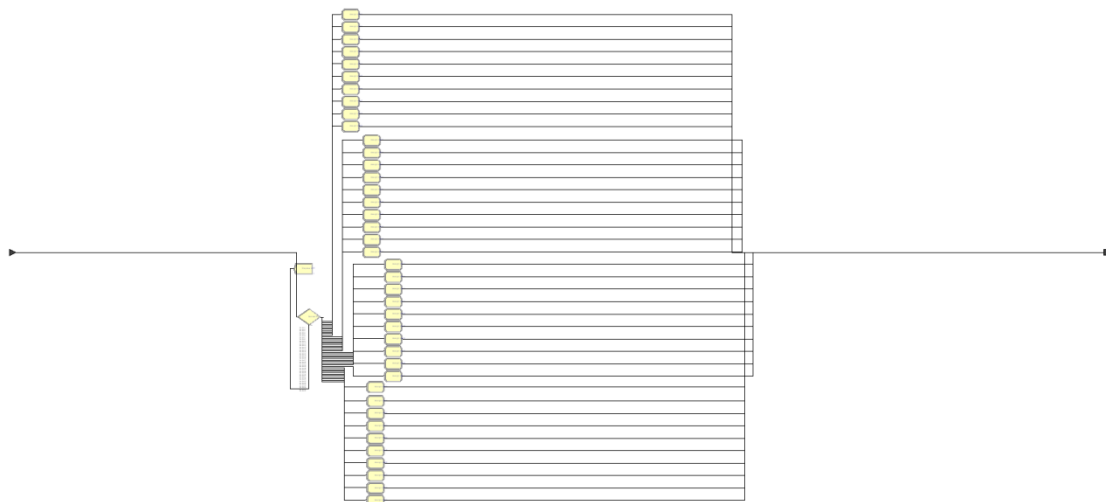
Εικόνα 30 - Create Module για τα λεωφορεία (Σταθμός Η)

Τα πρώτα δύο Assign modules, ορίζουν την αύξουσα αρίθμηση των λεωφορείων, δίνοντας έτσι σε κάθε λεωφορείο μία «ταυτότητα» την οποία μπορεί να παρακολουθήσει το λογισμικό Arena με σχετική ευκολία. **Η ταυτότητα αυτή είναι το «Bus\_No» για τα λεωφορεία και το «Shuttle\_No» για τα μικρά λεωφορεία.** Η αρίθμηση αυτή γίνεται με τη βοήθεια της μεταβλητής «BusCount» για τα λεωφορεία και «ShuttleCount» για τα μικρά λεωφορεία. Εκτός από την αρίθμηση, τα εν λόγω modules ορίζουν το **αρχικό Seize\_Position**, για το πρώτο κομμάτι δρόμου που θα εισέλθουν οι οντότητες πριν ξεκινήσουν να λαμβάνουν assignments από τα sequences. Ένα από τα Assign modules παρουσιάζεται στην εικόνα 31.



Εικόνα 31 - Assign module για το Πρώτο τμήμα του Αρχικού Σταθμού

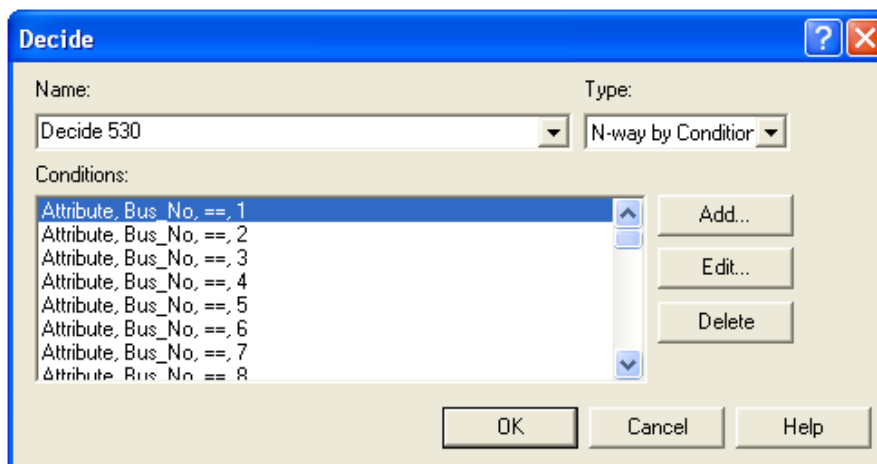
Αφού λοιπόν, οι οντότητες δημιουργηθούν μέσω των Create modules και λάβουν «ταυτότητα» μέσω των Assign modules, οδηγούνται στο επόμενο βήμα το οποίο δεν είναι άλλο από τον **καθορισμό του δρομολογίου τους**. Αυτή η διαδικασία έγινε με **δύο μεθόδους**. Η **πρώτη** έκανε χρήση **Submodel** στο οποίο οι οντότητες χωρίστηκαν μέσω Decide module, με κριτήριο την ταυτότητά τους, δηλαδή το Bus\_No και κατόπιν μέσω Assign module καθορίστηκε το δρομολόγιό τους και επιβεβαιώθηκε ότι είναι χωρίς επιβάτες. Η **δεύτερη** μέθοδος απευθείας καθορίζει τα δρομολόγια τους χωρίς τη χρήση του Decide module και η επιβεβαίωση των ελεύθερων θέσεων των λεωφορείων, γίνεται από το «Initial Values» των Variables που βρίσκεται στο Basic Process Panel. Κατόπιν ελέγχου αποδείχθηκε ότι και οι δύο τρόποι παράγουν τα ίδια αποτελέσματα και για τον λόγο αυτό έχουν παραμείνει και οι δύο στο μοντέλο. Ακολούθως για λόγους πληρότητας θα γίνει αναλυτική επεξήγηση και των δύο μεθόδων.



Εικόνα 32 - Πρώτη μέθοδος καθορισμού δρομολογίου των λεωφορείων

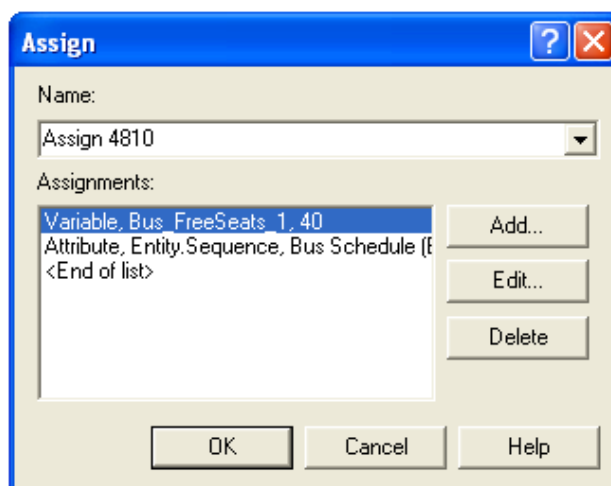
Η πρώτη μέθοδος, η οποία αναπτύχθηκε στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξης του μοντέλου, κάνει χρήση ενός Submodel ή υπομοντέλου, όπως είναι η απόδοση της λέξης στα ελληνικά. Το Submodel δίνει τη δυνατότητα επέκτασης του περιορισμένου χώρου εργασίας που

παρέχει το Arena. Κατά τη δημιουργία ενός Submodel ο χρήστης ορίζει το πλήθος των εισόδων (Entry Points) και εξόδων (Exit Points). Σε αυτή την περίπτωση **το Submodel έχει μία είσοδο και μία έξοδο**. Μέσα στο Submodel λοιπόν, υπάρχει ένα Decide module στο οποίο έχει επιλεγεί η λειτουργία «**N-way by condition**», με παράμετρο τη ταυτότητα «**Bus\_No**» των λεωφορείων.



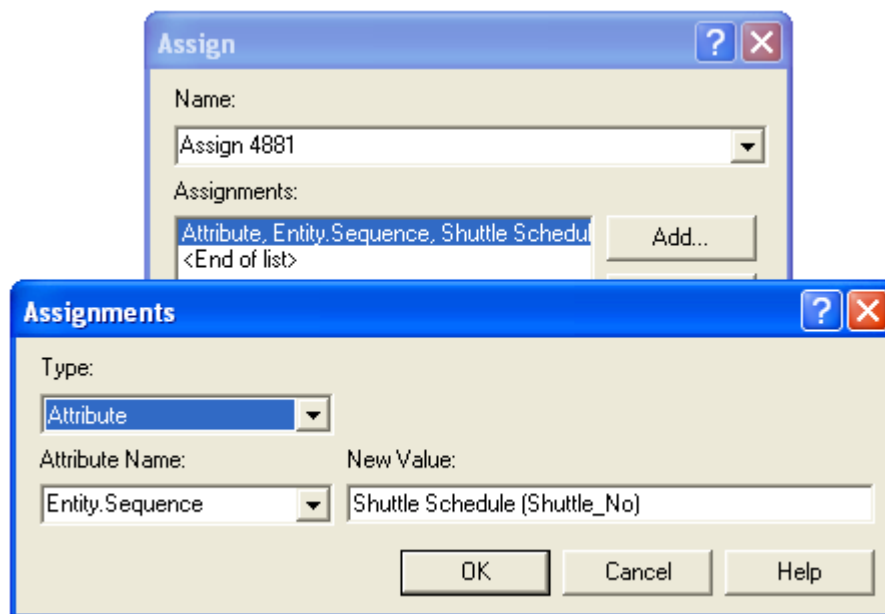
Εικόνα 33 - Decide module στο Submodel της πρώτης μεθόδου καθορισμού δρομολογίου των λεωφορείων

Αφού λοιπόν η οντότητα Bus, κατευθυνθεί στο πρέπον Assign μέσω του προαναφερθέντος Decide module, επιβεβαιώνεται το πλήθος των ελεύθερων θέσεων μέσω της παραμέτρου «**Variable, Bus\_FreeSeats\_1, 40**», σύμφωνα με την οποία στη μεταβλητή Bus\_FreeSeats\_1, που αντιπροσωπεύει τις ελεύθερες θέσεις που υπάρχουν στο λεωφορείο με την ταυτότητα «Bus\_No == 1», ορίζεται η τιμή 40, δηλαδή η μέγιστη χωρητικότητα ενός λεωφορείου. Ακολούθως, μέσω της παραμέτρου «**Attribute, Entity.Sequence, Bus Schedule(Bus\_No)**» καθορίζεται το δρομολόγιο του εν λόγω λεωφορείου. Το δρομολόγιο αυτό θα αναζητηθεί στο μονοδιάστατο πίνακα (δηλαδή ουσιαστικά σε ένα διάνυσμα) «Bus Schedule» και θα επιλεγεί η τιμή που βρίσκεται στη θέση «Bus\_No» (η τιμή δηλαδή που θα αντιστοιχούσε στο διάνυσμα με όρισμα τον αριθμό αυτό). Ο πίνακας αυτός έχει ορισθεί στα Expressions που βρίσκονται στο Advanced Process Panel. Ένα τέτοιο Assign module φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 34 - Assign module στο Submodel της πρώτης μεθόδου καθορισμού δρομολογίου των λεωφορείων

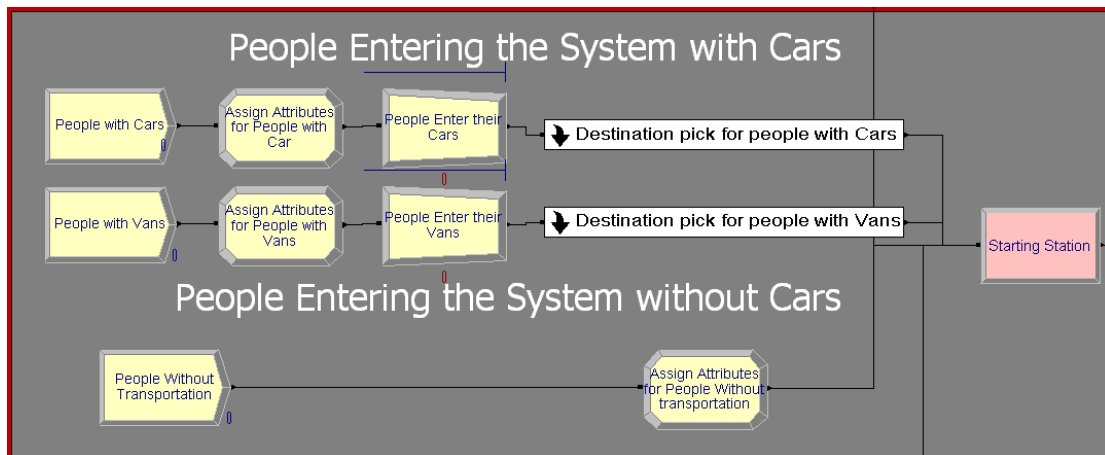
Η δεύτερη μέθοδος, είναι πιο άμεση και επομένως λίγο πιο «τολμηρή». Χωρίς να χωριστούν οι οντότητες με ένα Decide module όπως έγινε προηγουμένως, **με ένα Assign module καθορίζεται απευθείας το δρομολόγιο των λεωφορείων**. Αν και θυσιάζεται κάποια ασφάλεια με τη μέθοδο αυτή, κερδίζεται σημαντικός χρόνος διαμόρφωσης του μοντέλου. Παρουσιάζεται το Assign module το οποίο καθορίζει το δρομολόγιο για τα Shuttle για λόγους διαφοροποίησης από την προηγούμενη μέθοδο. Προφανώς αυτή η μέθοδος λειτουργεί και για τα Buses. Το εν λόγω Assign module έχει μόνο μία παράμετρο, τη «**Attribute, Entity.Sequence, Shuttle Schedule (Shuttle\_No)**». Όπως και προηγουμένως, το δρομολόγιο θα αναζητηθεί στη θέση «Shuttle\_No» του μονοδιάστατου πίνακα «Shuttle Schedule» ο οποίος έχει οριστεί στο Expression του Advanced Process Panel.



Εικόνα 35 - Assign module της δεύτερης μεθόδου καθορισμού δρομολογίων των λεωφορείων

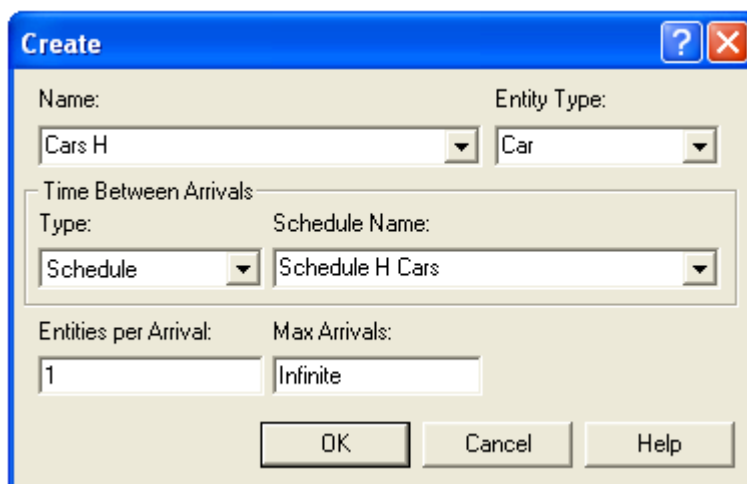
Και οι δύο μέθοδοι δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα, οπότε οι οντότητες έχοντας όλα τα χαρακτηριστικά που χρειάζονται, κατευθύνονται προς το τέταρτο τμήμα του Αρχικού σταθμού, όπου και θα συλλέξουν τους ανθρώπους χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς οι οποίοι περιμένουν σε ουρά αναμονής.

Το δεύτερο τμήμα του Αρχικού Σταθμού δε διαφέρει σημαντικά από το πρώτο, καθώς σε αυτό δημιουργούνται οι οντότητες «People», οι άνθρωποι δηλαδή που θα κινηθούν μέσα στο μοντέλο. Βασικές διαφορές είναι ότι **οι οντότητες «People» παράγονται με βάση Schedules** και ότι αν ανήκουν στην κατηγορία με ίδια μέσα μεταφοράς, **ομαδοποιούνται** για να δημιουργήσουν τις οντότητες Car και Van. Όλα αυτά γίνονται μέσω των modules Create, Assign, Batch και ενός Submodel. Όπως θα εξηγηθεί και ακολούθως, στο Submodel γίνεται η επιλογή του τελικού προορισμού των ανθρώπων με ίδια μέσα μεταφοράς.



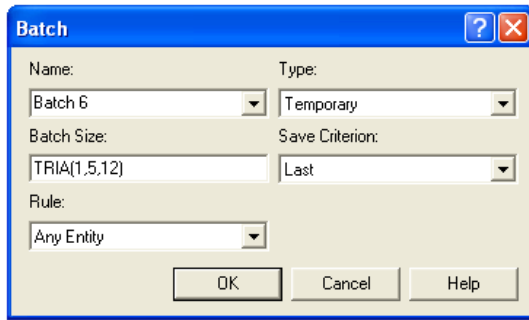
Εικόνα 36 – Είσοδος Ανθρώπων στο σύστημα

Στο τμήμα αυτό, υπάρχουν τρία (3) Create modules, τρία (3) Assign modules, δύο (2) Batch modules και δύο Sumbodells. Τα Create modules είναι παρόμοια μεταξύ τους, η μόνη διαφορά είναι το schedule (πρόγραμμα) από το οποίο λαμβάνουν τιμές. Ένα τυπικό παράδειγμα Create module υπάρχει στην εικόνα 37. Πρόκειται για το Create module των ανθρώπων που θα χρησιμοποιήσουν αυτοκίνητα (για το λόγο αυτό το Entity Type είναι επιλεγμένο ως «Car») και θα ξεκινήσουν από το σταθμό Η.

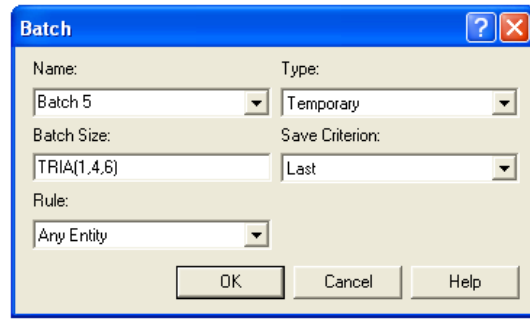


Εικόνα 37 - Create module

Οι οντότητες λοιπόν, μετά τη δημιουργία τους, οδηγούνται στο ακόλουθο Assign module όπου μεταβάλουν ορισμένες μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιούνται στο animation του μοντέλου. Στη συνέχεια, οι οντότητες που αντιπροσωπεύουν τους ανθρώπους χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς, συνεχίζουν προς το decide module του τέταρτου τμήματος του Αρχικού Σταθμού. Οι οντότητες οι οποίες αντιστοιχούν στους ανθρώπους με ίδια μέσα μεταφοράς, οδηγούνται σε ένα Batch module, όπου ομαδοποιούνται σε οντότητες τύπου Car ή Van. **Αυτές οι ομαδοποιήσεις γίνονται με χρήση τριγωνικών κατανομών, TRIA(1,4,6) για τους ανθρώπους που θα μετακινηθούν με αυτοκίνητα και TRIA(1,5,12) για τους ανθρώπους που θα μετακινηθούν με βαν.** Τα modules αυτά είναι κοινά για όλους τους αρχικούς σταθμούς και φαίνονται στις ακόλουθες εικόνες:



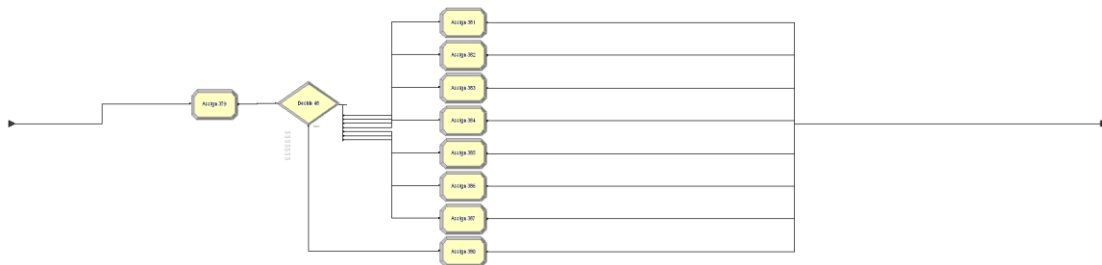
Εικόνα 38 - Batch module για τα βαν



Εικόνα 39 - Batch module για τα Αυτοκίνητα

Ο τύπος της ομαδοποίησης είναι προσωρινός (Temporary type Batch) για να είναι δυνατή η καταμέτρηση στους Σταθμούς «Safe», στα καταφύγια και στις εξόδους του μοντέλου, των ανθρώπων που έχουν ομαδοποιηθεί,.

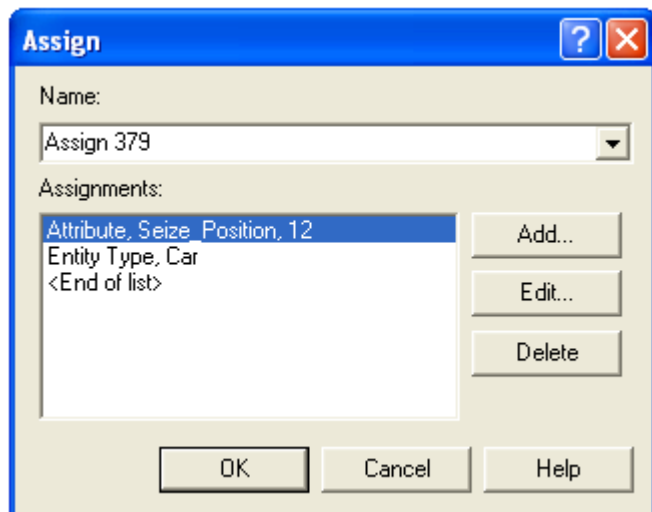
Αφού οι οντότητες ομαδοποιηθούν, εξακολουθούν να είναι τύπου «People» (Entity.Type). Για να αλλάξει αυτό θα πρέπει να περάσει η οντότητα από ένα Assign module στο οποίο θα δοθεί νέα τιμή σε αυτό το χαρακτηριστικό (Attribute). Αυτή η διαδικασία γίνεται εντός του ακόλουθου Submodel, μαζί με την επιλογή του τελικού προορισμού της οντότητας. Το Submodel έχει την ακόλουθη δομή :



Εικόνα 40 - Submodel του δεύτερου τμήματος του Αρχικού Σταθμού

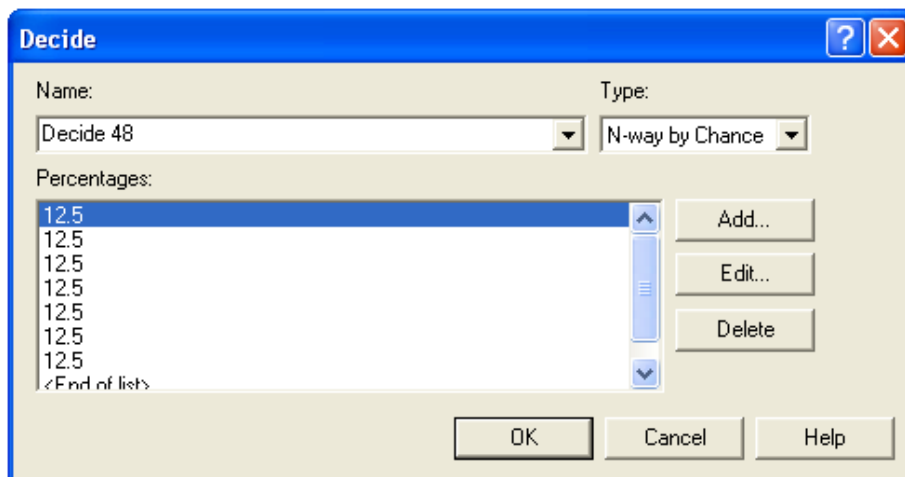
Όπως αναφέρθηκε προ ολίγου, το Submodel αποτελείται από ένα Assign module, ένα Decide module και ακολούθως τόσα Assign modules, όσες και οι πιθανές διαδρομές από τον Αρχικό σταθμό προς τους τερματικούς σταθμούς (T, U, V, W, X, Y). Το Assign module έχει ως παραμέτρους τις εκφράσεις :

«**Attribute, Seize\_Position, 12**» (Στη περίπτωση του Αρχικού σταθμού H, ο οποίος λειτουργεί ως παράδειγμα) και «**Entity Type, Car**». Με την πρώτη παράμετρο, ορίζεται το πρώτο κομμάτι δρόμου στο οποίο θα εισέλθει όχημα πριν ξεκινήσει τη διαδρομή (Sequence) του και η δεύτερη παράμετρος αλλάζει το τύπο της οντότητας από «People» σε «Car».



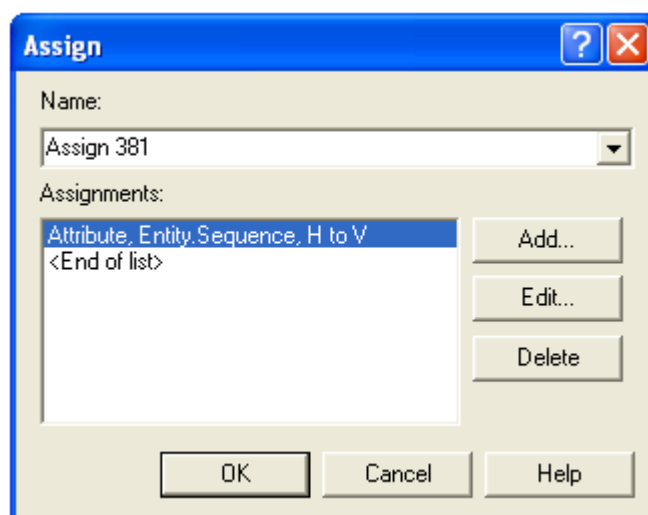
Εικόνα 41 - Assign module στο Submodel του δεύτερου τμήματος του Αρχικού Σταθμού

Στο Decide module έχει επιλεγεί η λειτουργία «**N-way by chance**» σύμφωνα με την οποία η οντότητα θα οδηγηθεί τυχαία, με βάση τις πιθανότητες που ορίστηκαν, σε κάποιο τελικό προορισμό, μέσω των Assign modules που ακολουθούν. Οι παράμετροι του προβλήματος ορίζουν ξεκάθαρα ότι **δεν υπάρχει κάποια προτίμηση σε κάποιον τελικό προορισμό**, επομένως σε όλα τα Decide αυτού του τύπου, **οι πιθανότητες είναι ίσες μεταξύ τους**, αντικατοπτρίζοντας την εν λόγω παράμετρο.



Εικόνα 42 - Decide module στο Submodel του δεύτερου τμήματος του Αρχικού Σταθμού

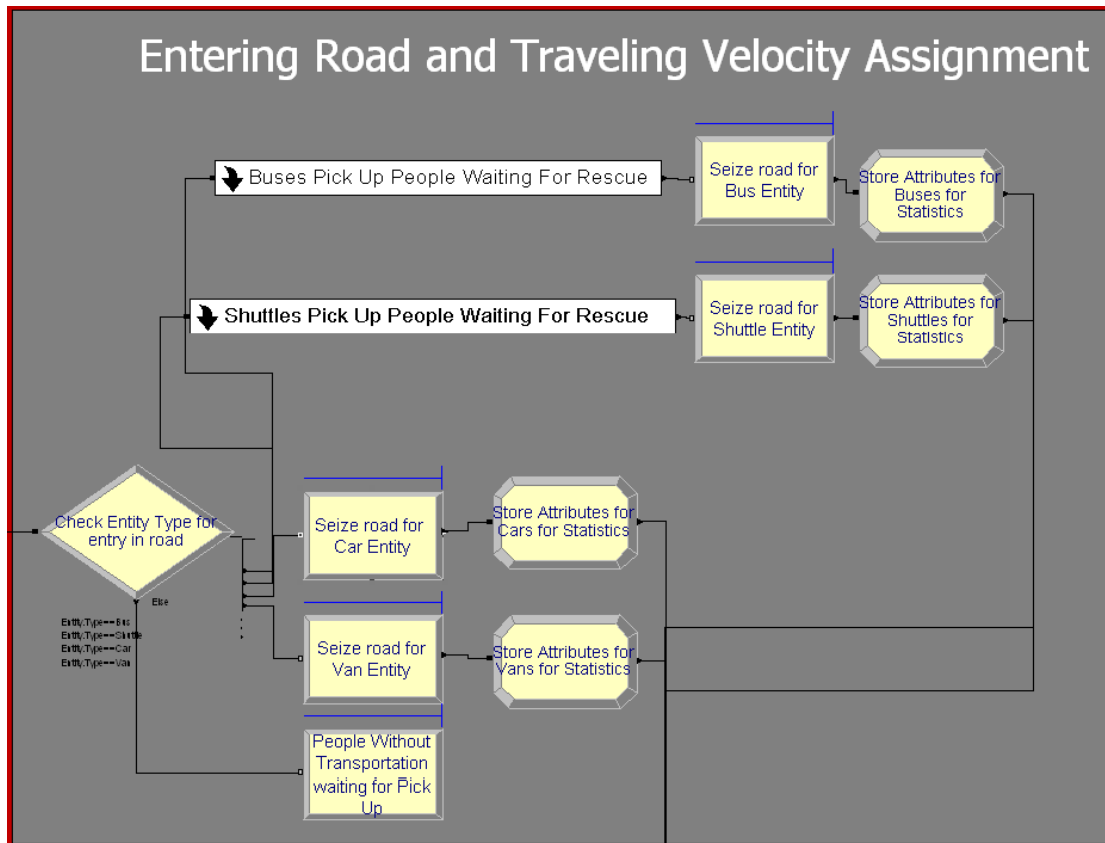
**Τέλος τα Assign modules δίνουν στην οντότητα τη διαδρομή που θα ακολουθήσει.** Σε μερικά Assign modules έχει προστεθεί η παράμετρος που ορίζει το Entity Type, για λόγους ασφαλείας, εφόσον κάποιο λάθος εδώ θα οδηγήσει σε πολύ διαφορετικά αποτελέσματα. Η παράμετρος που ορίζει τη διαδρομή (Sequence) της οντότητας είναι «Attribute, Entity.Sequence, H to V» (στην περίπτωση αυτή η οντότητα θα ξεκινήσει από το σταθμό H και θα εξέλθει από το σύστημα από το σταθμό V). Μετά το Assign module στο οποίο θα καταλήξει μία οντότητα, θα οδηγηθεί προς το Τέταρτο τμήμα του Αρχικού Σταθμού. Το Assign module του παραδείγματος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 43 - Assign module στο Submodel του δεύτερου τμήματος του Αρχικού Σταθμού



Αφού δημιουργηθούν οι οντότητες, είτε στο Πρώτο είτε στο Δεύτερο τμήμα του Αρχικού Σταθμού κατευθύνονται προς το Τέταρτο τμήμα, όπου ανάλογα με τον τύπο τους (Car, Van, Bus, Shuttle, People) οδηγούνται στις κατάλληλες ομάδες modules και στη συνέχεια εξέρχονται από το σταθμό μέσω του Πέμπτου τμήματος του Αρχικού Σταθμού. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 44, το Τέταρτο τμήμα του Αρχικού Σταθμού αποτελείται από ένα Decide module, τέσσερα (4) Seize modules, τέσσερα (4) Assign modules, ένα Hold module και δύο Submodels. Τα Submodels περιέχουν το μηχανισμό με τον οποίο τα λεωφορεία, συλλέγουν τους ανθρώπους χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς που αναμένουν σε ουρές για διάσωση.



Εικόνα 44 - Τέταρτο τμήμα Αρχικού Σταθμού

Εύλογα παρατηρείται λοιπόν, ότι αυτό το τμήμα του Αρχικού Σταθμού έχει αρκετές ομοιότητες με το Δεύτερο τμήμα του Ενδιάμεσου σταθμού. Τα Seize και τα Assign modules είναι πανομοιότυπα με αυτά του Δευτέρου τμήματος του Ενδιάμεσου Σταθμού.

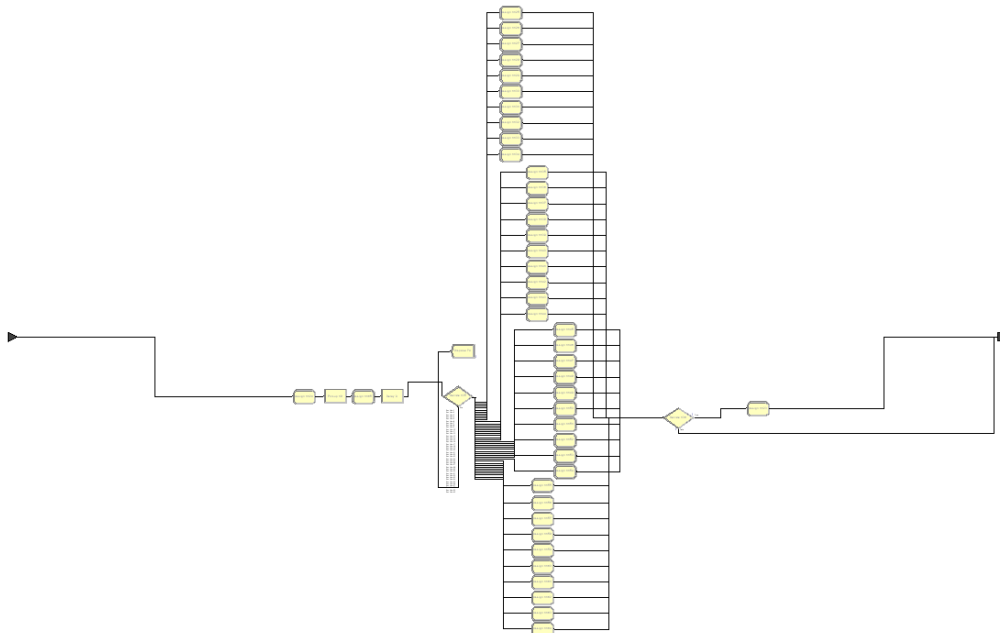
Το Decide module έχει την ίδια λειτουργία (N-way by condition) και τις ίδιες παραμέτρους (Entity.Type == Bus κλπ.) με το Decide module που χρησιμοποιήθηκε στο Πρώτο τμήμα του Ενδιάμεσου Σταθμού. Η μόνη **διαφορά** που υπάρχει έγκειται στο ότι στην έξοδο «Else» του Decide module δεν υπάρχει ένα Dispose module, αλλά ένα Hold module. Το Dispose module χρησιμοποιήθηκε στις υπόλοιπες περιπτώσεις για λόγους ελέγχου του μοντέλου. Σε αυτή την περίπτωση ωστόσο, στην έξοδο «Else» του Decide module θα οδηγηθούν όλες οι οντότητες τύπου «People», οι οποίες με βάση την περιγραφή του προβλήματος θα εισέλθουν σε κάποια ουρά αναμονής περιμένοντας να τις διασώσουν τα λεωφορεία. Αυτή η διαδικασία γίνεται μέσω του Hold module. Το εν λόγω module έχει ως επιλεγμένη

λειτουργία «**Infinite Hold**». Επομένως όσες οντότητες εισέλθουν σε αυτό το Hold module θα αναμένουν στην αντίστοιχη ουρά επ' αόριστον ή έως ότου κάποιο λεωφορείο τους συλλέξει μέσω ενός Pick Up module.



Εικόνα 45 - Hold module Τέταρτου τμήματος Αρχικού Σταθμού

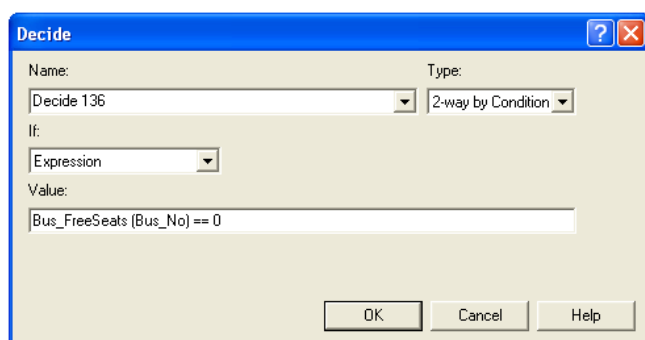
Τα Sumbodels είναι όμοια μεταξύ τους. Θα αναλυθεί το Submodel για τις οντότητες Bus του Αρχικού Σταθμού Η ως παράδειγμα. Η βασική δομή του εν λόγω Submodel είναι :



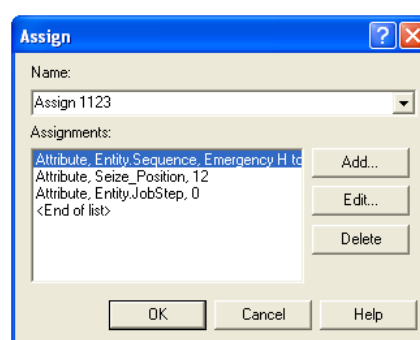
Εικόνα 46 - Submodel του Τρίτου τμήματος του Αρχικού Σταθμού

Όπως φαίνεται και στην ανωτέρω εικόνα, το Submodel αποτελείται από δύο (2) Decide modules, ένα (1) Pick Up module, ένα (1) Delay module και αρκετά Assign modules. Το πρώτο Decide module, είναι πανομοιότυπο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στο Submodel του Πρώτου τμήματος του Αρχικού Σταθμού. Έχει δηλαδή, επιλεγμένη λειτουργία «**N-way by condition**» με συνθήκη να είναι η ταυτότητα (**Bus\_No**) του κάθε λεωφορείου.

Το δεύτερο Decide module **ελέγχει αν το λεωφορείο είναι γεμάτο** και σε περίπτωση που είναι, το κατευθύνει στο τελευταίο Assign module όπου και ορίζεται καινούργια διαδρομή στο λεωφορείο, η οποία θα το οδηγήσει **απευθείας** στο καταφύγιο. Για την εκπλήρωση αυτής της διαδικασίας, το Decide module έχει ως λειτουργία **«2-way by condition»** με συνθήκη **«Bus\_FreeSeats(Bus\_No) == 0»**. Το ακόλουθο Assign module θέτει νέα τιμή στο χαρακτηριστικό (Attribute) **Entity.Sequence** της οντότητας Bus και τιμή «0» στο χαρακτηριστικό **Entity.Jobstep**, επιτρέποντας στην οντότητα να ακολουθήσει την νέα διαδρομή από την αρχή. Επιπλέον, ορίζεται νέα τιμή και στο χαρακτηριστικό **«Seize\_position»** σε περίπτωση που το λεωφορείο αλλάξει φορά και επομένως εισέλθει σε άλλο κομμάτι δρόμου από αυτό που είχε οριστεί αρχικά στη «παλιά» διαδρομή. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η νέα τιμή για το Entity.Sequence είναι «Emergency H to RRA». Αυτός ο μηχανισμός δεν ήταν απαραίτητος αλλά διαμορφώθηκε για λόγους προσέγγισης της πραγματικής κατάστασης με την ελάχιστη δυνατή απόκλιση.

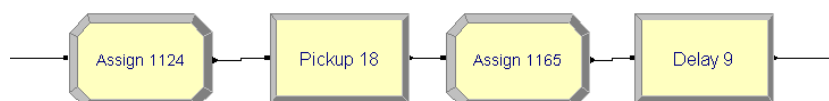


Εικόνα 47 - Decide module στο Submodel του Τέταρτου τμήματος του Αρχικού Σταθμού

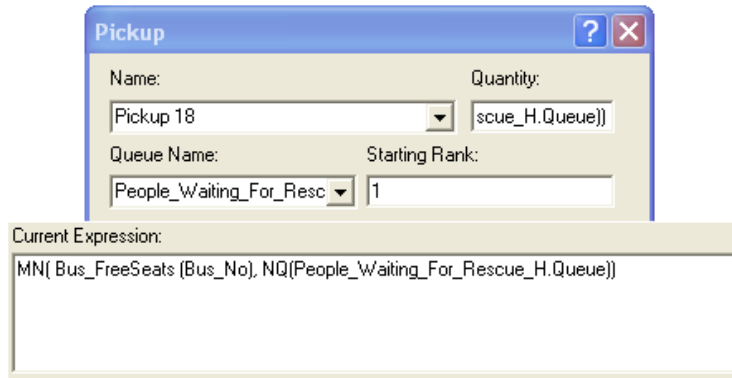


Εικόνα 48 - Assign module στο Submodel του Τέταρτου τμήματος του Αρχικού Σταθμού

Η πρώτη τριάδα modules είναι υπεύθυνη για τον καθορισμό του πλήθους των επιβατών που μπορεί να συλλέξει το κάθε λεωφορείο. **Η συλλογή των ανθρώπων που αναμένουν στην ουρά, γίνεται μέσω του module Pick Up**. Για να λειτουργήσει σωστά το module αυτό χρειάζεται τρεις παραμέτρους. Την ουρά (Queue) από την οποία θα «πάρει» τις οντότητες, το πλήθος των οντοτήτων (Quantity) και τον αύξοντα αριθμό της οντότητας στην ουρά, από την οποία και μετά θα «πάρει» οντότητες (Starting Rank). Στην παρούσα περίπτωση, το μέγιστο πλήθος των οντοτήτων που μπορεί να συλλέξει το λεωφορείο είναι ίσο με τις ελεύθερες θέσεις του λεωφορείου. Ωστόσο, στη «γλώσσα» του Arena, αυτή η έκφραση μεταφράζεται ως **«MN(Bus\_FreeSeats Bus\_No),NQ(People\_Waiting\_For\_Rescue\_H.Queue)»**. Μετά το Pick Up module, η οντότητα Bus έχει ως **«members»** (μέλη) όλες τις οντότητες που συνέλεξε. Αυτές οι οντότητες θα χωριστούν από την οντότητα Bus μέσω ενός Drop Off module μόλις φτάσουν στο προορισμό τους.

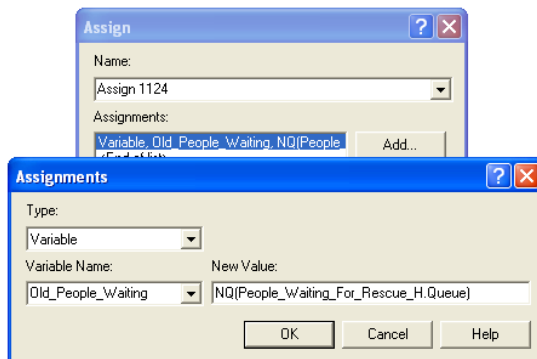


Εικόνα 49 - Λεπτομέρεια του Submodel του Τρίτου τμήματος του Αρχικού Σταθμού

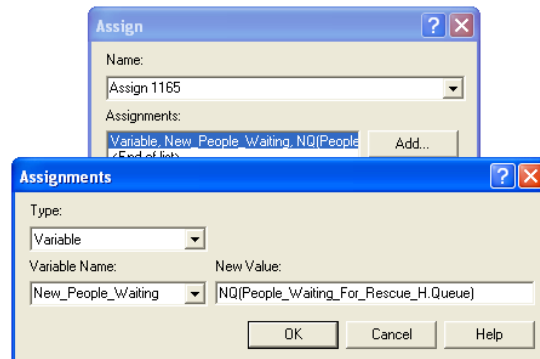


Εικόνα 50- Pick Up module

Τα δύο Assign modules, αριστερά και δεξιά του Pick Up module, λειτουργούν ως καταγραφείς για το πλήθος των ανθρώπων που συνέλεξε το λεωφορείο. Αποθηκεύουν λοιπόν το πλήθος των ανθρώπων που βρίσκονται στην Ουρά αναμονής, πριν και αφού αφαιρέσει από αυτήν, όσους επιβάτες μπορεί να μεταφέρει το λεωφορείο. Η διαφορά των δύο τιμών έχει ως αποτέλεσμα το πλήθος των οντοτήτων που συνέλεξε το λεωφορείο. Το πρώτο Assign module αποθηκεύει αυτή τη τιμή στη μεταβλητή «**Old\_People\_Waiting**» και το δεύτερο Assign module στη μεταβλητή «**New\_People\_Waiting**».



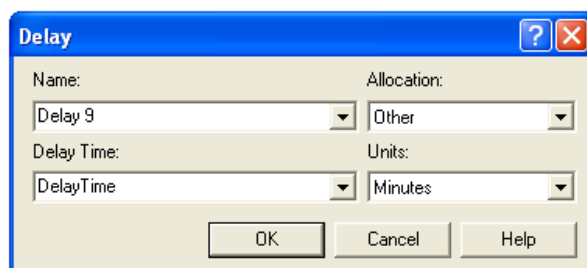
Εικόνα 51 - Assign module - Old\_People\_Waiting



Εικόνα 52 - Assign module - New\_People\_Waiting

Το δεύτερο Assign module εκτελεί και μία επιπλέον λειτουργία. Αποθηκεύει σε ένα χαρακτηριστικό (Attribute) το χρόνο που θα καθυστερήσει το λεωφορείο κατά τη διαδικασία της επιβίβασης. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι το «**DelayTime**» και έχει ως τιμή «**(40 – Bus\_FreeSeats (Bus\_No) – NG) /12**». Ο τύπος αυτός επιτρέπει την παραμετροποίηση του χρόνου επιβίβασης, ανάλογα με το πλήθος των ανθρώπων που επιβιβάζονται στο λεωφορείο. Στο σημείο αυτό, **δεν έχει αλλάξει η μεταβλητή «Bus\_FreeSeats»** της οντότητας Bus, επομένως η έκφραση «**(40 – Bus\_FreeSeats (Bus\_No))**» δίνει το πλήθος των επιβατών του λεωφορείου πριν την επιβίβαση των καινούργιων επιβατών. Η έκφραση «**NG**» δίνει το πλήθος των μελών μιας ομάδας την τρέχουσα χρονική στιγμή, επομένως στην περίπτωση αυτή, το πλήθος των επιβατών του λεωφορείου, αφού έχουν επιβιβαστεί οι καινούργιοι επιβάτες. Η διαφορά των δύο αυτών μεγεθών αποτελεί το πλήθος των ανθρώπων που επιβιβάστηκαν. Ο αριθμός αυτός διαιρείται με το 12 για να μετασχηματιστεί σε μονάδα χρόνου στο ακόλουθο Delay module.

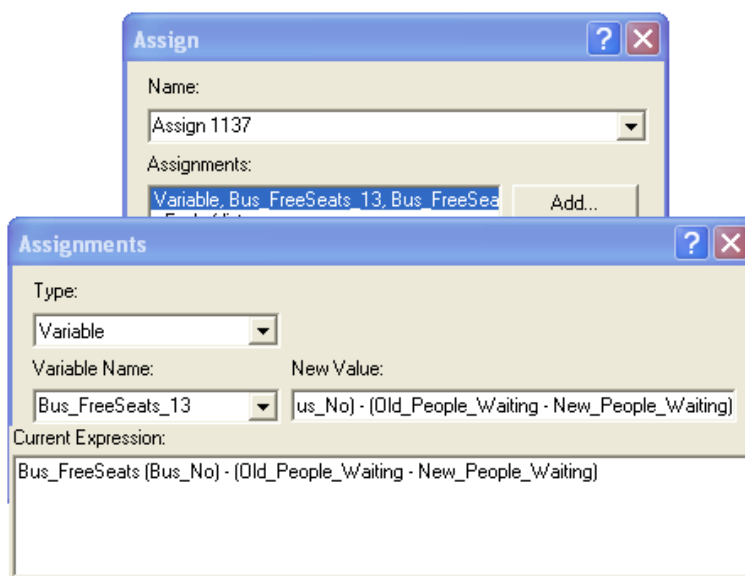
Το Delay module καθυστερεί μια οντότητα πριν την αναχώρηση της από το σταθμό. Ως παραμέτρους έχει το χρόνο που θα καθυστερήσουν οι οντότητες (Delay Time) και τη μονάδα μέτρησης του χρόνου (Units). Ως χρόνος καθυστέρησης χρησιμοποιείται η έκφραση «**DelayTime**», η οποία ορίστηκε προηγουμένως και ως μονάδα χρόνου επιλέχθηκε η τιμή «**Minutes**». Επομένως με αυτόν τον τρόπο το πλήθος των ανθρώπων που επιβιβάζονται μεταφράζεται σε χρονική καθυστέρηση του λεωφορείου.



Εικόνα 53 - Delay module

Αφού λοιπόν, τα λεωφορεία πάρουν όσους επιβάτες μπορούν, πρέπει να τεθεί νέα τιμή στη μεταβλητή **Bus\_FreeSeats\_#** του αντίστοιχου λεωφορείου. Αυτό γίνεται με το συνδυασμό του Decide και των υπόλοιπων Assign modules. Όπως και στο Submodel του πρώτου τμήματος του Αρχικού Σταθμού, το Decide module κατευθύνει τις οντότητες Bus στα κατάλληλα Assign modules με βάση την ταυτότητά τους (Bus\_No). Στα Assign modules, ορίζεται η νέα τιμή για τη μεταβλητή Bus\_FreeSeats\_#, που αντικατοπτρίζει τις ελεύθερες θέσεις του κάθε λεωφορείου. Η παράμετρος στα Assign modules είναι «**Variable, Bus\_FreeSeats\_#, Bus\_FreeSeats(Bus\_No)-(Old\_People\_Waiting – New\_People\_Waiting)**».

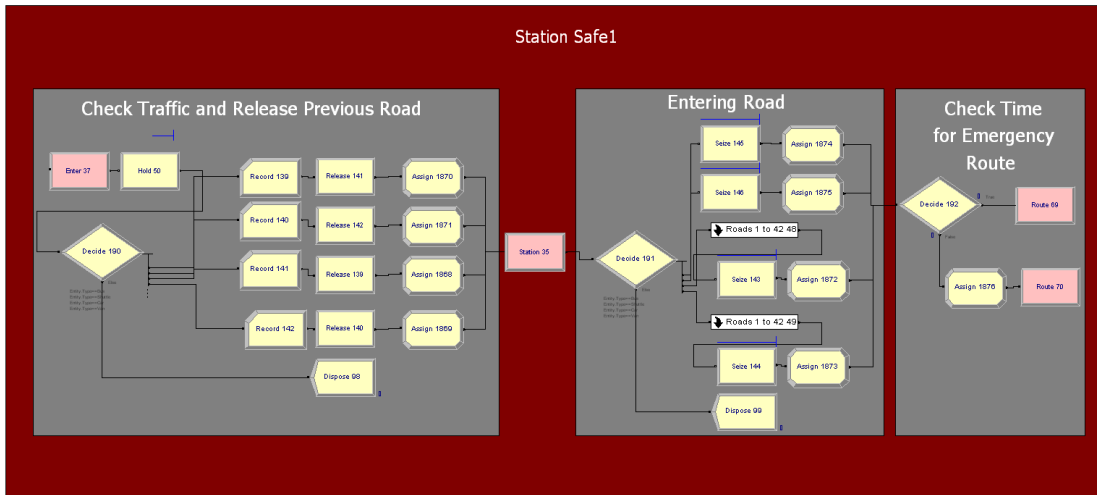
Με τη χρήση των modules αυτού του Submodel, επιτυγχάνεται η προσομοίωση της διαδικασίας συλλογής των ανθρώπων χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς, χωρίς σημαντικές αποκλίσεις από την πραγματικότητα. Αφού εξέλθουν από το Submodel, οι οντότητες Bus και Shuttle οδηγούνται στα Seize modules και τελικά εξέρχονται από τον Αρχικό Σταθμό μέσω του Πέμπτου και τελευταίου τμήματός του.



Εικόνα 54 - Assign module για τον ορισμό των ελεύθερων θέσεων των λεωφορείων

### 5.2.6 Σταθμός «Safe»

Ο Σταθμός «Safe» είναι ουσιαστικά ένας Ενδιάμεσος σταθμός με δύο (2) επιπλέον Submodels. Στα Submodels αυτά γίνεται καταμέτρηση των οντοτήτων που έχουν ομαδοποιηθεί σε Car και Van. Η δομή του Σταθμού «Safe» φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:

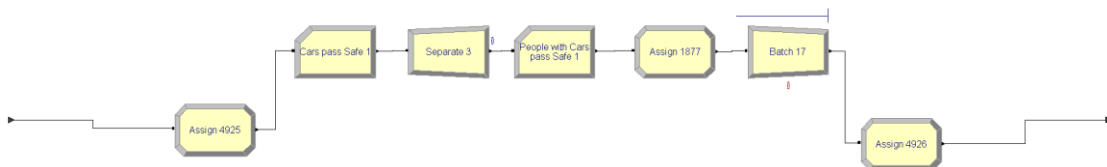


Εικόνα 55 - Σταθμός "Safe"

Όπως και ο Ενδιάμεσος Σταθμός, ο Σταθμός «Safe» αποτελείται από τρία τμήματα:

1. Έλεγχος επόμενου δρόμου για έξοδο του οχήματος από τον τρέχοντα δρόμο.
2. Είσοδος στο επόμενο κομμάτι δρόμου.
3. Έλεγχος ώρας για αλλαγή τελικού προορισμού.

Το Πρώτο και Τρίτο τμήμα του Σταθμού «Safe» είναι πανομοιότυπα με τα αντίστοιχα τμήματα του Ενδιάμεσου Σταθμού. Το δεύτερο τμήμα διαφέρει μόνο στην παρουσία των δύο (2) Submodels. Τα Submodels είναι όμοια μεταξύ τους, αλλά θα χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα το Submodel που αντιστοιχεί στην οντότητα «Car». Το εν λόγω Submodel περιέχει τρία (3) Assign modules, δύο (2) Record modules, ένα Separate module κι ένα Batch module.



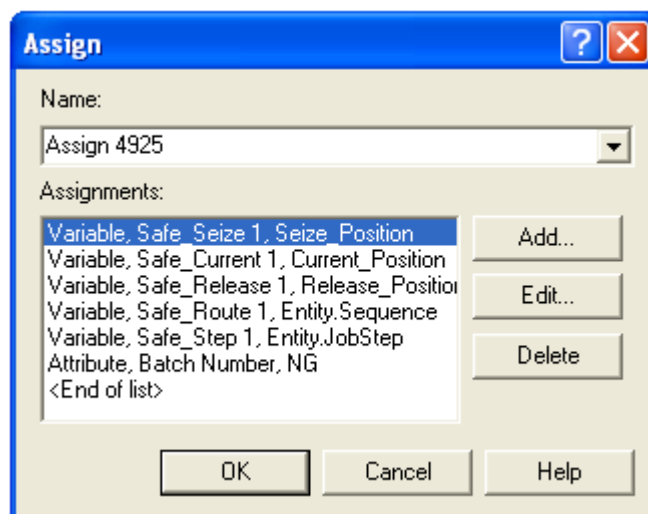
Εικόνα 56 - Submodel Σταθμού "Safe"

Το πρώτο Record module καταγράφει το πλήθος των αυτοκινήτων που περνούν από το σταθμό αυτό, ενώ το δεύτερο καταγράφει το πλήθος των ανθρώπων που μεταφέρεται στα αυτοκίνητα αυτά. Για το λόγο αυτό, το δεύτερο Record module βρίσκεται μετά το Separate module.

Οι οντότητες τύπου Car και Van, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, παράγονται από ομαδοποίηση των οντοτήτων «People». Η ομαδοποίηση αυτή γίνεται τυχαία, μέσω

τριγωνικών κατανομών. Για να γίνει καταγραφή των οντοτήτων «People» πρέπει πρώτα να «σπάσει» η ομαδοποίησή τους. Αυτό γίνεται μέσω του module Separate. Ωστόσο, μετά τη καταγραφή τους, οι οντότητες πρέπει να εισέλθουν στις ίδιες ομάδες με πριν για να συνεχίσουν την πορεία τους, διότι σε αντίθετη περίπτωση στο σταθμό αυτό θα δημιουργούνταν ή θα εξαφανίζονταν οντότητες τύπου Car ή Van. Επειδή η αρχική ομαδοποίηση έγινε τυχαία, προκύπτει η ανάγκη διαμόρφωσης ενός μηχανισμού που θα επιτρέψει στις οντότητες να επιστρέψουν στις ομάδες τους μετά την καταγραφή τους. Ο μηχανισμός αυτός επιτυγχάνεται με τη χρήση των Assign modules στην αρχή και το τέλος του Submodel.

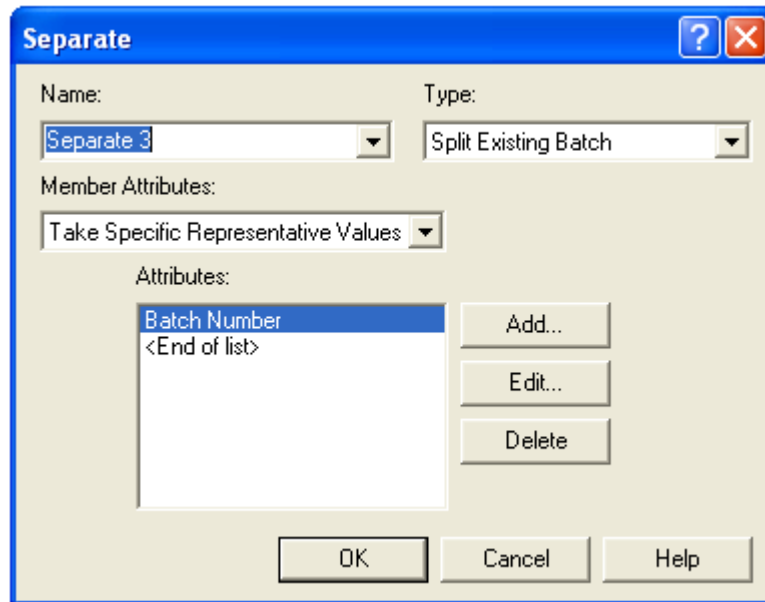
Στο πρώτο Assign module, αποθηκεύονται σε προσωρινές μεταβλητές (**Safe\_Seize 1, Safe\_Current 1, Safe\_Release 1, Safe\_Route 1, Safe\_Step 1**) όλα τα χαρακτηριστικά των οντοτήτων που ορίστηκαν σε προηγούμενα στάδια του μοντέλου (**Seize\_Position, Release\_Position, Current\_Position, Entity.Sequence, Entity.Jobstep**) και επιπλέον αποθηκεύεται στο χαρακτηριστικό «Batch Number» το πλήθος των οντοτήτων που έχουν ομαδοποιηθεί (**NG**).



Εικόνα 57 - Assign module στο Submodel του Σταθμού "Safe"

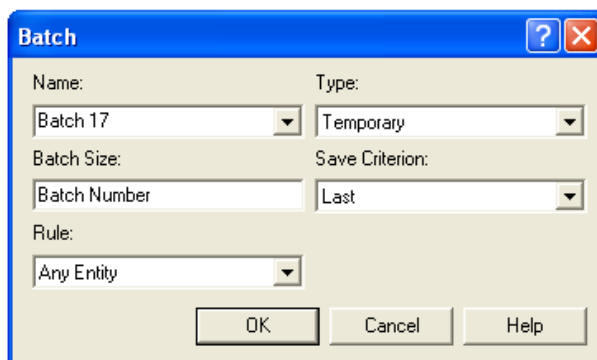
Έπειτα η οντότητα περνά από το πρώτο Record module και ακολούθως εισέρχεται στο Separate module. Το Separate module έχει επιλεγείσα λειτουργία «**Split Existing Batch**» και παράμετρο «**Take Specific Representative Values**», σύμφωνα με την οποία οι οντότητες αφού χωριστούν θα εξακολουθούν να έχουν κάποια επιλεγμένα χαρακτηριστικά, γιατί σε αντίθετη περίπτωση, χάνουν όλα τα χαρακτηριστικά που τους ορίστηκαν όσο ήταν ομαδοποιημένες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το χαρακτηριστικό που επιλέχθηκε είναι το «**Batch Number**».

Στη συνέχεια οι οντότητες οδηγούνται στο δεύτερο Record module, όπου και καταγράφεται το πλήθος το ανθρώπων που βρίσκονται σε ασφαλή περιοχή, δηλαδή που περνούν στη Ζώνη 2. Μετά το Record module, οι οντότητες εισέρχονται στο Batch module όπου και θα ομαδοποιηθούν ξανά.

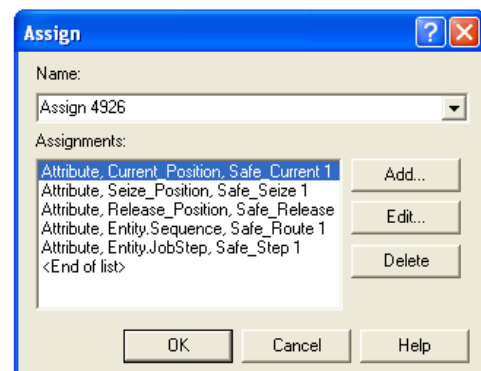


Εικόνα 58 - Separate module

Στο Batch module, θα γίνει ομαδοποίηση των οντοτήτων σε ομάδες ίδιου πλήθους με αυτές πριν το Separate module. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται θέτοντας στο Batch module, παραμέτρους «**Permanent**» για τον τύπο της ομαδοποίησης (Type) και «**Batch Number**» για το πλήθος της ομάδας (Batch Size). Με αυτή τη διαδικασία παράγονται ισάριθμες οντότητες τύπου Car και Van, μετά την καταγραφή τους. Ωστόσο αυτές οι οντότητες δεν έχουν τα χαρακτηριστικά που είχαν πριν το Separate module. Αυτό διορθώνεται με το τελευταίο Assign module, το οποίο θέτει στις οντότητες τα χαρακτηριστικά τους, αντλώντας τιμές από τις μεταβλητές στις οποίες αποθηκεύτηκαν. Το εν λόγω Assign module έχει ως παραμέτρους «Attribute, Current\_Position, Safe\_Current 1», «Attribute, Seize\_Position, Safe\_Seize 1» κ.ο.κ.



Εικόνα 59- Batch module στο Submodel του Σταθμού "Safe"



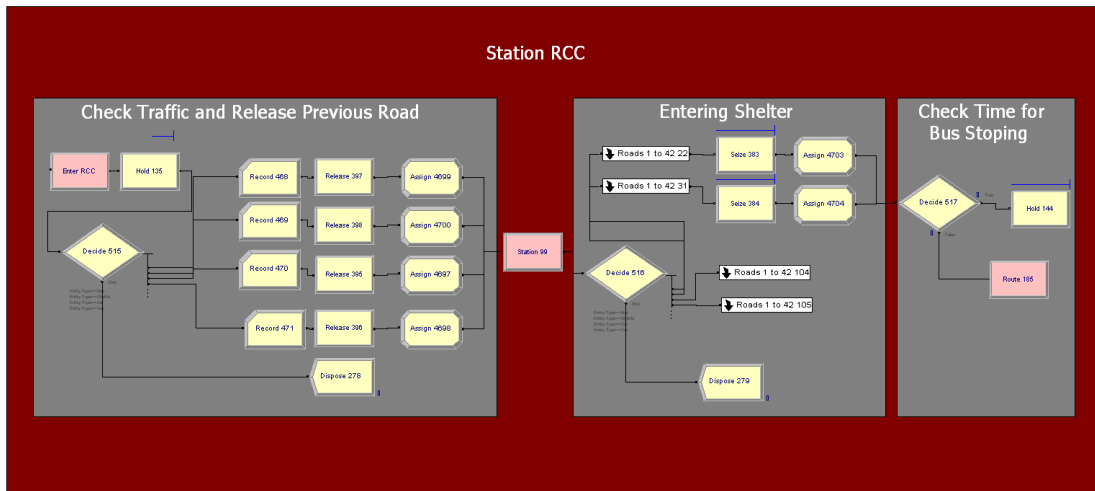
Εικόνα 60 - Assign module στο Submodel του Σταθμού "Safe"

Το ενδιαμέσο Assign module αλλάζει μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο animation του μοντέλου.



## 5.2.7 Σταθμός Καταφυγίου

Ο Σταθμός καταφυγίου έχει την ακόλουθη δομή :



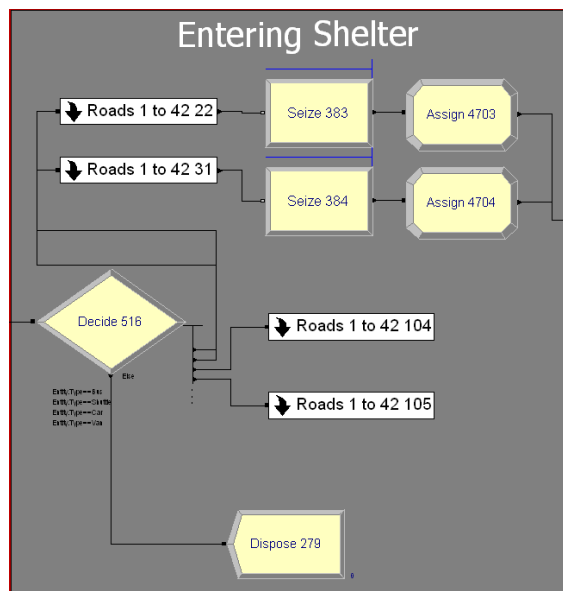
Εικόνα 61 - Σταθμός Καταφυγίου

Αποτελείται από τρία τμήματα :

1. Έξοδος του οχήματος από τον τρέχοντα δρόμο.
2. Είσοδος στο καταφύγιο.
3. Έλεγχος για στάση των λεωφορείων.

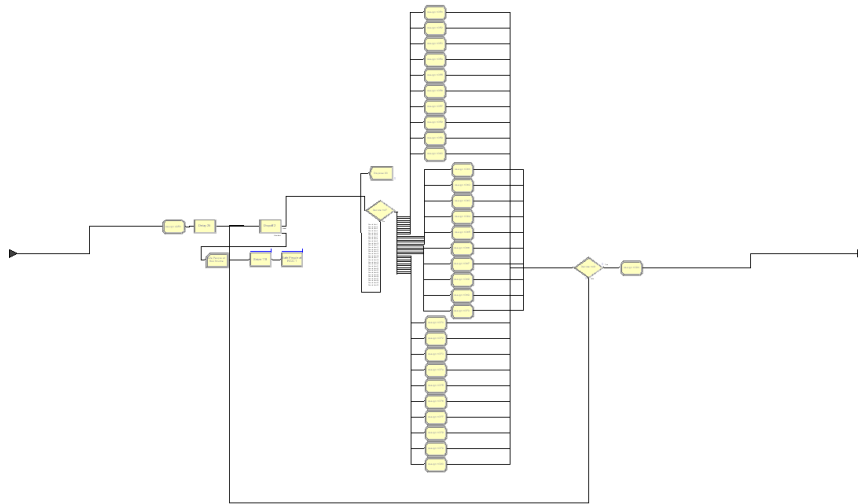
Ο σταθμός αυτός είναι διαφορετικός από αυτόν που υπάρχει στο χάρτη του Rockwell Shores. Είναι ουσιαστικά ένας εικονικός σταθμός. Ο λόγος για τον οποίο διαμορφώθηκε ο εικονικός αυτός σταθμός είναι η απλούστευση του μοντέλου και η αποφυγή δημιουργίας πολύπλοκων μηχανισμών, οι οποίοι θα ελλόχευαν κινδύνους λάθους για το μοντέλο. Ο σταθμός αυτός ενώνεται με τον αντίστοιχο σταθμό καταφυγίου όπως φαίνεται στο χάρτη, μέσω ενός πρακτικά μηδενικού μήκους δρόμου, στον οποίο το όριο ταχύτητας είναι άπειρο, επομένως ο χρόνος που χρειάζονται τα οχήματα να τον διασχίσουν είναι ελάχιστος, πολύ κοντά στην τιμή μηδέν.

Στους Σταθμούς Καταφυγίου, αποβιβάζουν τους ανθρώπους που συνέλλεξαν τα λεωφορεία, οι οποίοι μαζί με όσους ανθρώπους με ίδια μέσα μεταφοράς καταλήξουν σε ένα καταφύγιο, εισέρχονται σε μία ουρά αναμονής. Αυτές οι διαδικασίες γίνονται μέσω των τεσσάρων (4) Submodels του δεύτερου τμήματος του σταθμού.



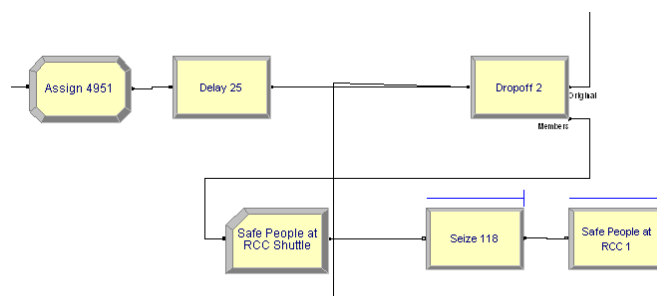
Εικόνα 62 - Δεύτερο τμήμα Σταθμού Καταφυγίου

Το Πρώτο τμήμα του σταθμού δεν έχει καμία διαφορά από το Πρώτο τμήμα του Ενδιάμεσου σταθμού. Το Δεύτερο τμήμα ωστόσο, διαφέρει σημαντικά. Αφού εισέλθουν στο σταθμό αυτό οι οντότητες, οδηγούνται στο γνωστό πια Decide module όπου και κατευθύνονται ανάλογα με τον τύπο τους. Οι οντότητες τύπου Bus και Shuttle, οδηγούνται στα αντίστοιχα Submodels, όπου και αποβιβάζουν όσους ανθρώπους προς διάσωση συνέλεξαν. Τα δύο αυτά Submodels βρίσκονται στο πάνω μέρος του Δεύτερου τμήματος όπως φαίνεται στην εικόνα 62 και είναι όμοια μεταξύ τους. Ακολούθως θα αναλυθεί το Submodel στο οποίο οδηγούνται τα Shuttles του Σταθμού Καταφυγίου RCC.



Εικόνα 63 - Submodel για τα μικρά λεωφορεία του Σταθμού Καταφυγίου RCC

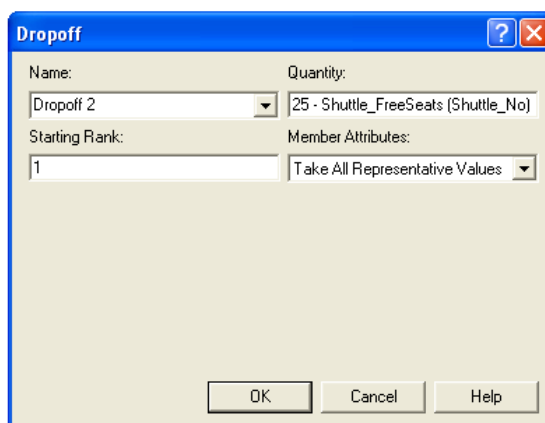
Το εν λόγω Submodel αποτελείται από τρεις ομάδες modules, όπως φαίνεται και στην εικόνα 63. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει ένα Assign και Delay modules, τα οποία είναι υπεύθυνα για την προσομοίωση του χρόνου αποβίβασης των επιβατών, το Drop Off module μέσω του οποίου αποβιβάζονται οι επιβάτες των λεωφορείων, ένα Record module για την καταγραφή αυτών και τέλος ένα Seize και ένα Hold module τα οποία αντικατοπτρίζουν τη χωρητικότητα του καταφυγίου και την πληρότητα αυτού. Η δεύτερη ομάδα modules αποτελείται από ένα Decide module και από ένα πλήθος Assign modules. Σκοπός αυτών είναι η επαναφορά των μεταβλητών «Shuttle\_FreeSeats\_#» στις αρχικές τους τιμές, αποτυπώνοντας έτσι την αποβίβαση των επιβατών των λεωφορείων και ο καθορισμός των διαδρομών που θα ακολουθήσουν τα λεωφορεία από τα καταφύγια προς τους Αρχικούς Σταθμούς, όπου και αναμένουν οι άνθρωποι χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς, διάσωση. Η τρίτη ομάδα modules περιλαμβάνει ένα Decide module, του οποίου σκοπός είναι η εξασφάλιση των ελεύθερων θέσεων των λεωφορείων και ένα Assign module, το οποίο εξασφαλίζει ότι τα λεωφορεία θα ακολουθήσουν ορθά τις διαδρομές που τους «ανατέθηκαν».



Εικόνα 64 - Πρώτη ομάδα modules

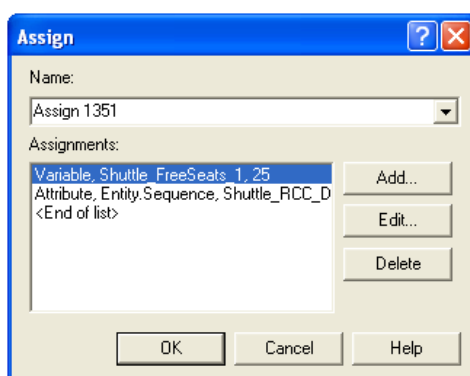
Στην πρώτη ομάδα modules, το Assign module και το Delay module είναι όμοια με αυτά που προσομοίωσαν τη χρονική καθυστέρηση των λεωφορείων λόγω της επιβίβασης των ανθρώπων. Το Assign module αποθηκεύει στο χαρακτηριστικό **«DelayTimeShelter»** την έκφραση **«NG/11»**, η οποία μεταφράζεται σε χρονική καθυστέρηση στο ακόλουθο Delay module. Το Delay module έχει ως παραμέτρους **«Minutes»** για χρονικές μονάδες και **«DelayTimeShelter»** για το χρόνο της καθυστέρησης. Με αυτόν το μηχανισμό, τα λεωφορεία καθυστερούν ανάλογα με το πλήθος των επιβατών τους, αντικατοπτρίζοντας την πραγματικότητα. Πιο συγκεκριμένα, ο χρόνος που χρειάζεται ο κάθε επιβάτης για να αποβιβαστεί ορίστηκε στα 5,45 secs. Αυτός ο χρόνος περιλαμβάνει και το χρόνο επιβράδυνσης του λεωφορείου, αν και πιθανότατα φαίνεται λίγος χρόνος, όταν τα λεωφορεία έχουν άνω του 50% πληρότητα, η τιμή αυτή προσεγγίζει σε αποδεκτά επίπεδα την πραγματικότητα.

Το Drop Off module, έχει δύο εξόδους, μία για την αυθεντική (original) οντότητα και μία για τα μέλη (members). Ως παράμετροι του Drop Off module έχουν επιλεγεί: η παράσταση **«25-Shuttle\_FreeSeats(Shuttle\_No)»** για τον αριθμό των οντοτήτων που θα «αφήσει» το λεωφορείο, 1 για τον αύξοντα αριθμό της οντότητας στην ομάδα των μελών, από την οποία και μετά θα αποβιβαστούν τα μέλη και **«Take all Representative Values»** για τα χαρακτηριστικά των μελών, έτσι ώστε τα στατιστικά που θα παραχθούν από αυτές τις οντότητες να είναι πλήρη. Στην περίπτωση αυτού του Submodel, η αυθεντική οντότητα είναι το εκάστοτε Bus ή Shuttle και τα μέλη είναι οι άνθρωποι χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς που περισυλλέχθηκαν. Η αυθεντική οντότητα οδηγείται στη δεύτερη ομάδα modules του Submodel, ενώ τα μέλη οδηγούνται σε ένα Record module και ακολούθως σε ένα Seize module. Σε αυτό το Seize module, καταλαμβάνουν μέρος του πόρου που αντιστοιχεί στη χωρητικότητα του καταφυγίου, ίσο με τον αριθμό τους. Με αυτόν τον τρόπο λαμβάνονται χρήσιμα στατιστικά σε σχέση με τον πόρο αυτό. Αφού εξέλθουν από το Seize module, οι οντότητες οδηγούνται σε ένα Hold module, όπου και θα παραμείνουν μέχρι το πέρας της εκτέλεσης του μοντέλου. Το Hold module αυτό, έχει επιλεγείσα λειτουργία **«Infinite Hold»** για να εκτελέσει το ρόλο του.



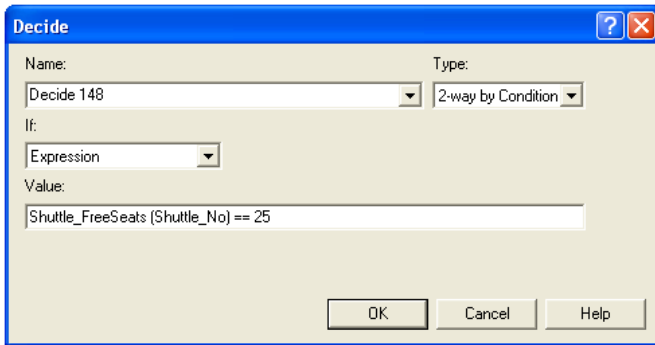
Εικόνα 65 - Drop Off module

Η δεύτερη ομάδα modules αποτελείται από ένα Decide module, το οποίο κατευθύνει τις οντότητες ανάλογα με την ταυτότητά τους (Shuttle\_No), όμοια με τα υπόλοιπα Decide modules αυτού του τύπου. Τα υπόλοιπα Assign modules έχουν δύο παραμέτρους για να εκτελέσουν τις απαραίτητες λειτουργίες. Η μία παράμετρος είναι «**Variable, Shuttle\_FreeSeats\_#, 25**» σύμφωνα με την οποία επαναφέρονται οι μεταβλητές αυτού του τύπου στις αρχικές τους τιμές και η άλλη παράμετρος είναι «**Attribute, Entity.Sequence, Shuttle\_RCC\_Departure (Shuttle\_No)**», σύμφωνα με την οποία σε κάθε Shuttle «ανατίθεται» μία διαδρομή ανάλογα με την ταυτότητά του. Η διαδρομή αυτή θα αναζητηθεί στο μονοδιάστατο πίνακα «**Shuttle\_RCC\_Departure**», οποίος ορίστηκε στα Expressions.

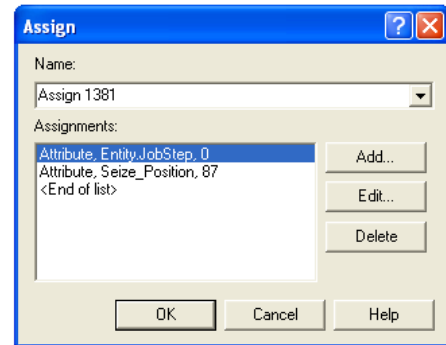


Εικόνα 66 - Assign module στο Submodel του Σταθμού Καταφυγίου

Η τρίτη ομάδα modules έχει ένα Decide module κι ένα Assign module. Το Decide module, όπως προαναφέρθηκε, ελέγχει αν τα λεωφορεία έχουν επιβάτες, αν δηλαδή η μεταβλητή «**Shuttle\_FreeSeats (Shuttle\_No)**» είναι ίση με **25** (η μέγιστη χωρητικότητα των μικρών λεωφορείων). Σε περίπτωση που δεν ισχύει αυτή η συνθήκη, ανακατευθύνονται στην αρχή του Submodel. Αυτή η διαδικασία λειτουργεί ως δικλείδα ασφαλείας διότι θα προκαλέσει το ρολόι του μοντέλου να σταματήσει, εφόσον η οντότητα αυτή θα κάνει αυτό το κύκλο για πάντα, ειδοποιώντας έτσι το χρήστη του μοντέλου ότι υπάρχει κάποιο σφάλμα. Σε περίπτωση που το λεωφορείο έχει όλες τις θέσεις κενές, οδηγείται στο τελευταίο Assign module, στο οποίο μηδενίζεται το χαρακτηριστικό «**Entity.Jobstep**» επιτρέποντας στα λεωφορεία και τα μικρά λεωφορεία να ακολουθήσουν τη διαδρομή που τους «ανατέθηκε» ορθά. Επιπλέον, εφόσον το Submodel βρίσκεται ακριβώς πριν τα Seize module, τίθεται τιμή στο χαρακτηριστικό «**Seize\_Position**» για να καταλάβει η οντότητα, μέρος του πόρου του πρόποτος δρόμου.



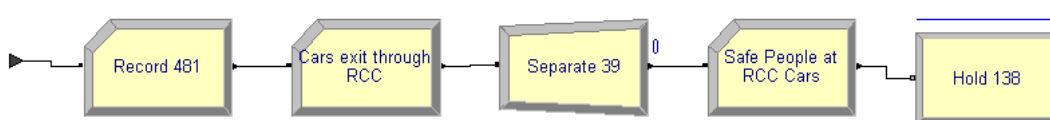
Εικόνα 67 - Decide module στο Submodel του Σταθμού Καταφυγίου



Εικόνα 68 - Assign module στο Submodel του Σταθμού Καταφυγίου

Αφού εξέλθουν από τα αντίστοιχα Submodels, τα λεωφορεία και τα μικρά λεωφορεία κατευθύνονται στα Seize modules και μετέπειτα στο Τρίτο τμήμα του Σταθμού Καταφυγίου.

Τα άλλα δύο Submodels του Δεύτερου τμήματος του Σταθμού Καταφυγίου επιτρέπουν σε οντότητες τύπου Car ή Van να εισέλθουν στο καταφύγιο και να αναμένουν εκεί το πέρας του τυφώνα. Η δομή αυτών των Submodels, όπως φαίνεται και στην εικόνα 69 είναι αρκετά πιο απλή από αυτήν των προηγούμενων Submodels. Ως παράδειγμα επιλέχθηκε το Submodel του Σταθμού Καταφυγίου RCC για τα αυτοκίνητα.

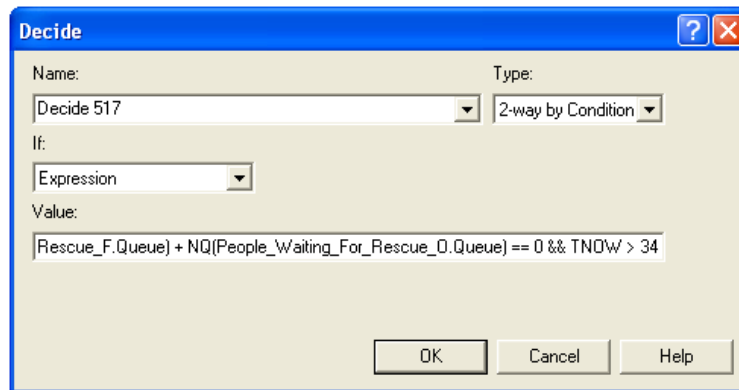


Εικόνα 69 - Submodel για τα Αυτοκίνητα στο Σταθμό Καταφυγίου

Όπως φαίνεται, τα αυτοκίνητα αφού εισέλθουν στο εν λόγω Submodel καταμετρούνται μέσω του δεύτερου Record module, κατόπιν διαχωρίζονται στις αρχικές τους οντότητες (People), μέσω του Separate module, οι οποίες καταμετρούνται κι έπειτα εισέρχονται στο Hold module όπου και θα αναμένουν το πέρας του τυφώνα. Το πρώτο Record module καταγράφει το συνολικό χρόνο που μεσολάβησε μεταξύ του χρόνου αναχώρησης της οντότητας και του χρόνου κατά τον οποίο εισήλθε στο καταφύγιο.

Το Τρίτο και τελευταίο τμήμα του Σταθμού Καταφυγίου αποτελείται από ένα Decide module, ένα Hold module και ένα Route module. Το decide module έχει επιλεγείσα λειτουργία «2-way by condition» με συνθήκη, την αρκετά μεγάλη έκφραση « $NQ(\text{People\_Waiting\_For\_Rescue\_F.Queue}) + NQ(\text{People\_Waiting\_For\_Rescue\_O.Queue}) == 0 \ \&\& \ TNOW > 34$ » σύμφωνα με την οποία αν έχει παρέλθει η 34<sup>η</sup> ώρα της προσομοίωσης και δεν υπάρχουν άνθρωποι χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς σε κάποια ουρά αναμονής, τα λεωφορεία οδηγούνται στο Hold module. Κάτι τέτοιο είναι λογικά ορθό εφόσον **δεν παράγονται οντότητες μετά την 34<sup>η</sup> ώρα προσομοίωσης**. Επιπλέον η συγκεκριμένη έκφραση αντιστοιχεί μόνο στο σταθμό καταφυγίου RCC, στον οποίο καταλήγουν τα λεωφορεία που περνούν από τους Αρχικούς Σταθμούς F και O. Σε

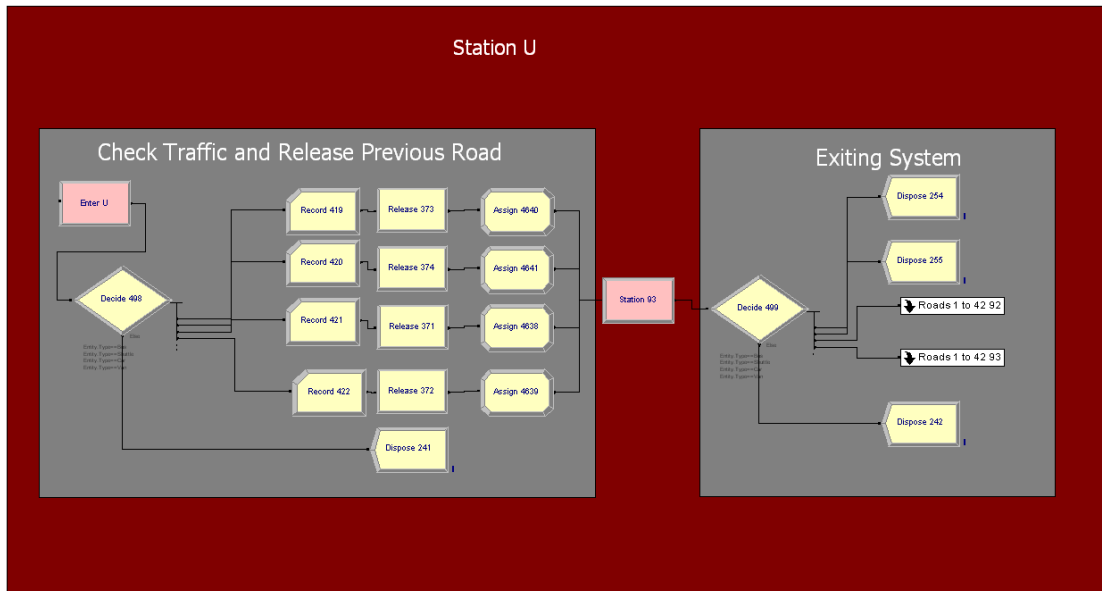
περίπτωση όπου κάποια από αυτές τις ουρές αναμονής δεν είναι άδεια, το λεωφορείο θα οδηγηθεί στο Route module και επομένως θα εξέλθει από τον σταθμό. Όπως όλα τα Route modules και αυτό είναι πανομοιότυπο με τα Route modules του ενδιαμέσου Σταθμού.



Εικόνα 70 - Decide module στο τέλος του Σταθμού Καταφυγίου

## 5.2.8 Τερματικός Σταθμός

Ο Τερματικός Σταθμός έχει την ακόλουθη δομή:



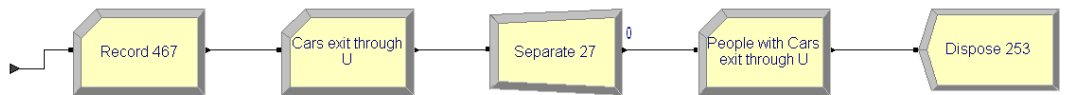
Εικόνα 71 - Τερματικός Σταθμός

Αποτελείται από δύο τμήματα,

1. Είσοδος στο Τερματικό Σταθμό
2. Έξοδος από το σύστημα

Στους σταθμούς αυτούς εισέρχονται όσες οντότητες είχαν αρκετό χρόνο να διανύσουν όλη τη διαδρομή που τους ορίστηκε στους Αρχικούς Σταθμούς. Στους Τερματικούς Σταθμούς γίνεται η καταστροφή των οντοτήτων για να βοηθηθεί η εκτέλεση του προγράμματος, καθώς απελευθερώνονται επεξεργαστικοί πόροι του υπολογιστή (Μνήμη RAM, CPU) και για να δοθεί η αίσθηση ότι οι οντότητες εξέρχονται από το σύστημα στο animation του μοντέλου.

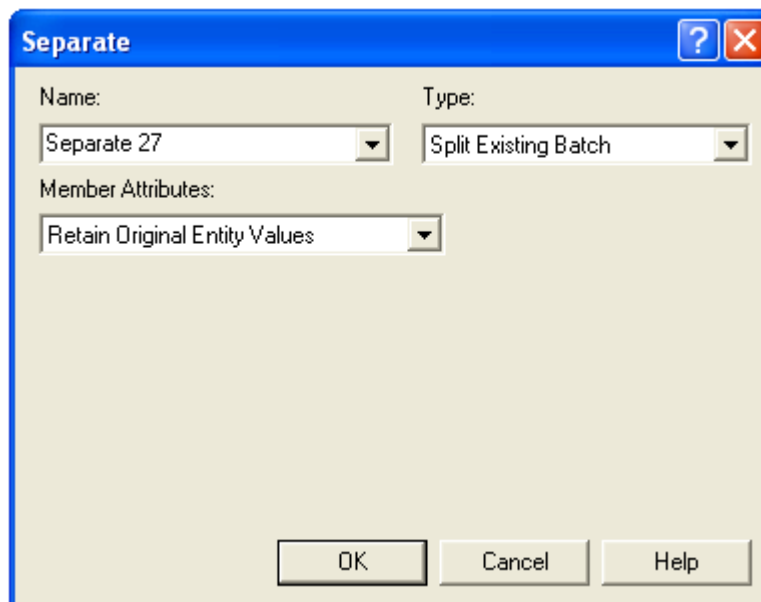
Το Πρώτο τμήμα του Σταθμού είναι πανομοιότυπο με το αντίστοιχο τμήμα του Ενδιάμεσου Σταθμού. Αφού οι οντότητες απελευθερώσουν το μέρος του δρόμου που είχαν καταλάβει και εισέλθουν στο Δεύτερο τμήμα του σταθμού, οδηγούνται σε ένα Decide module το οποίο τις χωρίζει ανάλογα με τον τύπο τους (Entity.Type) ακριβώς όπως και σε όλα τα προηγούμενα Decide modules αυτού του τύπου. Σε περίπτωση που οι οντότητες είναι τύπου Bus, Shuttle ή People, οδηγούνται απευθείας σε ένα Dispose module όπου καταστρέφονται. Προφανώς, δεν πρόκειται ποτέ κάποια οντότητα τέτοιου είδους να φτάσει σε αυτούς τους σταθμούς, ωστόσο για λόγους ομοιομορφίας του μοντέλου αποφασίστηκε να μην αλλαχθούν οι παράμετροι του Decide module. Τα Car και Van Entities λοιπόν, κατευθύνονται στο αντίστοιχο τους Submodel. Στη συνέχεια θα αναλυθεί το Submodel του Τερματικού Σταθμού U που αφορά τις οντότητες τύπου Car.



Εικόνα 72 - Submodel του Τερματικού Σταθμού για τα αυτοκίνητα

Το Submodel περιέχει τρία (3) Record modules, ένα Separate module και ένα Dispose module. Το πρώτο Record module καταγράφει το χρόνο ζωής της οντότητας. Το δεύτερο Record module καταγράφει το πλήθος των αυτοκινήτων που είχαν ως τελικό προορισμό το σταθμό αυτό. Το τρίτο Record module καταγράφει το πλήθος των ανθρώπων που χρησιμοποίησαν αυτοκίνητα κατά τη διαδικασία εκκένωσης, οι οποίοι εξέρχονται από το μοντέλο μέσω του Σταθμού U.

Το Separate module, όπως και προηγουμένως, «σπάει» την ομαδοποίηση που έγινε στους Σταθμούς «Safe». Έχει ως επιλεγείσα λειτουργία «**Split Existing Batch**» και παράμετρο «**Retain Original Entity Values**», δηλαδή στις οντότητες reople που θα προκύψουν θα δοθούν οι αρχικές τιμές των χαρακτηριστικών τους, δηλαδή εκείνες που είχαν πριν την ομαδοποίησή τους.



Εικόνα 73 - Separate module στον Τερματικό Σταθμό

Τέλος, οι οντότητες ολοκληρώνουν το ταξίδι τους στο Dispose module όπου και καταστρέφονται.

Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται η παρουσίαση και ανάλυση του μοντέλου. Με τις πληροφορίες που δόθηκαν, ο αναγνώστης θα πρέπει να έχει πλήρη επίγνωση του μοντέλου και σε περίπτωση που το επιθυμεί, να είναι σε θέση να το αναπαράγει.



## 6. ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

### 6.1 Επαλήθευση – Verification

Αφού ολοκληρώθηκε η δημιουργία του μοντέλου και η διαμόρφωση του animation, έγινε διεξοδικός έλεγχος για τη σωστή του λειτουργία (Verification).

Το συνολικό πλήθος οντοτήτων που εισέρχονται στο σύστημα συνάδει με τα δεδομένα του προβλήματος. Επιπλέον οι οντότητες εισέρχονται στο σύστημα μέσω των Αρχικών Σταθμών με κατανομή αντίστοιχη με την κατανομή πληθυσμού της υπό μελέτης περιοχής. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώθηκε τόσο από τα αποτελέσματα του μοντέλου, όσο και μέσω ελέγχου στο τέλος της εκτέλεσης κάθε επανάληψης. Οι παραπάνω παρατηρήσεις **επιβεβαιώνουν ότι το σύστημα αφίξεων των οντοτήτων λειτουργεί ορθά.**

Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας των οχημάτων ελέγχθηκε σε πολλά σημεία τόσο σε ολόκληρο το μοντέλο, όσο και σε μεμονωμένα τμήματά του. Σε ολόκληρο το μοντέλο ελέγχθηκε μέσω του συνολικού χρόνου που χρειάστηκε η πρώτη οντότητα να διανύσει όλη τη διαδρομή που της «ανατέθηκε». Ο χρόνος αυτός καταγράφηκε μέσω των Record modules και συγκρίθηκε με το χρόνο που υπολογίστηκε με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος Microsoft Excel. Σε τμήμα του μοντέλου, δημιουργήθηκαν εκφράσεις που θα έδιναν το ίδιο αποτέλεσμα, οι οποίες όμως δεν χρησιμοποιούσαν παραμετρικές εκφράσεις, αλλά απλούς αριθμούς. Ο έλεγχος έγινε κατά την εκτέλεση του μοντέλου, μέσω σύγκρισης των τιμών που έδινε το Expression «Speed» με τις τιμές που έδιναν οι προαναφερθείσες εκφράσεις. **Και στις δύο περιπτώσεις δεν παρατηρήθηκαν αποκλίσεις, επιβεβαιώνοντας την ορθή λειτουργία του Expression «Speed».**

Ο μηχανισμός που δημιουργήθηκε για να προσομοιάσει τη στάση των οχημάτων λόγω υπερβολικής κυκλοφοριακής συμφόρησης, ελέγχθηκε απομονώνοντας τρία κομμάτια δρόμου και θέτοντας υπερβολικά μεγάλες τιμές στους ρυθμούς εισόδου οντοτήτων, προκαλώντας έτσι την υπερβολική κυκλοφοριακή συμφόρηση. Μέσω παρατήρησης κατά την εκτέλεση του μοντέλου, με την προαναφερθείσα αλλαγή, **αποδείχθηκε ότι ο μηχανισμός λειτουργεί ορθά καθώς αφού το δεύτερο κομμάτι δρόμου κατελήφθη πλήρως από οχήματα, όσα επιπλέον οχήματα επιχειρούσαν να εξέλθουν από το πρώτο κομμάτι δρόμου, εισέρχονταν στην ουρά του Hold module (όπως περιγράφεται στο υποκεφάλαιο «Ενδιάμεσος Σταθμός») και δεν απελευθέρωναν τμήμα του πόρου του πρώτου δρόμου, επιδεινώνοντας τη κατάσταση.** Αυτή η κατάσταση επαληθεύτηκε μέσω στενής παρακολούθησης του animation του μοντέλου.

Όσον αφορά τα λεωφορεία, δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στη διαδικασία συλλογής των ανθρώπων χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς. Κατά την εκτέλεση του μοντέλου παρακολούθηθηκαν οι οντότητες αυτού του τύπου, οι οποίες αφού εισήλθαν σε ουρά αναμονής, συλλέχθηκαν από τα λεωφορεία και μεταφέρθηκαν στους Σταθμούς Καταφυγίου. **Εξαιτίας της σημασίας αυτής της διαδικασίας, έγινε επιπλέον έλεγχος, δημιουργώντας ένα εικονικό μοντέλο με πληθώρα μετρητών, τόσο με τη μορφή record modules, όσο και υπό μορφή μετρητών πραγματικού χρόνου οι οποίοι λειτουργούν με το**

**animation του μοντέλου.** Στο εικονικό αυτό μοντέλο, δημιουργήθηκε ένα συγκεκριμένο πλήθος ανθρώπων οι οποίοι εισήλθαν σε μια ουρά αναμονής. Έπειτα παράχθηκε συγκεκριμένο μίγμα οντοτήτων τύπου Bus ή Shuttle και παρακολούθηθηκε το πλήθος οντοτήτων που αυτά αφαιρούσαν από την εν λόγω ουρά (μέσω του Pick Up module), καθώς και το πλήθος οντοτήτων που προσέθεταν σε επόμενη ουρά (μέσω του Drop Off module). **Αποτέλεσμα αυτής της παρατήρησης ήταν η επαλήθευση της ορθότητας της μοντελοποίησης της εν λόγω διαδικασίας.**

Τέλος, έγινε έλεγχος της τυχαιότητας της ομαδοποίησης των ανθρώπων με ίδια μέσα μεταφοράς σε οντότητες τύπου Car ή Van σε όλους τους αρχικούς σταθμούς. Αυτή η τυχαιότητα παρουσίασε την ανάγκη της προσαύξησης του συνολικού πλήθους οντοτήτων που θα παραχθούν στους Αρχικούς Σταθμούς, διότι στο τέλος κάθε προσομοίωσης παρατηρήθηκε ότι υπήρχαν οντότητες στις ουρές αναμονής των Batch modules. **Στο πρόβλημα αυτό δόθηκε λύση προσθέτοντας οντότητες ίσες με το μέγιστο δυνατό πλήθος ομαδοποίησης (6 για τα αυτοκίνητα, 12 για τα βαν), κατά την 34<sup>η</sup> ώρα προσομοίωσης (αμέσως αφού σταματούν να παράγονται οι «πραγματικές» οντότητες).** Οι επιπλέον οντότητες δεν είναι αρκετές για να δημιουργήσουν σημαντικά σφάλματα κατά την εκτέλεση του μοντέλου. Στην περίπτωση αυτού του μοντέλου ούτως ή άλλως το βασικό ερώτημα είναι αν οι άνθρωποι προλαβαίνουν να διασωθούν ή όχι.

## 6.2 Επικύρωση – Validation

Επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος των αποτελεσμάτων του προβλήματος σε σχέση με την πραγματικότητα (Validation). Μετά από αρκετές επαναλήψεις και δοκιμές ελέγχθηκαν τα παρακάτω :

- Ο συνολικός αριθμός των ανθρώπων που εισήλθαν στο σύστημα συμβάδιζε με τα δεδομένα του προβλήματος (λαμβάνοντας υπόψη τις επιπλέον οντότητες για ασφαλή ομαδοποίηση).
- Ο χρόνος αναμονής των ανθρώπων χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς στις ουρές των Αρχικών Σταθμών δεν είναι υπερβολικά μεγάλος. Ο χρόνος αυτός δίδεται στη στήλη «Max Time in Queue», στη σχετική αναφορά που εκδίδει το Arena μετά το πέρας των επαναλήψεων.
- Κατά την εκτέλεση του μοντέλου, δεν εξαφανίζονται ούτε δημιουργούνται οντότητες στα σημεία όπου καταργούνται και μετέπειτα αναδημιουργούνται οι ομαδοποιήσεις των οντοτήτων (π.χ. Σταθμοί «Safe»). Επιβεβαίωση αυτού γίνεται μέσω των πολλών καταγραφικών (Record modules) στις εισόδους και εξόδους του μοντέλου.
- Επιπλέον ελέγχθηκε το Scheduled Utilization των πόρων, όπως φαίνεται στη σχετική αναφορά που εκδίδει το Arena μετά το πέρας των επαναλήψεων. Επαληθεύεται ότι τα οχήματα δεν κινούνται σε δρόμους που δε συμμετέχουν σε κάποια διαδρομή, και ότι οι δρόμοι που είναι κοινοί σε πολλές διαδρομές έχουν αυξημένη χρήση.

Τέλος, όπως εξηγήθηκε και κατά την ενότητα «Περιγραφή και Ανάλυση του Μοντέλου» έχουν εισαχθεί πολλοί μηχανισμοί σε διάφορα νευραλγικά σημεία του μοντέλου, οι οποίοι θα δώσουν σήμα λάθους σε περίπτωση που κάποια οντότητα λειτουργεί με τρόπο ενάντιο στη λογική του μοντέλου.

Συμπερασματικά, το μοντέλο λειτουργεί ομαλά και σύμφωνα με τη λογική πάνω στην οποία αναπτύχθηκε. Τα αποτελέσματα που παράγει είναι εντός της αποδεκτής απόκλισης που υπάρχει μεταξύ προσομοίωσης και πραγματικής κατάστασης.

## 7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εύρεση της βέλτιστης διαδικασίας εκκένωσης των Rockwell Shores και St.Rocks Barrier Island.

Η τρέχουσα διαδικασία εκκένωσης επιτρέπει σε κάθε αυτοκίνητο ή βαν να επιλέξει το προορισμό του και να κινηθεί προς αυτόν ακολουθώντας μία τυχαία διαδρομή. Οι άνθρωποι χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς αναμένουν σε ουρές αναμονής, για τα λεωφορεία που θα τους μεταφέρουν στα καταφύγια. Η διαδικασία με την οποία τα λεωφορεία συλλέγουν τους επιβάτες τους δεν είναι σαφώς καθορισμένη.

Το οδικό δίκτυο αποτελείται από δρόμους διπλής κατεύθυνσης με μία λωρίδα ανά κατεύθυνση. Το St. Rocks Barrier Island συνδέεται με το Rockwell Shores μέσω μίας γέφυρας δύο κατευθύνσεων, μιας λωρίδας ανά κατεύθυνση. Αυτοί οι δρόμοι είναι και οι πόροι του συστήματος.

Για την αξιολόγηση των διαδικασιών εκκένωσης χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της προσομοίωσης, εργαλείο της Επιχειρησιακής Έρευνας και συγκεκριμένα το λογισμικό Arena-Version 8.01 της εταιρίας Rockwell Automation. Οι διαδικασίες μοντελοποιήθηκαν λεπτομερώς και ακολούθησε ανάλυση των αποτελεσμάτων, η οποία οδήγησε στην εξαγωγή των συμπερασμάτων και προτάσεων που παρουσιάζονται στη συνέχεια. Βασικός στόχος είναι η πλήρης εκκένωση της υπό μελέτη περιοχής.

Η μελέτη αυτή έδειξε ότι οι παρούσες διαδικασίες εκκένωσης είναι επαρκείς για τη διάσωση όλου του πληθυσμού. Αυτό διαπιστώθηκε μέσω της καταμέτρησης των ανθρώπων με ίδια μέσα μεταφοράς που περνούν από τους σταθμούς Safe 1, Safe 2, Safe 3, Safe 4, Safe 5, Safe 6 και της μετέπειτα σύγκρισης του αριθμού αυτών, με το μέρος του πληθυσμού που θα χρησιμοποιήσει αυτοκίνητα ή βαν.

Εφόσον η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στη διάσωση του συνόλου του πληθυσμού, κατά τον έλεγχο αυτό επιλέχθηκαν ως παράμετροι του Run Setup «Initialize between Replications : Statistics – No System – Yes». Με την επιλογή αυτή τα στατιστικά που θα συλλεχθούν θα είναι αθροιστικά στο σύνολο των επαναλήψεων. Έτσι είναι δυνατή η ανωτέρω σύγκριση. Η σχετική αναφορά παρείχε τα ακόλουθα στοιχεία:

Πίνακας 10 - Πλήθος ανθρώπων με ίδια μέσα μεταφοράς που εισήλθαν στο σύστημα ανά Σταθμό

Άνθρωποι που χρησιμοποιούν αυτοκίνητα		Άνθρωποι που χρησιμοποιούν βαν	
<b>Δρόμοι 1 - 42</b>		<b>Δρόμοι 1 - 42</b>	
Σταθμός A	109553	Σταθμός A	27239
Σταθμός C	93844	Σταθμός C	23482
Σταθμός F	31529	Σταθμός F	8078
Σταθμός H	168773	Σταθμός H	42494
Σταθμός I	85806	Σταθμός I	21495
Σταθμός O	1756	Σταθμός O	539
Σταθμός S1	260941	Σταθμός S1	65368
Σταθμός S2	261192	Σταθμός S2	65267
Σταθμός S3	268082	Σταθμός S3	67319
<b>Δρόμοι 43-84</b>		<b>Δρόμοι 43-84</b>	
Σταθμός C	125054	Σταθμός C	30985
Σταθμός F	63935	Σταθμός F	15911
Σταθμός H	63754	Σταθμός H	15742
Σταθμός I	51657	Σταθμός I	12979
Σταθμός O	25361	Σταθμός O	6494
<b>Σύνολο</b>	<b>1611237</b>	<b>Σύνολο</b>	<b>403392</b>
<b>Τελικό Σύνολο</b>	<b>2014629</b>		

Πίνακας 11 - Πλήθος οντοτήτων που εισήλθαν στη Ζώνη 2 ανά Σταθμό

Άνθρωποι με αυτοκίνητα περνούν από τους Σταθμούς:			Άνθρωποι με βαν περνούν από τους Σταθμούς:
Σταθμός Safe 1	378631	94822	Σταθμός Safe 1
Σταθμός Safe 2	534993	133726	Σταθμός Safe 2
Σταθμός Safe 3	45143	11857	Σταθμός Safe 3
Σταθμός Safe 4	103744	25665	Σταθμός Safe 4
Σταθμός Safe 5	355868	88656	Σταθμός Safe 5
Σταθμός Safe 6	192952	48572	Σταθμός Safe 6
<b>Μερικά Σύνολα</b>	<b>1611331</b>	<b>403298</b>	
<b>Τελικό Σύνολο</b>	<b>2014629</b>		

Όπως φαίνεται, όλοι οι άνθρωποι πρόλαβαν να απομακρυνθούν από την υπό απειλή περιοχή. Επιπλέον σύμφωνα με την προαναφερθείσα αναφορά, όλες οι ουρές αναμονής των Hold modules ήταν κενές σε όλες τις εκτελέσεις, γεγονός που σημαίνει ότι δεν υπήρξε στάση αυτοκινήτων λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης, σε καμία περίπτωση.

Με ίδιο τρόπο ελέγχθηκε ο επιλεγείς αριθμός και τύπος των λεωφορείων που χρησιμοποιούνται, καθώς και η αφετηρία τους. Μέσω της μεθόδου δοκιμής – σφάλματος, τα βέλτιστο πλήθος λεωφορείων και μικρών λεωφορείων ορίστηκε ως :

**Πίνακας 12 - Πλήθος Λεωφορείων που χρησιμοποιήθηκαν**

Σταθμός εκκίνησης Δρόμοι 1 έως 42	Λεωφορεία (Bus)	Μικρά Λεωφορεία (Shuttle)
Σταθμός Η	5	2
Σταθμός F	2	-
<b>Σταθμός εκκίνησης Δρόμοι 43 έως 84</b>		
Σταθμός Η	8	
Σταθμός F	8	1

Σε αυτή την περίπτωση καταμετρήθηκε το πλήθος των επιβατών που αποβίβαζαν τα λεωφορεία στα καταφύγια και συγκρίθηκε με το πλήθος των ανθρώπων χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς που εισήλθαν στο σύστημα. Οι παράμετροι της εκτέλεσης των επαναλήψεων είναι ίδιες με πριν, δηλαδή τα στατιστικά που θα παραχθούν είναι αθροιστικά όλων των επαναλήψεων. Η σχετική αναφορά είχε τα εξής αποτελέσματα:

**Πίνακας 13 - Πλήθος οντοτήτων που μεταφέρθηκαν στους Σταθμούς Καταφυγίου**

<b>Άνθρωποι που μεταφέρθηκαν σε σταθμό καταφυγίου μέσω λεωφορείου (Bus)</b>	
Σταθμός RCC	12804
Σταθμός RRA	113237
<b>Άνθρωποι που μεταφέρθηκαν σε σταθμό καταφυγίου μέσω μικρού λεωφορείου (Shuttle)</b>	
Σταθμός RRA	15650
<b>Σύνολο</b>	<b>141691</b>

**Πίνακας 14 - Πλήθος ανθρώπων χωρίς μέσα μεταφοράς που εισήλθαν στο σύστημα ανά Σταθμό**

<b>Άνθρωποι χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς</b>	
Σταθμός Α	11710
Σταθμός C	23730
Σταθμός F	10503
Σταθμός Η	25341
Σταθμός Ι	14937
Σταθμός O	2967
Σταθμός S1	10464
Σταθμός S2	10522
Σταθμός S3	10447
Σταθμός CC1	10522
Σταθμός CC2	10548
<b>Σύνολο</b>	<b>141691</b>

Όπως φαίνεται όλοι οι άνθρωποι διασώζονται με τον επιλεγέντα αριθμό λεωφορείων. Επομένως δεν είναι απαραίτητη καμία μεταβολή στις υπάρχουσες υποδομές της περιοχής, ούτε στις διαδικασίες εκκένωσης.

Ωστόσο για λόγους πληρότητας μελετήθηκε η περίπτωση εκκένωσης με προκαθορισμένες διαδρομές. Σε αυτή την περίπτωση εκτελέστηκε μία επανάληψη για να είναι δυνατή η παρακολούθηση του χρόνου εκτέλεσης του μοντέλου, καθώς το λογισμικό Arena δεν παρέχει κάποιο εργαλείο για τη μέτρηση του χρόνου εκτέλεσης του μοντέλου, στην περίπτωση των πολλών επαναλήψεων.

Αρχικά, το μοντέλο εκτελέστηκε στην τρέχουσα (AS-IS) κατάσταση, με μία επιπλέον συνθήκη τερματισμού, την «People Safe == 100.775». Σύμφωνα με αυτή τη συνθήκη, η εκτέλεση θα τερματιστεί όταν περάσουν όλοι οι άνθρωποι που χρησιμοποιούν αυτοκίνητα ή βαν από τους σταθμούς Safe 1, Safe 2, Safe 3, Safe 4, Safe 5, Safe 6. Προφανώς το σύνολο των ανθρώπων αυτών είναι 100.775 βάσει των δεδομένων του προβλήματος. Η μεταβλητή «People Safe» μεταβάλλεται στο Assign module των Submodels των Σταθμών Safe, όπου μεταβάλλονται οι μεταβλητές για το animation.

Σε δεύτερη φάση, σε όλους τους αρχικούς σταθμούς έγιναν αλλαγές στη διαδικασία επιλογής των διαδρομών. Ουσιαστικά διαγράφηκε το σχετικό Decide module και τα Assign modules αντικαταστάθηκαν από μόνο ένα Assign module το οποίο κατεύθυνε όλες τις οντότητες στην επίσημη διαδρομή. Οι εν λόγω επίσημες διαδρομές καθορίστηκαν από τον μελετητή. Έπειτα αλλάχθηκαν τα χρονοδιαγράμματα για να αντιπροσωπεύουν το νέο πλήθος ανθρώπων που θα χρησιμοποιήσουν αυτοκίνητα ή βαν. Συγκεκριμένα το σύνολο του πληθυσμού θα εισέλθει στο σύστημα μέσω των αρχικών σταθμών που ανήκουν στην ομάδα σταθμών 1-42. Με αυτές τις αλλαγές έγινε μία εκτέλεση με τις ίδιες παραμέτρους και συνθήκες που προαναφέρθηκαν. Τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 15 - Χρόνοι εκτέλεσης μοντέλου

Χρόνος εκτέλεσης με τυχαίες διαδρομές:	34,0392 ώρες
Χρόνος εκτέλεσης με επίσημες διαδρομές:	33,1507 ώρες

Στην προηγούμενη σύγκριση δεν ελήφθη υπόψη η διαδικασία διάσωσης των ανθρώπων χωρίς ίδια μέσα μεταφοράς, καθώς η αλλαγή στον τρόπο επιλογής των διαδρομών για τα αυτοκίνητα και τα βαν, δεν έχει επιπτώσεις στον τρόπο λειτουργίας των λεωφορείων και των μικρών λεωφορείων, πέρα από το χρόνο κίνησης τους πάνω στους δρόμους.

Τέλος μετρήθηκε το πλήθος του προσωπικού που είναι απαραίτητο για την επιτυχή εκκένωση της υπό μελέτη περιοχής και το συνεπαγόμενο κόστος από την έκτακτη απασχόληση αυτών των ατόμων. Αυτά τα δεδομένα αντλήθηκαν από την αναφορά που εξέδωσε το λογισμικό Arena, μετά από 20 εκτελέσεις του μοντέλου με παραμέτρους στο Run Control «Initialize between Replications : Statistics – Yes System – Yes». Με αυτή την επιλογή το λογισμικό Arena επεξεργάζεται τα δεδομένα και εξάγει στατιστικά αποτελέσματα. Αυτά τα αποτελέσματα επεξεργάστηκαν και τα συμπεράσματα συγκεντρώθηκαν στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 16 - Απαραίτητο προσωπικό και κόστος αυτού για επιτυχή εκκένωση

Προσωπικό για τα καταφύγια		Κόστος
RCC	6	3.240,00 €
RRA	55	29.700,00 €
RHS	-	- €
<b>Οδηγοί</b>		
Οδηγοί λεωφορείων	23	16.100,00 €
Οδηγοί μικρών λεωφορείων	3	2.100,00 €
<b>Αστυνομικοί για έλεγχο κυκλοφορίας</b>		
Σενάριο με τυχαίες διαδρομές	13	1.170,00 €
Σενάριο με επίσημες διαδρομές	12	17.928,00 €
<b>Σύνολο κόστους για σενάριο με τυχαίες διαδρομές</b>		52.310,00 €
<b>Σύνολο κόστους για σενάριο με επίσημες διαδρομές</b>		69.068,00 €
Διαφορά		16.758,00 €

Η διαφορά στην περίπτωση των αστυνομικών έγκειται στο γεγονός ότι στην περίπτωση του σεναρίου με τις τυχαίες διαδρομές, οι αστυνομικοί είναι απαραίτητοι μόνο στις τελευταίες δύο ώρες του μοντέλου για να κατευθύνουν όσα οχήματα βρίσκονται στη Ζώνη 1 στα καταφύγια. Αντιθέτως στην περίπτωση του σεναρίου με τις επίσημες διαδρομές, οι αστυνομικοί είναι απαραίτητοι καθόλη τη διάρκεια εκτέλεσης του σεναρίου για να εφαρμοστούν σωστά οι επίσημες διαδρομές.

Συνοψίζοντας τη μελέτη αυτή, καταδεικνύεται ότι οι τρέχουσες υποδομές και διαδικασίες εκκένωσης είναι επαρκείς για τη διάσωση όλων των κατοίκων των Rockwell Shores και St.Rocks Barrier Island. Ωστόσο, υπάρχει το περιθώριο για περαιτέρω μελέτη με σκοπό τη ρύθμιση των παραμέτρων του συστήματος για μεγαλύτερη ακρίβεια ως προς την πραγματικότητα.

Μία παράμετρος που είναι δυνατόν να μελετηθεί, είναι η διαδικασία επιλογής των τελικών προορισμών από τους κατοίκους. Προφανώς σε πραγματική κατάσταση, οι κάτοικοι δε θα επέλεγαν τυχαία τον προορισμό τους, αλλά θα βάσιζαν την επιλογή τους σε διάφορα κριτήρια όπως την ύπαρξη ενός εξοχικού ή μιας φιλικής κατοικίας σε μία περιοχή. Αυτή η πρόθεση μπορεί να διερευνηθεί μέσω τηλεφωνικής έρευνας, ερωτηματολογίων ή αλληλογραφίας (ηλεκτρονικής ή όχι) με σχετική ευκολία. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας θα βοηθούσαν σε μεγάλο βαθμό την διαμόρφωση του σχεδίου εκκένωσης.

Επιπλέον, αρκετοί δρόμοι παρουσιάζουν κυκλοφοριακή φόρτιση, και σε περίπτωση μελλοντικής αύξησης του πληθυσμού ενδέχεται να υπάρξει κάποιο πρόβλημα. Αν και δεν είναι αντικείμενο της παρούσας μελέτης, ένα τέτοιο ενδεχόμενο θα ήταν σκόπιμο να διερευνηθεί.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι το παρόν μοντέλο, αν και διαμορφώθηκε για τη προσομοίωση των Rockwell Shores και St.Rocks Barrier Island, είναι ικανό με τις απαραίτητες τροποποιήσεις να προσομοιάσει οποιοδήποτε οδικό δίκτυο και να παρέχει



αξιόπιστα αποτελέσματα. Αυτός ήταν και ο σκοπός της σχεδίασης του εξαρχής. Σε αρκετά σημεία θα μπορούσαν να είχαν δοθεί απλούστερες λύσεις, ωστόσο κάτι τέτοιο θα καταργούσε τη δυνατότητα του μοντέλου να προσαρμοστεί σε άλλα, μελλοντικά προβλήματα.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξενόγλωσση

Kelton, D. W., Sadowski, R. P., & Swets, N. B. (2010). *Simulation with Arena, Fifth Edition*. McGraw Hill International Edition.

Altiook, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with Arena*. Academic Press Publications.

*Arena Standard Edition's User Guide*. (2003). Rockwell Software Inc.

Guneri, A. F., & Seker, S. (2006, February). Decision Making with Arena. Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey.

### Ελληνική

Ξηρόκωστας, Δ. Α. (1999). *Επιχειρησιακή Έρευνα*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

Ξηρόκωστας, Δ., Πολύζος, Π., & Παπακωνσταντίνου, Ξ. (2005). Προσομοίωση: Σημειώσεις - Ασκήσεις. Στο *Σημειώσεις Επιχειρησιακής Έρευνας II*. Αθήνα: Βοηθήματα Μαθήματος ΕΜΠ.

Φράγκος, Χ. Κ. (2006). Θεωρία Ουρών Αναμονής (Queuing Theory). Στο *Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα* (σσ. 273-310). Αθήνα: Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.

### Διαδίκτυο

Rockwell Automation. (n.d.). *Arena Simulation*. Ανάκτηση Νοέμβριος 2009, από <http://www.arenasimulation.com/>

Rockwell Automation. (n.d.). *Rockwell Automation US Main Page*. Ανάκτηση Νοέμβριος 2009, από <http://www.rockwellautomation.com/>

FlexSim Software Products Inc. (n.d.). *Flexsim Simulation Software*. Ανάκτηση Απρίλιος 2010, από <http://www.flexsim.com/>

IIE. (n.d.). *Institute of Industrial Engineers*. Ανάκτηση Μάιος 25, 2010, από <http://www.iienet2.org/>

High School Operations Research. (n.d.). *HSOR.ORG*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 2009, από <http://www.hsor.org/index.cfm>

SAP. (n.d.). *SAP Business Solutions*. Ανάκτηση Νοέμβριος 2009, από Crystal Reports: <http://www.sap.com/solutions/sapbusinessobjects/sap-crystal-solutions/index.epx>