



**UNIVERSITY OF THE AEGEAN**  
**DEPARTMENT OF INFORMATION AND**  
**COMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING**

---

**Θεωρητική Ανασκόπηση της Έρευνας και της Βιβλιογραφίας**  
**στο Πεδίο της Μοντελοποίησης Κοινωνικών Φαινομένων**

---

Διπλωματική εργασία  
της φοιτήτριας **Τσώνη Αικατερίνης**

---

Επιβλέπων καθηγητής **Dr. Χαραλαμπίδης Ιωάννης,**

Επίκουρος Καθηγητής

**Σάμος, Σεπτέμβριος 2013**

Τριμελής επιτροπή της διπλωματικής εργασίας  
της φοιτήτριας Τσώνη Αικατερίνης

---

**Dr. Charalabidis Ioannis**

Assistant Professor, University of the Aegean  
Greece, Samos

---

**Dr. Loukis Euripidis**

Assistant Professor, University of the Aegean  
Greece, Samos

---

**Dr. Kokolakis Spyros**

Assistant Professor, University of the Aegean  
Greece, Samos

---

## Ευχαριστίες

Κατ' αρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου Dr. Χαραλαμπίδη Ιωάννη, για την εμπιστοσύνη και το ενδιαφέρον που έδειξε κατά την ανάθεση της εργασίας, καθώς και για την καθοδήγησή του και τη βοήθειά του, σε κάθε φάση της δημιουργίας της. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Αγγελική Ανδρουτσοπούλου, η πολύτιμη βοήθεια της οποίας, ήταν ιδιαίτερα σημαντική για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας αυτής. Επιπλέον, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου για τη διαρκή τους υποστήριξη, που επέτρεψε την επιτυχή διεκπεραίωση των σπουδών μου. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους για τα όμορφα φοιτητικά χρόνια που περάσαμε μαζί.

Τσώνη Αικατερίνη,

Σάμος 2013

Την παρούσα διπλωματική εργασία την αφιερώνω,

Στην οικογένειά μου

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>1</b>
1.1	Σκοπός και στόχοι της εργασίας.....	1
1.2	Δομή της εργασίας .....	1
<b>2</b>	<b>Θεωρητικό Υπόβαθρο.....</b>	<b>4</b>
2.1	Εισαγωγή .....	4
2.2	Προσομοίωση.....	5
2.2.1	Τί είναι σύστημα και ποιές είναι οι ιδιότητες των συστημάτων .....	5
2.2.2	Μοντέλα Συστημάτων.....	8
2.3	Κοινωνική προσομοίωση.....	13
2.3.1	Στατιστικά Μοντέλα και Μοντέλα Προσομοίωσης.....	13
2.4	Εφαρμογές της Μεθόδου της Προσομοίωσης στις Κοινωνικές Επιστήμες .....	16
2.4.1	Συστημική Δυναμική (System dynamics) .....	17
2.4.2	Μοντέλα Ουρών.....	21
2.4.3	Μικροαναλυτικά Μοντέλα Προσομοίωσης.....	22
2.4.4	Κυβελοειδή Αυτόματα.....	23
2.4.5	Το παιχνίδι της ζωής.....	25
2.4.6	Άλλα μοντέλα των cellular automata.....	26
2.4.7	Το μοντέλο GOSSIP.....	27
2.5	Η Δραστοστρεφής Μοντελοποίηση.....	29
2.5.1	Η Θεωρία της Πολυπλοκότητας.....	29
2.5.2	Οι Δραστοστρεφείς Προσομοιώσεις για τις Κοινωνικές Επιστήμες.....	30
<b>3</b>	<b>Προσομοίωση του AIDS βασισμένη σε Πράκτορες.....</b>	<b>34</b>
3.1	Εισαγωγή.....	34
3.2	Το μοντέλο Προσομοίωσης.....	35
3.2.1	Προδιαγραφές του μοντέλου.....	35

3.2.2 Μεμονωμένοι Πράκτορες.....	35
3.3 Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.....	36
3.3.1 Ο ρόλος των κοινωνικών δικτύων στη διαχείριση διαλυμένων νοικοκυριών.....	36
3.3.2 Οι επιπτώσεις στη σύνθεση του νοικοκυριού εξ αιτίας του HIV/AIDS και της μετανάστευσης.....	38
3.3.3 Η οικονομία των νοικοκυριών και η πρόσληψη τροφής.....	39
3.3.4 Ο ρόλος των επιδομάτων για τα παιδιά και οι συντάξεις γήρατος.....	41
3.4 Συμπεράσματα.....	44
<b>4 Προσομοίωση του συστήματος μεταβίβασης του εισοδήματος στη Φινλανδία με Στατικό Μικροαναλυτικό Μοντέλο.....</b>	<b>45</b>
4.1 Εισαγωγή.....	45
4.2 Μοντέλα προσομοίωσης στη Φινλανδία.....	45
4.2.1 Μέθοδος και δεδομένα.....	45
4.3 Αποτελέσματα.....	46
4.4 Συμπεράσματα.....	53
<b>5 Προσομοίωση με Πράκτορες, Διαχείριση Έκτακτης Ανάγκης.....</b>	<b>54</b>
5.1 Εισαγωγή.....	54
5.2 Πλαίσιο μοντελοποίησης.....	54
5.3 Αποτελέσματα της Προσομοίωσης.....	57
5.4 Συμπεράσματα.....	60
<b>6 Προσομοίωση της πρόβλεψης μιας γλωσσικής μεταβολής, με τη χρήση Κυψελοειδών Αυτόματων.....</b>	<b>61</b>
6.1 Εισαγωγή.....	61
6.2 Το Μοντέλο της Προσομοίωσης.....	62
6.2.1 Οι προσομοιώσεις 1 και 2.....	64
6.2.2 Οι προσομοιώσεις 3 και 4.....	65
6.2.3 Οι προσομοιώσεις 5 και 6.....	68
6.3 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα.....	71
<b>7 Προσομοίωση με τη μέθοδο της SystemDynamics: Πώς τα τυπικά σχολεία είναι σχεδιασμένα για να αποτύχουν και χρειάζονται αλλαγή.....</b>	<b>72</b>

7.1 Εισαγωγή.....	72
7.2 Η μέθοδος και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.....	72
7.2.1 Η προσομοίωση σε διάγραμμα βρόγχων της systemdynamics.....	72
7.2.2 Η βασική δυναμική ενός συνηθισμένου σχολείου .....	73
7.2.3 Τα αποτελέσματα του σχολείου για τους μαθητές με μέσου όρου χαρακτηριστικά εισαγωγής στο σχολείο .....	74
7.2.4 Τα αποτελέσματα του σχολείου για τους μαθητές με άνω του μέσου όρου χαρακτηριστικά εισαγωγής στο σχολείο.....	74
7.2.5 Τα αποτελέσματα του σχολείου για τους μαθητές με κάτω του μέσου όρου χαρακτηριστικά εισαγωγής στο σχολείο .....	74
7.3 Οι δοκιμές των πειραματικών αποτελεσμάτων.....	75
7.4 Συμπεράσματα.....	78
<b>8 Προσομοίωση με System Dynamics, της ένταξης στην ΕΕ .....</b>	<b>80</b>
8.1 Εισαγωγή.....	80
8.2 Το μοντέλο και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.....	80
8.3 Συμπεράσματα.....	85
<b>9 Προσομοίωση με System Dynamics, των ορίων της παγκόσμιας χρήσης του νερού.....</b>	<b>85</b>
9.1 Εισαγωγή.....	85
9.2 Το μοντέλο της προσομοίωσης.....	85
9.3 Αποτελέσματα.....	87
9.3.1 Εφαρμογή του γενετικού αλγόριθμου.....	87
9.4 Συμπεράσματα.....	88
<b>10 Προσομοίωση Monte Carlo και System Dynamics.....</b>	<b>89</b>
10.1 Εισαγωγή .....	89
10.2 Υπόβαθρο πωλήσεων χαρτοπολτού.....	89
10.3 Η προσομοίωση.....	90
10.3.1 Το μοντέλο και ο προσομοιωτής πτήσης .....	90
10.3.2 Προσομοιώσεις και αποτελέσματα.....	92
10.4 Συμπεράσματα.....	94
<b>11 Προσομοίωση με System Dynamics, της εργασιακής συμπεριφοράς.....</b>	<b>95</b>

11.1 Εισαγωγή.....	95
11.2 Το μοντέλο της προσομοίωσης.....	95
11.3 Ανάλυση του Μοντέλου.....	96
11.4 Συμπεράσματα.....	98
<b>12 Συμπεράσματα.....</b>	<b>99</b>
12.1 Σύγκριση και εφαρμογές των μεθόδων προσομοίωσης.....	99
12.1.1 SystemDynamicsκαιεφαρμογές .....	100
12.1.2 Multi-agentbased simulations καιεφαρμογές.....	105
12.1.3 ΣύγκρισητηςMulti-agent based προσομοίωσης με τη System Dynamics και τη μικροπροσομοίωση.....	107
12.1.4 Cellular Automata και εφαρμογές.....	108
12.2 Συμπεράσματα και λόγος της χρήσης της κοινωνικής προσομοίωσης έναντι των άλλωνπειραματικών μεθόδων.....	110
<b>Βιβλιογραφικές Αναφορές.....</b>	<b>114</b>



## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3-1: Χαρακτηριστικά του Πράκτορα.....	35
Πίνακας 4-1: Οι ακολουθίες για την μείωση της φτώχειας με τα μοντέλα 2003 και 2004.....	46
Πίνακας 4-2: Περιγραφές και εμφάνιση των παραμέτρων.....	48
Πίνακας 4-3: Οι ακολουθίες για την μείωση της φτώχειας με τα μοντέλα 2003 και 2004.....	50
Πίνακας 4-4: Περιγραφές και εμφάνιση παραμέτρων.....	51
Πίνακας 6-1: Ο κανόνας μετάβαση του κυψελοειδούς αυτόματου που προσομοιώνει τη μετατόπιση γλώσσας.....	63
Πίνακας 6-2: Το ποσοστό της προφορικής κατανόησης των Καταλανικών στις δύο γλωσσικές περιοχές της Βαλένθια.....	66
Πίνακας 6-3: Το ποσοστό χρήσης των Καταλανικών στην περιοχή της Καταλονίας της Βαλένθια σε δύο κοινωνικά περιβάλλοντα.....	68
Πίνακας 12-1: Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της κάθε μεθόδου προσομοίωσης .....	99
Πίνακας 12-2: Παραδοσιακή προσέγγιση του projectmanagement και προσέγγιση της systemdynamics .....	104

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2-1: Διάγραμμα του συστήματος.....	6
Εικόνα 2-2: Ταξινόμηση των συστημάτων.....	8
Εικόνα 2-3: Ανάλυση Συστήματος, Αντιστοιχία Μοντέλου Συστήματος .....	10
Εικόνα 2-4: Σύνθεση συστήματος, Αντιστοιχία Μοντέλου Συστήματος .....	10
Εικόνα 2-5: System dynamics διάγραμμα.....	19
Εικόνα 2-6: Ένα κυψελοειδές αυτόματο 10x10 .....	24
Εικόνα 2-7: Κύτταρο μεταξύ των οκτώ κυττάρων που το περιβάλλουν .....	25
Εικόνα 2-8: Εξέλιξη του σχεδίου, χρησιμοποιώντας τους κανόνες του παιχνιδιού της ζωής.....	26
Εικόνα 2-9: Γειτονιά Von Neumann.....	26

Εικόνα 2-10: Γειτονιά Moore.....	26
Εικόνα 2-11: Η εξάπλωση του κουτσομπολιού .....	28
Εικόνα 3-1: Δύο παραδείγματα ενός δικτύου εκτεταμένης οικογένειας .....	37
Εικόνα 3-2: Τα διαλυμένα νοικοκυριά, σε πέντε διαφορετικές ρυθμίσεις .....	38
Εικόνα 3-3: Επίδραση της συχνότητας του HIV/AIDS και της μετανάστευσης.....	39
Εικόνα 3-4: Δείγμα 20 πειραμάτων προσομοίωσης μέσα στο ίδιο σενάριο.....	40
Εικόνα 3-5: Οι χρονοσειρές των πρακτόρων μεταναστεύουν και πεινούν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.....	40
Εικόνα 3-6: Η συνεισφορά των επιδομάτων για τα παιδιά και των συντάξεων γήρατος.....	41
Εικόνα 3-7: Η συνεισφορά των επιδομάτων των παιδιών με κριτήριο την ηλικία των 13 και οι συντάξεις γήρατος.....	42
Εικόνα 3-8: Το ποσοστό των πρακτόρων που δεν είναι πλήρως τροφοδοτημένοι με την επικράτηση του HIV / AIDS.....	43
Εικόνα 3-9: Το ποσοστό των πρακτόρων που δεν είναι πλήρως τροφοδοτημένοι με την επικράτηση του HIV / AIDS.....	43
Εικόνα 4-1: Οι συντελεστές φτώχειας με το πρόγραμμα 1 όπως υπολογίστηκε με τα μοντέλα 2003 (αριστερά) και 2004 (δεξιά) σε συνάρτηση του κόστους (όχι ενημερωμένο, δις €).....	52
Εικόνα 4-2: Οι συντελεστές φτώχειας με το πρόγραμμα 2 όπως υπολογίστηκε με τα μοντέλα 2003 (αριστερά) και 2004 (δεξιά) σε συνάρτηση του κόστους (χρήματα εκείνης της χρονιάς, δις €).....	52
Εικόνα 5-1: 6 πρότυπα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται μεταξύ των οργανώσεων.....	55
Εικόνα 5-2: Κατανομή σοβαρότητας για κάθε τύπο συμβάντος .....	56
Εικόνα 5-3: Χρόνος απόκρισης με την δομή επικοινωνίας.....	57
Εικόνα 5-4: Οι αλλαγές στο μέσο βαθμό επικοινωνίας εντός δικτύου.....	59
Εικόνα 5-5: Κατανομή συχνότητας ανταλλαγής πληροφοριών.....	59
Εικόνα 6-1: Ο Γλωσσολογικός Χάρτης της Βαλένθια.....	62
Εικόνα 6-2: Τα μέσα ποσοστά και οι τυπικές αποκλίσεις των καταστάσεων 0, 1 και 2, για τις τιμές του ορίου $S_b$ (τιμές $S_b = 5$ έως 14) .....	65
Εικόνα 6-3: Τα μέσα ποσοστά και η τυπική απόκλιση των καταστάσεων 0, 1 και 2, για τις τιμές του ορίου $S_b$ (τιμές $S_b = 5$ έως 10) .....	67

Εικόνα 6-4: Τα μέσα ποσοστά και οι τυπικές αποκλίσεις των καταστάσεων 0, 1 και 2, για τις τιμές του ορίου $S_b$ (τιμές $S_b= 5$ to 10).....	70
Εικόνα 7-1: Διάγραμμα βρόγχων των στοιχείων του σχολείου .....	73
Εικόνα 7-2: Η συνηθισμένη πρόοδος του μέσου μαθητή .....	74
Εικόνα 7-3: Η συνηθισμένη πρόοδος ενός μαθητή, άνω του μέσου όρου .....	74
Εικόνα 7-4: Η συνηθισμένη πρόοδος ενός μαθητή, κάτω του μέσου όρου .....	75
Εικόνα 7-5: Επιπτώσεις του υψηλής ποιότητας δασκάλου, σε μαθητή κάτω του μέσου όρου .....	75
Εικόνα 7-6: Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου ηγεσίας του σχολείου, σε μαθητή κάτω του μέσου όρου .....	76
Εικόνα 7-7: Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου ενδιαφέροντος της κοινότητας/γονιών, σε μαθητή κάτω του μέσου όρου .....	76
Εικόνα 7-8: Επιπτώσεις της υψηλής ποιότητας δασκάλου και ηγεσίας του σχολείου, σε μαθητή κάτω του μέσου όρου.....	76
Εικόνα 7-9: Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου ενδιαφέροντος της κοινότητας/γονιών και της υψηλής ποιότητας δασκάλου σε μαθητή κάτω του μέσου όρου.....	77
Εικόνα 7-10: Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου ενδιαφέροντος της κοινότητας/γονιών και της υψηλής ποιότητας ηγεσίας σε μαθητή κάτω του μέσου όρου.....	77
Εικόνα 7-11: Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου καθηγητών και σχολικής και κοινοτικής ηγεσίας, σε μαθητή κάτω του μέσου όρου.....	77
Εικόνα 7-12: Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου προσωπικής εξυπνάδας, στο μαθητή κάτω του μέσου όρου .....	78
Εικόνα 7-13: Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου προθυμίας, στο μαθητή κάτω του μέσου όρου.....	78
Εικόνα 8-1: Διάγραμμα ροής αποθεμάτων του μοντέλου της οικονομικής ένταξης στη ΕΕ, του νέου μέλους.....	81
Εικόνα 8-2: Επίδραση της μετανάστευσης στο σύστημα .....	81
Εικόνα 8-3: Επίδραση των επιδοτήσεων της ΕΕ στο σύστημα.....	82
Εικόνα 8-4: Επίδραση του συντελεστή «αντίδραση κατανάλωσης στη μείωση κεφαλαίου» στο σύστημα.....	82
Εικόνα 8-5: Επίδραση των παραμέτρων που ορίζονται από τους εμπειρογνώμονες στο σύστημα.....	83
Εικόνα 8-6: Αντίδραση της παραγωγής στο σύστημα.....	84
Εικόνα 9-1: Οι συνιστώσες του μοντέλου και οι αναδράσεις τους.....	86

Εικόνα 9-2: Εξέλιξη του αλγορίθμου για τη μεγιστοποίηση της λειψυδρίας.....	87
Εικόνα 9-3: Μέγεθος του πληθυσμού και της λειψυδρίας για τη μέγιστη λειψυδρία και τον ελάχιστο πληθυσμό το 2100.....	88
Εικόνα 10-1: Τιμές του χαρτοπολτού σε δολάρια ΗΠΑ ανά τόνο (1998-2013) .....	90
Εικόνα 10-2: Ζήτηση χαρτιού ανά περιοχή (1990-2012) .....	90
Εικόνα 10-3: Απλοποιημένο διάγραμμα .....	91
Εικόνα 10-4: Προσομοίωση Μόντε Κάρλο.....	92
Εικόνα 10-5: Αποτελέσματα της προσομοίωσης για την τιμή.....	93
Εικόνα 10-6: Μέση τιμή και εύρος διακύμανσης σε διαφορετικά επίπεδα αξιοπιστίας.....	94
Εικόνα 11-1: Μοντέλο της προσομοίωσης.....	96
Εικόνα 11-2: Αποτέλεσμα της προσομοίωσης για το συντελεστή αντίληψης.....	97
Εικόνα 11-3: Αποτέλεσμα της προσομοίωσης για τα συνολικά ατυχήματα.....	97
Εικόνα 11-4: Αποτέλεσμα της προσομοίωσης για το ποσοστό των ασφαλών συμπεριφορών.....	98
Εικόνα 12-1: Standardsimulation από τη μελέτη δημοσιευμένη στο Timemagazine, Jan 24, 1972.....	101
Εικόνα 12-2: Παραδοσιακή προσέγγιση του projectmanagement (αριστερά) και προσέγγιση της systemdynamics (δεξιά).....	103

Αυτή η σελίδα είναι σκόπιμα κενή

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Στόχος της παρούσας διπλωματικής, είναι η μελέτη της βιβλιογραφίας και των ερευνών, πάνω στο θέμα της κοινωνικής προσομοίωσης. Αρχικά, δίνεται μια εικόνα για όλες τις μεθόδους της κοινωνικής προσομοίωσης και τα χαρακτηριστικά αυτών και εν συνεχεία εξετάζεται το πώς αυτές χρησιμοποιούνται, μέσα από τις έρευνες που παρατίθενται. Συνολικά, γίνεται μια προσπάθεια αποτύπωσης της κάθε μεθόδου προσομοίωσης και εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων από αυτές. Τελικός στόχος της εργασίας αυτής, αποτελεί η αποτύπωση των διαφορών και των εφαρμογών των μεθόδων προσομοίωσης, στα διάφορα επιστημονικά πεδία.

## 1.2 Δομή της εργασίας

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει μία συνοπτική παρουσίαση των κεφαλαίων που ακολουθούν.

### Κεφάλαιο 1

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι στόχοι και ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας, καθώς και το περιεχόμενο των κεφαλαίων της.

### Κεφάλαιο 2

Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει το θεωρητικό υπόβαθρο της κοινωνικής προσομοίωσης. Επειδή η προσομοίωση χρησιμοποιείται για τη μελέτη συστημάτων, θα αναλυθεί τί είναι σύστημα, ποιες οι ιδιότητές του και τα είδη του. Στη συνέχεια, υπογραμμίζεται η διαφορά των στατιστικών μοντέλων και των μοντέλων προσομοίωσης και ο τρόπος που χρησιμοποιούνται στις κοινωνικές επιστήμες, ενώ τέλος γίνεται αναφορά στην επιστήμη της πολυπλοκότητας.

### Κεφάλαιο 3

Αυτό το κεφάλαιο περιέχει μία μελέτη προσομοίωσης βασισμένη σε πράκτορες (agent-based model) η οποία παρουσιάζει τον αντίκτυπο του HIV/AIDS στο πλαίσιο των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων, με στόχο να γίνει αντιληπτή η χρήση του μοντέλου προσομοίωσης βασισμένου σε πράκτορες και να εξαχθούν συμπεράσματα από αυτή.

### Κεφάλαιο 4

Στο τέταρτο κεφάλαιο, η μελέτη που παρουσιάζεται χρησιμοποιεί ένα στατικό μοντέλο μικροπροσομοίωσης που χρησιμοποιείται για να βελτιωθεί η νομοθεσία σχετικά με τους φόρους και τα επιδόματα στη Φινλανδία, προκειμένου να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της φτώχειας. Ο αναγνώστης μέσα από αυτή τη μελέτη κατανοεί τη χρησιμότητα του μικροαναλυτικού μοντέλου προσομοίωσης, στο συγκεκριμένο κοινωνικό πρόβλημα.

### Κεφάλαιο 5

Στο κεφάλαιο αυτό περιέχεται μία μελέτη προσομοίωσης για τη διαχείριση περιπτώσεων έκτακτης ανάγκης. Η προσομοίωση αυτή γίνεται με τη χρήση ετερογενών πρακτόρων, με κύριο σκοπό να δειχθεί πώς η επικοινωνία μεταξύ τους οδηγεί σε μία συλλογική δράση για την αντιμετώπιση ενός περιβάλλοντος έκτακτης ανάγκης.

### Κεφάλαιο 6

Στο έκτο κεφάλαιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζεται μία μελέτη που αφορά το κοινωνικό πρόβλημα της γλωσσικής μεταβολής. Η προσομοίωση γίνεται με τη χρήση κυψελοειδών αυτόματων, από τα αποτελέσματα της οποίας δίνονται απαντήσεις σχετικά με το μέλλον της γλώσσας για την οποία γίνεται η μελέτη.

### Κεφάλαιο 7

Στο έβδομο κεφάλαιο εξετάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τη μέθοδο της system dynamics και αφορά το εκπαιδευτικό σύστημα. Σκοπός του κεφαλαίου

αυτού είναι να δειχθεί ότι το σχολείο είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά των μαθητών και από κάποιους άλλους παράγοντες.

#### Κεφάλαιο 8

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο έχει ως κύριο στόχο, να αναπτύξει τη βασική δομή ενός δυναμικού μοντέλου προσομοίωσης που αφορά την ευρωπαϊκή οικονομία. Παρουσιάζεται η εφαρμογή του μοντέλου στην πράξη και τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής δείχνουν την αποτυχία του μηχανισμού των λειτουργιών της ΕΕ για την ένταξη των χωρών σε αυτήν.

#### Κεφάλαιο 9

Στο ένατο κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης, το οποίο ερευνά τα παγκόσμια όρια στη χρήση του πόσιμου νερού. Το μοντέλο που εξετάζεται σε αυτήν την ενότητα, είναι ένα δυναμικό μοντέλο (ANEMI), το οποίο λαμβάνει υπόψη το κλίμα, το οικονομικό σύστημα, κτλ Στο τέλος αυτής της μελέτης εξάγονται συμπεράσματα από τη μελέτη του μοντέλου και των σεναρίων της προσομοίωσης.

#### Κεφάλαιο 10

Το δέκατο κεφάλαιο έχει ως κύριο στόχο, να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την υποστήριξη επενδυτικών αποφάσεων και να περιγράψει μία μεθοδολογία και τις τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλά παρόμοια προβλήματα με αυτό που ερευνάμε σε αυτή τη μελέτη

#### Κεφάλαιο 11

Στο πλαίσιο της μελέτης που εξετάζεται στο κεφάλαιο αυτό, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο, για να εξηγήσει το πώς ένας εργαζόμενος αποφασίζει να ενεργήσει, όσον αφορά την ασφάλεια μέσα στο εργασιακό του περιβάλλον, δεδομένου ότι ιδιαίτερα στο χώρο των κατασκευών ένα τέτοιο θέμα θα εύρισκε ιδιαίτερο αντίκρισμα, λόγω της μεγάλης πιθανότητας να συμβεί κάποιο εργασιακό ατύχημα.



## Κεφάλαιο 12

Το δωδέκατο κεφάλαιο ανακεφαλαιώνει τα όσα είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, κάνοντας μια αναφορά στα χαρακτηριστικά των μεθόδων προσομοίωσης, που μελετήσαμε εκτενώς στην εργασία αυτή, παρουσιάζει μία σύγκριση μεταξύ τους και τέλος γίνεται μία προσπάθεια να πεισθεί ο αναγνώστης ότι η προσομοίωση είναι μία αποτελεσματική μέθοδος που υπερτερεί πολλών άλλων.

## 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 2.1 Εισαγωγή

Η μελέτη συστημάτων με μαθηματικές μεθόδους απαιτεί αφενός πλήρη γνώση του υπάρχοντος ή προτεινόμενου συστήματος και αφετέρου δυνατότητα αναπαράστασης του συστήματος με μαθηματικά μοντέλα. Επειδή, όμως, οι δύο αυτές προϋποθέσεις σχεδόν ποτέ δεν πληρούνται σε πολύπλοκα συστήματα, αναπτύχθηκαν άλλες μεθοδολογίες μελέτης και ανάλυσης συστημάτων, οι οποίες αν και δεν είναι τόσο ακριβείς όσο οι μαθηματικές μέθοδοι, προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Μία από αυτές τις μεθόδους είναι η προσομοίωση, η οποία γνώρισε μεγάλη εξέλιξη κυρίως λόγω της ανάπτυξης των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η προσομοίωση αποτελεί μία πειραματική μέθοδο που έχει ως σκοπό τη βελτιστοποίηση συστημάτων, την ανάλυση της ευαισθησίας τους και τη μελέτη της λειτουργίας τους. Ως πειραματική μέθοδος εξαρτάται πολύ από την πιστότητα του μοντέλου του συστήματος που χρησιμοποιείται, καθώς και από την επιλογή εκείνων των παραμέτρων που απαιτούνται για την εξαγωγή αξιόπιστων και χρήσιμων συμπερασμάτων.

Η προσομοίωση με τη χρήση υπολογιστή στις κοινωνικές επιστήμες είναι μια σχετικά νέα ιδέα –αν και τα πρώτα παραδείγματα χρονολογούνται από τη δεκαετία του 1960, η προσομοίωση άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως στη δεκαετία του 1990 – και παρουσίασε τεράστιες δυνατότητες. Αυτό συνέβη διότι η προσομοίωση είναι ένας

εξαιρετικός τρόπος μοντελοποίησης και της κατανόησης των κοινωνικών διεργασιών. Η προσομοίωση εισάγει τη δυνατότητα ενός νέου τρόπου σκέψης πάνω στις κοινωνικές και οικονομικές διαδικασίες, ο οποίος βασίζεται σε ιδέες σχετικά με την εμφάνιση πολύπλοκης συμπεριφοράς σε σχέση με άλλες σχετικές και πιο απλές δραστηριότητες (Simon 1996).

## 2.2 Προσομοίωση

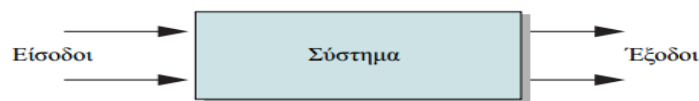
Προσομοίωση είναι η μέθοδος μελέτης ενός συστήματος και της εξοικείωσης με τα χαρακτηριστικά του, με τη βοήθεια ενός άλλου συστήματος το οποίο στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής. Αποτελεί ένα ιδιαίτερο είδος της μοντελοποίησης.

Ο πιο ευρέως διαδεδομένος τρόπος που χρησιμοποιούμε για την κατανόηση του κόσμου, είναι η δημιουργία μοντέλων, τα οποία η επιστήμη και πιο συγκεκριμένα οι κοινωνικές επιστήμες έχουν τελειοποιήσει και επισημοποιήσει.

Είναι εμφανές ότι κατά την προσομοίωση δεν πρέπει να υπάρχει ούτε η εντύπωση ούτε η επιθυμία υλοποίησης του πραγματικού συστήματος, γιατί σκοπός είναι η μελέτη του συστήματος και όχι η χρήση του.

### 2.2.1 Τί είναι σύστημα και ποιές είναι οι ιδιότητες των συστημάτων

Επειδή η προσομοίωση χρησιμοποιείται για τη μελέτη συστημάτων μέσω των μοντέλων τους, είναι απαραίτητο να ορισθεί επακριβώς το σύστημα και τα συστατικά του στοιχεία. Είναι επίσης απαραίτητη η εξέταση των ιδιοτήτων των συστημάτων, τουλάχιστον αυτών των ιδιοτήτων που αφορούν τη μελέτη τους (Gordon 1969, McDougal 1975). Σύστημα είναι ένα σύνολο αλληλεπιδρώντων στοιχείων τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους ή λειτουργούν συλλογικά για την επίτευξη κάποιου σκοπού. Το σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος φαίνεται στην εικόνα 2-1 και αποτελείται από ένα μπλοκ με εισόδους και εξόδους.



Εικόνα 2-1: Διάγραμμα του συστήματος

Η μελέτη συστημάτων αφορά τόσο την ανάλυσή τους, όταν πρόκειται για υπάρχοντα συστήματα όσο και τη σύνθεσή τους όταν πρόκειται για συστήματα που βρίσκονται στο στάδιο της σχεδίασης. Η ανάλυση ορίζεται ως ο καθορισμός της εξόδου του συστήματος όταν δοθεί η είσοδος στο σύστημα. Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται επομένως, όταν είναι γνωστά τα στοιχεία του συστήματος και επιδιώκεται να διαπιστωθεί η λειτουργία του και να καθορισθεί η αξιοπιστία του, η ευαισθησία του, κτλ. Η σύνθεση ορίζεται ως ο καθορισμός των στοιχείων του συστήματος όταν δοθούν οι είσοδοι και οι έξοδοι που αντιστοιχούν σ' αυτές τις εισόδους. Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος.

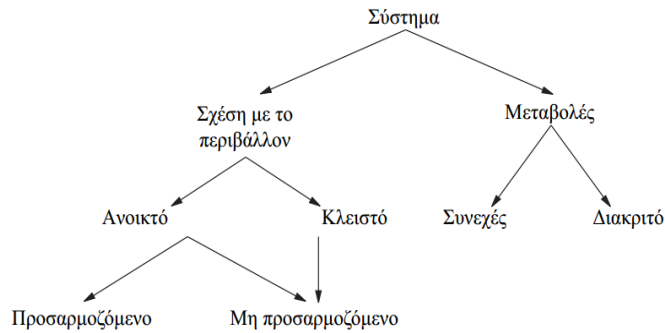
Τα συστήματα αποτελούνται από οντότητες, χαρακτηριστικά και δραστηριότητες. Με τον όρο οντότητα υποδηλώνεται κάθε αντικείμενο του συστήματος που ενδιαφέρει το μελετητή. Ανάλογα με την περίπτωση και τους σκοπούς της μελέτης, ακόμη και το ίδιο το σύστημα αποτελεί μία οντότητα. Οι ιδιότητες των οντοτήτων ονομάζονται χαρακτηριστικά. Χαρακτηριστικά έχει και το ίδιο το σύστημα επειδή και αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί οντότητα. Δραστηριότητα ονομάζεται οποιαδήποτε διεργασία προκαλεί αλλαγές στο σύστημα.

Ένα πολύ σημαντικό δυναμικό στοιχείο που χαρακτηρίζει ένα σύστημα είναι η κατάσταση του συστήματος, που ορίζεται ως η συνολική περιγραφή των οντοτήτων, των χαρακτηριστικών τους και των δραστηριοτήτων, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Όπως θα γίνει αντιληπτό στις επόμενες παραγράφους, η προσομοίωση ασχολείται ακριβώς με την παρακολούθηση της κατάστασης ενός συστήματος, όπως αυτή μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. Η κατάσταση ενός συστήματος όμως, μπορεί να μην εξαρτάται μόνον από τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα μέσα στο σύστημα αλλά και από δραστηριότητες εκτός του συστήματος. Για το λόγο αυτό ορίζουμε ως περιβάλλον του συστήματος το σύνολο των μεταβολών που συμβαίνουν

εκτός του συστήματος. Το μοντέλο, επομένως, που θα δημιουργηθεί για το σύστημα είναι ενσωματωμένο στον περιβάλλοντα χώρο ο οποίος είτε επηρεάζει είτε δεν επηρεάζει τις λειτουργίες του μοντέλου και κατ' επέκταση του συστήματος.

Τα συστήματα χωρίζονται επίσης σε κατηγορίες, ανάλογα με τις μεταβολές της κατάστασής τους ή τη σχέση τους με το περιβάλλον. Στα συνεχή συστήματα οι μεταβολές της κατάστασης είναι κατά κύριο λόγο ομαλές. Οι δραστηριότητες δηλαδή, μεταβάλλουν συνεχώς την κατάσταση του συστήματος και όχι μόνον όταν τελειώσουν (Lackner 1962, Pidd 1992). Παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι ένα αυτοκίνητο.

Στα διακριτά συστήματα οι μεταβολές είναι κυρίως ασυνεχείς, πράγμα που σημαίνει, ότι η κατάσταση του συστήματος αλλάζει μόλις τελειώσει μία δραστηριότητα (Law 1991, Fishman 1973). Παράδειγμα διακριτού συστήματος είναι μια τράπεζα. Στην πραγματικότητα βέβαια, όλα τα συστήματα είναι συνεχή στη φύση. Κατά τη μελέτη των συστημάτων όμως, πολλές φορές έχουν ενδιαφέρον οντότητες και χαρακτηριστικά που εμφανίζουν ασυνεχείς μεταβολές. Στο παράδειγμα της τράπεζας ο χρόνος αναμονής ενός πελάτη στην ουρά είναι μια συνεχώς μεταβαλλόμενη ποσότητα, η οποία όμως ποτέ δεν ενδιαφέρει κατά τη μελέτη του συστήματος. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο συνολικός χρόνος αναμονής ενός πελάτη στην ουρά. Το χαρακτηριστικό αυτό αποκτά τιμή μόνον όταν ο πελάτης βγει από την ουρά και αρχίσει να εξυπηρετείται. Επομένως, η κατάσταση του συστήματος μεταβάλλεται μόνον σε διακριτές χρονικές στιγμές, μία από τις οποίες είναι η έναρξη εξυπηρέτησης ενός πελάτη. Όσον αφορά τη σχέση του συστήματος με το περιβάλλον, τα συστήματα διακρίνονται σε ανοικτά ή κλειστά. Ένα σύστημα ονομάζεται ανοικτό αν έχει εξωγενείς δραστηριότητες, ενώ αντίθετα, αν δεν έχει εξωγενείς δραστηριότητες ονομάζεται κλειστό. Ένα ανοικτό σύστημα αν και έχει εξωγενείς δραστηριότητες υπάρχει περίπτωση να μην αντιδρά στις αλλαγές του περιβάλλοντος. Έτσι, αν ένα σύστημα αντιδρά στις αλλαγές του περιβάλλοντος ονομάζεται προσαρμοζόμενο, ενώ αντίθετα αν δεν αντιδρά στις αλλαγές του περιβάλλοντος ονομάζεται μη προσαρμοζόμενο. Στην εικόνα 2-2 δίνεται διαγραμματικά η ταξινόμηση των συστημάτων.



**Εικόνα 2-2: Ταξινόμηση των συστημάτων**

### 2.2.2 Μοντέλα Συστημάτων

Η μελέτη των συστημάτων είτε με μαθηματικές μεθόδους είτε με προσομοίωση δεν γίνεται με αυτό καθαυτό το σύστημα, αλλά με ένα μοντέλο του συστήματος. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για την κατασκευή ενός μοντέλου:

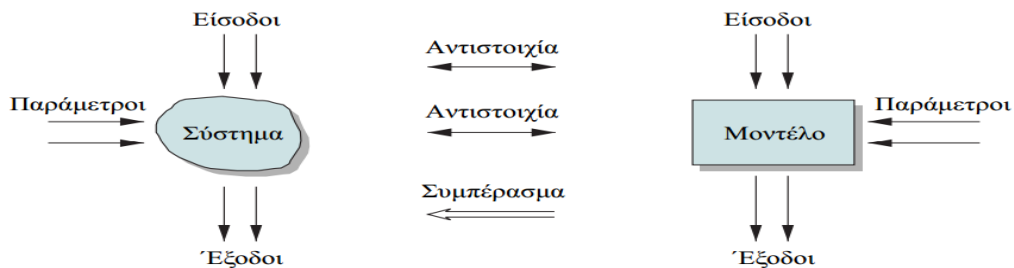
- Διευκόλυνση στην κατανόηση. Το μοντέλο είναι συχνά πολύ πιο απλό στην κατανόηση από το ίδιο το σύστημα γιατί κατά την κατασκευή του μοντέλου διατηρούνται μόνο τα χαρακτηριστικά του συστήματος που ενδιαφέρουν στη συγκεκριμένη μελέτη. Με τον τρόπο αυτό ο μελετητής δεν χάνεται στις λεπτομέρειες του συστήματος αλλά επικεντρώνει την προσοχή του μόνο στα σημαντικά στοιχεία.
- Διευκόλυνση στην επικοινωνία. Με την κατασκευή ενός μοντέλου είναι πολύ πιο εύκολο να μεταδοθούν οι ιδέες για κάποιο σύστημα απ' ό,τι με την περιγραφή του συστήματος. Για παράδειγμα, ένας αρχιτέκτονας κατασκευάζει μια μακέτα του κτιρίου που έχει σχεδιάσει και μ' αυτήν δίνει πολύ περισσότερες πληροφορίες στον πελάτη απ' ό,τι με λεκτική περιγραφή ή αρχιτεκτονικά σχέδια.
- Το μοντέλο αποτελεί εργαλείο πρόβλεψης. Ορισμένα συστήματα παρουσιάζουν πολύ αργές μεταβολές της κατάστασής τους με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους για ένα μακρύ χρονικό διάστημα. Κατασκευάζοντας ένα μοντέλο του συστήματος πετυχαίνουμε επιτάχυνση των χρονικών μεταβολών, έτσι ώστε να μπορούμε να προβλέψουμε τη μελλοντική συμπεριφορά του πραγματικού συστήματος.

- Αδυναμία πρόσβασης. Μερικές φορές η πρόσβαση στο πραγματικό σύστημα είναι αδύνατη ή επικίνδυνη. Κατασκευάζοντας ένα μοντέλο, είναι δυνατόν να μελετήσουμε το σύστημα χωρίς να κινδυνεύσει ο μελετητής ή το ίδιο το σύστημα.
- Εκπαίδευση. Με την κατασκευή ενός μοντέλου είναι δυνατόν να εκπαιδευτούν χειριστές χωρίς τον κίνδυνο καταστροφών από λάθος των εκπαιδευομένων. Είναι επίσης δυνατόν να εκπαιδευτούν οι χειριστές ενός συστήματος, το οποίο δεν έχει κατασκευασθεί ακόμη.
- Σχεδιασμός. Η κατασκευή ενός μοντέλου συμβάλλει πολύ στο σχεδιασμό ενός συστήματος, γιατί επιτρέπει τον εντοπισμό σχεδιαστικών σφαλμάτων και τη διόρθωσή τους πριν το σύστημα κατασκευασθεί.
- Ανεύρεση εναλλακτικών λύσεων και βελτιστοποίηση. Ο λόγος αυτός για την κατασκευή μοντέλων είναι παρόμοιος με τον προηγούμενο. Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος είναι δυνατόν να κατασκευασθούν πολλά διαφορετικά μοντέλα και να επιλεγθεί το κατάλληλο προς υλοποίηση με βάση κάποια συγκεκριμένα κριτήρια βελτιστοποίησης.
- Βελτίωση της απόδοσης υπάρχοντος συστήματος. Με την κατασκευή ενός μοντέλου είναι δυνατό να ελεγχθεί η συμπεριφορά του συστήματος για διάφορες τιμές των παραμέτρων του. Από τη μελέτη του μοντέλου που έχει κατασκευασθεί διαπιστώνεται ο αποδοτικότερος συνδυασμός παραμέτρων και στη συνέχεια οι παράμετροι αυτοί εφαρμόζονται στο πραγματικό σύστημα.

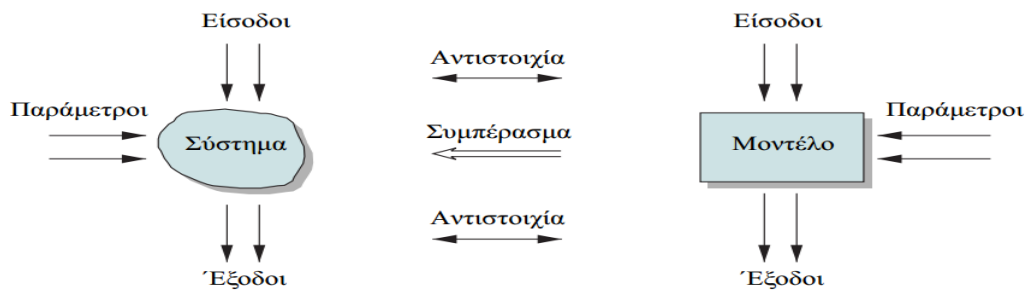
Αν και με τις περιγραφές που δώσαμε μέχρι τώρα είναι πλέον κατανοητή η έννοια του μοντέλου, είναι απαραίτητο να το ορίσουμε και τυπικά.

Μοντέλο είναι μία αναπαράσταση ενός φυσικού συστήματος ή οργανισμού ή φυσικού φαινομένου ή ακόμη και μίας ιδέας. Ως δεύτερος ορισμός: Μοντέλο είναι το σύνολο των πληροφοριών ενός συστήματος που έχει συγκεντρωθεί με σκοπό τη μελέτη του συστήματος. Το μοντέλο ενός συστήματος θα πρέπει να αντιπροσωπεύει το σύστημα όσο πιο πιστά γίνεται, έτσι ώστε τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν από τη μελέτη του μοντέλου να αντιστοιχούν σε συμπεράσματα για το σύστημα. Σε περίπτωση που το μοντέλο χρησιμοποιείται για την ανάλυση του συστήματος

υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στις εισόδους του συστήματος και στις εισόδους του μοντέλου. Υπάρχει επίσης αντιστοιχία ανάμεσα στις εσωτερικές δομές του μοντέλου και του συστήματος. Η μελέτη κατόπιν συνάγει τις εξόδους του συστήματος από τις εξόδους του μοντέλου. Αυτό φαίνεται διαγραμματικά στην εικόνα 2-3. Σε περίπτωση που το μοντέλο χρησιμοποιείται για τη σύνθεση του συστήματος υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στις εισόδους του συστήματος και στις εισόδους του μοντέλου. Υπάρχει επίσης αντιστοιχία ανάμεσα στις εξόδους του μοντέλου και τις εξόδους του συστήματος. Η μελέτη κατόπιν συνάγει την εσωτερική δομή του συστήματος, δηλαδή τα συστατικά του στοιχεία από τη δομή του μοντέλου. Αυτό φαίνεται διαγραμματικά στην εικόνα 2-4.



Εικόνα 2-3: Ανάλυση Συστήματος, Αντιστοιχία Μοντέλου Συστήματος



Εικόνα 2-4: Σύνθεση συστήματος, Αντιστοιχία Μοντέλου Συστήματος

Οι παράμετροι καθορίζουν τα χαρακτηριστικά ή τις ιδιότητες του μοντέλου και του συστήματος ταυτοχρόνως. Θα πρέπει, επομένως, να υπάρχει πλήρης αντιστοιχία των παραμέτρων που είναι απαραίτητες για τη μελέτη του συστήματος.

#### Δημιουργία μοντέλων προσομοίωσης

Η δημιουργία μοντέλων για προσομοίωση είναι μια πειραματική μεθοδολογία, η οποία έχει ως σκοπούς:

- α. τη μελέτη της συμπεριφοράς ενός συστήματος,
- β τον έλεγχο υποθέσεων ή θεωριών για την παρατηρούμενη συμπεριφορά ενός συστήματος, και
- γ. την πρόβλεψη ή εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς ενός συστήματος.

Η προσομοίωση, επομένως, δεν αποτελεί παρά ένα πειραματισμό με το μοντέλο, ο οποίος αντικαθιστά τον πειραματισμό με το σύστημα. Η προσομοίωση μέσω των πειραμάτων εξυπηρετεί συγκεκριμένους σκοπούς σημαντικότεροι από τους οποίους είναι:

- Εκτίμηση. Γίνεται προσπάθεια να προσδιορισθεί πόσο καλό είναι το προτεινόμενο σύστημα, δηλαδή, πόσο καλά ανταποκρίνεται στη σχεδιάσή του, όταν κριθεί με βάση συγκεκριμένα και προκαθορισμένα κριτήρια.
- Σύγκριση. Συγκρίνονται διαφορετικές σχεδιάσεις του προτεινόμενου συστήματος ως προς την επίτευξη συγκεκριμένης λειτουργίας. Μπορούν επίσης να συγκριθούν μεταξύ τους διαφορετικές προτεινόμενες λειτουργίες του συστήματος.
- Πρόβλεψη. Γίνεται μια εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος κάτω από τις προβλεπόμενες συνθήκες λειτουργίας.
- Ανάλυση Ευαισθησίας. Συστήματα τα οποία εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες ή συνθήκες δεν αντιδρούν με την ίδια ευαισθησία σε μεταβολές αυτών των παραγόντων ή συνθηκών. Καθορίζονται έτσι οι παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο τη λειτουργία του συστήματος.



- Βελτιστοποίηση. Καθορίζονται οι συνδυασμοί των παραμέτρων που οδηγούν στην καλύτερη δυνατή απόκριση του συστήματος.
- Λειτουργικές σχέσεις. Προσδιορίζονται οι λειτουργικές σχέσεις ανάμεσα στους σημαντικότερους παράγοντες ή συνθήκες που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος

Τα μοντέλα προσομοίωσης είναι κυρίως αριθμητικά δυναμικά μαθηματικά μοντέλα. Αυτό όμως που κυρίως χαρακτηρίζει τα μοντέλα προσομοίωσης είναι το γεγονός ότι τα μοντέλα αυτά δεν λύνονται, αλλά εκτελούνται, συνήθως σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Όλα τα μοντέλα προσομοίωσης είναι περιγραφικά μοντέλα, με την έννοια ότι χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι, υπολογιστικές μέθοδοι και διεργασίες για να περιγράψουν τη λειτουργία του συστήματος. Σχεδόν όλα τα μοντέλα προσομοίωσης αποτελούνται από κάποιο συνδυασμό των παρακάτω στοιχείων:

- Συστατικά
- Μεταβλητές
- Παραμέτρους
- Λειτουργικές σχέσεις
- Περιορισμούς
- Συναρτήσεις κριτηρίων

Κάθε μοντέλο προσομοίωσης έχει τη μορφή μιας ερώτησης αν...– τότε... Δηλαδή, αν δοθεί μια συγκεκριμένη είσοδος με την ευρεία έννοια, που περιλαμβάνει και οποιαδήποτε στρατηγική, τότε η έξοδος μπορεί να καθορισθεί από το μοντέλο. Προκύπτει, λοιπόν, το συμπέρασμα ότι η προσομοίωση δεν είναι κάποια θεωρία, αλλά μια απλή μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων από τις πολλές που υπάρχουν.

Φάσεις της προσομοίωσης

Η διαδικασία της προσομοίωσης αποτελείται από τρεις διακριτές φάσεις:

- α) την κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης,

β) την εκτέλεση ή τρέξιμο του μοντέλου και

γ) την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Η κατασκευή του μοντέλου αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό βήμα για την προσομοίωση του συστήματος, επειδή η ποιότητα και αξιοπιστία του καθορίζουν και την αξιοπιστία της προσομοίωσης. Στα επόμενα κεφάλαια δίνεται αναλυτικά η μεθοδολογία ανάπτυξης μοντέλων για συνεχή και διακριτά συστήματα. Τα μοντέλα συνεχών συστημάτων λύνονται συνήθως με αναλυτικές μεθόδους, ενώ για τα διακριτά συστήματα χρησιμοποιείται συνήθως η προσομοίωση. Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται μόνο οι μηχανισμοί αντιμετώπισης της δυναμικότητας των μοντέλων. Αναπτύσσονται, δηλαδή, οι μεθοδολογίες ελέγχου του χρόνου καθώς το μοντέλο εξελίσσεται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι ο χρόνος που χρησιμοποιείται κατά την προσομοίωση αποτελεί μοντελοποίηση του χρόνου του συστήματος. Επομένως, ο προσομοιούμενος χρόνος δεν έχει καμία σχέση με τον πραγματικό χρόνο που παρέρχεται όταν εκτελείται η προσομοίωση.

## **2.3 Κοινωνική προσομοίωση**

### **2.3.1 Στατιστικά Μοντέλα και Μοντέλα Προσομοίωσης**

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούμε στη διαφορά στατιστικών μοντέλων και μοντέλων προσομοίωσης. Η επιστημονική μοντελοποίηση είναι η διαδικασία κατασκευής αφηρημένων μοντέλων. Η επιστήμη διαθέτει σήμερα μια μεγάλη συλλογή μεθόδων, τεχνικών και θεωριών για όλα τα είδη της επιστημονικής μοντελοποίησης. Κάποια γενική θεωρία προσφέρεται από τη φιλοσοφία της επιστήμης και τη θεωρία συστημάτων.

Η μοντελοποίηση αναφέρεται στη διαδικασία κατασκευής ενός μοντέλου ως εννοιολογική αναπαράσταση ενός φαινομένου. Ο στόχος κάθε μοντελοποίησης είναι κάποιο φαινόμενο του «πραγματικού» κόσμου. Στη συνέχεια δημιουργείται ένα μοντέλο αυτού του φαινομένου, το οποίο είναι πάντα πιο απλό από το ίδιο το φαινόμενο. Ένα μοντέλο ως μια φορμαλιστική αναπαράσταση ενός προβλήματος, μιας διαδικασίας, μιας ιδέας ή ενός συστήματος δεν είναι ποτέ ένα ακριβές αντίγραφο αλλά αναπαριστά κάποια ή κάποιες πτυχές της δομής, των ιδιοτήτων ή της

συμπεριφοράς του στόχου (Gilbert & Troitzsch 2005/2009) και μπορεί να πάρει διάφορες μορφές, όπως διαγράμματα, μαθηματικούς τύπους, φυσικές κατασκευές σύνολα λογικών καταστάσεων ή ακόμη και προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ένα μοντέλο αποτελείται από μία συλλογή οντοτήτων που έχουν σαφώς προκαθορισμένες ιδιότητες και μπορούν να συσχετιστούν μεταξύ τους με καλώς προσδιορισμένους κανόνες ή σχέσεις. Σκοπός του μοντέλου, είναι να προσομοιώσει με ακρίβεια τις ουσιαστικές πτυχές ενός συγκεκριμένου χώρου της πραγματικότητας. Οι κοινωνικές επιστήμες, για παράδειγμα, χρησιμοποιούν στατιστικά μοντέλα για να προβλέψουν μελλοντικές τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών. Ειδικότερα για τις κοινωνικές επιστήμες, ο στόχος είναι πάντοτε μία δυναμική οντότητα που μεταβάλλεται ως προς το χρόνο, έχει δομή και συμπεριφορά και αντιδρά στο περιβάλλον της. Κατά συνέπεια και το μοντέλο θα πρέπει να είναι δυναμικό. Κατά τον Gilbert (1993), όσον αφορά στα στατιστικά μοντέλα, η σχέση μεταξύ του μοντέλου και του στόχου μπορεί να αναπαρασταθεί στο παρακάτω σχήμα.

Ο ερευνητής αναπτύσσει ένα μοντέλο, για παράδειγμα ένα σύνολο εξισώσεων για να αναπαραστήσει την κοινωνική διαδικασία που έχει θέσει ως στόχο. Οι εξισώσεις αυτές περιλαμβάνουν και ένα σύνολο παραμέτρων, η τιμή των οποίων καθορίζεται συνήθως με τη χρήση ενός στατιστικού πακέτου. Μαζί με την κατασκευή του μοντέλου, ο ερευνητής έχει συγκεντρώσει δεδομένα με τα οποία θα διενεργήσει τη ζητούμενη εκτίμηση των παραμέτρων, για παράδειγμα εμπειρικών δεδομένων (survey data), των μεταβλητών που περιλαμβάνονται στις εξισώσεις. Η ανάλυση περιλαμβάνει δύο βήματα. Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει την παραγωγή δεδομένων του μοντέλου, την πραγματοποιηθείσα πρόβλεψη δηλαδή και τη σύγκριση με τα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί από το πεδίο(έλεγχος στατιστικής υπόθεσης). Το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει την εκτίμηση του μεγέθους των παραμέτρων του μοντέλου.

Παρόμοια είναι η λογική της μεθόδου της προσομοίωσης που παρουσιάζεται στο σχήμα Gilbert (1993).

Στην περίπτωση αυτή ο ερευνητής αναπτύσσει και πάλι ένα μοντέλο που επιχειρεί να αναπαραστήσει ένα κοινωνικό φαινόμενο. Το μοντέλο αυτό όμως έχει τη μορφή ενός προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή και όχι μιας στατική εξίσωσης. Τρέχοντας το πρόγραμμα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή παράγονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, τα οποία συγκρίνονται με τα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί από το πεδίο.

Τόσο τα στατιστικά όσο και τα μοντέλα προσομοίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξήγηση κοινωνικών φαινομένων και για την πρόβλεψή τους. Μολονότι άλλα στατιστικά μοντέλα ή μοντέλα προσομοίωσης δίνουν έμφαση στην ερμηνεία και άλλα στην πρόβλεψη, όλες οι προσομοιώσεις στοχεύουν και στα δύο, τουλάχιστον ως ένα βαθμό.

Παρά τις μεγάλες ομοιότητες ανάμεσα σε αυτά τα δύο είδη μοντέλων υπάρχουν και αξιοσημείωτες διαφορές. Τα μοντέλα προσομοίωσης διερευνούν κυρίως διαδικασίες, ενώ τα στατιστικά μοντέλα συνήθως στοχεύουν στην εξήγηση των σχέσεων μεταξύ των ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αναμένουμε από τα μοντέλα προσομοίωσης συγκεκριμένες αναπαραστάσεις των κοινωνικών διαδικασιών ενώ ένα στατιστικό μοντέλο θα αναπαράγει τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών αλλά σπάνια θα μοντελοποιήσει το μηχανισμό που βρίσκεται πίσω από αυτή τη σχέση (Gilbert & Troitzsch, 2005/2009).

Δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη μέθοδος σύμφωνα με την οποία πραγματοποιούνται οι προσομοιώσεις. Οι περισσότερες έρευνες πάντως προχωρούν σύμφωνα με τα εξής στάδια: διατύπωση του προβλήματος, ανάπτυξη του μοντέλου της προσομοίωσης, «τρέξιμο» του μοντέλου σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και ανάλυση των αποτελεσμάτων. Για τη μελέτη ενός συστήματος, εκτός από την ανάπτυξη του μοντέλου προσομοίωσης, απαιτείται ο προσδιορισμός των παραμέτρων του (δεδομένα του προβλήματος) και μετά την εκτέλεση του πειράματος ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Πώς όμως μπορεί ο κατασκευαστής του μοντέλου να είναι σίγουρος ότι το μοντέλο λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως το (πραγματικό) σύστημα; Τέτοια ερωτήματα απαντώνται χρησιμοποιώντας εργαλεία της στατιστικής. Οι στατιστικές επαγωγικές

μέθοδοι επιτρέπουν τη σύγκριση των διάφορων ανταγωνιστικών συστημάτων ή των εναλλακτικών λύσεων. Παραδείγματος χάριν, με την εκτιμητική και τον έλεγχο υποθέσεων γίνεται δυνατό να εξετασθούν και να διερευνηθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και να συγκριθούν τα διάφορα μετρικά συστήματα.

Για τη δημιουργία ενός μοντέλου προσομοίωσης είναι απαραίτητη η επιβεβαίωση του γεγονότος ότι το μοντέλο είναι αρκετά ακριβές. Αυτό περιλαμβάνει δύο αποφάσεις: τα συμπεράσματα των αναλυτών και την αποδοχή ή την απόρριψη των συμπερασμάτων του μοντέλου από τους χρήστες του. Τα πιο σημαντικά βήματα στην οικοδόμηση ενός μοντέλου προσομοίωσης είναι η επαλήθευση, η επικύρωση και η ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου. Η επαλήθευση (verification) αναφέρεται στην αντιστοιχία ανάμεσα σε διαφορετικά μοντέλα του ίδιου συστήματος και εξετάζει εάν το πρόγραμμα κάνει αυτό που υποθέτει ότι κάνει ο κατασκευαστής του μοντέλου. Η επικύρωση (validation) σημαίνει εάν το φαινόμενο ενδιαφέροντος περιγράφεται σωστά από το μοντέλο της προσομοίωσης και αναφέρεται στην αντιστοιχία του μοντέλου της προσομοίωσης με το πραγματικό σύστημα. Στην επικύρωση του μοντέλου, τα δεδομένα του συστήματος στόχου που αφορούν το προς διερεύνηση φαινόμενο, συγκρίνονται με τα δεδομένα που παράγονται από το μοντέλο προσομοίωσης. Πιθανή απόκλιση μεταξύ των εμπειρικών δεδομένων και των δεδομένων που παράγει η προσομοίωση μπορεί να οφείλεται σε λάθος εκτίμηση των τιμών κάποιων παραμέτρων. Τέλος, κατά τη διεξαγωγή της ανάλυσης ευαισθησίας (sensitivity analysis) γίνεται έλεγχος στη διαφορά των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης που οφείλεται σε μικρές αλλαγές στις αρχικές συνθήκες ή στις τιμές των παραμέτρων του μοντέλου.

#### **2.4 Εφαρμογές της Μεθόδου της Προσομοίωσης στις Κοινωνικές Επιστήμες**

Η προσομοίωση χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο αριθμό από επιστημονικούς κλάδους. Ιστορικά οι προσομοιώσεις αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα για κάθε κλάδο εφαρμογής τους, ως τον 20<sup>ο</sup> αιώνα, όπου η θεωρία συστημάτων (systems theory) και η κυβερνητική (cybernetics), σε συνδυασμό με την ευρεία χρήση των ηλεκτρονικών

υπολογιστών σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας οδήγησαν σε μία ενοποίηση και πιο συστηματική μελέτη των μεθόδων των προσομοιώσεων.

Η χρήση των προσομοιώσεων στις κοινωνικές επιστήμες είναι μάλλον μια νέα ιδέα. Μολονότι τα πρώτα παραδείγματα τέτοιου είδους προσομοιώσεων χρονολογούνται στα τέλη της δεκαετίας του 60, οι προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν ευρέως από τη δεκαετία του 90 και εντεύθεν και αποτελούν ένα κλάδο με τεράστια δυναμική, μιας και είναι ένας έξοχος τρόπος για τη μοντελοποίηση και την κατανόηση των κοινωνικών διαδικασιών. Η πρώτη ανάπτυξη των προσομοιώσεων για τις κοινωνικές επιστήμες σε ηλεκτρονικό υπολογιστή συνέπεσε με τις πρώτες χρήσεις ηλεκτρονικού υπολογιστή στα πανεπιστήμια για ερευνητικούς σκοπούς στις αρχές της δεκαετίας του 1960 (Gilbert & Troitzsch 2005/2009). Αφορούσαν κυρίως μοντέλα ουρών (queuing models), δηλαδή διακριτές προσομοιώσεις που μοντελοποιούσαν το πέρασμα των μονάδων από ουρές και διαδικασίες και προσομοιώσεις που ανήκουν στο χώρο της συστημικής δυναμικής (system dynamics). Επιπλέον χρησιμοποιούνται και άλλες μέθοδοι προσομοίωσης στις κοινωνικές επιστήμες όπως τα κυψελοειδή αυτόματα, τα μικροαναλυτικά μοντέλα προσομοίωσης και τα δραστοστρεφή μοντέλα (agent-based models) . Παρακάτω θα γίνει μια αναλυτική αναφορά σε όλες τις παραπάνω μεθόδους.

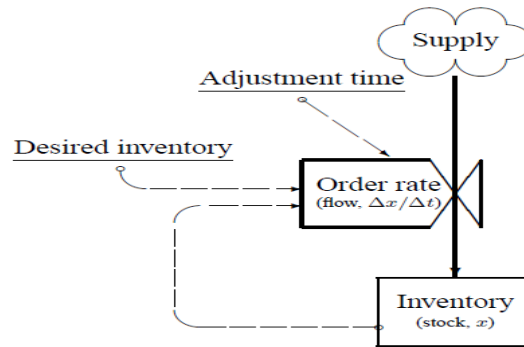
#### **2.4.1 Συστημική Δυναμική (System dynamics)**

Στα περιβάλλοντα υψηλής πολυπλοκότητας, όπως είναι για παράδειγμα οι ζωντανοί οργανισμοί, τα κοινωνικά ή οικονομικά συστήματα οι αιτίες διαπλέκονται, δημιουργούν κυκλικούς ενισχυτικούς μηχανισμούς, παρουσιάζουν υστερήσεις και δεν μπορούν να συσχετιστούν εύκολα με ευδιάκριτα αποτελέσματα. Επόμενο είναι να απαιτείται μια διαφορετική, ολιστική προσέγγιση η οποία θα είναι σε θέση να αντιμετωπίζει την πολυπλοκότητα και να επιτρέπει στον παρατηρητή να λογίζεται ικανοποιητικά. Η προσέγγιση αυτή είναι η συστημική ανάλυση. Ο βασικός στόχος της συστημικής ανάλυσης είναι να ανιχνεύει συμπεριφορές και ιδιότητες που έχουν τα συστήματα όταν τα δει κανείς συνολικά και τις οποίες χάνουν όταν τα συστήματα κατακερματιστούν στα συστατικά τους. Η συστημική ανάλυση επιχειρεί να

κατανοήσει τη λειτουργία των μερών όχι απομονωμένα αλλά σε συνάφεια με το «όλον» στο οποίο είναι ενσωματωμένα. Δυο εργαλεία της συστημικής ανάλυσης είναι η συστημική σκέψη και η συστημική δυναμική. Η «Συστημική Σκέψη» (Systems Thinking) παρέχει στον συστημικό αναλυτή αλλά και σε οποιονδήποτε ασχολείται με τη λήψη αποφάσεων ένα πανίσχυρο τρόπο γραφικής αναπαράστασης μη γραμμικών συστημικών σχέσεων.

Η συστημική δυναμική έχει ουσιαστικά δυο δυναμικά στοιχεία. Τα σημεία συσσώρευσης ( levels or stocks) και τις ροές ( flows or rates)

Τα σημεία συσσώρευσης είναι σημεία όπου συσσωρεύεται μια ποσότητα ή μια ιδιότητα. Συμβολίζονται με ένα απλό τετράγωνο  $\square$ . Τα σημεία συσσώρευσης χαρακτηρίζονται από το επίπεδο συσσώρευσης (level). Οι ροές εκφράζουν είσοδο ή έξοδο από το σημείο συσσώρευσης. Συμβολίζονται με  $\overrightarrow{\square}$ . Στο παραπάνω συμβολισμό το βέλος εκφράζει τη φορά της ροής (flow) και το σχήμα κάτω από το βέλος εκφράζει το μηχανισμό ελέγχου της ροής ( rate). Η συστημική δυναμική χρησιμοποιεί δυο επιπλέον στοιχεία τους μετατροπείς και τα συνδετικά βέλη. Οι μετατροπείς μετατρέπουν ένα σήμα εισόδου σε ένα σήμα εξόδου και τα συνδετικά βέλη εκφράζουν ροή πληροφορίας και επηρεασμούς μεταξύ σημείων του συστημικού μοντέλου. Οι μετατροπείς συμβολίζονται με  $\bigcirc$  και τα συνδετικά βέλη με διακεκομένα βέλη  $\curvearrowright$ . Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της σχηματικής αναπαράστασης στη συστημική δυναμική είναι ότι στην προσπάθεια της σχηματικής αναπαράστασης ο συστημικός μελετητής, εμπλέκεται σε μια δημιουργική αλληλεπίδραση με το σύστημα το οποίο έχει να μελετήσει. Κατά τη διάρκεια της διαλεκτικής με το μοντέλο είναι δυνατόν να αναδυθούν συμπεριφορές και σκέψεις που μπορεί να μην ήταν εμφανή πριν τη μοντελοποίηση.



Εικόνα 2-5: System dynamics διάγραμμα (επαναχαραχθούν από Forrester 1980)

Οι προσομοιώσεις της συστημικής δυναμικής χρησιμοποιούν συστήματα διαφορικών εξισώσεων ή εξισώσεων διαφορών και σχεδιάζουν τις τροχιές των μεταβλητών ως συνάρτηση του χρόνου, με σκοπό να πραγματοποιήσουν προβλέψεις.

Η μοντελοποίηση αυτού του είδους αφορά κάποιο σύστημα στόχο, του οποίου οι ιδιότητες και η δυναμική περιγράφεται από ένα σύστημα εξισώσεων. Από τις εξισώσεις αυτές υπάρχει δυνατότητα, πραγματοποιώντας μαθηματικούς υπολογισμούς, να προβλεφθεί η μελλοντική κατάσταση του συστήματος στόχου από την τωρινή του κατάσταση. Αυτού του είδους οι προσομοιώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ερμηνεύσουν την ανάπτυξη μιας οικονομίας σε μακροοικονομικό επίπεδο ή να διερευνήσουν κοινωνικά συστήματα. Σε κάθε περίπτωση αφορούν μόνο το μάκρο επίπεδο και χρησιμοποιούν μόνο ένα πράκτορα (agent), με χαμηλή πολυπλοκότητα. Τα συστήματα των εξισώσεων των μοντέλων αυτού του είδους επιδέχονται κάποιες φορές, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, αναλυτική λύση. Η προσέγγιση αυτή όμως, δυστυχώς, δίνει μόνο τις τιμές των μεταβλητών που δίνουν λύσεις οι οποίες καταλήγουν σε κάποια κατάσταση ισορροπίας. Η χρήση προσομοιώσεων σε αυτές τις περιπτώσεις δίνει σημαντικότερες πληροφορίες σχετικά με τις διάφορες τροχιές και το χρόνο που χρειάζονται οι μεταβλητές για να ισορροπήσει το σύστημα.

Η τυπική εξίσωση διαφορών έχει τη μορφή  $x_{t+1} = f(x_t, \theta)$  όπου  $x_{t+1}$  είναι η κατάσταση του συστήματος-στόχου τη χρονική στιγμή  $t + 1$ , η οποία εξαρτάται από



τον χρόνο  $t$  και από μια παράμετρο  $\partial$ . Τόσο το  $x$  και όσο και το  $\partial$  μπορεί να είναι διανύσματα, αποτελούμενα από πολλά στοιχεία. Η  $f$  είναι συνήθως μια συνεχής συνάρτηση. Μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις μπορεί η εξίσωση διαφοράς να επιλυθεί ρητά προκειμένου να δώσει μια έκφραση  $x(t)$  ως συνάρτηση του  $t$  και  $x_0$ .

Η τυπική διαφορική εξίσωση έχει τη μορφή  $\dot{x}(t) = g(x(t), \partial)$  όπου  $\dot{x}(t)$  είναι η αλλαγή κατάστασης του συστήματος-στόχου μέσα σε ένα απειροελάχιστο σύντομο χρονικό διάστημα  $dt$ . Το ποσοστό της μεταβολής του συστήματος εξαρτάται από την κατάσταση  $x(t)$  σε χρόνο  $t$  και από μια παράμετρο  $\partial$ . Και πάλι, τόσο το  $x$  και όσο και το  $\partial$  μπορούν να είναι διανύσματα, και το  $g$  είναι συνήθως μια συνεχή συνάρτηση. Σε απλές περιπτώσεις, η διαφορική εξίσωση μπορεί να λυθεί ρητά, αποδίδοντας μια έκφραση για  $x(t)$  σαν συνάρτηση του  $t$ .

Η DYNAMO ήταν η πρώτη γλώσσα που σχεδιάστηκε ειδικά για τη δημιουργία του συστήματος δυναμικών μοντέλων. Πρόκειται για μια λειτουργική γλώσσα προσομοίωσης που μπορεί να χειριστεί έναν αυθαίρετο αριθμό εξισώσεων για:

- τα επίπεδα - για παράδειγμα,  $L = \text{inventory.k} - \text{inventory.j} + dt * \text{orderRate.jk}$

- τα ποσοστά - για παράδειγμα,  $R = \text{orderRate.kl} =$

$(\text{desiredInventory} - \text{inventory.k}) / \text{adjustmentTime}$

- σταθερές - για παράδειγμα,  $C = 6,000 \text{ desiredInventory}$

- αρχικοποιήσεις - για παράδειγμα,  $N = 1.000 \text{ inventory}$

Στο τέλος αυτής της ενότητας, είναι άξιο να σημειωθεί ότι στο χώρο της συστημικής δυναμικής ανήκουν και οι προσομοιώσεις που διεξήγαγε «Η λέσχη της Ρώμης» (The Club of Rome). Η λέσχη αυτή είναι μία ομάδα ερευνητών που διεξήγαγε προσομοιώσεις και προέβλεψε μια ολική περιβαλλοντική καταστροφή σε κάποια χρονική στιγμή, η οποία θα οφείλεται στην εκθετική αύξηση του πληθυσμού της γης, σε συνδυασμό με την εξάντληση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αποθεμάτων. Η πρόβλεψη αυτή προκάλεσε μεγάλη αίσθηση στη διεθνή κοινότητα

και προσέδωσε στις προσομοιώσεις μια πολύ «κακή» φήμη. Έπειτα από αυτό έγινε σαφές ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης εξαρτώνται απόλυτα από τον ποσοτικό καθορισμό των παραμέτρων του μοντέλου (Gilbert & Troitzsch 2005/2009).

## 2.4.2 Μοντέλα Ουρών

Τα μοντέλα ουρών (queuing models) είναι μοντέλα διακριτού χρόνου που χρησιμοποιούνται για την προσέγγιση και τη βελτιστοποίηση μιας πραγματικής κατάστασης ενός συστήματος αναμονής. Τα μοντέλα ουρών επιτρέπουν τον καθορισμό των βέλτιστων τιμών για μία σειρά από μεταβλητές, έτσι ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Τα μοντέλα αυτά είναι μοντέλα διακριτού χρόνου, που βρήκαν στο πέρασμα του χρόνου εφαρμογές σε συνήθεις καταστάσεις, όπως η αναμονή των πελατών μιας δημόσιας υπηρεσίας, μιας τράπεζας, των επιβατών σε ένα αεροδρόμιο, αυτών που βρίσκονται στην αναμονή σε ένα τηλεφωνικό κέντρο αλλά και σε πολλούς άλλους επιστημονικούς κλάδους, όπως στο σχεδιασμό και στην ανάλυση συστημάτων υπολογιστών. Σε κάθε μοντέλο ουρών ο χρόνος δεν είναι συνεχής, ούτε όμως διακριτός σε ίσα χρονικά διαστήματα, αλλά προχωρά από γεγονός σε γεγονός. Υπάρχουν σε όλα τα μοντέλα εξυπηρετητές (servers), πελάτες (customers) και προφανώς ουρές (queues). Η συντριπτική πλειοψηφία των μοντέλων αυτών είναι στοχαστικά, δηλαδή ο χρόνος αναμονής για την εμφάνιση του επόμενου πελάτη ακολουθεί μια τυχαία κατανομή, συνήθως την κατανομή Poisson. Η μελέτη τέτοιων μοντέλων στοχεύει στην ανάπτυξη στρατηγικών που τείνουν να αποφεύγουν πιθανά μπουτλιαρίσματα (bottlenecks) και να αξιοποιήσουν, μέσω του καλύτερου δυνατού συνδυασμού, τις ιδιότητες του συστήματος. Η μέθοδος της προσομοίωσης επιτρέπει στον ερευνητή να μεταβάλλει οποτεδήποτε θελήσει τη δομή του συστήματος, έως ότου πετύχει τη βέλτιστη λειτουργία του και στη συνέχεια να τροποποιήσει το σχεδιασμό του συστήματος στόχου. Η ανάλυση των μοντέλων ουρών επιτρέπει να προσδιοριστεί η αιτία των προβλημάτων και να εκτιμηθεί και να αξιολογηθεί εκ των προτέρων ο αντίκτυπος οποιονδήποτε πιθανών αλλαγών.

Όπως και στα άλλα μοντέλα συστημικής δυναμικής, αυτός ο τύπος μοντέλου λαμβάνει υπόψη μόνο το μικρό επίπεδο. Αλλά ενώ στα μοντέλα της συστημικής δυναμικής εξετάζεται συχνά το μάκρο επίπεδο, σε αυτά τα μοντέλα συμπεριλαμβάνεται συνήθως ένας πολύ μεγάλος αριθμός πρακτόρων καθώς και οι αλληλεπιδράσεις τους στο μικρό επίπεδο.

### 2.4.3 Μικροαναλυτικά Μοντέλα Προσομοίωσης

Μια άλλη κατηγορία μοντέλων προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι τα μικροαναλυτικά μοντέλα προσομοίωσης (microanalytical simulation models). Τα μοντέλα αυτά επιχειρούν τη διερεύνηση των αποτελεσμάτων των επεμβάσεων οικονομικής και κοινωνικής πολιτικής. Αυτός ο τύπος προσομοίωσης επιτρέπει να ληφθούν υπόψη δύο επίπεδα ανάλυσης, το μικρό και το μάκρο, καθώς επίσης περιλαμβάνει και πράκτορες με υψηλότερη πολυπλοκότητα. Η εξέταση των φαινομένων σε δύο επίπεδα είναι απαραίτητη, επειδή οι ερευνητές ενδιαφέρονται συνήθως για τα αποτελέσματα των πολιτικών επεμβάσεων στο συνολικό επίπεδο, όπως για παράδειγμα η πιθανή μεταβολή του μεγέθους των φορολογικών εσόδων μετά από μία αλλαγή του φορολογικού συστήματος. Όμως, τα συνολικά φορολογικά έσοδα εξαρτώνται από την κατανομή του εισοδήματος μεταξύ των οικογενειών, όπως αυτή επιδρά στο μικροοικονομικό επίπεδο. Προκειμένου να συλληφθούν από τη διαδικασία της μοντελοποίησης οι αντιδράσεις των μεμονωμένων οικογενειών, που οφείλονται στο διαφορετικό επίπεδο εισοδήματός τους μέσα σε ένα μεταβαλλόμενο φορολογικό σύστημα, είναι απαραίτητο το μοντέλο να τις συμπεριλάβει, άρα να ορίσει ένα σύνολο υποθέσεων στο μικρό επίπεδο. Στην οικοδόμηση ενός μικροαναλυτικού μοντέλου προσομοίωσης ο ερευνητής αρχίζει με τη συλλογή στοιχείων από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του πληθυσμού στόχου, όσον αφορά τις ιδιότητες ενδιαφέροντος και με την αναπαραγωγή των συλλεχθέντων στοιχείων από το μοντέλων προσομοίωσης εξετάζει την επίδραση που έχει η τροποποίηση κάποιων μεταβλητών, όπως για παράδειγμα η αλλαγή του φορολογικού συστήματος στο μικρό και στο μάκρο επίπεδο, δηλαδή στις οικογένειες αλλά και στο σύνολο των φορολογικών εσόδων. Είναι προφανές ότι η μελέτη αυτή βοηθά εξαιρετικά και στη

διαδικασία λήψης αποφάσεων, που αφορούν σε οποιαδήποτε αλλαγή κοινωνικής ή οικονομικής πολιτικής.

#### 2.4.4 Κυψελοειδή Αυτόματα

Μια άλλη κατηγορία μοντέλων προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται στις κοινωνικές επιστήμες είναι αυτά που βασίζονται στα κυψελοειδή αυτόματα. Τα κυψελοειδή αυτόματα (cellular automata) χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση της τοπικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των πρακτόρων. Ένα κυψελοειδές αυτόματο είναι ένα κανονικό πλέγμα σε μία δεδομένη διάσταση, τα μοντέλα όμως που εδράζονται σε μονοδιάστατα ή δυσδιάστατα κυψελοειδή αυτόματα είναι αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο. Αποτελούνται από έναν αριθμό κελιών (cells), όπου κάθε κελί βρίσκεται σε μία κατάσταση, ανάμεσα από ένα σύνολο καλά καθορισμένων καταστάσεων. Κάθε κελί μεταβάλλει την κατάστασή του δυναμικά στο χρόνο και αλληλεπιδρά με τα γειτονικά του κελιά. Οι κανόνες αλληλεπίδρασης (transition rules) και αλλαγής κατάστασης για τα κελιά, που αποτελούν μία από τις σημαντικότερες συνιστώσες του μοντέλου, καθορίζονται εκ των προτέρων και μπορούν να είναι ομοιογενείς για όλα τα κελιά ή ετερογενείς.

Τα κυψελοειδή αυτόματα εισήχθησαν πρώτη φορά στις φυσικές επιστήμες από το John Von Neumann και τον Stanislaw Ulam στα τέλη της δεκαετίας του 1940 (Neumann, 1966), κυρίως για να μοντελοποιηθεί η ζωή και τα συστήματα που αυτο-οργανώνονται και αυτο-αναπαράγονται (self-reproducing systems) στη βάση μιας αναγωγιστικής (reductionistic) προσέγγισης. Συνήθως η μοντελοποίηση αυτή απαιτεί τεράστια υπολογιστική δύναμη. Καθώς οι προσωπικοί υπολογιστές ισχυροποιούσαν την υπολογιστική τους δύναμη και έγιναν ευρέως διαθέσιμοι, η μοντελοποίηση με τη χρήση των κυψελοειδών αυτόματων χρησιμοποιήθηκε όλο και σε περισσότερες επιστήμες. Στις μέρες μας χρησιμοποιείται εκτενώς σε εφαρμογές που ποικίλουν, από τους μικροκρυστάλους, τη διάβρωση του εδάφους, τη δυναμική των ρευστών ως και τη μοντελοποίηση των συγκρούσεων των γαλαξιών (Burks 1970, Demongeot et al.1985, Wolfram 1986, Toffoli and Margolus 1987, Gutowitz 1991). Ο Steven Wolfram (1984) έδωσε τη συστηματικότερη ταξινόμηση των κυψελοειδών

αυτόματων. Παρόλα αυτά δεν έχουν δοθεί παρά ελάχιστες αναλυτικές αποδείξεις, κατά συνέπεια η προσομοίωση εξακολουθεί να παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην έρευνα στο χώρο των κυψελοειδών αυτόματων, ως η μόνη διαθέσιμη. Σύμφωνα με τους Hengselmann & Flache (1998) τα χαμηλής διάστασης και ιδιαίτερα δυσδιάστατα κυψελοειδή αυτόματα είναι μία πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για τη μοντελοποίηση και την κατανόηση της κοινωνικής δυναμικής.

Το κύριο χαρακτηριστικό των κυψελοειδών αυτόματων είναι η ιδιότητα της γειννίασης-τοπικότητας (locality). Αυτό σημαίνει ότι όλες οι αλληλεπιδράσεις λαμβάνουν χώρα μόνο σε μία καλά οργανωμένη γειτονιά. Μια δραστοστρεφής μοντελοποίηση που χρησιμοποιεί την τοπολογία των κυψελοειδών αυτόματων και υποθέτει την ύπαρξη 100 πρακτόρων θα μπορούσε να τις τοποθετήσει στα 100 κελιά ενός των κυψελοειδούς αυτόματου 10x10, την καθεμιά σε ένα διαφορετικό κελί όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Εικόνα 2-6: Ένα κυψελοειδές αυτόματο 10x10

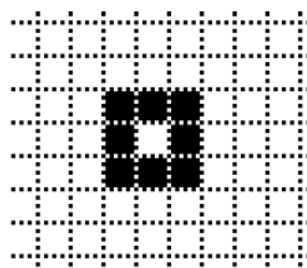
Όλες οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πρακτόρων λαμβάνουν χώρα μέσα σε αυστηρά οριοθετημένες περιοχές ή αλλιώς γειτονιές (neighborhoods).

#### 2.4.5 Το παιχνίδι της ζωής

Στο παιχνίδι της ζωής, ένα κύτταρο μπορεί να επιβιώσει μόνο αν υπάρχουν δύο ή τρία άλλα κύτταρα που ζουν στην άμεση γειτονιά του, μεταξύ των οκτώ κυττάρων που το περιβάλλουν (Εικόνα 2-7). Χωρίς αυτούς τους συντρόφους, πεθαίνει, είτε από συνωστισμό αν έχει πάρα πολλούς γείτονες που ζουν γύρω από το κύτταρο αυτό, είτε από μοναξιά, αν οι γείτονες είναι λίγοι. Ένα νεκρό κύτταρο θα επανέλθει στη ζωή υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν ακριβώς τρεις γείτονες που ζουν γύρω από αυτό. Έτσι, για το παιχνίδι της ζωής, ισχύουν μόνο δύο κανόνες:

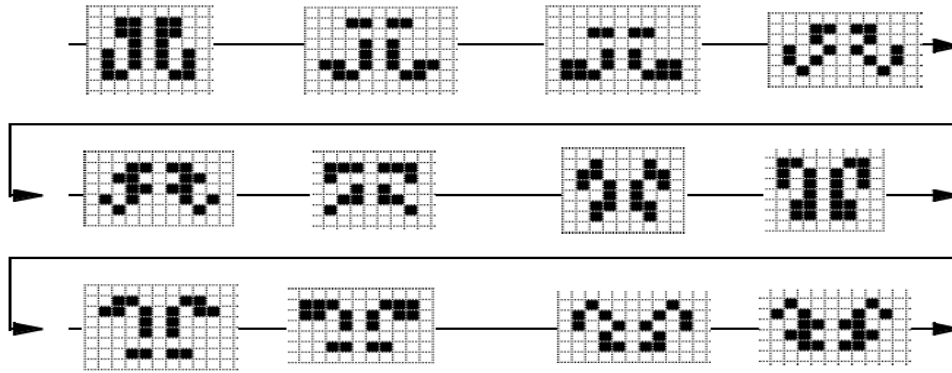
1. Ένα ζωντανό κύτταρο παραμένει ζωντανό, αν έχει δύο ή τρεις γείτονες που ζουν, διαφορετικά πεθαίνει.
2. Ένα νεκρό κύτταρο παραμένει νεκρό, εκτός αν έχει τρεις γείτονες διαβίωσης, όπου στην περίπτωση αυτή επανέρχεται στη ζωή.

Τα μαύρα κελιά είναι οι γείτονες του κεντρικού κυττάρου.



Εικόνα 2-7: Κύτταρο μεταξύ των οκτώ κυττάρων που το περιβάλλουν

Ένα παράδειγμα της απροσδόκητης εξέλιξης του σχεδίου χρησιμοποιώντας τους κανόνες του παιχνιδιού της ζωής δίνεται στην εικόνα 2-8.

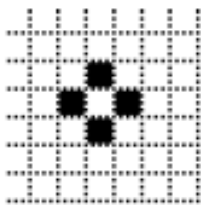


Εικόνα 2-8: Εξέλιξη του σχεδίου, χρησιμοποιώντας τους κανόνες του παιχνιδιού της ζωής

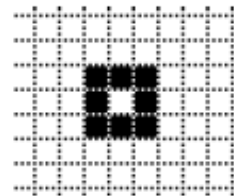
#### 2.4.6 Άλλα μοντέλα των cellular automata

Το παιχνίδι της ζωής είναι μόνο ένα μοντέλο από τα πολλά που διαθέτει η οικογένεια των κυτταρικών αυτομάτων μοντέλων. Όλα βασίζονται στην ιδέα των κυττάρων που βρίσκονται σε ένα πλέγμα, αλλά διαφέρουν ως προς τους κανόνες που χρησιμοποιούνται για να μεταβληθούν οι καταστάσεις των κυττάρων και στον ορισμό των τα κύτταρων τα οποία χαρακτηρίζονται γειτονικά. Το παιχνίδι της ζωής λαμβάνει υπόψη του, τα οκτώ κελιά που περιβάλλουν άμεσα ένα κελί και τα ορίζει ως γειτονιά που επηρεάζει την κατάσταση του κεντρικού κελιού. Αυτά τα οκτώ κελιά, είναι εκείνα που βρίσκονται βόρεια, βορειοανατολικά, ανατολικά, νότια-ανατολικά, νότια, νοτιοδυτικά, βορειοδυτικά και δυτικά και είναι γνωστά ως γειτονιά του Moore.

Γειτονιές κελιών



Εικόνα 2-9: Γειτονιά Von Neumann



Εικόνα 2-10: Γειτονιά Moore

### 2.4.7 Το μοντέλο GOSSIP

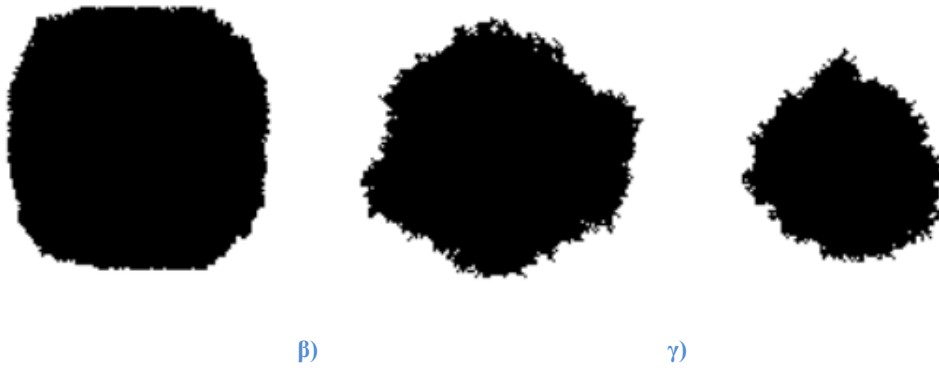
Συνήθως, τα άτομα μοντελοποιούνται ως κυψέλες και η αλληλεπίδραση μεταξύ των ανθρώπων διαμορφώνεται με βάση τους κανόνες των κυψελών. Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί να μοντελοποιήσει τη διάδοση της γνώσης και των καινοτομιών ή τις τάσεις και τις συμπεριφορές, με αυτόν τον τρόπο. Σκεφτείτε, για παράδειγμα, την εξάπλωση ενός κακόφημου κουτσομπολιού από ένα μόνο άτομο, στο ενδιαφερόμενο κοινό. Κάθε άτομο μαθαίνει το κουτσομπολιό από έναν γείτονα ο οποίος έχει ήδη ακούσει την είδηση, και μπορεί να τη μεταβιβάσει στη συνέχεια στο γείτονά του. Όταν κάποιος ακούει το κουτσομπολιό έστω και μία φορά, αρκεί για να το θυμάται, χωρίς να χρειάζεται να το ακούσει ξανά.

Αυτό το σενάριο μπορεί να μοντελοποιηθεί με ένα κυψελοειδές αυτόματο.

Κάθε κελί στο μοντέλο αυτό έχει δύο καταστάσεις: η πρώτη είναι η άγνοια σχετικά με το στοιχείο του κουτσομπολιού (το ισοδύναμο με αυτό που καλέσαμε νωρίτερα «νεκρό» κύτταρο) και η δεύτερη είναι η γνώση του κουτσομπολιού (το ισοδύναμο του να «ζωντανού» κυττάρου). Θα συμβολίσουμε με λευκό χρώμα ένα κελί που δεν γνωρίζει το κουτσομπολιό και με μαύρο αυτό που το γνωρίζει. Ένα κελί μπορεί να αλλάξει κατάσταση από λευκό σε μαύρο, μόνο όταν ένας από τους τέσσερις Von Neumann γείτονές του γνωρίζουν το κουτσομπολιό (και έτσι γίνεται και αυτό το κελί χρώματος μαύρου) και του το μεταδίδει. Υπάρχει συνεχής δυνατότητα ένα άσπρο κελί να μετατραπεί σε μαύρο μαθαίνοντας το κουτσομπολιό. Όταν ένα κύτταρο έχει ακούσει το κουτσομπολιό, δεν μπορεί να το ξεχάσει ποτέ, επομένως στο μοντέλο αυτό, ένα κελί χρώματος μαύρου ποτέ δεν επανέρχεται ποτέ σε λευκό. Έτσι, οι κανόνες που οδηγούν το κύτταρο στην αλλαγή κατάστασης είναι οι εξής:

1. Εάν το κύτταρο είναι άσπρο, και έχει έναν ή περισσότερους μαύρους γείτονες, εξετάζει κάθε μαύρο γείτονα με τη σειρά. Για κάθε μαύρο γείτονα, αλλάζει από άσπρο σε μαύρο με κάποια συγκεκριμένη πιθανότητα, αλλιώς παραμένει λευκό.
2. Αν το κελί είναι μαύρο, το κύτταρο παραμένει μαύρο.





Εικόνα 2-11: Η εξάπλωση του κορσομπολιού: (α) με το 50 τοις εκατό πιθανότητα επιτυχίας στις ειδήσεις, (β) με πιθανότητα 5 τοις εκατό, (γ) με το 1 τοις εκατό πιθανότητα

Τα μοντέλα προσομοίωσης έχουν βρει τα τελευταία χρόνια και άλλες σημαντικές εφαρμογές. Μια κλασική χρήση των μοντέλων προσομοίωσης αφορά στην πραγματοποίηση προβλέψεων. Όταν έχει αναπτυχθεί ένα μοντέλο που επιτυχημένα αναπαριστά κάποιες κοινωνικές διαδικασίες, πραγματοποιώντας την προσομοίωση (τρέχοντας το πρόγραμμα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή) μπορούμε να αναλύσουμε τα αποτελέσματα που αφορούν τη μελλοντική εξέλιξη του συστήματος και να πραγματοποιήσουμε προβλέψεις που αφορούν το «πραγματικό» σύστημα στόχο. Για παράδειγμα, σε δημογραφικές έρευνες είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί πρόβλεψη για τα επόμενα χρόνια ή και δεκαετίες για το μελλοντικό μέγεθος του πληθυσμού μιας χώρας, καθώς και για το ποσοστό των ανθρώπων που ανήκουν σε διαφορετικές ηλικιακές ομάδες. Παρόμοια πρόβλεψη πραγματοποιείται και από τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούν εξισώσεις, στις περισσότερες περιπτώσεις όμως οι προσομοιώσεις δίνουν ακριβέστερες και πιο αξιόπιστες προβλέψεις. Υπάρχουν μοντέλα που τροφοδοτούνται με το ρυθμό αναπαραγωγής και θνησιμότητας και δίνουν ακριβείς προβλέψεις με λεπτομερή στοιχεία, για αρκετά μεγάλο βάθος χρόνου.

Ένας άλλος σημαντικός τομέας εφαρμογής είναι και οι προσομοιώσεις ρεαλιστικών μοντέλων (physical simulations). Στις προσομοιώσεις αυτές τα φυσικά αντικείμενα αντικαθιστούν τα πραγματικά αντικείμενα, γιατί μπορεί να είναι φθηνότερα ή μικρότερα από τα πραγματικά, όπως για παράδειγμα το crash test στα αυτοκίνητα. Οι προσομοιώσεις φυσικών μοντέλων που συμπεριλαμβάνουν και ανθρώπους ονομάζονται διαδραστικές προσομοιώσεις (interactive simulations), όπως οι προσομοιωτές πτήσης κ.α.

## 2.5 Η Δραστοστρεφής Μοντελοποίηση

### 2.5.1 Η Θεωρία της Πολυπλοκότητας

Σύμφωνα με μία επιστημονική άποψη, ο κόσμος που ζούμε, μπορεί να γίνει κατανοητός σαν μια στρωματοποιημένη δομή με πολλά επίπεδα (Laszlo, 1996). Μονάδες από οποιοδήποτε επίπεδο σχηματίζουν, παράγουν ή αποτελούν μέρος από τις οντότητες που αποτελούν το επόμενο επίπεδο. Τα πιο προφανή παραδείγματα που θα μπορούσαμε να αναφέρουμε, είναι τα άτομα της ύλης που σχηματίζουν μόρια, απλά ή πολύπλοκα και τα μόρια από τα οποία αποτελούνται όλα τα υλικά αντικείμενα του σύμπαντος. Τα πολύπλοκα οργανικά μόρια σχηματίζουν κύτταρα, τα κύτταρα σχηματίζουν ιστούς και οργανισμούς και οι ζωντανοί οργανισμοί σχηματίζουν οικοσυστήματα. Οι άνθρωποι ακόμα σχηματίζουν ομάδες, κοινωνίες και πολιτισμούς. Οι οντότητες οποιουδήποτε επιπέδου δεν αποτελούνται απλώς από το άθροισμα των οντοτήτων του κατώτερου επιπέδου, αλλά αποτελούν πολύπλοκες και αλληλοεξαρτώμενες ενώσεις που παρουσιάζουν νέα χαρακτηριστικά και ικανότητες. Σύμφωνα με τον Waldrop (1992), οι «παραδοσιακοί» επιστημονικοί κλάδοι, αδυνατούν να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν τους μηχανισμούς με τους οποίους οποιοσδήποτε απλές οντότητες αυτο-οργανώνονται σε περισσότερο πολύπλοκες δομές. Ένας σχετικά νέος επιστημονικός κλάδος, η επιστήμη της πολυπλοκότητας (science of complexity) ή αλλιώς η θεωρία της πολυπλοκότητας (theory of complexity) ή απλά πολυπλοκότητα, φιλοδοξεί να αντιμετωπίσει με αποτελεσματικότερο τρόπο τα προαναφερθέντα φαινόμενα. Ο όρος πολυπλοκότητα είναι ένας πολύ γενικός όρος, που δεν αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη θεωρία, αλλά είναι διεπιστημονικός και συμπεριλαμβάνει τη θεωρία του χάους.

Η θεωρία της πολυπλοκότητας, μελετά τα πολύπλοκα προσαρμοστικά συστήματα (complex adaptive systems), δυναμικά συστήματα που αποτελούνται από πολλά απλά αλληλεπιδρώντα μέρη που έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται στο περιβάλλον τους. Ο όρος αυτός εισήχθη στο Ινστιτούτο του Santa Fe από τους John Holland και Murray Gell-Mann και χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα νέο «ακαδημαϊκό» χώρο που ασχολείται με τη μελέτη αυτών των συστημάτων. Ο κύριος σκοπός της επιστήμης της πολυπλοκότητας είναι να ερμηνεύσει πώς από τις τοπικές, μη

γραμμικές αλληλεπιδράσεις πολλών οντοτήτων ενός επιπέδου προκύπτουν νέες σταθερές οργανωμένες οντότητες σε ένα υψηλότερο επίπεδο. Οι μη γραμμικές αυτές αλληλεπιδράσεις δε γίνεται, στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, να παρασταθούν από μαθηματικές εξισώσεις και να επιλυθούν αναλυτικά, γι αυτό μελετώνται με τη μέθοδο της προσομοίωσης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι προσομοιώσεις αυτές καθορίζουν τους κανόνες συμπεριφοράς και αλληλεπίδρασης των οντοτήτων του κατώτερου επιπέδου και διερευνούν τις συνέπειες στο επίπεδο του συνολικού πληθυσμού. Οι αυτόνομες οντότητες του κατώτερου επιπέδου ονομάζονται πράκτορες ή δράστες (agents) και οι προσομοιώσεις αυτού του είδους δραστοστρεφείς προσομοιώσεις (agent-based simulations) ή πολυπρακτορικές προσομοιώσεις.

### 2.5.2 Οι Δραστοστρεφείς Προσομοιώσεις για τις Κοινωνικές Επιστήμες

Οι δραστοστρεφείς προσομοιώσεις (agent-based simulations) και τα δραστοστρεφή μοντέλα (agent-based models) είναι μια νέα τεχνολογία προσομοίωσης σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές που χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την περιγραφή και τη διερεύνηση των κοινωνικών φαινομένων. Η βασική ιδέα είναι η κατασκευή ενός αριθμού πρακτόρων που διαθέτουν κάποιες ιδιότητες και ακολουθούν συγκεκριμένους κανόνες συμπεριφοράς και αλληλεπίδρασης και στη συνέχεια το «τρέξιμο» της προσομοίωσης τα τελευταία χρόνια αποκλειστικά σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, μολονότι δεν ήταν πάντα έτσι κατά τα πρώτα βήματα του κλάδου, όπου όλοι οι πράκτορες αλληλεπιδρούν παράλληλα.

Σύμφωνα με τον Epstein (1999) τα δραστοστρεφή μοντέλα των κοινωνικών προσομοιώσεων χαρακτηρίζονται από πέντε βασικές ιδιότητες, ετερογένεια, αυτονομία, καθορισμένο χώρο, τοπικές αλληλεπιδράσεις και περιορισμένη ορθολογιστική. Η ετερογένεια (heterogeneity) αναφέρεται στο γεγονός ότι οι πράκτορες διαφέρουν ως προς τις προτιμήσεις τους ή τους κανόνες που καθορίζουν τη συμπεριφορά τους κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και πολλές φορές έχει αναπάντεχα αποτελέσματα στο μακρο επίπεδο. Η ετερογένεια χρησιμοποιείται, όχι μόνο για να μιμηθεί την ανθρώπινη επιθυμία, αλλά χρησιμεύει και στη δημιουργία

μοναδικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πρακτόρων. Η έννοια της αυτονομίας (autonomy) των πρακτόρων σημαίνει ότι ο έλεγχος ή η επιβολή κάποιας τάξης δεν επιβάλλεται άνωθεν (top down) στο μοντέλο και ότι οι περιορισμοί μπορεί να υπάρξουν όχι μόνο στους κανόνες που ακολουθούν οι πράκτορες στο ατομικό μικρο επίπεδο και όχι στο συλλογικό μάκρο επίπεδο. Η εξέλιξη και η αλλαγή προκύπτουν από τις τοπικές αλληλεπιδράσεις και το μικρο επίπεδο προς το μάκρο και όχι αντίστροφα. Η τρίτη ιδιότητα των δραστοστρεφών μοντέλων, κατά τον Epstein αναφέρεται στο γεγονός ότι η τεχνητή κοινωνία λαμβάνει χώρα σε ένα αυστηρά καθορισμένο χώρο (explicit space), που συνήθως είναι ένα  $n$ -διάστατο κυψελοειδές αυτόματο. Τα δραστοστρεφή μοντέλα των κοινωνικών προσομοιώσεων χαρακτηρίζονται ακόμη και από τις τοπικές αλληλεπιδράσεις (local interactions) μεταξύ των πρακτόρων. Αυτό σημαίνει ότι οι πράκτορες αλληλεπιδρούν με γειτονικούς πράκτορες και όχι με απομακρυσμένους. Η έννοια των τοπικών αλληλεπιδράσεων ενισχύει την έτσι την ομοιότητα της προσομοίωσης με τις «πραγματικές» ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις μέσα σε καθορισμένο γεωγραφικό ή πολιτιστικό χώρο. Τέλος οι πράκτορες υπόκεινται στην περιορισμένη ορθολογική ικανότητα (bounded rationality) , ακολουθούν δηλαδή απλούς κανόνες και αποκρίνονται στις τοπικές πληροφορίες που παράγονται από την επαφή τους με άλλους πράκτορες. Οι κοινωνικές προσομοιώσεις που βασίζονται στη δραστοστρεφή μοντελοποίηση υποθέτουν την ύπαρξη ορίων στην ορθολογιστική ικανότητα των ατόμων, γεγονός που υποστηρίζεται από τις πρόσφατες έρευνες στο χώρο της γνωστικής ψυχολογίας (Elliott and Kiel, 2004).

Ο όρος πολύ-πρακτορικά συστήματα (multi-agent systems) χρησιμοποιείται χωρίς κάποια σαφή διάκριση από τους προαναφερθέντες όρους. Ένας ακόμη όρος που χρησιμοποιείται για τα δραστοστρεφή μοντέλα, όταν αυτά έχουν εφαρμογή στις κοινωνικές επιστήμες, είναι ο όρος τεχνητές κοινωνίες (artificial societies) και αυτό γιατί τα δραστοστρεφή μοντέλα, αν και πολλές φορές έχουν αξιοσημείωτες διαφορές στις εφαρμογές και στον τρόπο προσέγγισης των φαινομένων που διερευνούν, προσπαθούν γενικά να δημιουργήσουν μικρόκοσμους (micro worlds) ή δυνάμει κόσμους (would-be worlds) μέσα σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, με στόχο τη διερεύνηση του μηχανισμού με τον οποίο οι αλληλεπιδράσεις και οι ποικίλες

συμπεριφορές αυτόνομων πρακτόρων παράγουν δομή και αυτό-οργάνωση (Casti, 1997).

Για τις αυτόνομες οντότητες των δραστοστρεφών μοντέλων χρησιμοποιείται ο όρος πράκτορας (agent) ή δράστης. Οι δύο αυτοί όροι ταυτίζονται στα πλαίσια της δραστοστρεφούς μοντελοποίησης, ο όρος δράστης όμως δε φέρει τα ίδιες συμπεραδηλώσεις (connotations) στα πλαίσια της κοινωνικής θεωρίας. Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τον όρο πράκτορας στο πλαίσιο της δραστοστρεφούς μοντελοποίησης.

Μολονότι δεν υπάρχει ομοφωνία για τον ακριβή ορισμό του πράκτορα, οι διάφοροι ορισμοί που έχουν προταθεί τείνουν να συμφωνούν σε περισσότερα σημεία παρά να διαφωνούν. Αρκετοί ερευνητές, δίνοντας έμφαση στην εξέλιξη των δραστοστρεφών μοντέλων από τα κατανεμημένα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης, θεωρούν ότι οποιοσδήποτε τύπος ανεξάρτητης συνιστώσας (component) ενός μοντέλου ή κάποιας ενιαίας μονάδας προγραμματισμού (software), μπορεί να θεωρηθεί ως πράκτορας (Bonabeau, 2001). Η συμπεριφορά μιας ανεξάρτητης συνιστώσας μπορεί να ποικίλει από απλούς κανόνες αντίδρασης μέχρι το επίπεδο περίπλοκης νοημοσύνης, η οποία διαθέτει την ικανότητα να προσαρμόζεται στο περιβάλλον. Άλλοι ερευνητές πιστεύουν ότι η συμπεριφορά μιας συνιστώσας πρέπει να έχει την ικανότητα της προσαρμογής (adaptation) στο περιβάλλον για να θεωρηθεί πράκτορας (Mellouli et al, 2003), δηλαδή μόνο οι συνιστώσες του μοντέλου που έχουν την ικανότητα να μαθαίνουν, υπό κάποια έννοια, από το περιβάλλον και να προσαρμόζουν ανάλογα τη συμπεριφορά τους μπορούν να αποκαλούνται πράκτορες. Ο Casti (1997) υποστηρίζει ότι οι πράκτορες θα πρέπει να έχουν κανόνες συμπεριφοράς που να ανήκουν σε δύο επίπεδα, δηλαδή απλούς κανόνες συμπεριφοράς και υψηλότερου επιπέδου κανόνες σύμφωνα με τους οποίους να μπορούν να τροποποιούν τους κανόνες συμπεριφοράς τους, δηλαδή κανόνες προσαρμογής ως αντίδραση στις αλλαγές περιβάλλοντος. Ο ορισμός του όρου από τον Jennings(2000), στα πλαίσια της επιστήμης της πληροφορικής, δίνει έμφαση στα χαρακτηριστικά της αυτόνομης συμπεριφοράς των πρακτόρων. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, η σημαντικότερη ιδιότητα μιας συνιστώσας του μοντέλου, για να δικαιούται το χαρακτηρισμό πράκτορας, είναι η δυνατότητα να παίρνει ανεξάρτητες

αποφάσεις και άρα να έχει μια ενεργή και όχι παθητική στάση. Γενικώς οι πράκτορες έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (Macal & North, 2005)

Ένας πράκτορας είναι μία οντότητα με ένα σύνολο χαρακτηριστικών και κανόνων που καθορίζουν τη συμπεριφορά του καθώς και την ικανότητα λήψης αποφάσεων. Η οντότητα αυτή είναι διακριτή και έχει όρια, έτσι ώστε να είναι ξεκάθαρο αν κάτι είναι μέρος του πράκτορα, δεν είναι μέρος του πράκτορα ή είναι ένα κοινό χαρακτηριστικό.

Ένας πράκτορας είναι τοποθετημένος σε ένα περιβάλλον και αλληλεπιδρά με άλλους πράκτορες. Οι πράκτορες έχουν πρωτόκολλα για τις αλληλεπιδράσεις καθώς και την ικανότητα να αντιδρούν στο περιβάλλον τους. Έχουν επίσης την ικανότητα να αναγνωρίζουν και να διαχωρίζουν τα χαρακτηριστικά των άλλων πρακτόρων. Οι πράκτορες έχουν στόχο να επιτύχουν, όχι όμως απαραίτητα να μεγιστοποιήσουν, σε σχέση με το περιβάλλον τους. Κάθε πράκτορας είναι αυτόνομος και αυτοκαθοδηγούμενος. Μπορεί να δρα ανεξάρτητα μέσα στο περιβάλλον και να αλληλεπιδρά με άλλους πράκτορες τουλάχιστον σε κάποιες συγκεκριμένες καταστάσεις. Τα δραστοστρεφή μοντέλα αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό αυτόνομων πρακτόρων, οι οποίοι μπορούν να ενεργήσουν χωρίς την επέμβαση των ανθρώπων ή άλλων συστημάτων, σύμφωνα πάντα με τους κανόνες που έχει θέσει ο κατασκευαστής του μοντέλου. Επειδή όμως τα περιβάλλοντα αλλάζουν συνεχώς και δεν είναι πλήρως γνωστά στους πράκτορες, οι τελευταίοι δεν έχουν πλήρη γνώση του περιβάλλοντος κάθε χρονική στιγμή. Κατά συνέπεια, η ίδια δράση διενεργηθείσα δύο φορές (σε δύο περιβάλλοντα που φαίνονται ίδια στον πράκτορα), μπορεί να έχει διαφορετικά αποτελέσματα, λόγω διαφορών στα δύο περιβάλλοντα που δεν γίνονται αντιληπτές στους δράστες. Μπορεί μάλιστα η δράση ενός πράκτορα να αποτύχει να έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τέλος, κάποιοι πράκτορες έχουν την ευελιξία και την ικανότητα να μαθαίνουν και να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους στην πάροδο του χρόνου, βασιζόμενοι στην εμπειρία τους. Αυτό απαιτεί την ύπαρξη ενός είδους μνήμης. Ένας πράκτορας μπορεί ακόμη να έχει κανόνες για να τροποποιεί τους κανόνες της συμπεριφοράς του.

Σύμφωνα με τους Gilbert & Troitzsch (2005/2009), υπάρχουν μία σειρά λόγων που οι προσομοιώσεις είναι καταλληλότερες από τα μαθηματικά για την τυποποίηση των κοινωνικών θεωριών. Οι γλώσσες προγραμματισμού είναι πιο συγκεκριμένες στην έκφραση των υποθέσεων μιας κοινωνικής θεωρίας και λιγότερο αφηρημένες από τις μαθηματικές τεχνικές. Τα προγράμματα ακόμη είναι καταλληλότερα για την μοντελοποίηση παράλληλων διαδικασιών ή διαδικασιών χωρίς καλά ορισμένη χρονική αλληλουχία από τις μαθηματικές εξισώσεις. Τα προγράμματα είναι ευκολότερο να τροποποιηθούν μόνο εν μέρη, δηλαδή μόνο σε ένα μικρό τμήμα τους, ενώ τα υπόλοιπα τμήματα να μείνουν αναλλοίωτα, ενώ οι μαθηματικές εξισώσεις συνήθως δε διαθέτουν αυτή την ευελιξία. Τέλος, είναι εύκολο να κατασκευαστούν προσομοιώσεις που περιλαμβάνουν ετερογενείς πράκτορες, για παράδειγμα να προσομοιωθούν άτομα με διαφορετικούς κοινωνικούς στόχους, διαφορετικές γνώσεις, διαφορετικές ικανότητες ή διαφορετικούς κανόνες συμπεριφοράς από ότι να κατασκευαστούν ανάλογα μαθηματικά μοντέλα.

### **3 Προσομοίωση του AIDS βασισμένη σε Πράκτορες**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Το AIDS είναι μια αρρώστια που μαστίζει τη Νότια Αφρική, όχι μόνο από την άποψη της εξάπλωσης της νόσου, αλλά και από τον αντίκτυπο της στην κοινωνία και την οικονομική ανάπτυξη.

Η επίπτωση της νόσου δεν μπορεί, ωστόσο, να εξεταστεί μεμονωμένα από τις άλλες τάσεις, όπως η επισιτιστική ανασφάλεια, η υψηλή μεταβλητότητα του κλίματος, οι διακυμάνσεις της αγοράς και οι διακυμάνσεις στην υποστήριξη από την κυβέρνηση και από μη κυβερνητικές πηγές. Τα δίκτυα του μοντέλου είναι δυναμικά και εξελισσόμενα, κάτι που σπάνια έχει ληφθεί υπόψη στην ανάλυση των κοινωνικών δικτύων.

## 3.2 Το Μοντέλο Προσομοίωσης

### 3.2.1 Προδιαγραφές του μοντέλου

Οι πράκτορες στο μοντέλο μας εκπροσωπούν άτομα στη μελέτη περίπτωσης. Έχει υλοποιηθεί σε Java, κάνοντας χρήση τόσο των εργαλείων Repast<sup>[1]</sup> και Jess<sup>[2]</sup>. Το Pajek<sup>[3]</sup> έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για να απεικονίσει τα αναδυόμενα δίκτυα. Ο χρόνος στο μοντέλο εξελίσσεται σε μηνιαία βήματα και τα συνηθισμένα σενάρια παρατείνονται για πολλά χρόνια.

<sup>1</sup> Repast Agent Simulation Toolkit: <http://repast.sourceforge.net/>

<sup>2</sup> Java Expert System Shell: <http://www.jessrules.com/jess/>

<sup>3</sup> Pajek (Program for Large Network Analysis): <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>

### 3.2.2 Μεμονωμένοι Πράκτορες

Οι πράκτορες του μοντέλου αντιπροσωπεύουν τα άτομα που χαρακτηρίζονται από το φύλο, την ηλικιακή ομάδα, την οικογενειακή κατάσταση, την κατάσταση της υγείας και την αναμενόμενη φυσιολογική ηλικία. Οι πράκτορες δημιουργούνται κατά την έναρξη του πειράματος προσομοίωσης. Ο Πίνακας 3-1 απεικονίζει τα βασικά χαρακτηριστικά ενός πράκτορα στο μοντέλο.

Χαρακτηριστικά	
Attribute	Possible values
Gender	Female; male
Age Group	Child [0-16); adult [16-45); senior [45-onwards) years
Health Status	Well/ok; HIV/AIDS; old-age sickness; disabled



Life Expectancy	Sampled from Normal Distribution with values of mean expected age (56 years) and standard deviation (10 years), as abstracted from the demographic data.
Hunger Status	Fully-fed; half-fed; not-fed

**Πίνακας 3-1: Χαρακτηριστικά του Πράκτορα**

### 3.3 Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης

Το μοντέλο μπορεί να τρέξει και να διερευνηθεί με πολυάριθμους τρόπους. Για όλες τις περιπτώσεις, οι ακόλουθες παράμετροι παρέμειναν σταθερές: ο αρχικός αριθμός των νοικοκυριών (100), η αρχική κυριαρχία του HIV/AIDS (20%) και τα ποσοστά γεννήσεων των παιδιών (30%). Αρχικός αριθμός των πρακτόρων στο χωριό κυμαίνεται από 600 έως 900 (ένα μέσο νοικοκυριό αποτελείται από 7-10 άτομα). Όλη η προσομοίωση τρέχει σε αυτό το setup.

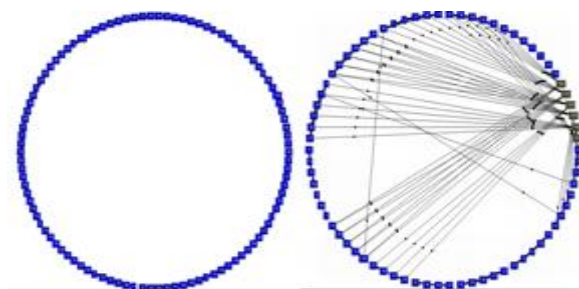
#### 3.3.1 Ο ρόλος των κοινωνικών δικτύων στη διαχείριση διαλυμένων νοικοκυριών

Τα νοικοκυριά ανάλογα με το εισόδημα κάποιου μέλους τους, είναι πιο ευαίσθητα να διαλυθούν σε περίπτωση θανάτου του προστάτη της οικογένειας.

Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν πέντε διαφορετικές ρυθμίσεις, όπου η κάθεμία περιλαμβάνει μια σειρά από 30 προσομοιώσεις. Ο δεσμός των σχέσεων της εκτεταμένης οικογένειας ήταν δυνατός, μέτριος ή χαλαρός σε διάφορα σενάρια. Η εικόνα 3-1 δείχνει τα νοικοκυριά που έχουν ιδιαίτερα στενούς οικογενειακούς δεσμούς (δεξιά), ενώ οι δεσμοί της εκτεταμένης οικογένειας σχηματίζονται μόνο ως αποτέλεσμα των γάμων κατά την προσομοίωση (αριστερά).

Αριστερά παρουσιάζεται το δίκτυο κατά την έναρξη ενός κύκλου προσομοίωσης και δεξιά παρουσιάζεται το δίκτυο όταν τα νοικοκυριά δημιουργούν δεσμούς,

αποκλειστικά βάσει των γάμων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, όπου γίνεται τυχαία αρχική τοποθέτηση των νοικοκυριών σε ομάδες

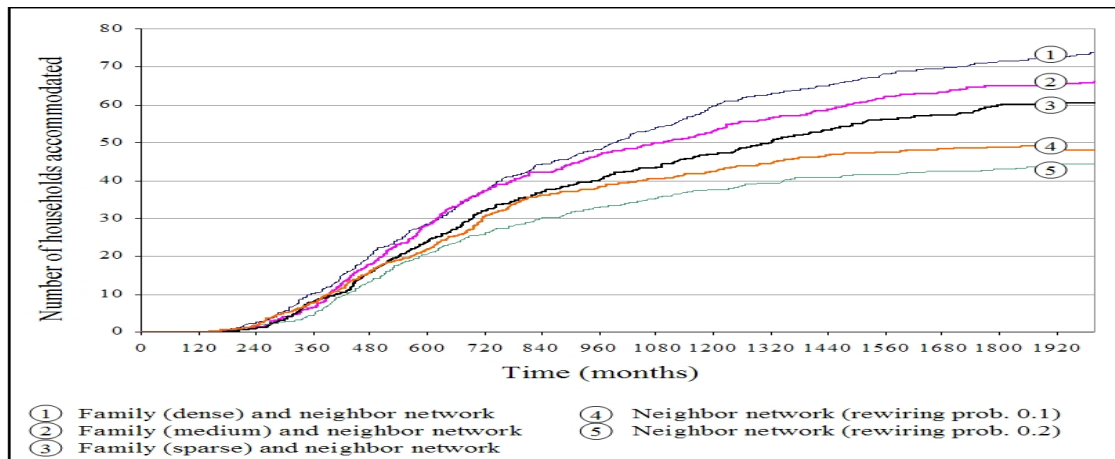


Εικόνα 3-1: Δύο παραδείγματα ενός δικτύου εκτεταμένης οικογένειας

Επιπλέον, η γειτονιά των νοικοκυριών έχει συνδεθεί μέσω της μεθόδου Watts-Strogatz (Watts 2003).

Οι τελευταίες ρυθμίσεις διερευνούν το ρόλο της κοινωνικής γειτονιάς στη φιλοξενία των νοικοκυριών και μόνο.

Όταν δεν υπάρχει δίκτυο συγγένειας διαθέσιμο σαν εφεδρεία, η γειτονιά μόνη της ελάχιστα συμβάλλει στη φροντίδα των διαλυμένων νοικοκυριών. Οι τελευταίες σειρές στην εικόνα 3-2 δείχνουν πώς ο αριθμός των νοικοκυριών που στεγάζονται, επηρεάζεται όταν μόνο η κοινωνική γειτονιά αναλαμβάνει τη φροντίδα των ορφανών.



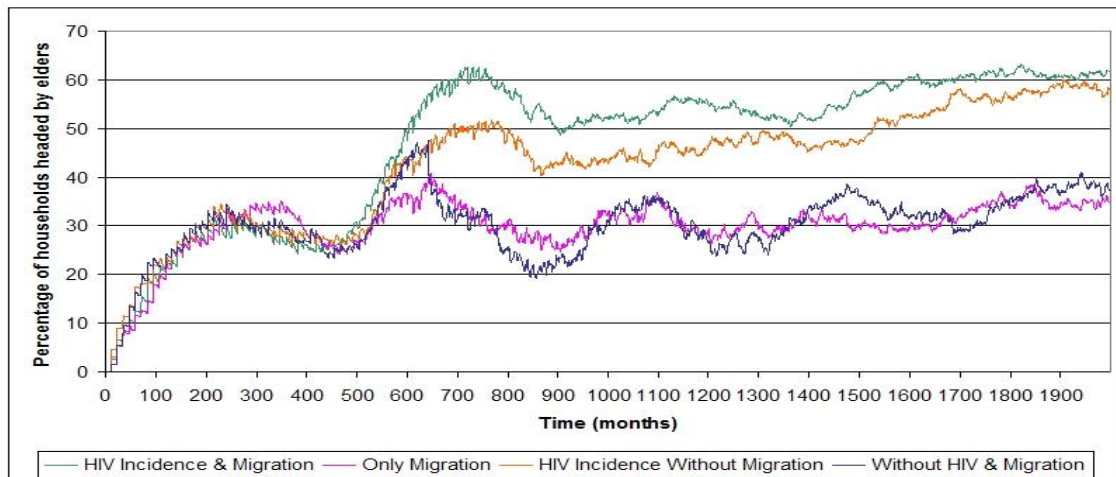
Εικόνα 3-2: Τα διαλυμένα νοικοκυριά, σε πέντε διαφορετικές ρυθμίσεις

Με ένα υψηλότερο συντελεστή ομαδοποίησης (δηλαδή η μικρότερη ανάστροφη πιθανότητα 0,1), η διαδικασία είχε λίγο καλύτερη απόδοση από ό, τι στην άλλη περίπτωση. Συμπεραίνεται ότι οι δεσμοί του δικτύου και ο πληθυσμός των νοικοκυριών εξελίσσονται ως αποτέλεσμα των υποκείμενων κοινωνικών διαδικασιών.

### 3.3.2 Οι επιπτώσεις στη σύνθεση του νοικοκυριού εξ αιτίας του HIV/AIDS και της μετανάστευσης

Η έλλειψη διαθέσιμων ευκαιριών απασχόλησης και πηγών εισοδήματος στο χωριό αναγκάζει τους ενήλικες να μεταναστεύσουν. Παρόλο που η μετανάστευση φέρνει καλύτερες ευκαιρίες για τα ενδιαφερόμενα νοικοκυριά, είναι πιθανό ότι αυξάνει επίσης τον κίνδυνο, οι ηλικιωμένοι που μένουν πίσω να επιβαρύνονται με τη φροντίδα του σπιτιού και άλλα σχετικά ζητήματα που επιβαρύνουν την υγεία τους (Posel & Casale 2003, Walker 2006).

Η εικόνα 3-3 συνοψίζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης εξετάζοντας το ζήτημα των ηλικιωμένων που έχουν αναλάβει τα καθήκοντα του αρχηγού των νοικοκυριών στην περιοχή.

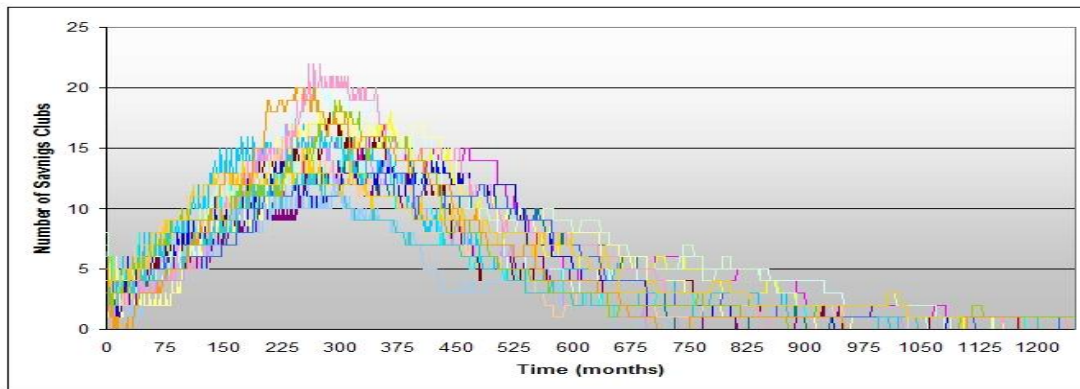


Εικόνα 3-3: Επίδραση της συχνότητας του HIV/AIDS και της μετανάστευσης

### 3.3.3 Η οικονομία των νοικοκυριών και η πρόσληψη τροφής

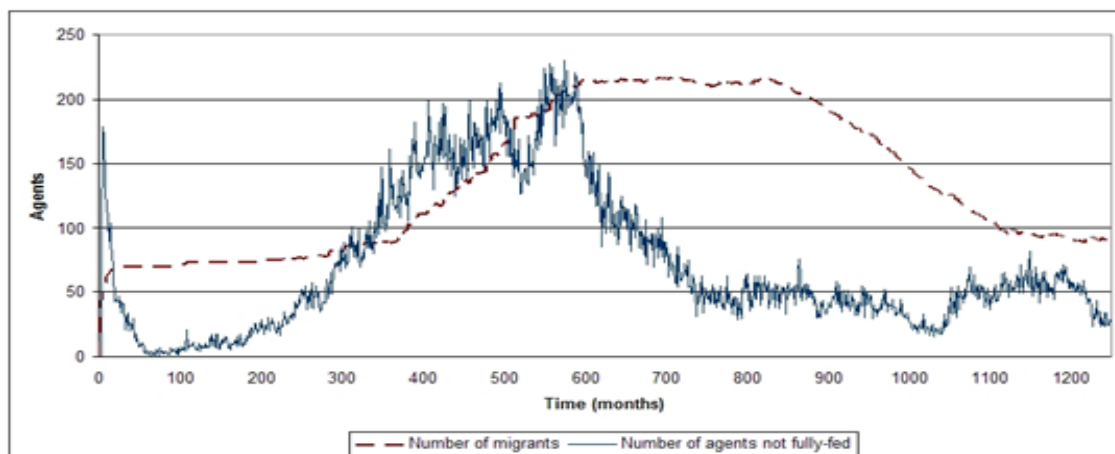
Κύριος στόχος είναι να ερευνηθούν οι αμοιβαίες επιδράσεις της μετανάστευσης, των πρακτόρων feed-status και η εξοικονόμηση από τις συνδρομές συλλόγων. Σε κάθε πείραμα προσομοίωσης, ξεκινήσαμε με 2 έως 3 % των ενηλίκων εργαζομένων που μεταναστεύουν, με το αρχικό εισόδημα των νοικοκυριών να κυμαίνεται από 500 έως 1.000 Rand. Το ποσό που απαιτείται για τη μετάβαση στην πόλη ορίστηκε στα 300 Rand, ενώ ο αριθμός των γραφείων τελετών ορίστηκε στα 7.

Η εικόνα 3-4 παρουσιάζει ένα δείγμα από 20 πειράματα μέσα στο ίδιο σενάριο που δείχνει τη μεταβλητότητα στον αριθμό των συλλόγων εξοικονόμησης χρημάτων που σχηματίζονται στην πάροδο του χρόνου. Οι προσομοιώσεις αυτές έτρεξαν για περίπου 100 χρόνια (~ 1200 ticks). Με την αύξηση των δαπανών και των θανάτων, πολλοί αρχηγοί των νοικοκυριών έπρεπε να αποχωρήσουν με αποτέλεσμα την πτωτική τάση καθώς οι προσομοιώσεις προχωρούσαν.



Εικόνα 3-4: Δείγμα 20 πειραμάτων προσομοίωσης μέσα στο ίδιο σενάριο

Η εξέταση του αριθμού των πρακτόρων που πεινούν και του αριθμού των πρακτόρων που μεταναστεύουν ρίχνει κάποιο φως στο γιατί τα νοικοκυριά αποχώρησαν από τους συλλόγους εξοικονόμησης χρημάτων, όπως αυτό φαίνεται στην Εικόνα 3-5. Αυτό συμβαίνει είτε όταν ο αρχηγός πεθαίνει είτε όταν το εισόδημα του νοικοκυριού επηρεάζεται αρνητικά εξαιτίας των εξόδων για την υγεία και τις κηδείες. Μια πτωτική οικιακή οικονομία οδηγεί έναν πράκτορα στο να μεταναστεύσει και το έμβασμα συμβάλλει στη μείωση του αριθμού των πρακτόρων που υποφέρουν από πείνα. Ωστόσο, καθώς η κυριαρχία του HIV/AIDS αυξάνεται, οι σύλλογοι εξοικονόμησης χρημάτων και το έμβασμα των πρακτόρων καταρρέουν, όπως κανείς μπορεί να δει περίπου από τον 800ο και 1000ο μήνα προσομοίωσης, αντίστοιχα.

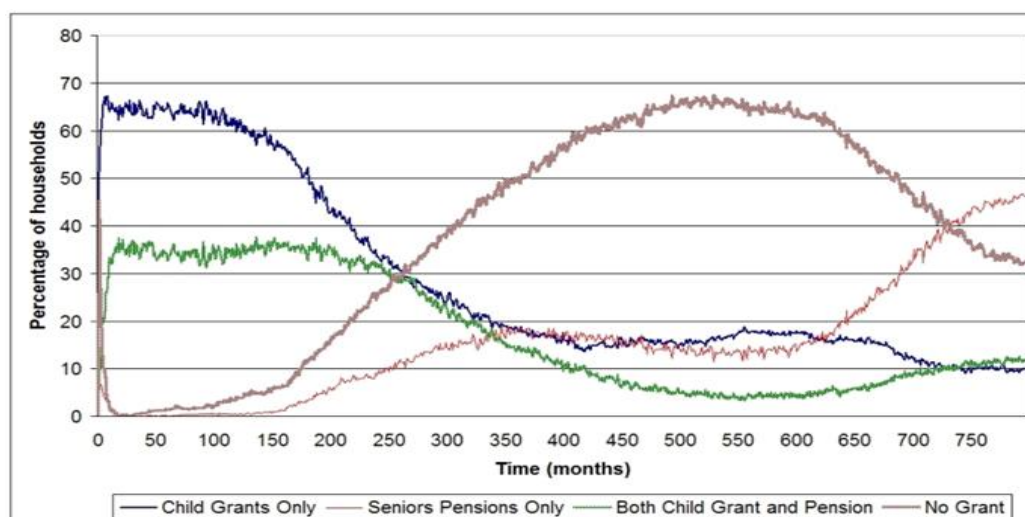


Εικόνα 3-5: Οι χρονοσειρές των πρακτόρων μεταναστεύουν και πεινούν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης

### 3.3.4 Ο ρόλος των επιδομάτων για τα παιδιά και οι συντάξεις γήρατος

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα δούμε κατά πόσο το επίδομα τέκνου και η σύνταξη γήρατος συμβάλλουν στις αποδοχές των νοικοκυριών και των τροφίμων, την υγεία και τις δαπάνες κηδείας.

Η πρώτη παρτίδα προσομοίωσης ορίστηκε στα 100 νοικοκυριά, και ο αριθμός των γραφείων τελετών ορίστηκε να είναι 5, ενώ τα επιδόματα διατίθενται μόνο σε παιδιά κάτω από την ηλικία των 7. Στην Εικόνα 3-6 φαίνεται η συνεισφορά των επιδομάτων για τα παιδιά και των συντάξεων γήρατος στο εισόδημα των νοικοκυριών, για 100 νοικοκυριά. Ο Άξονας Χ περιγράφει το χρόνο σε μήνες και ο άξονας Υ το ποσοστό των νοικοκυριών.

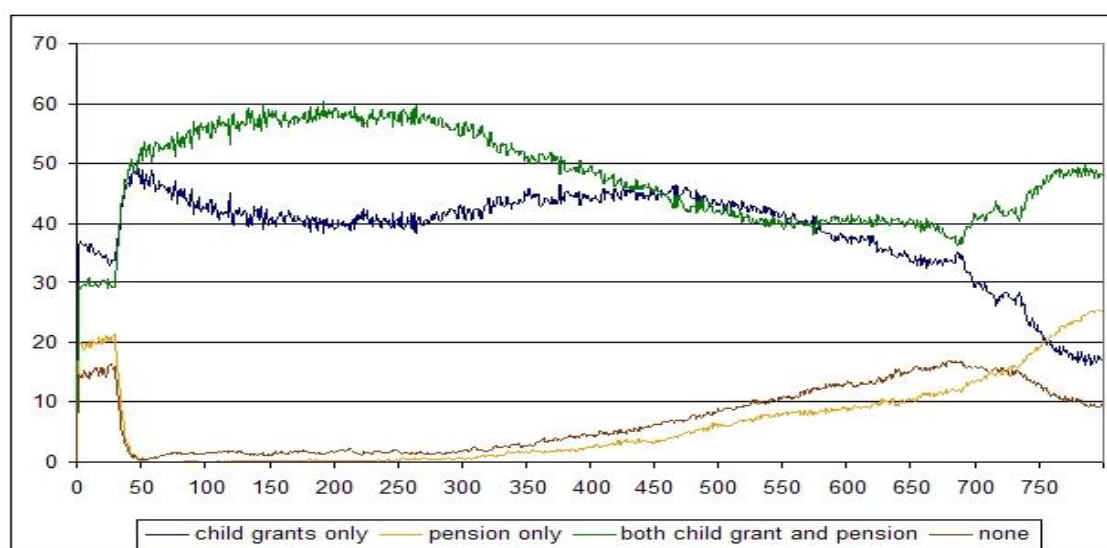


Εικόνα 3-6: Η συνεισφορά των επιδομάτων και των συντάξεων γήρατος

Στην εικόνα 3-6, τα περισσότερα νοικοκυριά βασίστηκαν στα επιδόματα για τα παιδιά μόνο ως κύρια πηγή του εισοδήματός τους. Παρατηρούμε ότι καθώς η προσομοίωση προχωρά, το ποσοστό των νοικοκυριών που λαμβάνουν μόνο επιδόματα για παιδιά μειώνεται. Από την άλλη πλευρά, δεδομένου ότι περισσότεροι ηλικιωμένοι αρχίζουν να παίρνουν συντάξεις, το ποσοστό των νοικοκυριών που χρησιμοποιούν αποκλειστικά και μόνο τις συντάξεις, αυξάνεται κατά το 700<sup>ο</sup> πείραμα. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια ενός μεγάλου μέρους της προσομοίωσης, η

πλειοψηφία των νοικοκυριών δεν έλαβε καμία επιχορήγηση. Αυτό αρχίζει να συμβαίνει περίπου στο 300<sup>ο</sup> tick (300<sup>ο</sup> μήνα σε ένα τρέξιμο).

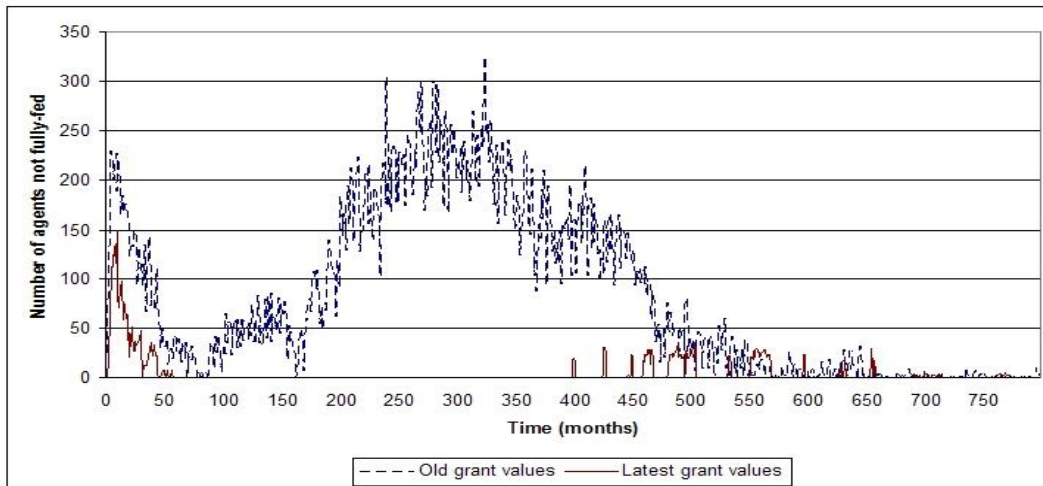
Στη δεύτερη προσομοίωση, το κριτήριο για την επιδότηση τέκνου ορίστηκε στην ηλικία των 13. Επίσης, οι συντάξεις γήρατος ελήφθησαν από όλους τους δικαιούχους ηλικιωμένους. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αναφέρονται στην εικόνα 3-7, όπου βλέπουμε ότι η κατάσταση δεν επιδεινώθηκε όπως στην προηγούμενη προσομοίωση.



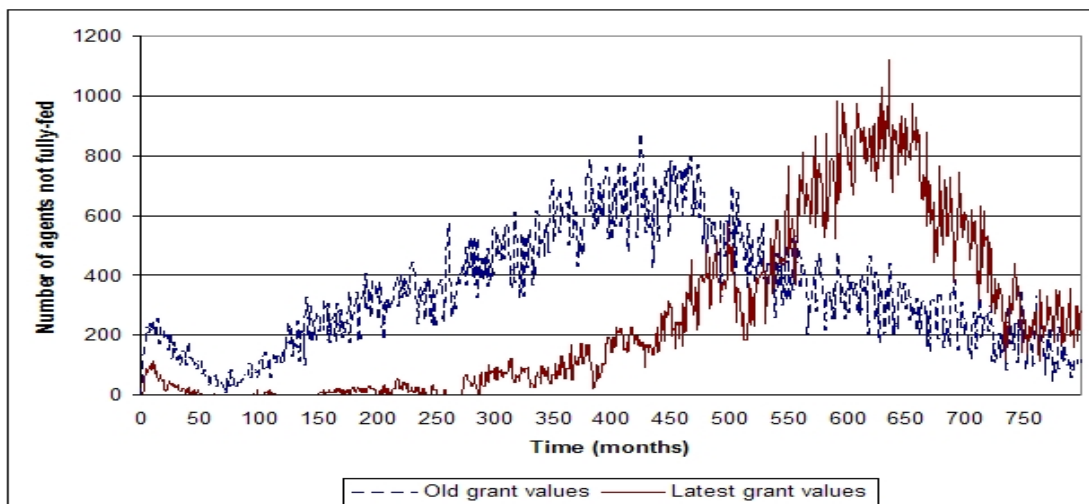
**Εικόνα 3-7: Η συνεισφορά των επιδομάτων των παιδιών με κριτήριο την ηλικία των 13 και οι συντάξεις γήρατος**

Η εικόνα 3-8 δείχνει τον αριθμό των πρακτόρων οι οποίοι δεν είναι πλήρως τροφοδοτημένοι κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης με την εμφάνιση του HIV / AIDS για τις παλιές τιμές των κρατικών επιδομάτων και τις τελευταίες τιμές των επιδομάτων από τον προϋπολογισμό του 2007. Ο αριθμός των πρακτόρων που πεινούν μειώνεται σημαντικά με τα νέα υποχρεωτικά επιδόματα. Ωστόσο, λόγω του HIV / AIDS ο πληθυσμός μειώνεται, καθώς συνεχίζει η προσομοίωση.





**Εικόνα 3-8: Το ποσοστό των πρακτόρων που δεν είναι πλήρως τροφοδοτημένοι με την επικράτηση του HIV / AIDS,**



**Εικόνα 3-9: Το ποσοστό των πρακτόρων που δεν είναι πλήρως τροφοδοτημένοι με την επικράτηση του HIV / AIDS**

Η εικόνα 3-9 συγκρίνει την επίδραση της πρόσφατης επιδότησης και των παλιών τιμών των κρατικών επιδομάτων προκειμένου να συμπεράνουμε τον αριθμό των πρακτόρων που δεν είναι πλήρως τροφοδοτημένοι στην περίπτωση που δεν υπάρχει το HIV / AIDS. Όπως ήταν αναμενόμενο, το μέσο ποσοστό των πρακτόρων που δεν είναι πλήρως τροφοδοτημένοι είναι υψηλότερο σε όλη την προσομοίωση για τα παλαιότερα επιδόματα. Οι περιπτώσεις των εικόνων 3-8 και 3-9 δείχνουν ότι με την



αύξηση των επιδομάτων, τα νοικοκυριά επωφελούνται από την άποψη της αντιμετώπισης των κοινωνικοοικονομικών στρεσογόνων παραγόντων.

Από τα παραπάνω σενάρια, είναι σαφές ότι η διαβίωση των νοικοκυριών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τα επιδόματα τέκνων και από τις συντάξεις. Τα νοικοκυριά που δεν είναι σε θέση να λάβουν τα επιδόματα διαλύονται πολύ σύντομα δεδομένου του υψηλού κόστους της μετανάστευσης.

### **3.4 Συμπεράσματα**

Ο πρωταρχικός σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι να δείξει πώς ένα συγκεκριμένο πρόβλημα βασισμένο σε μια πραγματική περιπτώσιολογική μελέτη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κοινωνική προσομοίωση. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι λεπτομερές και αναλυτικό, προκειμένου να αποτυπώσει τα αποτελέσματα των στρεσογόνων παραγόντων.

Το μοντέλο που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, οδηγείται από αποδεικτικά στοιχεία και βασίζεται σε πραγματικές επιτόπιες μελέτες περίπτωσης, κάτι που είναι ασυνήθιστο στον τομέα της κοινωνικής προσομοίωσης.

Μια σημαντική συμβολή του μοντέλου αυτού είναι ότι τα δίκτυα δημιουργούνται μέσω των τοπικών κοινωνικών διαδικασιών, ανεξάρτητα από οποιαδήποτε αρχική τοπολογία του δικτύου. Η δυναμική ανάλυση αυτών των δικτύων είναι από μόνη της ένα ενδιαφέρον πρόβλημα.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι ένας περιορισμός αυτής της εργασίας, είναι η μοντελοποίηση των κανόνων συμπεριφοράς του πράκτορα. Οι αποφάσεις, όπως η συμμετοχή σε συλλόγους εξοικονόμησης χρημάτων ή η μετανάστευση ή ο δανεισμός τροφής απαιτούν αυθεντικές περιγραφές από τους ενδιαφερομένους και αυτό δεν είναι εύκολο. Οι επιτόπιες έρευνες συνήθως αναφέρουν συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία.

## 4 Προσομοίωση του συστήματος μεταβίβασης του εισοδήματος στη Φινλανδία, με Στατικό Μικροαναλυτικό Μοντέλο

### 4.1 Εισαγωγή

Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι να αναλυθεί το σύστημα μεταβίβασης του εισοδήματος στη Φινλανδία, σαν ένας μηχανισμός για να μειωθεί η φτώχεια μέσω ενός στατικού μοντέλου προσομοίωσης. Συγκεκριμένες παράμετροι κοινωνικής βοήθειας αποδείχθηκαν να είναι οι πιο αποτελεσματικές για να μειωθεί η φτώχεια. Ωστόσο, αυξάνοντας ουσιαστικά το βασικό επίδομα ανεργίας, τις βασικές συντάξεις, τα επιδόματα στέγασης, και τις επιχορηγήσεις σπουδών, αφήνοντας την κοινωνική πρόνοια άθικτη, η φτώχεια μειώθηκε κατά 50%. Αυτό σημαίνει ότι η κοινωνική βοήθεια είναι ακόμη απαραίτητη, για να μειωθεί η φτώχεια επιπλέον. Τα έξοδα είναι πιο αποτελεσματικά ισορροπημένα με την αύξηση του φόρου εισοδήματος.

### 4.2 Μοντέλα προσομοίωσης στη Φινλανδία

Σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιείται το μοντέλο SOMA. Είναι πιθανό ότι το μοντέλο SOMA μειώνει την φτώχεια λίγο παραπάνω από την πραγματικότητα και ένας λόγος γι' αυτό είναι επειδή δεν λαμβάνει υπόψη την κοινωνική βοήθεια.

Το μοντέλο SOMA προσομοιώνει τις μεταβιβάσεις αληθινού εισοδήματος και το φορολογικό σύστημα για τον πληθυσμό για μία χρονιά. Επίσης, όπως θα δείξουμε και στη συνέχεια, είναι εφικτό να υπολογισθούν οι δείκτες που μετρούν την ανισότητα και την φτώχεια.

#### 4.2.1 Μέθοδος και δεδομένα

Το μοντέλο SOMA μπορεί να εκφραστεί συνοπτικά ως εξής:  $Y=SOMA(PARA,X)$ , όπου ο πίνακας  $Y$  αποτελείται από τις μεταβλητές για τα εισοδήματα τις μεταβιβάσεις εισοδήματος και την φορολογία. Τα δεδομένα του  $Y$  είναι τα ίδια όπως τα δεδομένα διανομής εισοδήματος και όλοι οι δείκτες για την ανάλυση της φτώχειας και την

διανομή εισοδήματος μπορούν να υπολογιστούν σε αυτή τη βάση. Το PARA περιέχει όλες τις παραμέτρους του μοντέλου SOMA και το X αναφέρεται στα δεδομένα διανομής εισοδήματος με τον όρο ότι το μοντέλο κάνει χρήση των μεταβλητών του.

Η διαδικασία ξεκινά με το βήμα 0 όπου το μοντέλο προσομοίωσης τρέχει χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους της χρονιάς (2003 και 2004).

### 4.3 Αποτελέσματα

Το μοντέλο 2004 διέφερε ελάχιστα από το μοντέλο 2003. Η πιο σημαντική αλλαγή όσον αφορά τη φτώχεια ήταν ότι, σε αντίθεση με το μοντέλο 2003, ελήφθησαν υπόψη τα σπουδαστικά δάνεια (300 ευρώ το μήνα για φοιτητές πανεπιστημίων), όταν υπολογιζόταν το διαθέσιμο εισόδημα των φοιτητών. Αναζητήθηκαν όλα τα υπάρχοντα μέσα νομοθεσίας για τους πιθανούς τρόπους μείωσης της φτώχειας, δηλαδή όλες οι παράμετροι PARA. Αυτό έδωσε τις ακολουθίες που φαίνονται στον Πίνακα 4-1 ενώ όλες οι παράμετροι εξηγούνται στον Πίνακα 4-2.

Iteration	The 2003 model			The 2004 model		
	Parameter	Value	funding parameter XPOM	Parameter	Value	funding parameter XPOM
1	A1KAN2	394.67	29.35	A1KAN2	397.01	29.29
2	A1KAN2	434.14	30.21	A1KAN2	436.71	29.96
3	A1KAN2	477.55	31.08	A1KAN2	480.39	30.64
4	A1KAN2	525.30	32.44	A1KAN2	528.42	31.53
5	A1KAN1	412.41	32.77	A1KAN1	414.87	31.85
6	A1KAN1	453.65	33.51	A1KAN1	456.35	32.17
7	A1KAN2	577.84	35.19	A1KAN1	501.99	32.96
8	A1KAN1	499.02	35.99	A1KAN2	581.27	33.99
9	A1KAN1	548.92	37.03	A1KAN1	552.19	34.98
10	A2KAN2	335.47	37.40	A2KAN2	337.46	35.18
11	A2KAN2	369.01	37.78	A2KAN2	371.20	35.39

12	A2KAN2	405.92	38.16	A1KAN2	639.39	37.16
13	A1KAN2	635.62	40.87	A2KAN2	408.32	37.53
14	A1KAN1	603.81	42.06	A2KAN2	449.16	37.91
15	A1KAN1	664.19	44.16	A1KAN1	607.40	39.01
16	A2KAN2	446.51	44.70	A2KAN1	352.64	39.24
17	A2KAN1	350.55	45.15	A1KAN2	703.33	41.86
18	A1KAN2	699.18	48.36	A2KAN2	494.07	42.38
19	A2KAN2	491.16	49.66	A2KAN1	387.90	42.80
20	A2KAN2	540.27	51.10	A1KAN1	668.14	44.04
21	A2KAN1	385.60	51.51	A1KAN1	734.96	46.25
22	A2KAN2	594.30	53.65	A2KAN1	426.69	46.52
23	A1KAN1	730.61	56.10	A2KAN2	543.48	47.48
24	A2KAN1	424.16	56.67	A2KAN2	597.83	48.85
25	A2KAN1	466.58	57.24	A1KAN2	773.66	52.32
26	A2KAN1	513.24	57.94	A2KAN1	469.36	52.74
27	A1KAN2	769.10	62.79	XPERPR	18.00	52.94
28	LAALKAN2	248.64	63.16	A2KAN2	657.61	54.92
29	A2KAN1	564.56	64.19	A2KAN2	723.37	58.13
30				A2KAN2	795.71	63.11
31				A2KAN1	516.30	63.62
32				TYPVRAHA	25.48	64.13
33				A2KAN1	567.93	64.77
34				TYPVRAHA	28.02	65.43

Πίνακας 4-1: Οι ακολουθίες για την μείωση της φτώχειας με τα μοντέλα 2003 και 2004

Parameter	2003	2004	Parameter description
A1KAN1	7	7	Social assistance, one adult, urban area, €/month
A1KAN2	8	8	Social assistance, one adult, rural area, €/month
A2KAN1	6	6	Social assistance, two adults, urban area, €/month
A2KAN2	7	10	Social assistance, two adults, rural area, €/month
LAALKAN2	1		Social assistance, child under 10, rural area, €/month
TYPVRAHA		2	Unemployment allowance, €/day (basic)
XPERPR		1	Percentage reduction of basic deduction in municipal taxation
XPOM	29	34	Taxation: tax rate on capital income

**Πίνακας 4-2: Περιγραφές και εμφάνιση των παραμέτρων**

Το αποτέλεσμα ήταν το αναμενόμενο. Η κοινωνική βοήθεια προέκυψε ως ο πιο σημαντικός τρόπος μεταβίβασης εισοδήματος στο πρόγραμμα μείωσης της φτώχειας. Γνωρίζαμε εκ των προτέρων ότι το επίπεδο κοινωνικής βοήθειας έχει πέσει κατά πολύ κάτω από τα όρια της φτώχειας στη Φινλανδία (Ritakallio 2005).

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4-1, οι κανόνες για τους ενήλικους πρέπει να αλλάξουν κατά 10% σε κάθε βήμα και από 6 έως 8 φορές, υπονοώντας ότι το ποσό της κοινωνικής βοήθειας για έναν άγαμο σε αγροτική περιοχή θα έπρεπε να αυξηθεί από 358,79€, το μήνα που δόθηκαν (το 2003), σε 769,10€ το μήνα (σειρά 27 του πίνακα 4-1).

Η πολιτική του προγράμματος για τη μείωση της φτώχειας όπως προέκυψε με τη χρήση του μοντέλου του 2004 ήταν παρόμοια, με την εξαίρεση ότι τώρα περιελάμβανε επιπλέον δύο αλλαγές στα επιδόματα ανεργίας και μια παράμετρο

(XPEPRP) που επηρέαζε τη βασική μείωση (1480€) σε δημοτικό φόρο. Η μεγαλύτερη αλλαγή ήταν αυτή που έγινε στην κοινωνική βοήθεια του νοικοκυριού ενός έγγαμου σε αγροτική περιοχή, η οποία αυξήθηκε από 7 έως 10 φορές, φτάνοντας την τιμή του 795,71€ το μήνα (το 2004). Το 2003, η τιμή παρέμεινε χαμηλή στα 594,30€.

Πρέπει να υπενθυμιστεί ότι όταν διεξήχθη ο υπολογισμός εντός του μοντέλου 2004, το σπουδαστικό δάνειο είχε συμπεριληφθεί σαν εισόδημα του σπουδαστή επομένως οι σπουδαστές είχαν αποκλειστεί από την αναζήτηση για την παράμετρο μείωσης της φτώχειας. Το σπουδαστικό δάνειο μείωσε τουλάχιστον την υπολογισμένη φτώχεια ανάμεσα στους σπουδαστές σε σύγκριση με το 2003.

Η εστίαση στην κοινωνική βοήθεια, στο πρόγραμμα πολιτικής της φτώχειας, ήταν η αναμενόμενη. Το αποτέλεσμα δείχνει ότι η ανάγκη είναι λίγο μεγαλύτερη στις αγροτικές περιοχές από τις αστικές.

Προέκυψε μια ερώτηση για το εάν άλλες μεταβιβάσεις εισοδήματος είναι επαρκείς όσον αφορά στη μείωση της φτώχειας. Αυτό ελέγχθηκε εκτελώντας την βελτιστοποίηση όπου η κοινωνική βοήθεια βρίσκεται στο επίπεδο όπως ορίστηκε από την νομοθεσία το 2003 και το 2004 αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα αυτής της νέας βελτιστοποίησης φαίνονται στον Πίνακα 4-3 (32 στάδια επανάληψης και 7 παράμετροι που μειώνουν τη φτώχεια για το 2003) (11 στάδια επανάληψης και 3 παράμετροι που μειώνουν τη φτώχεια για το 2004) και μια περίληψη και εξηγήσεις δίνονται στον Πίνακα 4-4.

Και για τα δύο έτη το πρόγραμμα βελτιστοποίησης υπέδειξε βελτιώσεις στα χαμηλότερα επίπεδα επιδομάτων ανεργίας, στην κρατική σύνταξη ενός άγαμου, στο επίδομα στέγασης και οικονομική υποστήριξη για τους σπουδαστές.

Iteration	The 2003 model		funding parameter	The 2004 model		funding parameter
	Parameter	Value	XPOM	Parameter	Value	XPOM
1	TYPVRAHA	25.32	29.96	KEKOYK2	523.30	30.27
2	TYPVRAHA	27.85	31.46	TYPVRAHA	25.48	31.15
3	TYPVRAHA	30.64	32.97	TYPVRAHA	28.02	32.05
4	TYPVRAHA	33.70	34.55	TYPVRAHA	30.83	33.45
5	TYPVRAHA	37.07	36.27	TYPVRAHA	33.91	34.63
6	TYPVRAHA	40.78	38.62	TYPVRAHA	37.30	36.36
7	TYPVRAHA	44.86	41.12	TYPVRAHA	41.03	38.18
8	KEKOYK2	520.22	42.31	TYPVRAHA	45.13	40.09
9	TYPVRAHA	49.35	45.23	TYPVRAHA	49.65	42.43
10	OPIASPRO	88.00	45.50	KEKOYK2	575.63	43.66
11	POVPR	10.00	45.76	OPIASPRO	88.00	44.01
12	TYPVRAHA	54.28	48.82			
13	KEKOYK2	572.25	50.24			
14	KEKOYK2	629.47	51.80			
15	KEKOYK1	542.80	52.32			
16	OPIASPRO	96.80	52.74			
17	OPKK1MK	284.91	53.05			
18	OPKK1MK	313.40	53.36			
19	OPKK1MK	344.74	53.79			
20	OPKK1MK	379.22	54.22			
21	OPKK1MK	417.14	54.66			
22	OPKK1MK	458.85	55.09			
23	OPKK1MK	504.74	55.65			

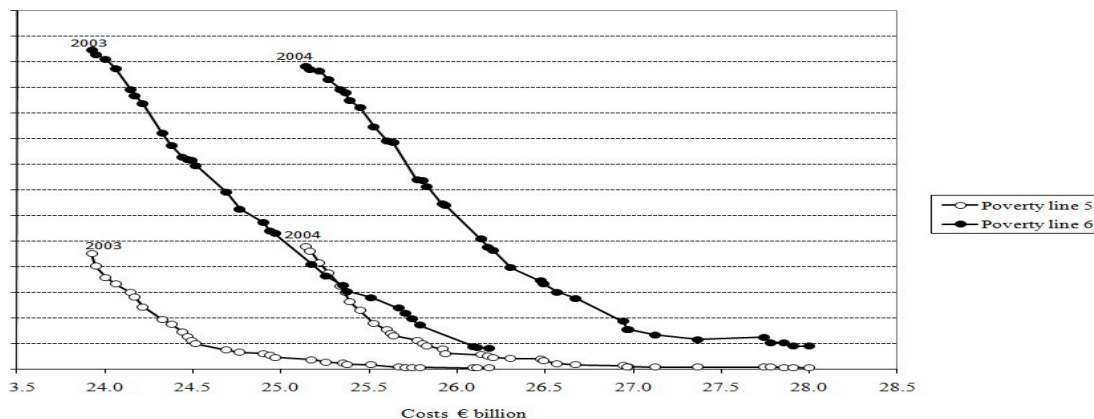
24	OPKK1MK	555.21	56.21			
25	OPKK1MK	610.73	56.90			
26	OPKK1MK	671.81	57.59			
27	OPKK1MK	738.99	58.54			
28	OPKK1MK	812.88	59.50			
29	OMAV	88.00	59.85			
30	OPKK1MK	894.17	60.70			
31	OMAV	96.80	61.19			
32	KEKOYK1	597.08	61.68			

Πίνακας 4-3: Οι ακολουθίες για την μείωση της φτώχειας με τα μοντέλα 2003 και 2004

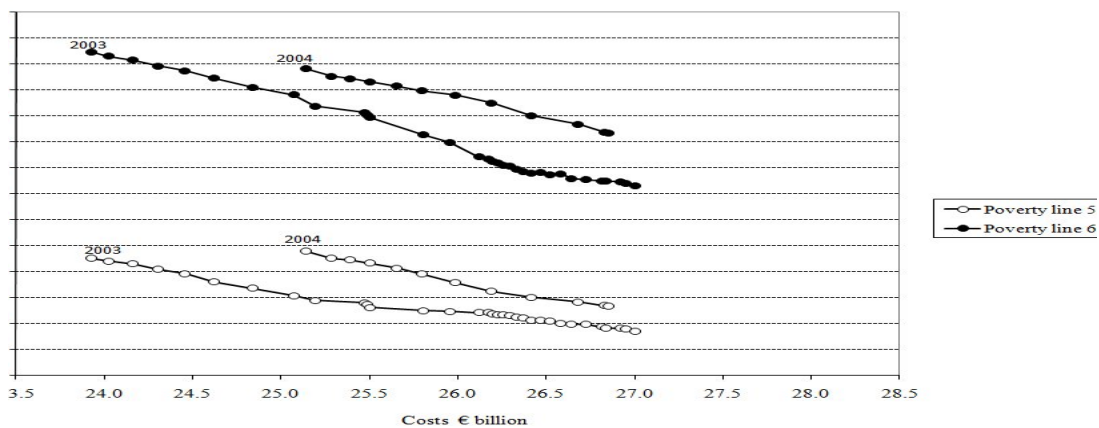
Parameter	2003	2004	Parameter description
KEKOYK1	2		Single person's national pension, urban area, €/month
KEKOYK2	3	2	Single person's national pension, rural area, €/month
OMAV	2		Percentage reduction of own risk in general housing allowance (base is 0 %, i.e. no reduction is made)
OPIASPRO	2	1	Percentage for students' housing supplement
OPKK1MK	13		Study grant for university students, €/month
POVPR	1		Percentage in scales for own contribution in general housing allowance (logically same as OPIASPRO)
TYPVRAHA	9	8	Unemployment allowance, €/day
XPOM	32	11	Taxation: tax rate on capital income

Πίνακας 4-4: Περιγραφές και εμφάνιση παραμέτρων





Εικόνα 4-1: Οι συντελεστές φτώχειας με το πρόγραμμα 1 όπως υπολογίστηκε με τα μοντέλα 2003 (αριστερά) και 2004 (δεξιά) σε συνάρτηση του κόστους (όχι ενημερωμένο, δις €)



Εικόνα 4-2: Οι συντελεστές φτώχειας με το πρόγραμμα 2 όπως υπολογίστηκε με τα μοντέλα 2003 (αριστερά) και 2004 (δεξιά) σε συνάρτηση του κόστους (χρήματα εκείνης της χρονιάς, δις €)

Τα σχεδιαγράμματα των εικόνων 4-1 και 4-2 απεικονίζουν τον αντίκτυπο του προγράμματος 1 και 2 αντίστοιχα, για την φτώχεια, όσον αφορά στο κόστος. Οι

καμπύλες για το 2003(αριστερά) και το 2004(δεξιά) φαίνονται στο σχεδιάγραμμα 4-1 και μοιάζουν αρκετά σχηματικά. Η καμπύλη για το 2004 είναι λίγο πιο απότομη, ειδικά με τη φτώχεια να ορίζεται στο 50% του μέσου εισοδήματος. Ωστόσο, η αφετηρία για την φτώχεια (το πρώτο σημείο στη καμπύλη) ήταν πιο υψηλό το 2004 από όσο το 2003. Για κάποιο λόγο, η αυξημένη κοινωνική βοήθεια που προτάθηκε στον πρόγραμμα 1 μειώνει την φτώχεια πιο αποτελεσματικά το 2004 από ότι το 2003 όταν χρησιμοποιήθηκε χαμηλότερο όριο φτώχειας. Όταν η φτώχεια ορίζεται στο 60% του μέσου εισοδήματος προκύπτει το ίδιο αποτέλεσμα αν και φαίνεται λιγότερο. Ίσως αυτό οφείλεται στο λίγο χαμηλότερο αριθμό των δικαιούχων που έλαβαν κοινωνική βοήθεια το 2004 (όπως υπολογίστηκε από το μοντέλο). Ο αριθμός των νοικοκυριών ήταν 6,2% το 2004 και 7,1% το 2003. Ο αριθμός των δικαιούχων κοινωνικής βοήθεια σύμφωνα με το πρόγραμμα 1 αυξήθηκε σχεδόν οριζόντια καθώς προχωρούσε η επανάληψη και το ποσοστό των δικαιούχων κοινωνικής βοήθειας ήταν 0,804 το 2004 και 0,823 το 2003. Με άλλα λόγια, το πρόγραμμα 1 αύξησε όχι μόνο το επίπεδο κοινωνικής βοήθειας αλλά επίσης και τον αριθμό των νοικοκυριών που έλαβαν κοινωνική βοήθεια. Το 2004 ο αριθμός των δικαιούχων αυξήθηκε λίγο από το 2003.

#### 4.4 Συμπεράσματα

Το ποσοστό της κοινωνικής βοήθειας αυξάνεται αυτόματα με τις αυξήσεις του δείκτη των συντάξεων. Αυτό όμως αφορά μόνο το κόστος διαβίωσης καθώς η φτώχεια δεν μειώνεται, αντίθετα το όριο της φτώχειας επίσης αυξάνεται στον ίδιο βαθμό με τον δείκτη.

Αν αυξανόταν η κοινωνική βοήθεια που είναι απαραίτητη για να μειώσει την φτώχεια, θα αυξανόταν και ο αριθμός των δικαιούχων κοινωνικής βοήθειας και θα φαινόταν ότι άλλες μεταβιβάσεις εισοδήματος είναι ανεπαρκείς επειδή κάποιοι δικαιούχοι συνεχίζουν να λαμβάνουν κοινωνική βοήθεια σαν ένα επιπλέον τρόπο οικονομικής υποστήριξης τους. Οι βελτιώσεις στα επιδόματα για τους ανέργους θα ασκούσαν πίεση στο να αυξηθεί το κατώτατο ημερομίσθιο. Το ίδιο θα συνέβαινε με τις κατώτατες συντάξεις και το επίδομα περίθαλψης. Γενικά οι πιο φτωχοί θα απολάμβαναν μία καλύτερη ποιότητα ζωής και θα είχαν νέες ευκαιρίες να

συμμετέχουν στις κοινωνικές δραστηριότητες. Η οικονομική δραστηριότητα επίσης θα αυξανόταν. Όλοι αυτή η ανάπτυξη θα μπορούσε να απαλύνει διάφορα κοινωνικά προβλήματα, να βελτιώσει την υγεία, να μειώσει την εγκληματικότητα, να μειώσει τον αριθμό των παιδιών σε ιδρύματα, να μειώσει την χρήση ουσιών, να βελτιώσει την ασφάλεια, να μειώσει τους αστέγους, κτλ.

Το αρνητικό αποτέλεσμα της πολιτικής που αναφέρθηκε παραπάνω θα ήταν η δημιουργία μίας μεγάλης κοινωνικής τάξης, η οποία δεν θα ήταν όσο φτωχή όσο τώρα αλλά θα ήταν μόνιμα εξαρτημένη από την κοινωνική βοήθεια.

## **5 Προσομοίωση με Πράκτορες, Διαχείριση Έκτακτης Ανάγκης**

### **5.1 Εισαγωγή**

Η επίτευξη της αποτελεσματικότητας, σε ταχέως μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα έχει δυσκολέψει τόσο τους ερευνητές όσο και τους επαγγελματίες. Συμβάντα έκτακτης ανάγκης απαιτούν τόσο την ταχεία ανταπόκριση όσο και τον αποτελεσματικό συντονισμό μεταξύ των συμμετεχόντων οργανισμών.

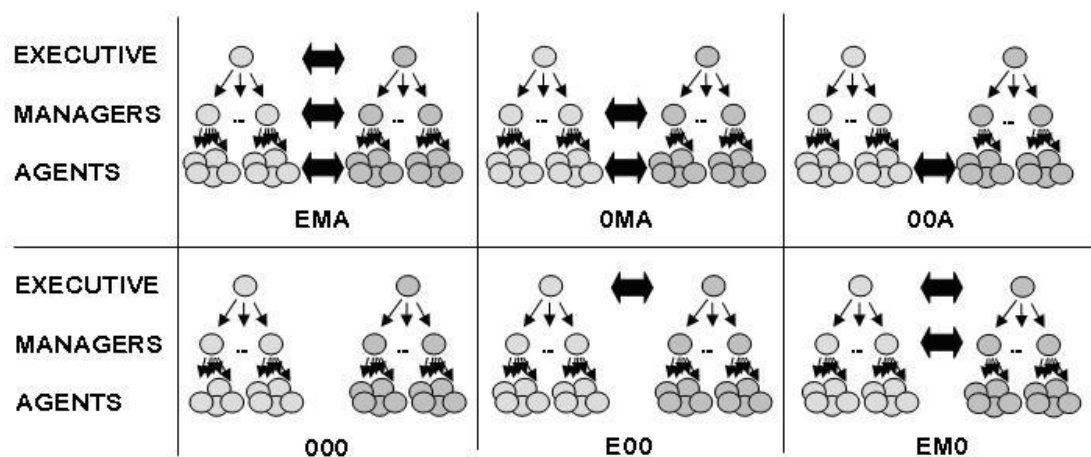
Σε αβέβαια περιβάλλοντα, οι ετερογενείς πράκτορες έχουν αποδειχθεί να είναι πιο αποτελεσματικοί για την ανταλλαγή πληροφοριών που οδηγεί σε καλό συντονισμό, από ότι οι ομοιογενείς πράκτορες.

### **5.2 Πλαίσιο μοντελοποίησης**

Αν και οι πράκτορες είναι συλλέκτες πληροφοριών και εκείνοι που ενεργούν άμεσα, η λήψη αποφάσεων δεν είναι ο ρόλος τους. Κάθε πράκτορας είναι υποχρεωμένος να δώσει τις πληροφορίες του στο διευθυντή του και δεν ενεργεί αυθόρμητα. Ο αλγόριθμος για την διαδικασία απόφασης του πράκτορα περιγράφεται στην εικόνα 5-

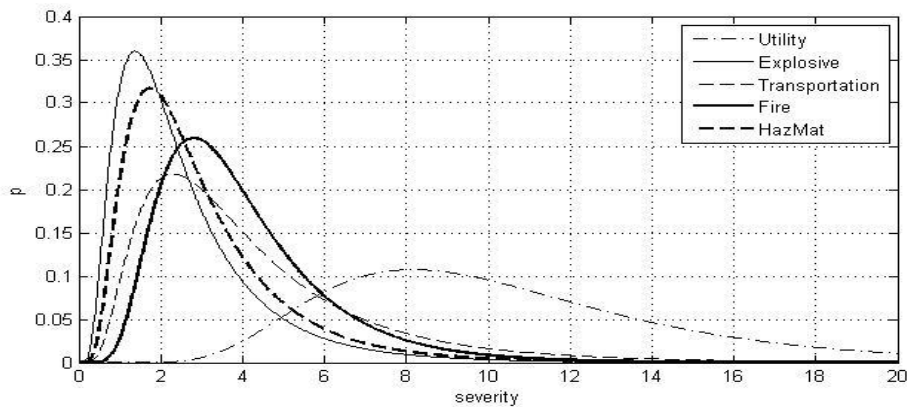
1. Εάν σε έναν πράκτορα έχει ανατεθεί ένα περιστατικό, πηγαίνει κατευθείαν για να ανταποκριθεί στην έκκληση. Ο πράκτορας δεν προβαίνει σε καμία ενέργεια μέχρι να λάβει άμεση εντολή από τον διευθυντή. Ο διαχειριστής εκχωρεί και συντονίζει τις ενέργειες των πρακτόρων. Ο ρόλος της εκτελεστικής εξουσίας είναι να εποπτεύει όλους τους διαχειριστές για μία οργάνωση και να διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ τους.

Στα πειράματά μας, χρησιμοποιήσαμε 6 πρότυπα επικοινωνίας μεταξύ των οργανώσεων. Αυτά τα πρότυπα παρουσιάζονται στην εικόνα 5-1. Τα τρία γράμματα αντιστοιχούν στα τρία επίπεδα, στα οποία η επικοινωνία μεταξύ των οργανώσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί: τους εκτελεστές/διαχειριστές (E), τα διευθυντικά στελέχη (M), και τους πράκτορες (A)



**Εικόνα 5-1: 6 πρότυπα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται μεταξύ των οργανώσεων**

Τα ευρήματα δείχνουν ότι η σοβαρότητα των περιστατικών ακολουθεί την λογαριθμική κανονική κατανομή, και ότι ο χρόνος μεταξύ των περιστατικών ακολουθεί την εκθετική κατανομή με μοναδικές παραμέτρους. Αυτό φαίνεται στην εικόνα 5-2.



**Εικόνα 5-2: Κατανομή σοβαρότητας για κάθε τύπο συμβάντος**

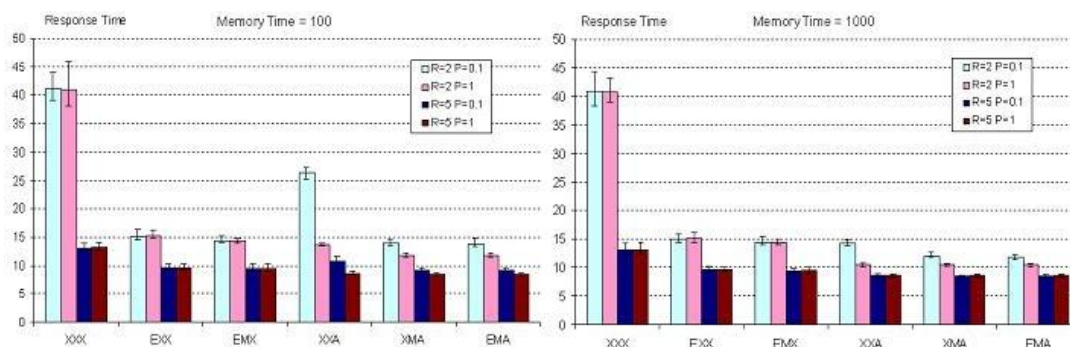
Το περιβάλλον αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, διαμορφώνεται μέσα σε ένα διδιάστατο τετραγωνικό χάρτη, διαστάσεων 100 επί 100 κύτταρα, ομοιόμορφα κατανεμημένα σε 16 δικαιοδοσίες (κάθε 25 επί 25 κελιά). Στην αρχή κάθε περιόδου προσομοίωσης (χρόνος μηδέν) δεν υπήρχε ζήτηση στο χάρτη. Για κάθε κατάσταση (σετ των αρχικών παραμέτρων), πραγματοποιήσαμε 50 προσομοιώσεις. Δοκιμάστηκαν τα έξι σχήματα επικοινωνίας για κάθε σύνολο παραμέτρων. Οι παράμετροι που μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια των πειραμάτων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Το εύρος όψης των πρακτόρων (R) - η απόσταση από την οποία ο πράκτορας μπορεί να «δει» τη ζήτηση. Η παράμετρος αυτή έχει κρίσιμη σημασία από την άποψη της μετάδοσης της πληροφορίας και αυτό σημαίνει ότι περιγράφει την ποσότητα των διαθέσιμων πληροφοριών για τον οργανισμό.
- Την πιθανότητα να δημιουργηθεί επαφή μεταξύ των πρακτόρων (P) - όταν δύο (ή περισσότεροι) πράκτορες ανταποκρίνονται στο χώρο της ζήτησης, μπορεί να δημιουργηθεί μια επαφή που θα οδηγούσε σε ανταλλαγή πληροφοριών στο μέλλον.
- Την μείωση του χρόνου στις επαφές μεταξύ των πρακτόρων (T) που εκφράζεται σε μονάδες χρόνου προσομοίωσης (ITM). Στην πράξη, οι

τρέχουσες κοινωνικές επαφές μπορεί να φθίνουν με την πάροδο του χρόνου, ενώ δημιουργούνται νέες επαφές. Αυτή η παράμετρος καθορίζει το χρονικό διάστημα μετά από το οποίο εξαφανίζονται οι επαφές μεταξύ των πρακτόρων.

### 5.3 Αποτελέσματα της Προσομοίωσης

Το κύριο κριτήριο για την αποτελεσματική αντιμετώπιση μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης, είναι να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος που απαιτείται από τους πράκτορες να φθάσουν στο χώρο του συμβάντος. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην εικόνα 5-3 δείχνουν ότι οποιαδήποτε μορφή της επικοινωνίας μειώνει σημαντικά το χρόνο απόκρισης, σε σχέση με το χώρο στον οποίο οι οργανισμοί δεν επικοινωνούν καθόλου (000). Ακόμη και για το σενάριο όπου υπάρχει μόνο μια ανεπίσημη επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων του δρόμου (00A) και μια σχετικά μικρή πιθανότητα δημιουργίας δεσμών επικοινωνίας μεταξύ των πρακτόρων ( $P = 0,1$ ), ο μέσος χρόνος απόκρισης των οργανισμών μειώθηκε σχεδόν κατά το ένα τρίτο. Από τα αποτελέσματά μας νωρίτερα (Comfort et al. 2004), καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η συμπεριφορά του μοντέλου, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη όσον αφορά τις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στους πράκτορες.



Εικόνα 5-3: Χρόνος απόκρισης με την δομή επικοινωνίας

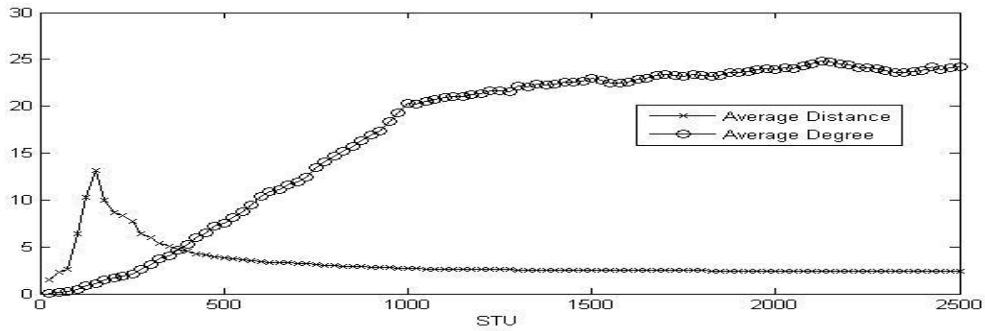
Τα αποτελέσματα που συζητήθηκαν παραπάνω επιβεβαιώνουν ότι το σύστημα προσομοίωσης επιτυγχάνει ένα υψηλό επίπεδο απόδοσης, όταν στους πράκτορες επιτρέπεται ευέλικτη επικοινωνία.

Στο αρχικό στάδιο των μεγαλύτερων γεγονότων έκτακτης ανάγκης, μπορούμε να περιμένουμε ασύνδετα δίκτυα μεταξύ των πρακτόρων και οργανισμών.

Ένα αρχικά αποσυνδεδεμένο δίκτυο εξελίσσεται σε ένα πιο συνδεδεμένο δίκτυο μέσω αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πρακτόρων και παρατηρούμε ότι η αλληλεπίδραση και η επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων δημιουργούν μια αποτελεσματική δομή δικτύου.

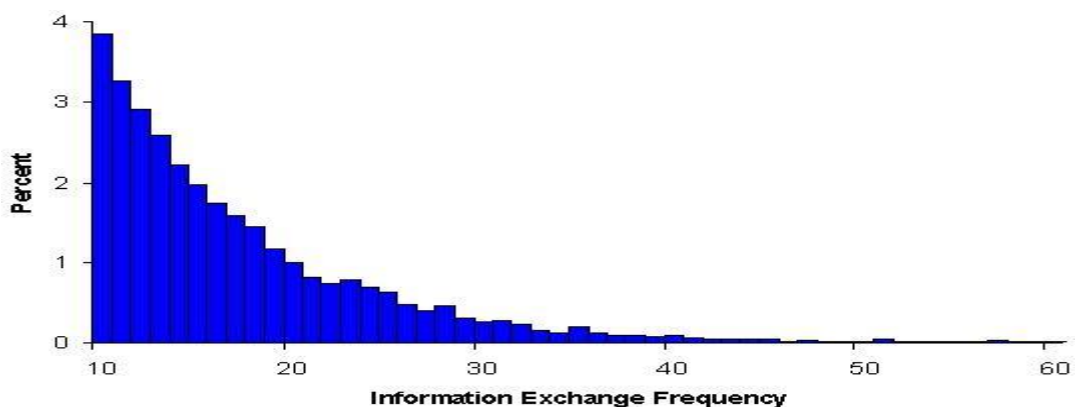
Το διάγραμμα της εικόνας 5-4 δείχνει την αλλαγή στο μέσο βαθμό του δικτύου (π.χ., τον μέσο αριθμό των άμεσων επαφών από πράκτορες για κάθε κόμβο). Ο μέσος βαθμός του δικτύου αυξάνεται σταδιακά μέχρι περίπου το 250 ITM και αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς μετά από αυτό το σημείο, φτάνοντας σταθερότητα σε περίπου 1000 ITM.

Αυτό υποδηλώνει ότι η ευέλικτη επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων επιτρέπει στο δίκτυο να συνδεθεί γρήγορα. Στο αρχικό στάδιο της προσομοίωσης, η μέση απόσταση είναι μικρή, επειδή οι αποσυνδεδεμένοι κόμβοι δεν συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό της απόστασης. Όμως, η μέση απόσταση αυξάνεται σταδιακά και φτάνει στο αποκορύφωμά της περίπου 175 ITM. Σε αυτό το όριο, το δίκτυο δημιούργησε ένα συστατικό στο οποίο όλοι οι κόμβοι διασυνδέονται. Η μέση απόσταση έγινε μικρότερη και σταθεροποιήθηκε στο επίπεδο του 2,4. Τόσο η αλλαγή του μέσου βαθμού όσο και η μέση απόσταση, δείχνουν ότι το αρχικό κατακερματισμένο σύστημα αυτο-οργανώνεται σε ένα καλά συνδεδεμένο δίκτυο.



Εικόνα 5-4: Οι αλλαγές στο μέσο βαθμό επικοινωνίας εντός δικτύου

Εντός του δικτύου ανταλλαγής πληροφοριών, η συχνότητα της ανταλλαγής μεταξύ των πρακτόρων δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένη, αν και υποθέτουμε ότι η αρχική ικανότητα των πρακτόρων είναι. Μετράμε πόσο συχνά οι πράκτορες ανταλλάσσουν πληροφορίες. Αυτή η κατανομή, που φαίνεται στην εικόνα 5-5 είναι παρόμοια με μια κανονική λογαριθμική κατανομή, αλλά έχει μεγαλύτερη ουρά. Αυτό συνεπάγεται ότι ορισμένοι πράκτορες παρέχουν πληροφορίες πιο συχνά από άλλους. Σε αντίθεση με τις ιεραρχικές οργανώσεις, η εμφάνιση των πρακτόρων που διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στην ανταλλαγή πληροφοριών προέρχεται από μια διαδικασία αυτο-οργάνωσης για την αντιμετώπιση άμεσων αναγκών.



Εικόνα 5-5: Κατανομή συχνότητας ανταλλαγής πληροφοριών



Η ικανότητα ενός πράκτορα να μπορεί να δει τη ζήτηση και να ανταλλάξει πληροφορίες, επηρεάζει επίσης τη συχνότητα της ανταλλαγής πληροφοριών. Όταν η ικανότητα να ανταλλάξει πληροφορίες γίνεται μικρότερη (το εύρος όψεως μειώνεται από 5 γειτονικά κύτταρα σε 2), η μέση συχνότητα της ανταλλαγής πληροφοριών μειώνεται από 24 σε 9. Ο ρόλος του πιο ενεργού πράκτορα μειώνεται από 243 σε 90 ανταλλαγές πληροφοριών.

Αυτές οι αναλύσεις του δικτύου ανταλλαγής πληροφοριών δείχνουν ότι ένα αρχικά κατακερματισμένο δίκτυο αυτό-οργανώνεται σε ένα καλά συνδεδεμένο δίκτυο με μικρή απόσταση μέσα σε ένα μικρό χρονικό διάστημα, όταν επιτρέπουμε την ευέλικτη αλληλεπίδραση μεταξύ των πρακτόρων. Οι υποστηρικτές της ιεραρχικής οργάνωσης υποστηρίζουν ότι επιτρέποντας την ευέλικτη επικοινωνία μπορεί να προκληθούν προβλήματα συντονισμού, αλλά η δομή του αυτό-οργανωμένου δικτύου αυξάνει τον συντονισμό καθώς οι πράκτορες αναδύονται και αποτελούν σημαντικό μέρος του δικτύου ανταλλαγής πληροφοριών.

Ετερογενείς πράκτορες όχι μόνο προσφέρουν περισσότερες πληροφορίες σε άλλους πράκτορες, αλλά και αυξάνουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος (Carley & Lin 1995).

#### 5.4 Συμπεράσματα

Χρησιμοποιώντας τη προσέγγιση προσομοίωσης που είναι βασισμένη στους πράκτορες, δείχνουμε ότι η αποτελεσματικότητα της αντίδρασης σε επαναλαμβανόμενα γεγονότα επηρεάζεται από την ικανότητα αναζήτησης πληροφοριών των πρακτόρων, την πιθανότητα της δικτύωσης, καθώς και τη ενδοοργανωτική δομή ανταλλαγής πληροφοριών. Όταν στους πράκτορες επιτρέπεται να αναζητήσουν πληροφορίες από μεγαλύτερη απόσταση και όταν είναι πιο πιθανό να μοιραστούν αυτές τις πληροφορίες με άλλους πράκτορες, το σύστημα μπορεί να αντιδράσει στις εκκλήσεις πιο γρήγορα. Αξιοσημείωτο είναι ότι η αποτελεσματική αντίδραση, δεν περιλαμβάνει κατ 'ανάγκη ελεγχόμενη επικοινωνία μεταξύ των

υψηλού επιπέδου στελεχών. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μας δείχνουν ότι η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του χαμηλότερου επιπέδου πρακτόρων, είναι πιο αποτελεσματικά από ότι μεταξύ των διευθυντών και των στελεχών.

Δεδομένου ότι πολλοί οργανισμοί αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης προτιμούν την ιεραρχική επικοινωνία ως μέσο ελέγχου, επιτρέποντας την ευέλικτη επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων χαμηλότερου επιπέδου μπορούν να συμβάλουν στην καλύτερη συνεργασία.

Τέλος, η δύναμη της ευέλικτης αλληλεπίδρασης μεταξύ των πρακτόρων, παρατηρείται στην εξέλιξη των δικτύων με την πάροδο του χρόνου. Μια αυτό-οργανωμένη διαδικασία της εξέλιξης του δικτύου οδηγεί σε μια καλά συνδεδεμένο δίκτυο. Φυσικά, αν λάβουμε υπόψη το κόστος και τα οφέλη για τη δικτύωση και την ποιότητα των πληροφοριών που οι πράκτορες έχουν, μπορούμε να αναμένουμε μια διαφορετική δομή του δικτύου. Θεωρούμε ότι η ευέλικτη δικτύωση κάνει τους πράκτορες να πλησιάζουν ο ένας τον άλλο για τη συλλογική δράση σε μικρή απόσταση.

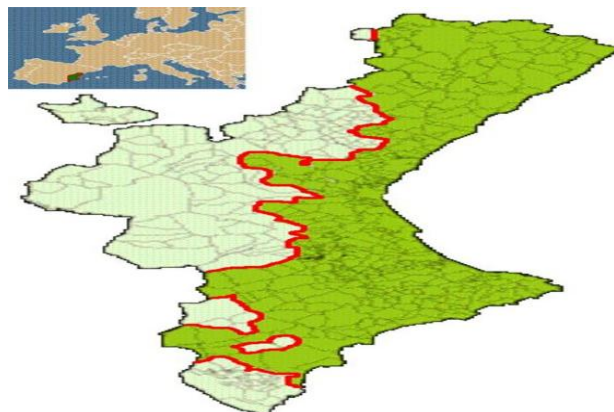
## **6 Προσομοίωση με τη χρήση Κυψελοειδών Αυτόματων: Η πρόβλεψη μιας γλωσσικής μεταβολής**

### **6.1 Εισαγωγή**

Η εξαφάνιση των γλωσσών ως συνέπεια των γλωσσικών μεταβολών είναι ένα διαδεδομένο κοινωνικό φαινόμενο.

Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι να διερευνήσει τις μετατοπίσεις της γλώσσας, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των κυψελοειδών αυτόματων στη Βαλένθια, η οποία χωρίζεται σε δύο τομείς, μια μεγάλη περιοχή όπου μιλούν Καταλανικά (σκούρο πράσινο) και μια μικρότερη ισπανόφωνη περιοχή (ανοιχτό πράσινο) όπως φαίνεται

και στην Εικόνα 6-1. Ο χάρτης στην πάνω αριστερά γωνία δείχνει την τοποθεσία της Βαλένθια στη Ευρώπη.



Εικόνα 6-1: Ο Γλωσσολογικός Χάρτης της Βαλένθια

## 6.2 Το Μοντέλο της Προσομοίωσης

Ας φανταστούμε μια κοινότητα που χρησιμοποιεί δύο γλώσσες, μια κυρίαρχη γλώσσα (DL) και μια δευτερεύουσα γλώσσα (SL). Στο μοντέλο αυτής της προσομοίωσης η συμπεριφορά της γλώσσας του κάθε προσώπου μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια από τα τρεις κύριες καταστάσεις:

- α. Κατάσταση 0 ή μονόγλωσση κατάσταση: Το άτομο μιλάει μόνο τη DL.
- β. Κατάσταση 1 ή δίγλωσση κατάσταση με προτίμηση στη DL: Το άτομο συνήθως μιλάει τη DL, αλλά επίσης μιλάει την SL, ανάλογα με το επικοινωνιακό περιβάλλον. Το άτομο μεταδίδει την DL στα παιδιά του/της.
- γ. Κατάσταση 2 ή δίγλωσση κατάσταση με προτίμηση στην SL: Το άτομο συνήθως μιλάει τη SL, αλλά επίσης χρησιμοποιεί τη DL, ανάλογα με το επικοινωνιακό περιβάλλον. Το άτομο μεταδίδει την SL στα παιδιά του/της.

Ο κανόνας μετάβασης καθορίζει τη μελλοντική κατάσταση στην  $t + 1$  μιας δεδομένης κυψέλης, η οποία έχει μια δεδομένη κατάσταση στο  $t$ . Η νέα κατάσταση καθορίζεται

από το άθροισμα των τιμών της γειτονιάς, συμπεριλαμβανομένης της κυψέλης στόχου, δηλαδή, το κατά πόσον ή όχι το άθροισμα ξεπερνά ένα προηγουμένως καθορισμένο όριο. Το ποσό μπορεί να είναι μια τιμή μεταξύ 0 (όλες οι κυψέλες στη γειτονιά κατατάσσονται στην κατάσταση 0) και 18 (όλες οι κυψέλες κατατάσσονται στην κατάσταση 2). Υπάρχουν τρία ανώτατα όρια:

α.  $S_a$ : μια τιμή κάτω από το όριο παράγει μια απότομη μετάβαση, δηλαδή, η κατάσταση 2 αλλάζει απότομα σε κατάσταση 0.

β.  $S_b$ : μια τιμή κάτω από το όριο παράγει μια μετάβαση από μια υψηλότερης τιμής κατάσταση σε μια κατάσταση χαμηλότερης τιμής, αλλά μια τιμή πάνω από το όριο παράγει μια μετάβαση από μια χαμηλότερης τιμής κατάσταση σε μια κατάσταση υψηλότερης τιμής.

γ.  $S_c$ : η αξία πάνω από το όριο παράγει μια μετάβαση από μια χαμηλότερης τιμής κατάσταση σε μια κατάσταση υψηλότερης τιμής.

Οι οριακές τιμές θα πρέπει να είναι  $S_a < S_b < S_c$ . Οι τιμές του ορίου δείχνουν το επίπεδο της ενασχόλησης του ατόμου με την SL. Ο κανόνας μετάβασης περιγράφεται λεπτομερώς στον Πίνακα 6-1.

To state:		0	1	2
From state:	0	$\Sigma \leq S_b$	$\Sigma > S_b$	----
	1	$\Sigma < S_b$	$S_b \leq \Sigma \leq S_c$	$\Sigma > S_c$
	2	$\Sigma \leq S_a$	$S_a < \Sigma < S_b$	$\Sigma \geq S_b$

Πίνακας 6-1: Ο κανόνας μετάβασης του κυψελοειδούς αυτόματου που προσομοιώνει τη μετατόπιση γλώσσας

Θεωρητικά η μετάβαση από την κατάσταση 0 στη 2 είναι δύσκολο να παρατηρηθεί εμπειρικά, διότι είναι σαν ένας ομιλητής μιας μη-υποδεέστερης γλώσσας να γίνεται ομιλητής μιας υποδεέστερης γλώσσας.

### 6.2.1 Οι προσομοιώσεις 1 και 2

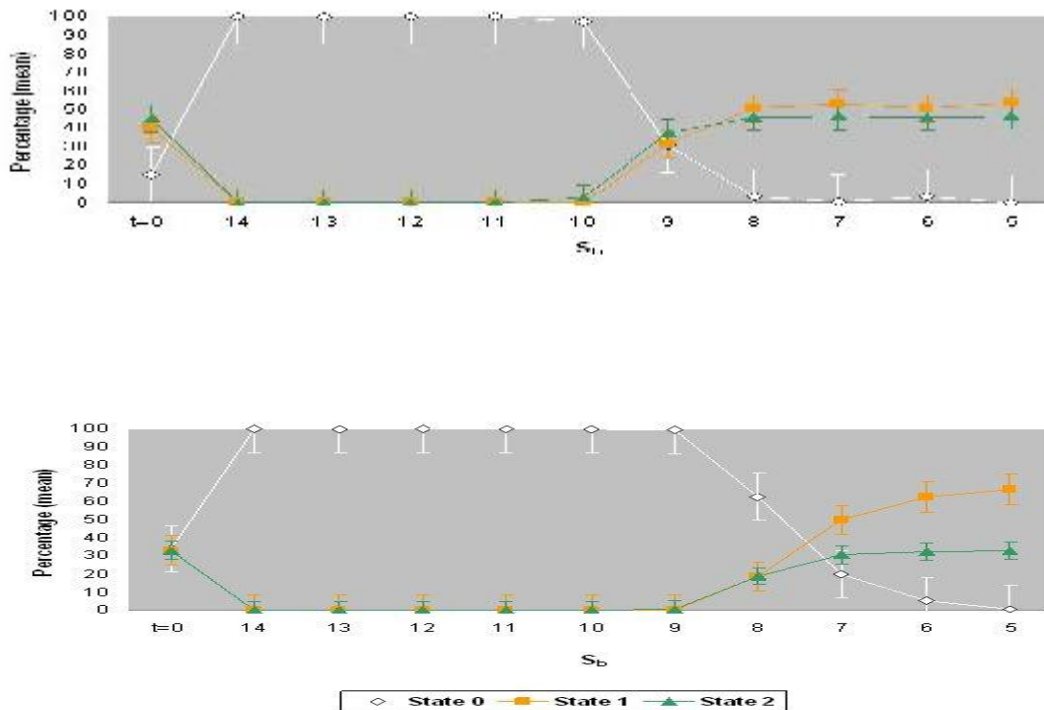
Τα αποτελέσματα έδειξαν την ακραία ευαισθησία του αυτόματου στις τροποποιήσεις των οριακών τιμών  $S_b$ , σε σύγκριση με τις διακυμάνσεις των ορίων  $S_a$  και  $S_c$ . Ως εκ τούτου, επικεντρωθήκαμε στα αποτελέσματα των οριακών τιμών  $S_b$ .

Σε όλες τις περιπτώσεις που ακολουθούν έγιναν 150 προσομοιώσεις ανά κατάσταση και σε κάθε προσομοίωση καταγράψαμε τη συχνότητα της κάθε κατάστασης, όταν το αυτόματο σταθεροποιήθηκε. Οι καταστάσεις ήταν τυχαία διασκορπισμένες στις κυψέλες του αυτόματου σε  $t = 0$ .

Πραγματοποιήσαμε μια δεύτερη προσομοίωση για να καθορίσουμε εάν το μέγεθος των καταστάσεων σε  $t = 0$  τροποποίησε τα αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν σε προσομοίωση 1 ή όχι.

Τα αποτελέσματα έδειξαν την ίδια τάση που παρατηρήθηκε στην πρώτη προσομοίωση: μετά από μια δεδομένη τιμή της  $S_b$ , η εξαφάνιση της  $S_L$  αντιστράφηκε. Η μεταβολή στο αρχικό ποσοστό των καταστάσεων σε σχέση με την προσομοίωση 1 παρήγαγε μια μετατόπιση του σημείου αντιστροφής από το όριο  $S_b=9$  στο όριο  $S_b = 8$ . Επιπλέον, αν και η κατάσταση 0 εξαφανίστηκε μετά την αναστροφή, η κατάσταση 1 ήταν δύο φορές το μέγεθος της κατάστασης 2.

Το πάνω διάγραμμα της εικόνας 6-2 δείχνει τα αποτελέσματα για τα διαφορετικά ποσοστά των καταστάσεων (προσομοίωση 1) και το κάτω διάγραμμα δείχνει τα αποτελέσματα για το ίδιο ποσοστό των καταστάσεων (προσομοίωση 2). Το ποσοστό των αρχικών τιμών ( $t = 0$ ) φαίνεται επίσης.



Εικόνα 6-2: Τα μέσα ποσοστά και οι τυπικές αποκλίσεις των καταστάσεων 0, 1 και 2, για τις τιμές του ορίου  $S_b$  (τιμές  $S_b = 5$  έως 14)

Οι προσομοιώσεις 1 και 2 έδειξαν ότι κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο  $S_b$ , η κατάσταση 0 εξαφανίστηκε και η SL επέζησε, αλλά πάνω από ένα ορισμένο όριο  $S_b$ , οι καταστάσεις 1 και 2 εξαφανίστηκαν και η SL, κατά συνέπεια, εξαφανίστηκε.

### 6.2.2 Οι προσομοιώσεις 3 και 4

Οι πληροφορίες σχετικά με την προφορική κατανόηση της Καταλανικής στις δύο γλωσσικές περιοχές της Βαλένθια, συνοψίζονται στον Πίνακα 6-2. Τα δεδομένα ελήφθησαν το 2005, από ένα δείγμα 6.000 ατόμων ηλικίας 15 ετών και άνω (Ninyoles 2005). Ο πίνακας επίσης περιλαμβάνει τις καταστάσεις του κυπελοειδούς αυτόματου, που είχαν εκχωρηθεί σε κάθε κατηγορία που αφορά την προφορική κατανόηση. Ο κρίσιμος παράγοντας για να θεωρηθεί ότι μια γλώσσα εξαφανίζεται είναι η χρήση της και όχι η γλωσσική ικανότητα των ομιλητών.

	Περιοχή Καταλονίας	Περιοχή Ισπανίας	Κατάσταση αυτομάτου
Δεν καταλαβαίνω Καταλανικά	4.5	18.7	0
Καταλαβαίνω κάποια Καταλανικά	17.3	41.8	1
Καταλαβαίνω Καταλανικά καλά	21.8	21.0	2
Καταλαβαίνω Καταλανικά πολύ καλά	56.3	18.3	2
Δεν απάντησαν			

**Πίνακας 6-2: Το ποσοστό της προφορικής κατανόησης των Καταλανικών στις δύο γλωσσικές περιοχές της Βαλένθια**

Η τρίτη προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με αρχικές καταστάσεις ορισμένες σε 4,5% για την κατάσταση 0, 17,3% για την κατάσταση 1 και 78,1% για την κατάσταση 2, το οποίο αντιπροσώπευε το ποσοστό της προφορικής κατανόησης των Καταλονικών στην περιοχή της Καταλονίας.

---

Το αρχικό ποσοστό της κάθε κατάστασης ορίστηκε από την μετατροπή των απαντήσεων της έρευνας, σε καταστάσεις για το αυτόματο. Έτσι, η απάντηση "δεν καταλαβαίνω Καταλανικά» ορίστηκε για την κατάσταση 0. Η απάντηση "Καταλαβαίνω μερικά Καταλανικά» ορίστηκε για την κατάσταση 1. Οι απαντήσεις

«Καταλαβαίνω Καταλανικά Καλά» και "Καταλαβαίνω Καταλανικά Πολύ Καλά" ορίστηκαν για την κατάσταση 2. Τα κατώτατα όρια Sa και Sc ορίστηκαν σε 3 και 15, αντίστοιχα, και το όριο Sb κυμάνθηκε σε έξι καταστάσεις, με τις τιμές 5 έως 10.

Οι συνθήκες αυτές επιλέχθηκαν επειδή οι προσομοιώσεις 1 και 2 έδειξαν ότι η διακύμανση των τιμών αυτών, μεταβάλλει την πρόβλεψη της εξέλιξης ή της αναστροφής της αλλαγής γλώσσας.

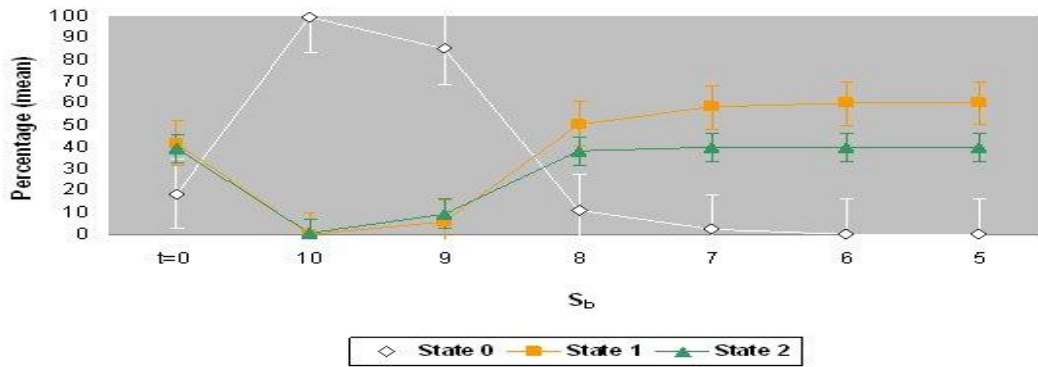
Επίσης πραγματοποιήσαμε μια τέταρτη προσομοίωση θέτοντας 18,7% για την κατάσταση 0, 41,8% για την κατάσταση 1 και 39,3% για την κατάσταση 2, που αντιπροσώπευε το κατά προσέγγιση ποσοστό της προφορικής κατανόησης των Καταλανικών στην ισπανική περιοχή, σύμφωνα με τα στοιχεία από την γλωσσική έρευνα.

Τα κατώτατα όρια Sa, Sb και Sc ήταν επίσης τα ίδια όπως στην τρίτη προσομοίωση.

Τα αποτελέσματα έδειξαν διάφορες προβλέψεις ανάλογα με την περιοχή γλώσσας. Η περιοχή της Καταλονίας δεν έδειξε καμία αλλαγή στις καταστάσεις σε όλες τις τιμές του ορίου Sb, αλλά στην ισπανική περιοχή, τα αποτελέσματα έδειξαν μια αντιστροφή της αλλαγής της γλώσσας στο  $S_b = 8$  όριο (βλ. Εικόνα 6-5). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων 1 και 2, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων 3 και 4, επιβεβαίωσαν ότι, εκτός από το κατώτατο όριο Sb, το αρχικό ποσοστό των καταστάσεων (δηλαδή, το αρχικό ποσοστό των διαφόρων κατηγοριών των ομιλητών - καταστάσεις 0, 1 και 2 ) ήταν επίσης σημαντικός όσον αφορά την πρόβλεψη της εξαφάνισης ή της επιβίωσης της SL.







Εικόνα 6-3: Τα μέσα ποσοστά και η τυπική απόκλιση των καταστάσεων 0, 1 και 2, για τις τιμές του ορίου  $S_b$  (τιμές  $S_b = 5$  έως 10)

Το πάνω διάγραμμα της εικόνας 6-3, δείχνει τα δεδομένα για την προφορική κατανόηση των Καταλανικών στην περιοχή της Καταλονίας (προσομοίωση 3) και το κάτω διάγραμμα δείχνει τα δεδομένα για την προφορική κατανόηση των Καταλανικών στην ισπανική περιοχή της Βαλένθια (προσομοίωση 4). Το ποσοστό των αρχικών τιμών ( $t = 0$ ) φαίνεται επίσης και εάν οι τυπικές αποκλίσεις είναι πολύ μικρές, δεν εμφανίζονται μπάρες σφάλματος.

### 6.2.3 Οι προσομοιώσεις 5 και 6. Η χρήση των Καταλανικών σε διαφορετικά κοινωνικά περιβάλλοντα

Από την ίδια έρευνα που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις 3 και 4 (Ninyoles 2005), συγκεντρώσαμε στοιχεία σχετικά με τη χρήση της καταλανικής γλώσσας στην περιοχή της Καταλονίας της Βαλένθια σε δύο περιβάλλοντα: το ιδιωτικό περιβάλλον (στο σπίτι) και το δημόσιο περιβάλλον (με φίλους). Αυτά τα δεδομένα έρευνας συνοψίζονται στον Πίνακα 6-3.

Γλώσσα που χρησιμοποιείται και συχνότητα	Στο σπίτι	Με Φίλους	Κατάσταση του αυτόματου
Πάντα Καταλανικά	32.6	26.5	2
Συχνά Καταλανικά	2.5	4.0	2

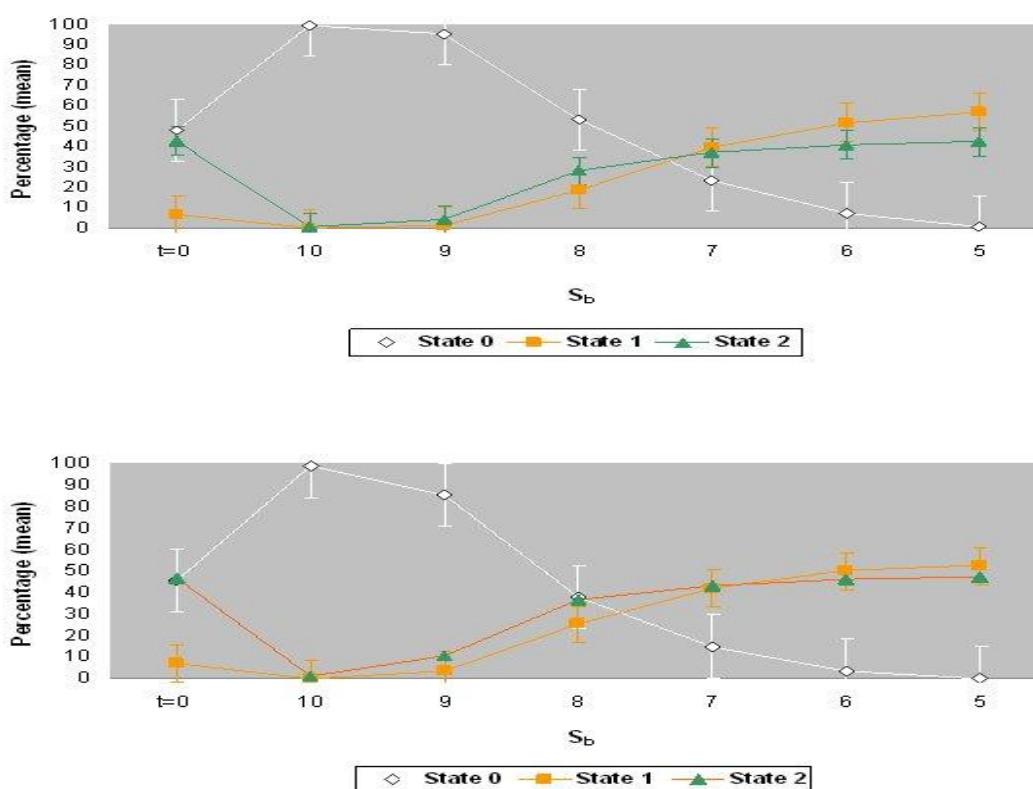
Περισσότερα Καταλανικά από Ισπανικά	1.3	2.3	2
Ισάξια Καταλανικά και Ισπανικά	6.2	13.8	2
Περισσότερα Ισπανικά από Καταλανικά	2.0	2.1	1
Συχνά Ισπανικά	4.4	4.9	1
Πάντα Ισπανικά	48.1	45.5	0
Άλλη γλώσσα	1.4	---	---
Δεν απάντησαν	1.1	0.9	---

**Πίνακας 6-3: Το ποσοστό χρήσης των Καταλανικών στην περιοχή της Καταλονίας της Βαλένθια σε δύο κοινωνικά περιβάλλοντα**

Πραγματοποιήθηκε μια πέμπτη προσομοίωση με το αρχικό ποσοστό των κυψελών σε 48,1% για την κατάσταση 0, 6,4% για την κατάσταση 1 και 42,6% για την κατάσταση 2, που αντιπροσώπευαν τα ποσοστά της χρήσης των Καταλανικών στο σπίτι. Το αρχικό ποσοστό της κάθε κατάστασης ελήφθη με τη μετατροπή των απαντήσεων της έρευνας στις καταστάσεις του αυτόματου. Έτσι, η απάντηση «Πάντα (μιλούν) Ισπανικά» ανατέθηκε στην κατάσταση 0. Οι απαντήσεις «Περισσότερα Ισπανικά από Καταλανικά» και «Συχνά Ισπανικά» είχαν ανατεθεί στην κατάσταση 1. Οι απαντήσεις «Πάντα Καταλανικά», «Συχνά Καταλανικά», «Περισσότερα Καταλανικά από Ισπανικά» και «Εξίσου Καταλανικά και Ισπανικά» είχαν ανατεθεί στην κατάσταση 2.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε μια έκτη προσομοίωση με την αρχική κατάσταση ορισμένη στο 45,5% για την κατάσταση 0, 7% για την κατάσταση 1 και 46,6% για την κατάσταση 2, που αντιπροσώπευαν τα μεγέθη της χρήσης των Καταλανικών με τους φίλους, σύμφωνα με τα στοιχεία της έρευνας γλώσσας.

Οι προσομοιώσεις έδειξαν μία αλλαγή της γλώσσας για μια δεδομένη τιμή του  $S_b$  για τις δύο κατηγορίες (στο σπίτι και με τους φίλους) όπως φαίνεται στην Εικόνα 6-4. Αυτά τα αποτελέσματα, σε σύγκριση με εκείνα που προέκυψαν στην προσομοίωση 3 στην περιοχή της Καταλονίας (Εικόνα 6-3, πάνω διάγραμμα), έδειξαν μια σημαντική διαφορά στην πρόβλεψη, ανάλογα με το αν το εν λόγω άτομο καταλαβαίνει τα Καταλανικά ή τα χρησιμοποιεί αποτελεσματικά. Στην περίπτωση της προφορικής κατανόησης, δεν παρατηρήθηκε γλωσσική αλλαγή, αλλά στην περίπτωση της αποτελεσματικής χρήσης παρατηρήθηκε.



**Εικόνα 6-4:** Τα μέσα ποσοστά και οι τυπικές αποκλίσεις των καταστάσεων 0, 1 και 2 για τις τιμές του ορίου  $S_b$  (τιμές  $S_b= 5$  to 10)

Το πάνω διάγραμμα της εικόνας 6-4 δείχνει τα δεδομένα χρήσης των Καταλανικών στο σπίτι στην περιοχή της Καταλονίας (προσομοίωση 5) και το κάτω διάγραμμα δείχνει τα δεδομένα χρήσης των Καταλανικών με φίλους στην ίδια περιοχή (προσομοίωση 6). Το ποσοστό των αρχικών τιμών ( $t = 0$ ) φαίνεται επίσης.

Οι προσομοιώσεις 3 και 5 παρουσίασαν διαφορές μεταξύ των προβλέψεων με τη χρήση των δεδομένων για προφορική κατανόηση και των δεδομένων για την αποτελεσματική χρήση, όπως ισχυρίζονται οι κοινωνικές και γλωσσολογικές μελέτες.

### 6.3 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων 1 και 2, έδειξαν τη σημασία των αρχικών τιμών της προσομοίωσης και του ορίου Sb. Όταν τέθηκαν υψηλές τιμές για Sb, οι καταστάσεις 1 και 2 εξαφανίστηκαν εντελώς, αλλά όταν ορίστηκαν χαμηλότερες τιμές, τα αποτελέσματα άλλαξαν και η κατάσταση 0 εξαφανίστηκε, δηλαδή, ανάλογα με την τιμή του ορίου Sb, η SL είτε εξαφανίστηκε (γιατί οι καταστάσεις 1 και 2 είχαν εξαφανιστεί) ή η SL επέζησε.

Οι προσομοιώσεις 3-6 επιβεβαίωσαν τα αποτελέσματα που λάβαμε στις προσομοιώσεις 1 και 2, δηλαδή, η αξία του ορίου Sb καθόρισε κατά πόσον η SL εξαφανίστηκε ή όχι.

Επιπλέον, η διαφορά των αποτελεσμάτων που λάβαμε στην προσομοίωση 3 (δεδομένα σχετικά με την προφορική κατανόηση) και την προσομοίωση 5 (δεδομένα σχετικά με την αποτελεσματική χρήση) επιβεβαίωσε ότι τα δεδομένα σχετικά με τη χρήση της SL ήταν πιο σημαντικά από ό, τι τα δεδομένα σχετικά με τη γνώση της SL όσον αφορά στην διατύπωση αποτελεσματικών προβλέψεων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων μια χαμηλή τιμή της Sb οδήγησε τους ανθρώπους στην κατάσταση 0 να γίνουν σαν τους ανθρώπους στην κατάσταση 1, και οι άνθρωποι στην κατάσταση 1 να γίνουν σαν τους ανθρώπους στην κατάσταση 2. Με άλλα λόγια, εάν, όπως προαναφέρθηκε, η αξία του ορίου Sb έδειξε την ενασχόληση ενός ατόμου με την SL, ένα υψηλότερο επίπεδο ενασχόλησης οδήγησε τους μη- SL ομιλητές να γίνουν δίγλωσσοι, και τα δίγλωσσα άτομα που κανονικά χρησιμοποιούσαν την DL, αλλά επίσης μιλούσαν την SL έγιναν δίγλωσσα άτομα που συνήθως μιλούσαν την SL. Επίσης, η μετάδοση της SL για τις επόμενες γενιές αυξήθηκε, επειδή ο αριθμός των δίγλωσσων ατόμων που μετέδιδαν την SL αυξήθηκε.

Τέλος, τα αποτελέσματα στην πρώτη περίπτωση, δείχνουν ότι το αυτόματο προέβλεψε ότι τα Καταλανικά θα επιβίωναν, ανεξάρτητα από την τιμή ορίου  $S_b$  (βλ. πάνω διάγραμμα στην Εικόνα 6-3). Ωστόσο, στην περίπτωση των δεδομένων σχετικά με τη χρήση της καταλανικής γλώσσας στην περιοχή, το αυτόματο προέβλεψε ότι η επιβίωση ή η εξαφάνιση των Καταλανικών εξαρτάται από το όριο  $S_b$  (δείτε το κάτω γράφημα στην Εικόνα 6-3).

Συμπερασματικά, η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του λόγου των ατόμων μέσα από τους κανόνες μετάβασης του κυψελοειδούς αυτόματου αποδείχθηκε ότι είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση της αλλαγής της γλώσσας.

## **7 Προσομοίωση με System Dynamics: Πώς τα σχολεία είναι σχεδιασμένα για να αποτύχουν και χρειάζονται αλλαγή**

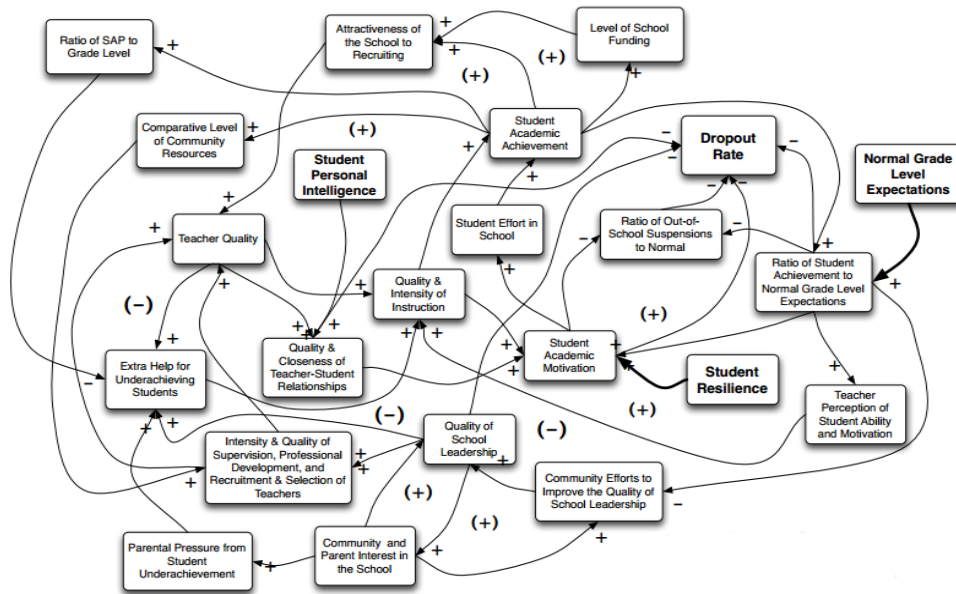
### **7.1 Εισαγωγή**

Στη συγκεκριμένη μελέτη, θα ασχοληθούμε με μία προσομοίωση με τη μέθοδο της system dynamics, προκειμένου να δείξουμε ότι το αμερικάνικο σχολείο είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά των μαθητών, οι οποίοι αποφοιτούν μετά από δώδεκα χρόνια. Οι μαθητές αυτοί εισάγονται στο σχολείο από το νηπιαγωγείο ή την πρώτη τάξη και διακρίνονται είτε από μεγάλη ακαδημαϊκή επίδοση είτε από πολύ χαμηλή ακαδημαϊκή επίδοση, χαμηλότερη του μετρίου. Η ακαδημαϊκή αυτή επίδοση περιλαμβάνει υψηλό επίπεδο γνώσης της αγγλικής γλώσσας, υψηλό επίπεδο ακαδημαϊκών κινήτρων βασισμένα στις προσδοκίες που έχουν οι μαθητές για τα επιτεύγματα που θα καταφέρουν στη ζωή τους και υψηλό επίπεδο αυτοπειθαρχίας.

### **7.2 Η μέθοδος και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης**

#### **7.2.1 Η προσομοίωση σε διάγραμμα βρόγχων της system dynamics**

Η προσομοίωση με τη μέθοδο της συστημικής δυναμικής όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενη ενότητα, περιλαμβάνει διαγράμματα βρόγχων. Η εικόνα 7-1 είναι το διάγραμμα βρόγχων των βασικών στοιχείων του σχολείου, με βάση τα οποία θα γίνει η προσομοίωση.



Εικόνα 7-1: Διάγραμμα βρόγχων των στοιχείων του σχολείου

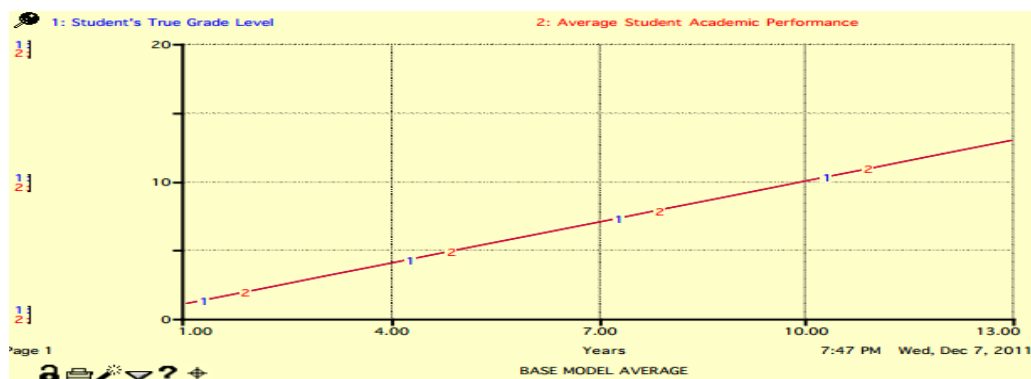
### 7.2.2 Η βασική δυναμική ενός συνηθισμένου σχολείου

Στις δοκιμές που θα δούμε παρακάτω, οι μοναδικές αλλαγές, αφορούν το αρχικό επίπεδο της «Ακαδημαϊκής Επίδοσης του Μαθητή». Όλες οι άλλες μεταβλητές του μοντέλου είναι σταθερές με τιμές που αντιπροσωπεύουν ένα συνηθισμένο σχολείο.

Πρέπει να τονιστεί σε αυτό το σημείο ότι η ακαδημαϊκή επίδοση του μαθητή, αποτυπώνεται με αληθινές φυσικές μονάδες. Η πραγματική επίδοση είναι το πραγματικό επίπεδο στο οποίο βρίσκεται ο μαθητής σε αντιστοιχία με την ηλικία και την τάξη του. Οι υπόλοιπες μεταβλητές του μοντέλου δεν αντιστοιχούν σε πραγματικά δεδομένα με την έννοια ότι πρόκειται για διαβαθμισμένες τιμές γύρω από το 1 και οι υψηλότερες ή οι χαμηλότερες τιμές ορίζονται στο μοντέλο σύμφωνα με αυτό. Επομένως, στις βασικές δοκιμές, οι άλλες μεταβλητές ξεκινούν με αρχική τιμή το 1. Στις επόμενες δοκιμές, οι «υψηλές» τιμές, όπως αυτές που θα χρησιμοποιηθούν για την ποιότητα του καθηγητή, την ηγεσία του σχολείου, την προθυμία του μαθητή κτλ, ξεκινούν από το 1,2 ενώ οι χαμηλές τιμές ξεκινούν από το 0,8.

### 7.2.3 Τα αποτελέσματα του σχολείου για τους μαθητές με χαρακτηριστικά εισαγωγής στο σχολείο, ίσα με το μέσο όρο

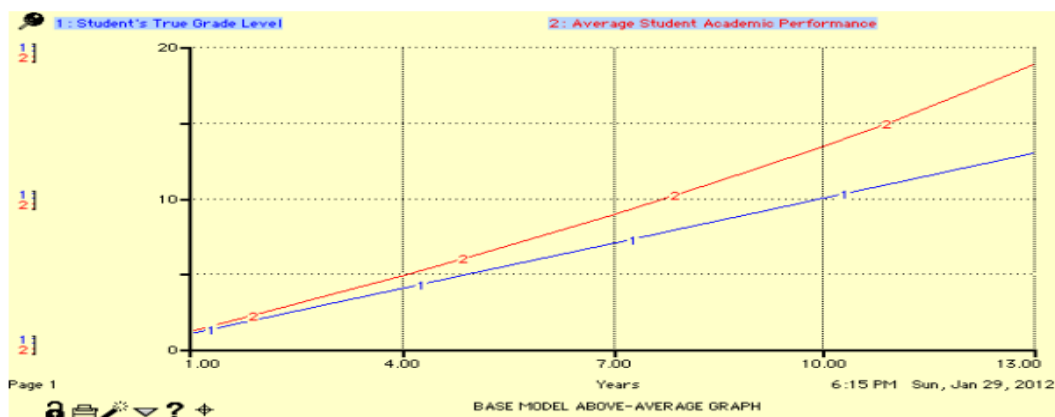
Η εικόνα 7-2 δείχνει την συνηθισμένη πρόοδο του μέσου μαθητή στα δώδεκα χρόνια ενός συνηθισμένου σχολείου. Μπορούμε να δούμε ότι η ακαδημαϊκή πρόοδος του μαθητή, δείχνει και την αντιστοιχία ηλικίας-τάξης.



Εικόνα 7-2: Η συνηθισμένη πρόοδος του μέσου μαθητή

### 7.2.4 Τα αποτελέσματα του σχολείου για τους μαθητές με άνω του μέσου όρου χαρακτηριστικά εισαγωγής στο σχολείο

Η εικόνα 7-3 δείχνει τη συνηθισμένη πρόοδο ενός μαθητή άνω του μέσου όρου, στη διάρκεια των δώδεκα χρόνων σε ένα συνηθισμένο σχολείο.

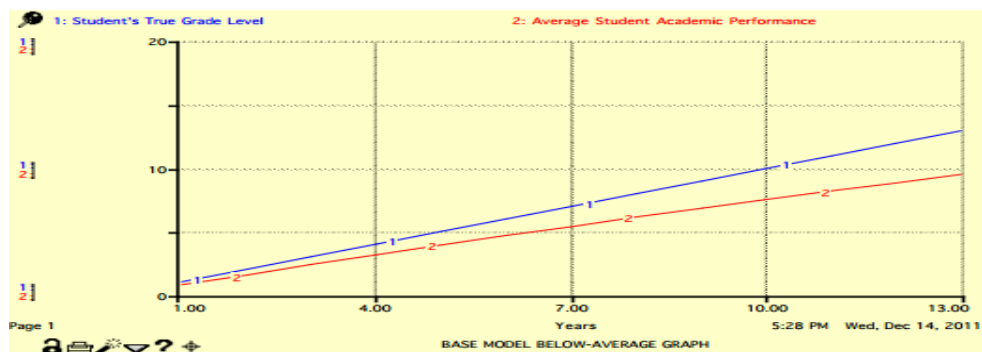


Εικόνα 7-3: Η συνηθισμένη πρόοδος ενός μαθητή, άνω του μέσου όρου

### 7.2.5 Τα αποτελέσματα του σχολείου για τους μαθητές με κάτω του μέσου όρου χαρακτηριστικά εισαγωγής στο σχολείο

Η εικόνα 7-4 δείχνει τη συνηθισμένη πρόοδο ενός μαθητή κάτω του μέσου όρου στη διάρκεια των δώδεκα χρόνων σε ένα συνηθισμένο σχολείο. Μπορούμε να δούμε ότι η

ακαδημαϊκή πρόοδος βρίσκεται συνεχώς κάτω από το αναμενόμενο επίπεδο ανά τάξη, που είναι στην ουσία αυτό που ονομάζεται «χάσμα επιτυχίας».

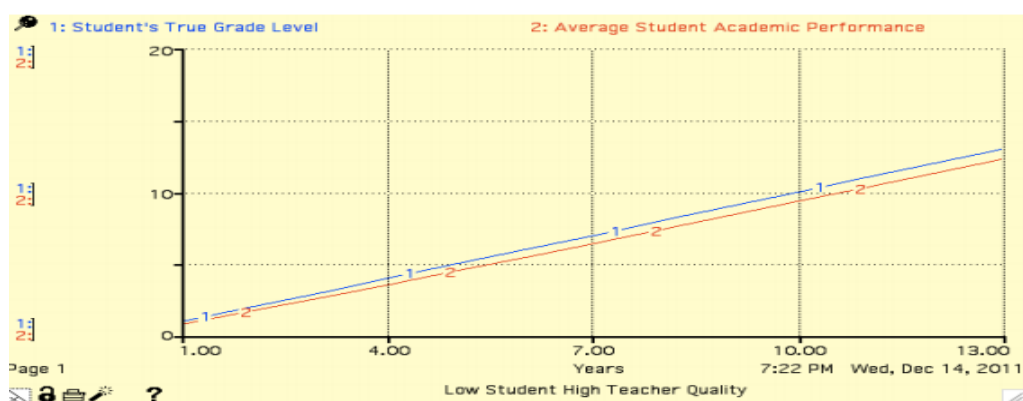


Εικόνα 7-4: Η συνηθισμένη πρόοδος ενός μαθητή, κάτω του μέσου όρου

### 7.3 Οι δοκιμές των πειραματικών αποτελεσμάτων

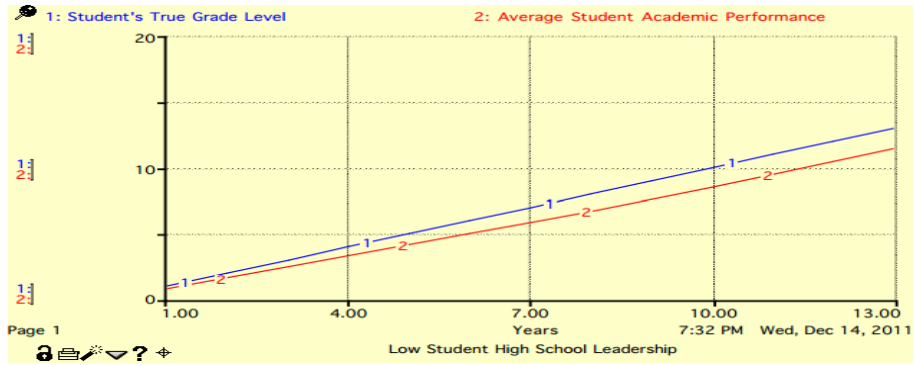
Για να δούμε αποτελέσματα της βελτίωσης των διαφορετικών στοιχείων της διδασκαλίας εκτός τάξης, έγιναν δοκιμές αρχικά σε μαθητές κάτω του μέσου όρου. Εξετάστηκαν η υψηλή ποιότητα του δασκάλου, το υψηλό επίπεδο της ηγεσίας του σχολείου, το υψηλό ενδιαφέρον του σχολείου στους γονείς και τα στελέχη της κοινότητας, ο συνδυασμός υψηλής ποιότητας δασκάλου και ηγεσίας, ο συνδυασμός υψηλού επιπέδου δασκάλου και υψηλού επιπέδου ενδιαφέροντος από την πλευρά γονιών και κοινότητας, ο συνδυασμός υψηλής ποιότητας δασκάλου, υψηλού επιπέδου σχολικής ηγεσίας και έντονο ενδιαφέρον από τους γονείς και την κοινότητα, υψηλό επίπεδο προσωπικής εξυπνάδας και υψηλό επίπεδο προθυμίας του μαθητή.

Αυτά τα αποτελέσματα των μοντέλων φαίνονται σε μια σειρά από γραφήματα, στις εικόνες 7-5 έως 7-13.

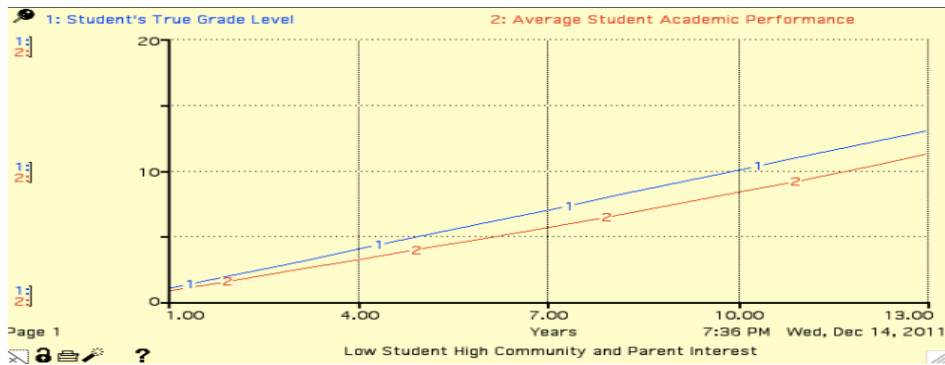


Εικόνα 7-5: Επιπτώσεις του υψηλής ποιότητας δασκάλου, σε μαθητή κάτω του μέσου όρου

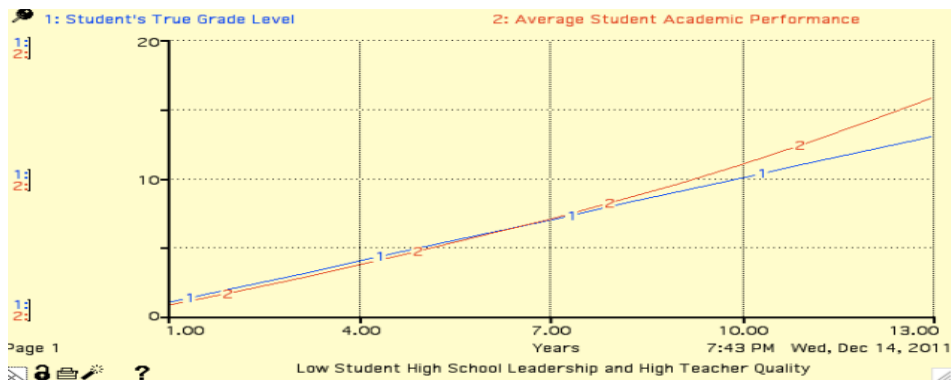




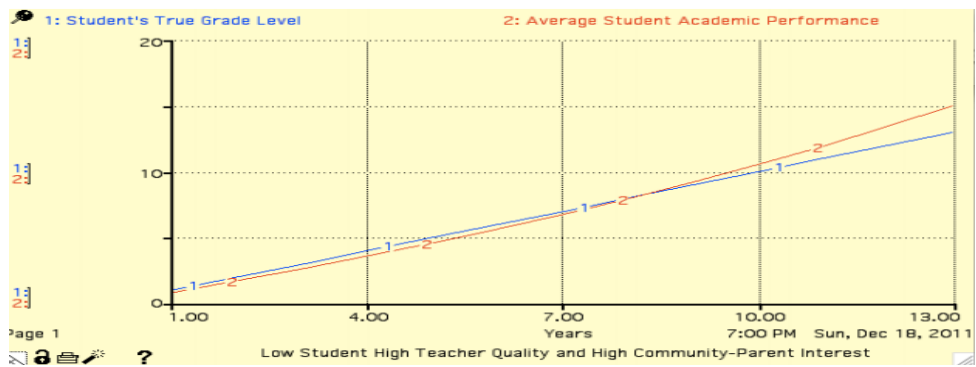
Εικόνα 7-6: Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου ηγεσίας του σχολείου, σε μαθητή κάτω του μέσου όρου



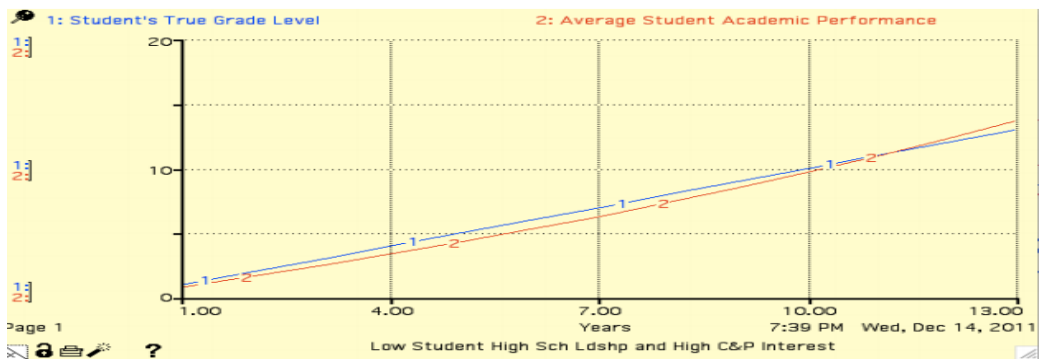
Εικόνα 7-7: Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου ενδιαφέροντος της κοινότητας/γονιών, σε μαθητή κάτω του μέσου όρου



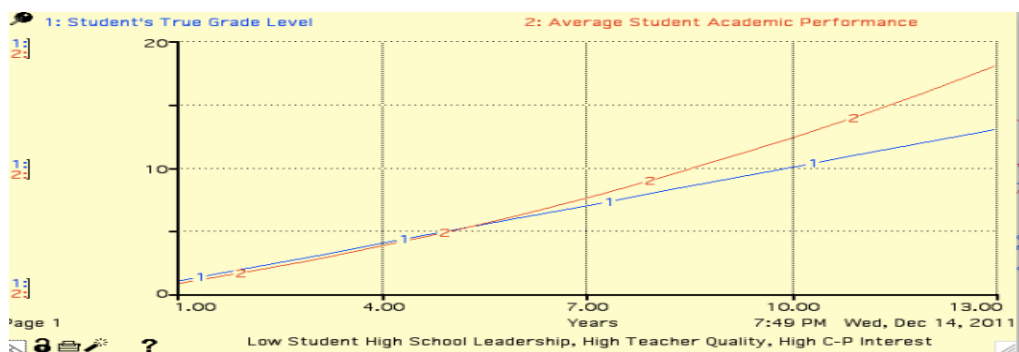
Εικόνα 7-8: Επιπτώσεις της υψηλής ποιότητας δασκάλου και ηγεσίας του σχολείου, σε μαθητή κάτω του μέσου όρου



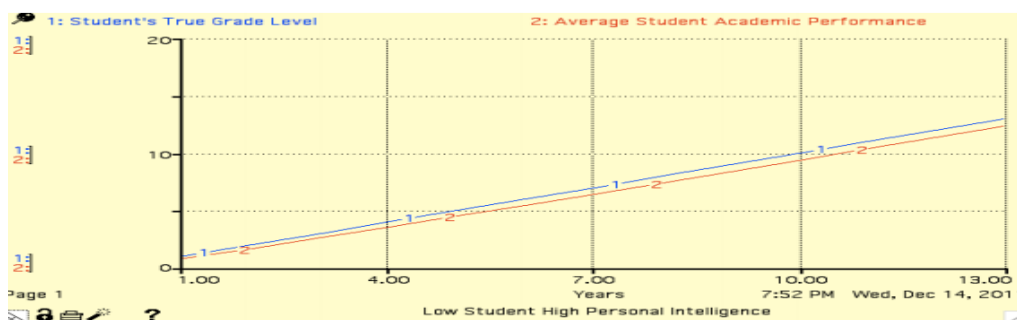
Εικόνα 7-9: Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου ενδιαφέροντος της κοινότητας/γονιών και της υψηλής ποιότητας δασκάλου σε μαθητή κάτω του μέσου όρου



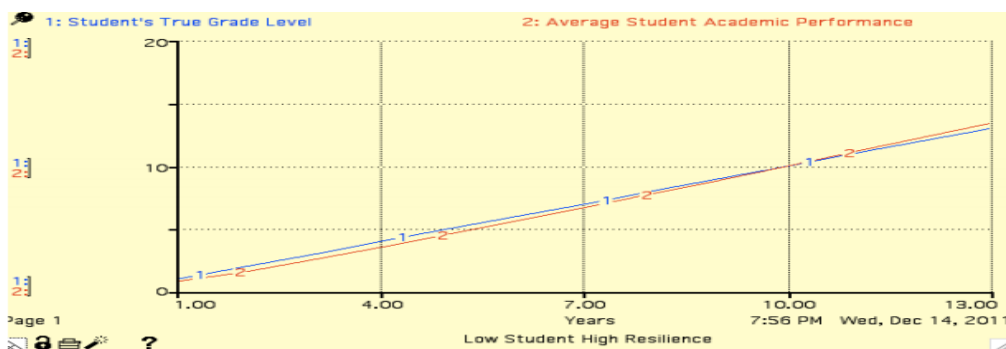
Εικόνα 7-10: Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου ενδιαφέροντος της κοινότητας/γονιών και της υψηλής ποιότητας ηγεσίας σε μαθητή κάτω του μέσου όρου



Εικόνα 7-11: Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου καθηγητών και σχολικής και κοινοτικής ηγεσίας, σε μαθητή κάτω του μέσου όρου



Εικόνα 7-12: Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου προσωπικής εξυπνάδας, στο μαθητή κάτω του μέσου όρου



Εικόνα 7-13: : Επιπτώσεις του υψηλού επιπέδου προθυμίας, στο μαθητή κάτω του μέσου όρου

#### 7.4 Συμπεράσματα

Δεδομένης της δομής του μοντέλου, η υψηλή ποιότητα των εκπαιδευτικών, η ηγεσία του σχολείου, και το ενδιαφέρον της κοινότητας και των γονιών στα σχολεία όλα έχουν αρκετά σημαντικές επιπτώσεις στην ακαδημαϊκή επίδοση των αρχικά χαμηλών επιδόσεων μαθητών, στο σημείο του να κλείσει το χάσμα όσον αφορά το επίπεδο της τάξης. Οι συνδυασμοί των ζευγαριών αυτών των μεταβλητών έχουν ακόμη μεγαλύτερες επιδράσεις. Τα μεγαλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται με τον συνδυασμό και των τριών αυτών μεταβλητών.

Οι επιδράσεις της ατομικής νοημοσύνης του μαθητή και η προθυμία ελέγχθηκαν επίσης. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ωστόσο, ότι αυτές οι μεταβλητές είναι εξωγενείς με τη δομή του σχολείου, που αναφέρονται στους μαθητές ως προσωπικά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, θεωρούνται σημαντικά χαρακτηριστικά, ιδιαίτερα για τους μαθητές με αρχικές χαμηλές επιδόσεις.

Η νοημοσύνη του μαθητή είναι σε θέση να επηρεάσει θετικά τόσο την εγγύτητα στις σχέσεις δασκάλου-μαθητή, οι οποίες, με τη σειρά τους, επηρεάζουν τα κίνητρα των

σπουδαστών και την προσπάθεια τους, όσο και την ποιότητα και την δύναμη της διδασκαλίας, πράγμα το οποίο έχει ένα θετικό αντίκτυπο στις ακαδημαϊκές επιδόσεις άμεσα καθώς και έμμεσα, στο κίνητρο και την προσπάθεια για εργασία του μαθητή.

Η προθυμία των μαθητών έδειξε ευθέως να έχει θετικές επιπτώσεις σε μαθητές με χαμηλή επίτευξη προσπάθειας στην εργασία τους, η οποία επηρεάζει τις ακαδημαϊκές επιδόσεις τους και, στη συνέχεια, την προσπάθεια για εργασία, τα κίνητρά τους, τις προσδοκίες των εκπαιδευτικών, καθώς και οποιαδήποτε περαιτέρω προσπάθεια. Τόσο η προσωπική νοημοσύνη των μαθητών όσο και η προθυμία έχουν θετικές επιπτώσεις στην επίτευξη των μαθητών με χαμηλή αρχική επίδοση, βοηθώντας τους να φέρουν την επίδοσή τους σε ένα μεσαίο επίπεδο ή και παραπάνω, τουλάχιστον με βάση την θεωρία που έχει μελετηθεί για την κατασκευή του συγκεκριμένου μοντέλου.

Δεδομένου ότι τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται, είναι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και ως εκ τούτου, είναι θεωρητικά και όχι εμπειρικά, επιβεβαιώνουν τη σημασία της ποιότητας του δασκάλου και της ηγεσίας του σχολείου, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με το επίπεδο του ενδιαφέροντος για το σχολείο εκ μέρους των γονέων και της κοινότητας.

Η ποιότητα των εκπαιδευτικών στο μοντέλο έχει ελαφρώς μεγαλύτερη επίδραση από την ηγεσία του σχολείου, παρά ταύτα είναι σημαντικό να έχουμε κατά νου ότι οι αλλαγές που αφορούν την ποιότητα των εκπαιδευτικών υπάρχει πιθανότητα να μην μπορούν να επιτευχθούν στον πραγματικό κόσμο, χωρίς ισχυρή ηγεσία στο σχολείο.

Κατά τον ίδιο τρόπο, η κοινότητα και το ενδιαφέρον των γονέων στα σχολεία είναι πιθανών βασικά στοιχεία για ένα σταθερό αποτέλεσμα στην έρευνα, για τη βελτίωση του σχολείου σταδιακά με την πάροδο του χρόνου, η οποία, και πάλι φαίνεται να εξαρτάται σημαντικά από την ισχυρή ηγεσία του σχολείου.

Επομένως, φαίνεται ότι στον πραγματικό κόσμο η πιο σημαντική μεταβλητή που επιδέχεται σκόπιμη πολιτική δράση, είναι η ηγεσία του σχολείου. Οι επιπτώσεις από την επιλογή και των υψηλής ποιότητας εκπαιδευτικών και των ισχυρών διευθυντών, είναι προφανείς.

## 8 Προσομοίωση με System Dynamics, της ένταξης στην ΕΕ

### 8.1 Εισαγωγή

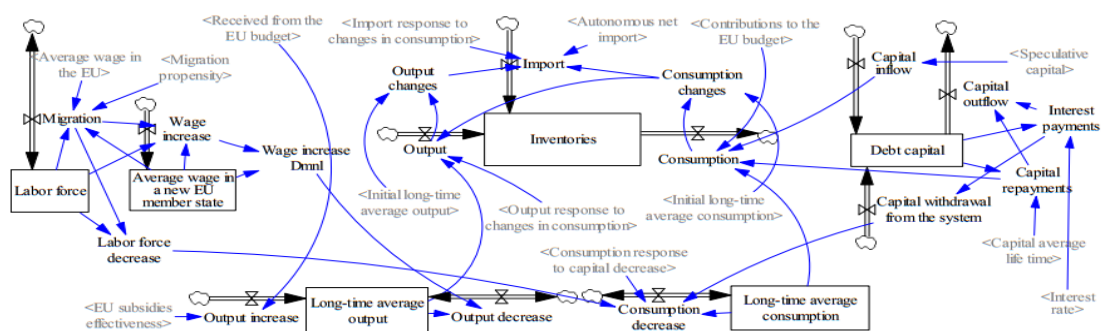
Στο ερευνητικό αυτό δοκίμιο, θα αναλυθούν οι επιπτώσεις της διαδικασίας ένταξης στην ΕΕ, μέσα από την προσομοίωση κάποιων διαδικασιών.

Το μοντέλο της προσομοίωσης, ελέγχεται μόνο για μια χώρα της ΕΕ, το νέο μέλος της ΕΕ – την Λετονία, στο μέλλον όμως θα μπορούσε να εφαρμοστεί και για ένα μεγαλύτερο εύρος χωρών.

### 8.2 Το μοντέλο και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης

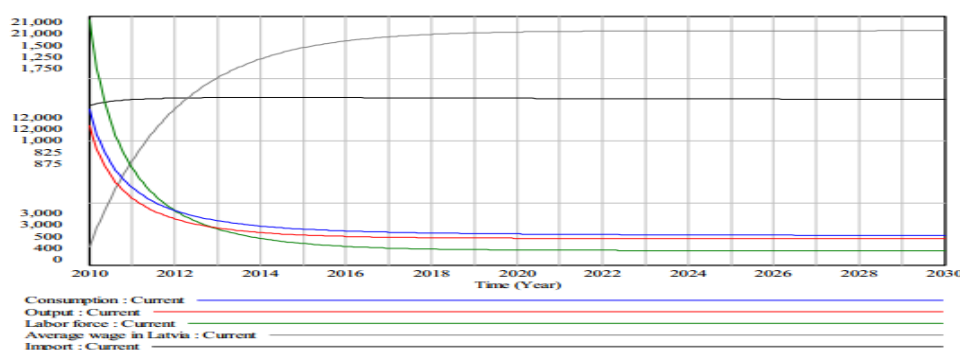
Στην εφαρμογή του μοντέλου στην πράξη, ορισμένες παράμετροι είναι αδύνατο να ληφθούν από τα στατιστικά στοιχεία ή να υπολογιστούν από τα διαθέσιμα δεδομένα χρησιμοποιώντας μαθηματικές μεθόδους. Αυτές θα ήταν η τάση για μετανάστευση, η αποτελεσματικότητα των επιδοτήσεων της ΕΕ, η αντίδραση της κατανάλωσης στην μείωση του μετοχικού κεφαλαίου της χώρας και η απόκριση της παραγωγής στις αλλαγές που αφορούν την κατανάλωση. Για να αποκτηθούν πληροφορίες σχετικά με την επίδραση αυτών των συντελεστών στο σύστημα, ο συγγραφέας διεξήγαγε διάφορα πειράματα με το μοντέλο αυτό της προσομοίωσης.

Πρώτον, ορίστηκαν για όλες τις διακυμάνσεις όρια συντελεστών από 0 (καμία επίδραση) έως 1 (πλήρης συσχέτιση). Δεύτερον, πραγματοποιήθηκαν πειράματα με μηδενικές τιμές για όλους τους συντελεστές. Και τρίτον, τα πειράματα έγιναν με αυξανόμενες τιμές συντελεστών έως 0,5, διατηρώντας τους άλλους συντελεστές σε μηδενικό επίπεδο. Οι αλλαγές στην κατανάλωση καλύπτονται με εισαγωγή ή εξαγωγή, και οι μικρές αποκλίσεις από τον κανόνα αυτό σχετίζονται με τις μεταβολές των αποθεμάτων. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων είναι τα ακόλουθα.



Εικόνα 8-1: Διάγραμμα ροής των αποθεμάτων του μοντέλου της οικονομικής ένταξης στη ΕΕ, του νέου μέλους

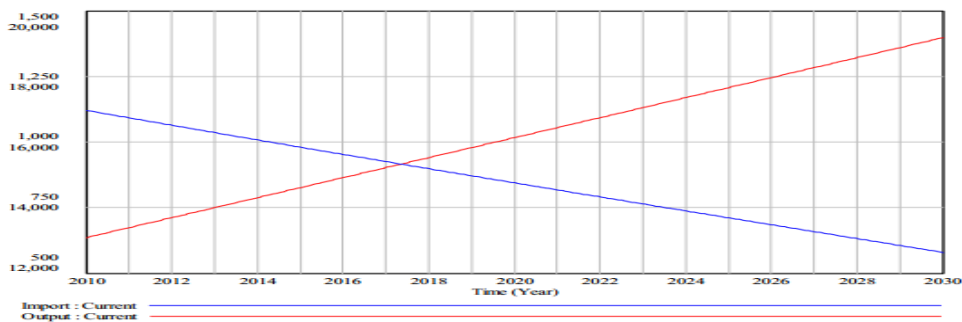
Στο πρώτο πείραμα, με όλους τους συντελεστές μηδενικούς, όλοι οι ερευνηθέντες δείκτες (κατανάλωση, παραγωγή, εργατικό δυναμικό, μέσος μισθός στη Λετονία, εισαγωγή) ήταν σταθεροί, οι δείκτες δεν ανταποκρίνονται στην προσχώρηση της Λετονίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η μετανάστευση δεν συνέβη, οι μισθοί, οι εισαγωγές, η μακροχρόνια κατανάλωση και η παραγωγή παρέμειναν αμετάβλητες. Είναι σημαντικό να ειπωθεί, ότι σε αυτό το πείραμα τα αποθέματα δείχνουν μια μικρή αύξηση, δηλαδή η εισαγωγή και η παραγωγή ήταν ελαφρώς υψηλότερες από την κατανάλωση. Αυτό το πείραμα είναι το σημείο εκκίνησης, το οποίο επιτρέπει να υπολογιστεί και να συγκριθεί η καθαρή επίδραση των παραγόντων, επί της συμπεριφοράς του συστήματος. Η πρώτη παράμετρος που εξετάστηκε είναι η τάση προς τη μετανάστευση. Η επιρροή της σχετικά με το σύστημα αντανακλάται στην εικόνα 8-2.



**Εικόνα 8-2: Επίδραση της μετανάστευσης στο σύστημα**

Η εικόνα 8-2 δείχνει ότι με το συντελεστή της τάσης για μετανάστευση, να αυξάνεται σε 0,5, η παραγωγή και το εργατικό δυναμικό θα μειωθεί, και την ίδια στιγμή οι μισθοί θα αυξηθούν. Οι αλλαγές στην εισαγωγή είναι αμελητέες. Ο συντελεστής της μεγάλης τάσης για μετανάστευση και οι χαμηλοί μισθοί στη Λετονία οδηγούν στη μετανάστευση, με άμεση συνέπεια της μετανάστευσης – την αύξηση των μισθών και της μείωση του εργατικού δυναμικού (πληθυσμός). Η μείωση του πληθυσμού προκαλεί μείωση της κατανάλωσης. Τόσο η μείωση της κατανάλωσης όσο και η αύξηση των μισθών προκαλούν την πτώση της παραγωγής. Ο συντελεστής της τάσης για μετανάστευση, που είναι 0.5, είναι ένας πολύ υψηλός συντελεστής. Σε 6-8 χρόνια θα μειωθεί ο πληθυσμός σχεδόν 3 φορές. Επιπλέον, η μείωση της κατανάλωσης και της παραγωγής θα είναι παρόμοιες. Την ίδια στιγμή, οι μισθοί στη Λετονία θα φτάσουν αυτούς του ευρωπαϊκού επιπέδου. Η ανάπτυξη του κράτους λόγω της μετανάστευσης δεν είναι δυνατή. Σύμφωνα με τη γνώμη του συγγραφέα της μελέτης αυτής, ο συντελεστής της τάσης για μετανάστευσης θα πρέπει να είναι γύρω στο 0,01.

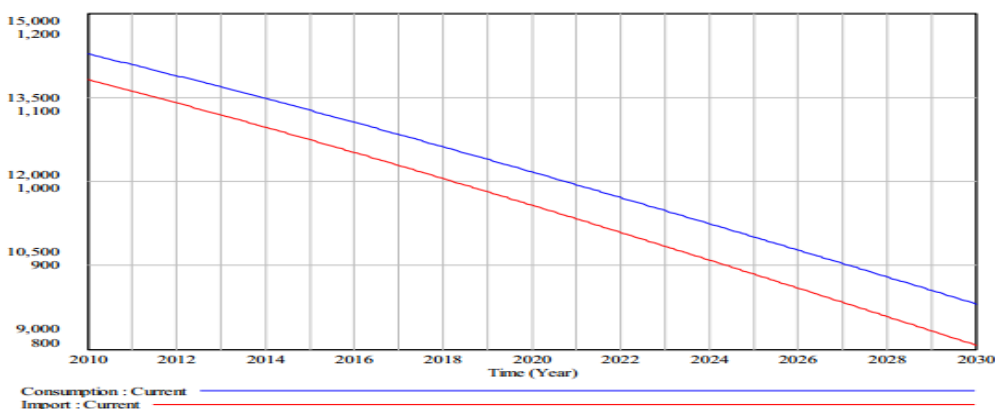
Η επόμενη εξέταση συντελεστών είναι η αποτελεσματικότητα των επιδοτήσεων της ΕΕ. Η αντίδραση του συστήματος στις αλλαγές φαίνεται στην εικόνα 8-3.



Εικόνα 8-3: Επίδραση των επιδοτήσεων της ΕΕ στο σύστημα

Στην εικόνα 8-3, το ποσό των δεικτών προς ανάλυση έχει υποχωρήσει σημαντικά, διότι, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος, οι επιδοτήσεις της ΕΕ δεν επηρεάζουν την κατανάλωση, το εργατικό δυναμικό και τους μισθούς στη Λετονία. Αυτό αντιστοιχεί στα πραγματικά περιστατικά. Τις περισσότερες φορές, κάνοντας χρήση των νέων επιδοτήσεων, αγοράζεται εξοπλισμός για να αντικατασταθεί ο παλιός. Η απασχόληση δεν αλλάζει, η κατανάλωση και οι μισθοί στη χώρα παραμένουν αμετάβλητοι, αλλά η αυξημένη παραγωγή εκτοπίζει τις εισαγωγές όπως φαίνεται στην εικόνα 8-3. Σύμφωνα με την άποψη του συγγραφέα, στη Λετονία η απόδοση των επιδοτήσεων της ΕΕ δεν είναι τόσο υψηλή, είναι πιο κοντά στο μηδέν. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι μια τέτοια υψηλή απόδοση μπορεί να οδηγήσει σε υπερπαραγωγή στη Λετονία επειδή η παραγωγή αυξάνεται ταχύτερα από τη μείωση των εισαγωγών. Στη Λετονία ο συντελεστής απόδοσης των επιδοτήσεων της ΕΕ θα πρέπει να είναι περίπου 0,25.

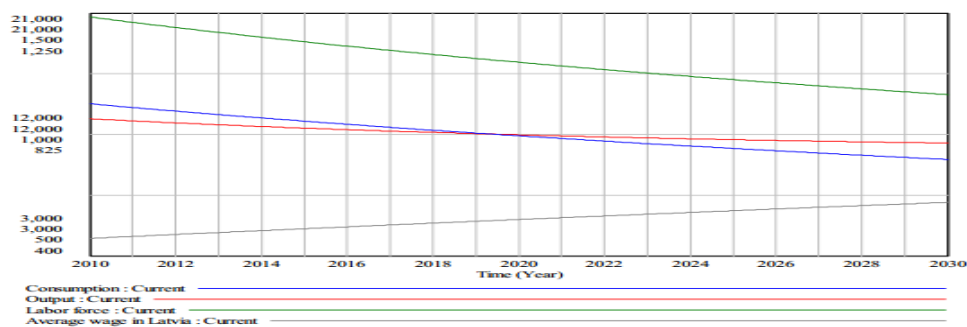
Στην εικόνα 8-4, αναλύεται η επίδραση του συντελεστή «αντίδραση κατανάλωσης στη μείωση κεφαλαίου» για το σύστημα.



Εικόνα 8-4: Επίδραση του συντελεστή «αντίδραση κατανάλωσης στη μείωση κεφαλαίου» στο σύστημα

Στην εικόνα 8-4, βλέπουμε ότι ο συντελεστής «αντίδραση κατανάλωσης στη μείωση του μετοχικού κεφαλαίου» επηρεάζει μόνο την κατανάλωση και τις εισαγωγές. Η μείωση του κεφαλαίου του συστήματος μειώνει την κατανάλωση, η μείωση της κατανάλωσης μειώνει την εισαγωγή (σε αυτό το πείραμα, η έξοδος δεν αντιδρά σε μεταβολές στην κατανάλωση). Όλοι οι άλλοι δείκτες δεν εξαρτώνται από τη μείωση του κεφαλαίου στο σύστημα. Σύμφωνα με τη λογική του πειράματος, το επόμενο πείραμα θα πρέπει να διεξάγεται με τον συντελεστή «απάντηση εισαγωγής στις αλλαγές της κατανάλωσης». Δυστυχώς, αυτό το πείραμα δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί, σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα. Αν όλες οι άλλες παράμετροι δεν έχουν καμία επίδραση στο σύστημα, τότε δεν υπάρχει καμία αλλαγή στην κατανάλωση. Εν τη απουσία μεταβολών στην κατανάλωση, είναι αδύνατο να μελετήσει κανείς την αντίδραση σε αυτό.

Στο επόμενο πείραμα, εξετάστηκαν οι παράμετροι που ορίζονται από τους εμπειρογνώμονες. Το πείραμα αυτό αποτελεί το πιο πιθανό σενάριο για την ενσωμάτωση της οικονομίας της Λετονίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση.



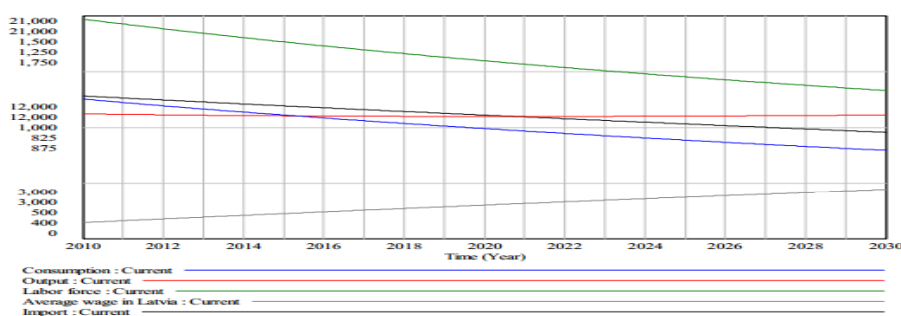
**Εικόνα 8-5: Επίδραση των παραμέτρων που ορίζονται από τους εμπειρογνώμονες στο σύστημα**

Η εικόνα 8-5, δεν δείχνει καθαρές εισαγωγές, επειδή οι εισαγωγές και οι εξαγωγές θα πρέπει να διατηρούνται σε αρχικό επίπεδο. Οι αλλαγές σε άλλους δείκτες εξηγούν τα ακόλουθα. Το εργατικό δυναμικό θα μειωθεί, το οποίο οδηγεί σε αύξηση των μισθών και μείωση της κατανάλωσης. Ως αποτέλεσμα, θα επέλθει μείωση της παραγωγής. Η αύξηση των μισθών δεν θα μειώσει μόνο την παραγωγή, αλλά επίσης θα υποκαταστήσει την παραγωγή με την εισαγωγή. Η αναμενόμενη αύξηση των εισαγωγών θα αντισταθμιστεί με τη μείωση των εισαγωγών, η οποία θα σχετίζεται με τη μείωση της κατανάλωσης στη χώρα. Ως εκ τούτου, η εισαγωγή παραμένει αμετάβλητη, σε σταθερή κατάσταση. Οι επιδοτήσεις της ΕΕ, θα συμβάλουν στη βιομηχανική ανάπτυξη, παρά την αύξηση του κόστους της εργατικής δύναμης. Η παραγωγή θα υπερβεί την κατανάλωση και μπορεί να υπάρξει υπερβολική παραγωγή του συστήματος και αύξηση των αποθεμάτων. Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει ότι οι επιδοτήσεις της ΕΕ, έχουν περιορισμένη αποτελεσματικότητα. Μετά από ένα



ορισμένο στάδιο, η ενθάρρυνση της ανάπτυξης των επιχειρήσεων στη Λετονία θα είναι άχρηστη. Θα προκληθεί βαθύτερη κρίση από την έλλειψη ζήτησης. Η παραγωγή χωρίς την αγορά είναι άχρηστη. Για την ακρίβεια, είναι σημαντικό να υπενθυμίσουμε ότι στο παρελθόν δεν εκτιμήθηκε πώς η παραγωγή θα ανταποκρίνεται στις αλλαγές της κατανάλωσης.

Στο προηγούμενο πείραμα, το επίπεδο της αντίδρασης προσδιορίστηκε από τους ειδικούς στο επίπεδο του 45%. Η μεταβολή που προκαλείται στην κατανάλωση είναι σχεδόν κατά το ήμισυ μικρότερη από ότι στην παραγωγή. Το ακόλουθο σχήμα της εικόνας 8-6 αναλύει τη συμπεριφορά του συστήματος, με την προϋπόθεση ότι η παραγωγή δεν ανταποκρίνεται στις αλλαγές της κατανάλωσης (με μηδενικό συντελεστή), διατηρώντας τους άλλους συντελεστές στο επίπεδο που καθορίζεται από τους εμπειρογνώμονες.



Εικόνα 8-6: Αντίδραση της παραγωγής στο σύστημα

Η εικόνα 8-6, δείχνει ότι η παραγωγή παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητη. Σε ένα προηγούμενο πείραμα, η σταθερή εισαγωγή σε αυτό το χρονικό διάστημα θα μειωθεί. Όλοι οι άλλοι δείκτες (εργατικό δυναμικό, κατανάλωση και μισθοί) είναι οι ίδιοι όπως και στο προηγούμενο πείραμα. Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει ότι αν η παραγωγή δεν εξαρτάται από την εγχώρια ζήτηση, η παραγωγή θα μπορούσε να αντικαταστήσει τις εισαγωγές και τη μορφή της εξαγωγικής ικανότητας. Αλλά αυτό είναι μια ουτοπική κατάσταση. Στη Λετονία, σχεδόν δεν υπάρχουν εταιρείες των οποίων τα προϊόντα έχουν ζήτηση εγχώρια και στις ξένες αγορές και η μικρή εγχώρια αγορά δεν επιτρέπει την διαμόρφωση τους. Επίσης, δεν υπάρχουν φθηνοί πόροι στη Λετονία. Σύντομα ο όγκος του εργατικού δυναμικού θα μειωθεί και οι μισθοί θα είναι κοντά στο επίπεδο της ΕΕ. Δυστυχώς, η Λετονία δεν αναζητά την έξοδο από αυτό το αδιέξοδο. Οι προτεραιότητες της Λετονίας επί του παρόντος, είναι η χρηματοπιστωτική σταθερότητα της κατάσταση και πιο μακροπρόθεσμα, η ένταξη

της, στη ζώνη του ευρώ. Αυτά τα σενάρια της οικονομικής ανάπτυξης στη Λετονία συνδέονται με τις διαδικασίες ενσωμάτωσης.

### 8.3 Συμπεράσματα

Μέσα από τη συγκεκριμένη μελέτη, διαπιστώσαμε την προσπάθεια για την ανάπτυξη ενός δυναμικού μοντέλου της ευρωπαϊκής οικονομίας. Η εφαρμογή του μοντέλου στην πράξη και τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν την αποτυχία του μηχανισμού των λειτουργιών της ΕΕ. Ο διαθέσιμος μηχανισμός έρχεται σε αντίθεση με τις αρχές της ΕΕ καθώς δεν προωθεί την ομαλή ένταξη στην Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά εντελώς αντίθετα - οδηγεί στην επίλυση των προβλημάτων των καλά ανεπτυγμένων χωρών της ΕΕ σε βάρος των αναπτυσσόμενων χωρών. Στις δεδομένες συνθήκες που επικρατούν, το παράδειγμα της Λετονίας δείχνει ότι δεν υπάρχει καμία δυνατότητα να ξεπεραστεί η κρίση του συστήματος. Αυτές οι συνθήκες καθορίζουν την αναγκαιότητα των αλλαγών στην ΕΕ, πάνω στην εσωτερική μεταναστευτική πολιτική και των αλλαγών στις αρχές στήριξης των αναπτυσσόμενων χωρών της ΕΕ.

## 9 Προσομοίωση με System Dynamics, των ορίων της παγκόσμιας χρήσης του νερού

### 9.1 Εισαγωγή

Η συγκεκριμένη μελέτη, στοχεύει στη διερεύνηση των ορίων για την παγκόσμια χρήση του νερού. Για το σκοπό αυτό μελετάται η συμπεριφορά του μοντέλου προσομοίωσης της system dynamics, για να εκτιμηθεί η ισορροπία του νερού στον κόσμο.

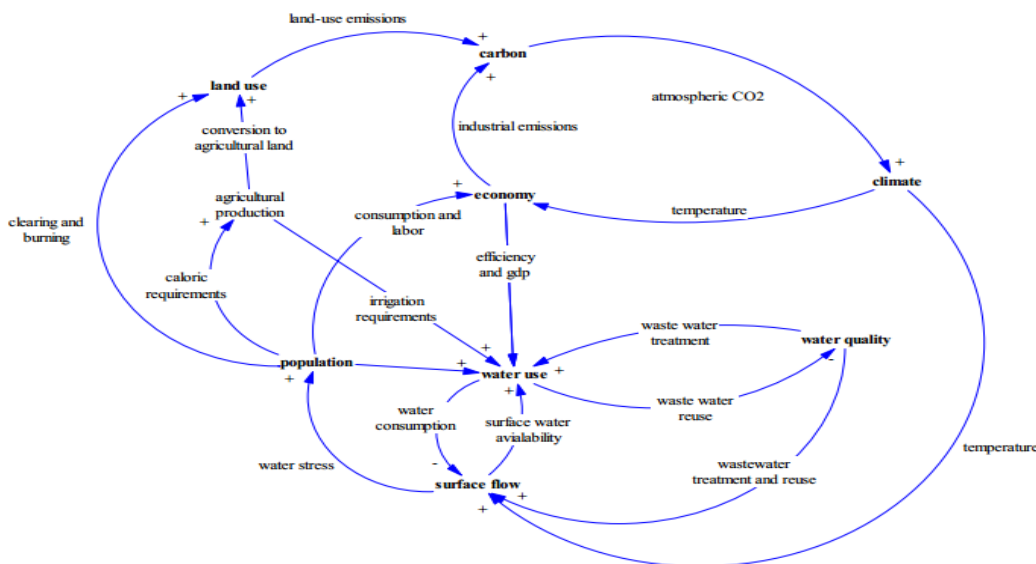
### 9.2 Το μοντέλο της προσομοίωσης

Το ANEMI είναι ένα μοντέλο της system dynamics. Βασικό στοιχείο του δυναμικού αυτού μοντέλου, αποτελεί η ενδογενής του άποψη (Richardson 2011). Δηλαδή δεν υπάρχουν εξωτερικές ανατροφοδοτήσεις. Σύμφωνα με αυτή την άποψη, η δυναμική συμπεριφορά ενός συστήματος προκύπτει μέσα στην εσωτερική δομή ενός μοντέλου. Η άποψη αυτή συνεπάγεται ένα κλειστό όριο του συστήματος, όπου η δυναμική συμπεριφοράς της άποψης αυτής (behavioural dynamics) του συστήματος,

προκύπτει από την αλληλεπίδραση των αναδράσεων (feedback loop) . Έτσι, στη system dynamics, ένα σύστημα θεωρείται ως μια συνεχής αλληλεξαρτώμενη, αυτοτροφοδοτούμενη, δυναμική διαδικασία. Δηλαδή, η παρατηρούμενη συμπεριφορά ενός συστήματος πρέπει να γίνει κατανοητή σαν να προκύπτει από την εσωτερική δομή του συστήματος. Αυτή η εσωτερική δομή ενός συστήματος, γίνεται αντιληπτή με τη χρήση των σημείων συσσώρευσης και των ροών, καθώς και τις σχέσεις μεταξύ τους. Η Συστηματική Δυναμική είναι μια μέθοδος μοντελοποίησης, για την κατανόηση των συμπεριφορών των μη γραμμικών, δυναμικών και πολύπλοκων συστημάτων (Sterman 2000).

Το ANEMI αποτελείται από εννέα υποσυστήματα: το κλίμα, τον κύκλο του άνθρακα, την οικονομία, τη χρήση του εδάφους, τον πληθυσμό, την γεωργική παραγωγή, το φυσικό υδρολογικό κύκλο, τη χρήση του νερού και την ποιότητα των υδάτων (Davies 2007, Davies και Simonovic 2008, 2011).

Η εικόνα 9-1, δείχνει την κύρια δομή ανάδρασης του μοντέλου. Το θετικό ή το αρνητικό πρόσημο που συνδέονται με κάθε βέλος δείχνει την κατεύθυνση αλλαγής που μια συνιστώσα του μοντέλου, έχει στην άλλη συνιστώσα του μοντέλου. Τα ονόματα δίπλα σε κάθε βέλος υποδεικνύουν ποιά πλευρά της συνιστώσας του μοντέλου προκαλεί μία αλλαγή στην άλλη συνιστώσα του μοντέλου. Η κλειστή δομή του μοντέλου σημαίνει ότι η συμπεριφορά του μοντέλου προκύπτει από ενδογενείς ανατροφοδοτήσεις (Davies & Simonovic 2010). Το μοντέλο έχει επικυρωθεί, μέσω της σύγκρισης με τα στατιστικά στοιχεία της κυβέρνησης, τα επιστημονικά δεδομένα, και τα αποτελέσματα από άλλα μοντέλα, και κοινωνικοοικονομικά δεδομένα (Davies 2007, Davies και Simonovic 2008, 2010, 2011).



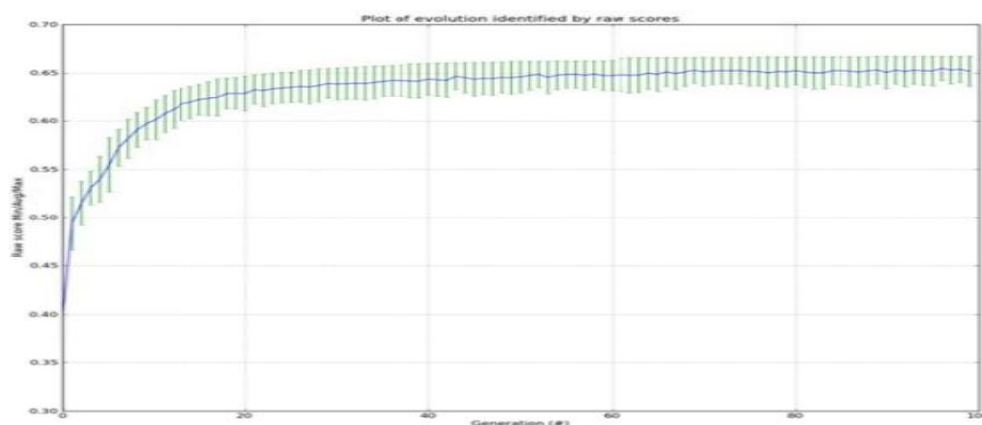
Εικόνα 9-1: Οι συνιστώσες του μοντέλου και οι αναδράσεις τους

## 9.3 Αποτελέσματα

### 9.3.1 Εφαρμογή του γενετικού αλγόριθμου

Εκτελούνται δύο ξεχωριστές προσομοιώσεις. Στη δοκιμή θα χρησιμοποιηθεί η μέγιστη τιμή της λειψυδρίας και η ελάχιστη τιμή για τον παγκόσμιο πληθυσμό. Η λειψυδρία είναι ένας δείκτης των ανανεώσιμων πηγών νερού, που χρησιμοποιείται σε ετήσια βάση. Συνήθως, οι τιμές που είναι υψηλότερες από 0,4 είναι χαρακτηρισμένες ως σοβαρή λειψυδρία και υποδεικνύουν πιθανές τοπικές ή περιφερειακές ελλείψεις σχετικά με το νερό. (Alcorno, Flörke και Marker 2007). Μια τιμή της λειψυδρίας που είναι πάνω από 0,4, δείχνει ότι το όριο για τη χρήση γλυκού νερού έχει περαστεί (Alcorno et al. 2003). Δεδομένου ότι η ιδέα των πλανητικών ορίων είναι στενά συνδεδεμένη με την ακμή του ανθρώπινου πολιτισμού και του παγκόσμιου πληθυσμού, η εξέταση της χαμηλότερης τιμής του παγκόσμιου πληθυσμού το 2100, θα αποτελέσει μια καλή ένδειξη ώστε να δούμε ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός, έχει υπερβεί το όριο της χρήσης του νερού. Έτσι, εξετάζουμε δύο διαφορετικούς τρόπους κατανόησης των ορίων για το γλυκό νερό στον πλανήτη. Ο γενετικός αλγόριθμος έχει παραμετροποιηθεί ως εξής. Κάθε γενιά περιείχε ένα πληθυσμό με 1000 μέλη. Τρέξαμε την προσομοίωση για 100 γενιές, με ποσοστό να συμπίπτει, της τάξης του 0,01 και ένα ρυθμό μετάλλαξης του 0,05.

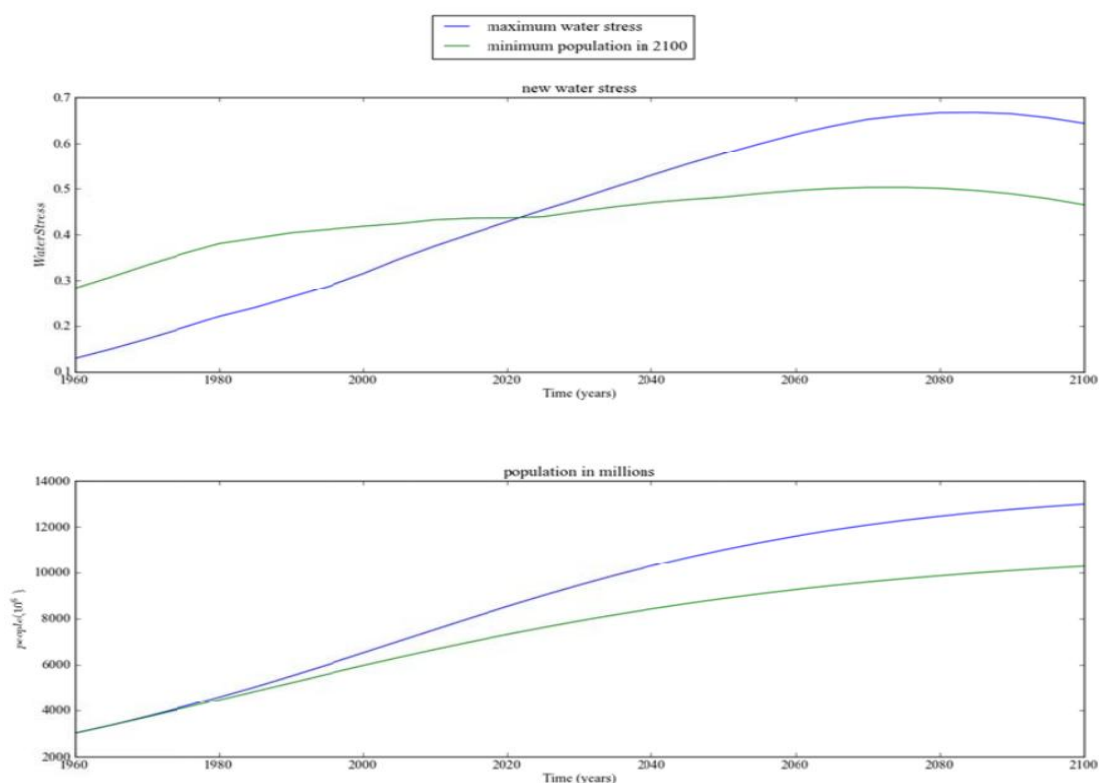
Η εικόνα 9-2 δείχνει την εξέλιξη του αλγορίθμου για τη μεγιστοποίηση της λειψυδρίας. Η γραμμή δείχνει τη μέση τιμή για τη συνάρτηση και οι ράβδοι σφάλματος δείχνουν την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή που προέκυψαν σε κάθε γενιά. Όπως μπορεί να φανεί, ο αλγόριθμος συγκλίνει μετά από περίπου 60 γενιές. Για την ελαχιστοποίηση του παγκόσμιου πληθυσμού το 2100, προκύπτει μια παρόμοια εικόνα.



Εικόνα 9-2: Εξέλιξη του αλγορίθμου για τη μεγιστοποίηση της λειψυδρίας

Η εικόνα 9-2 δείχνει τα αποτελέσματα που βρέθηκαν χρησιμοποιώντας το γενετικό αλγόριθμο. Δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι η λειψυδρία μεγιστοποιείται στην περίπτωση που λαμβάνει τις μεγαλύτερες τιμές για την κατανάλωση τροφής. Προς έκπληξη μας, η υψηλότερη λειψυδρία υπάρχει όταν οι απαιτήσεις για τη διύλιση του νερού, από τις διάφορες χρήσεις του, είναι χαμηλές. Δηλαδή, και ο παράγοντας διύλισης και το κλάσμα μόλυνσης από την οικιακή και την επιχειρησιακή χρήση βρίσκονται σε χαμηλό επίπεδο.

Μια πιθανή εξήγηση για αυτό είναι ότι μια αργή εμφάνιση της λειψυδρίας στο χρόνο, οδηγεί σε υψηλότερη μέγιστη τιμή την λειψυδρία. Αυτή η εξήγηση υποστηρίζεται με τη σύγκριση δύο περιπτώσεων. Όπως μπορούμε να δούμε στην εικόνα 9-3, η λειψυδρία δημιουργείται πολύ πιο αργά για την περίπτωση της μέγιστης ζήτησης νερού, σε σχέση με αυτή του μικρότερου παγκόσμιου πληθυσμού.



**Εικόνα 9-3: Μέγεθος του πληθυσμού και της λειψυδρίας για τη μέγιστη λειψυδρία και τον ελάχιστο πληθυσμό το 2100**

## 9.4 Συμπεράσματα

Το μοντέλο που εξετάστηκε σε αυτήν την έρευνα είναι ένα ενδογενές δυναμικό μοντέλο του κύκλου του νερού παγκοσμίως που χρησιμοποιείται παγκοσμίως, λαμβάνοντας υπόψη το κλίμα, το οικονομικό σύστημα, κτλ. Ωστόσο, αυτή η

ενδογενής μορφή του, είναι το τίμημα του να μην είναι γεωγραφικά και χρονικά σαφής, με την έννοια ότι οι αλλαγές της περιστασιακής βροχόπτωσης δεν λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο. Ακόμη και έτσι όμως, το αποτέλεσμα δείχνει ότι ακόμη και με το μικρότερο εύρος σε παραμέτρους που σχετίζονται με τον κύκλο του νερού, το μοντέλο μπορεί ήδη να παράγει αποτελέσματα που είναι ενδεικτικά της μεγάλης λειψυδρίας ή της περιορισμένης ανάπτυξης του παγκόσμιου πληθυσμού. Έτσι, τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι τα όρια του πλανήτη, όσον αφορά το πόσιμο νερό, μπορούν να ερευνηθούν.

Σε αυτή την προσομοίωση που μελετήθηκε εξετάστηκαν μόνο δύο περιπτώσεις με ανεπιθύμητη δυναμική: μια χαμηλή τιμή για τον παγκόσμιο πληθυσμό και μια πολύ υψηλή τιμή για τη λειψυδρία. Παραμένει όμως ανοικτό σαν ερώτημα, για τον ίδιο το μελετητή του μοντέλου καθώς και για όλους εμάς, πώς μπορούν να συσχετιστούν αυτά τα αποτελέσματα με τα όρια. Ένας προφανής τρόπος για να καταλάβουμε τα όρια, είναι εξετάζοντας την υπέρβαση και τη μείωση.

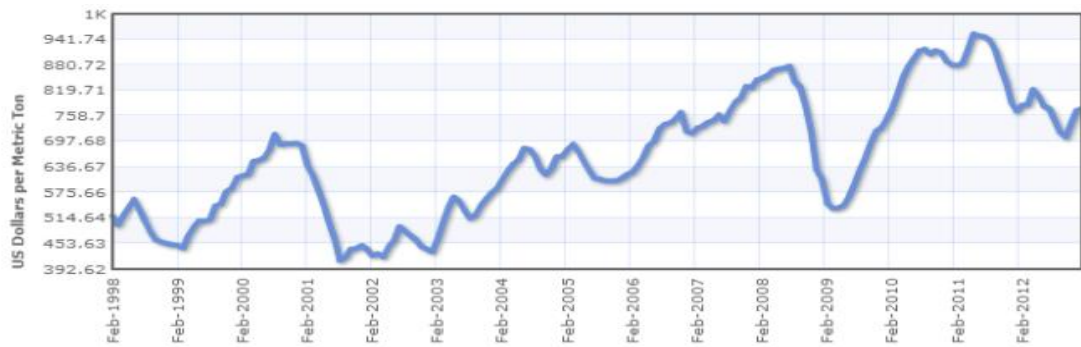
## 10 Προσομοίωση Monte Carlo και System Dynamics

### 10.1 Εισαγωγή

Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιείται ένα μοντέλο system dynamics και ένα μοντέλο προσομοίωσης πτήσης, με σκοπό τη δημιουργία σεναρίων για τις τιμές του χαρτοπολτού. Πιο συγκεκριμένα, ένα Monte Carlo μοντέλο προσομοίωσης τρέχει ταυτόχρονα με το μοντέλο της system dynamics, ώστε να παρέχει μια σειρά από αναμενόμενες τιμές σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Η μελέτη αυτή έχει ως στόχο, να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την υποστήριξη επενδυτικών αποφάσεων και να περιγράψει μία μεθοδολογία και τις τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλά παρόμοια προβλήματα, που αφορούν την ανάλυση των κινδύνων και των εφαρμογών της system dynamics.

### 10.2 Υπόβαθρο πωλήσεων χαρτοπολτού

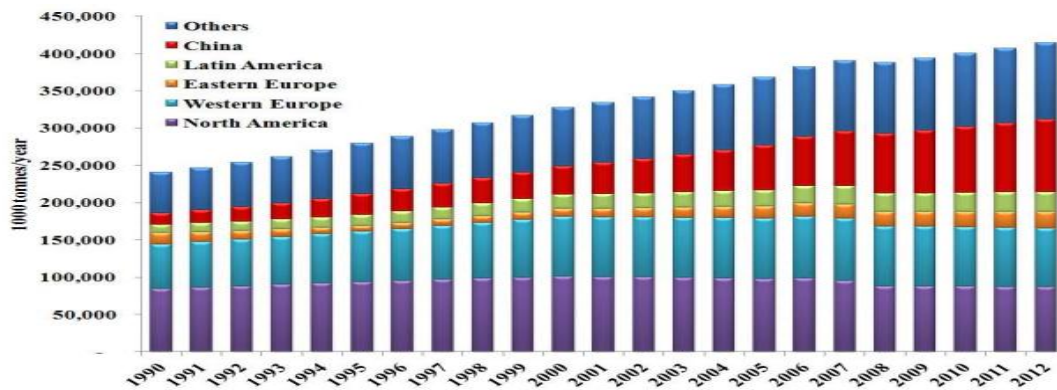
Κατά τη διάρκεια της παγκόσμιας κρίσης που ξεκίνησε το 2008, η διεθνής βιομηχανία του χαρτοπολτού είδε τις τιμές του πολτού να κατακυλούν περισσότερο από 30% μέσα σε λίγους μήνες. Η τιμή είχε φθάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα λίγο πριν από την έναρξη της κρίσης. Μια παρόμοια κατάσταση είχε συμβεί το 2001 όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα 10-1.



Εικόνα 10-1: Τιμές του χαρτοπολλτού σε δολάρια ΗΠΑ ανά τόνο (1998-2013)

Όπως φαίνεται, η αστάθεια των τιμών είναι επιβλαβής για τη βιομηχανία. Οι τιμές εξαρτώνται από το κόστος παραγωγής και στην ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης. Οι πτώσεις που φαίνονται στην εικόνα 10-1, συνδέονται με τις κρίσεις που προκάλεσαν σοκ στη ζήτηση.

Τα στοιχεία ζήτησης ανά περιοχή, που φαίνονται στην εικόνα 10-2, δείχνουν ότι η πρόσφατη ανάπτυξη οφείλεται σε αναπτυσσόμενες χώρες, κυρίως στην Κίνα.



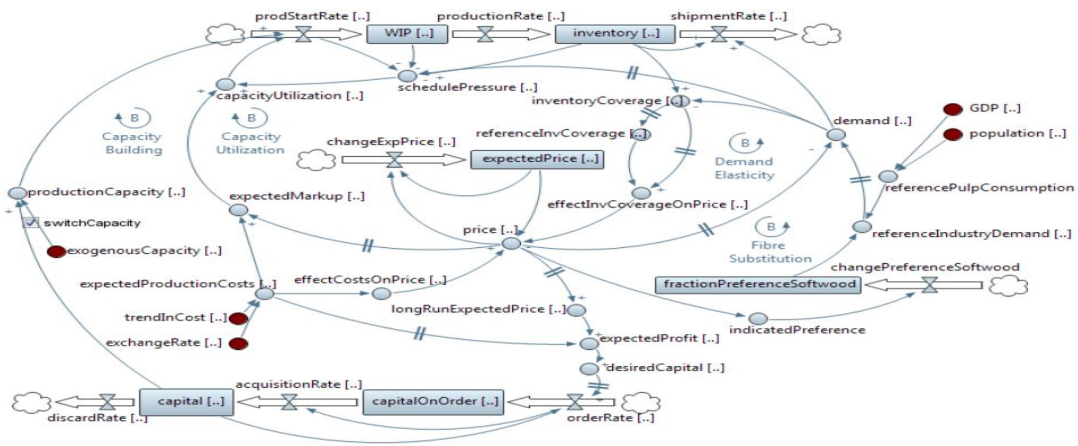
Εικόνα 10-2: Ζήτηση χαρτιού ανά περιοχή (1990-2012)

### 10.3 Η προσομοίωση

#### 10.3.1 Το μοντέλο και ο προσομοιωτής πτήσης

Ο πυρήνας του μοντέλου είναι παρόμοιος με ένα πρότυπο μοντέλο που βρέθηκε στο βιβλίο του Sterman (2000, σελ. 798). Ένα απλοποιημένο διάγραμμα αυτού του μοντέλου δείχνεται στην εικόνα 10-3. Το διάγραμμα παρουσιάζει τις ροές και άλλες μεταβλητές, τους κύριους βρόχους ανάδρασης και τις βασικές εξωγενείς μεταβλητές (σκιασμένοι κύκλοι).





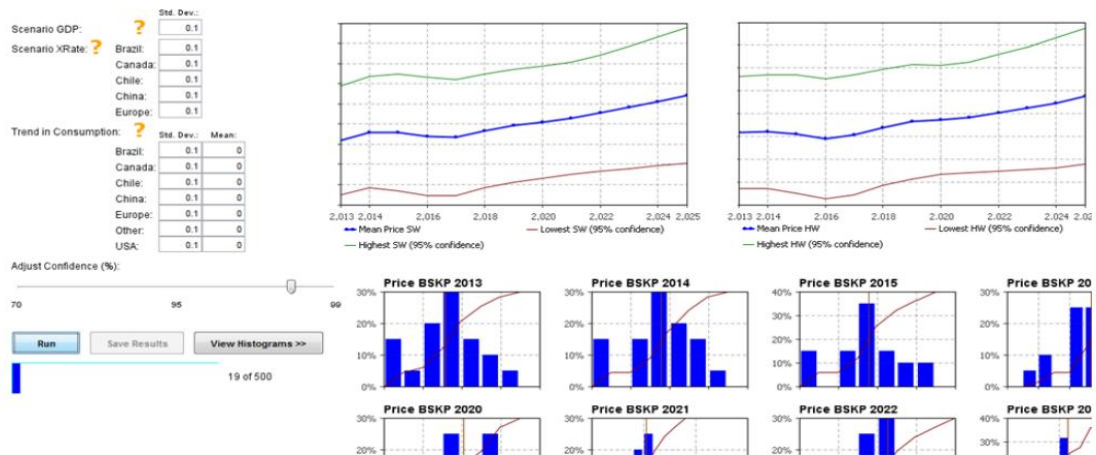
Εικόνα 10-3: Απλοποιημένο διάγραμμα

Όπως μπορούμε να δούμε, η τιμή βρίσκεται στο κέντρο του μοντέλου. Εξαρτάται από τη μνήμη της προηγούμενης τιμής (expectedPrice) και από την κάλυψη των αποθεμάτων και το κόστος. Το πώς λειτουργεί ακριβώς το διάγραμμα βρόγχων φαίνεται στο [ink](http://www.systemdynamics.org/conferences/2013/proceed/papers/P1138.pdf) που παρατίθεται <http://www.systemdynamics.org/conferences/2013/proceed/papers/P1138.pdf>.

Το περιβάλλον προσομοίωσης επιτρέπει στο χρήστη να αλλάξει όλες τις παραμέτρους και τα σενάρια πριν τρέξει το μοντέλο, και να διερευνήσει παράλληλα, όλα τα αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζονται σε χρονικά γραφήματα.

Μια προσομοίωση Μόντε Κάρλο αναπτύχθηκε για να ερμηνεύσει την αβεβαιότητα των εισόδων για τα σενάρια σεναρίων του μοντέλου και να παράγει ένα εύρος για τις αναμενόμενες τιμές για κάθε έτος. Η εικόνα 10-4 δείχνει την προσομοίωση Μόντε Κάρλο. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η προσομοίωση Monte Carlo, δεν είναι ακριβώς προσομοίωση κάποιου μοντέλου αλλά μία πειραματική μέθοδος υπολογισμού που εφαρμόζεται σε πολλά πεδία της επιστήμης, από την οικονομία ως την πυρηνική φυσική. Πράγματι, αναφέρεται ως προσομοίωση μόνο σε μικρό τμήμα της βιβλιογραφίας, ενώ στο μεγαλύτερο τμήμα αναφέρεται ως μέθοδος Monte Carlo. Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Laplace (1749–1827) ο οποίος ήταν και ο πρώτος που έθεσε τις βάσεις της θεωρίας πιθανοτήτων





Εικόνα 10-4: Προσομοίωση Μόντε Κάρλο

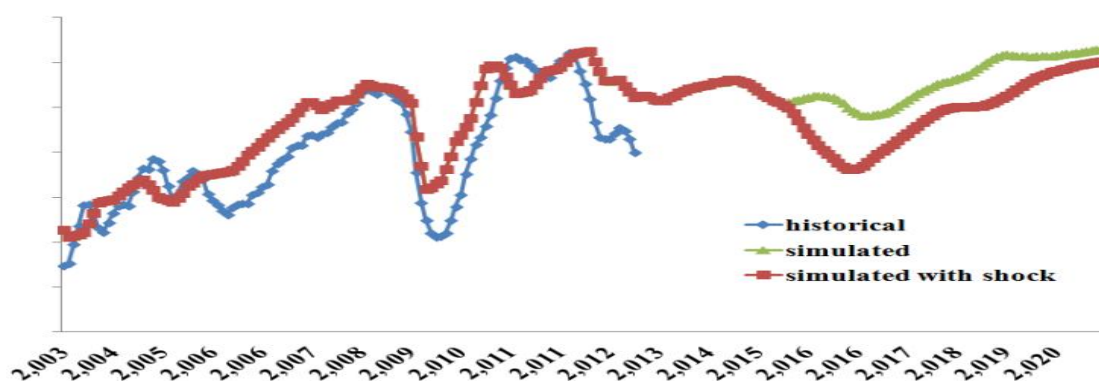
Οι μεταβλητές του ΑΕΠ, οι συναλλαγματικές ισοτιμίες και η τάση στην κατανάλωση πολτού ανά κάτοικο (ανά περιοχή), επιλέχθηκαν ως οι πιο σημαντικές μεταβλητές λόγω της αβεβαιότητας και της επιρροής στα αποτελέσματα. Η προσομοίωση Μόντε Κάρλο τρέχει πολλές φορές διαφοροποιώντας αυτές τις παραμέτρους τυχαία, αλλά σύμφωνα με μια κανονική κατανομή. Για το ΑΕΠ και τη συναλλαγματική ισοτιμία, τα σενάρια θεωρούνται τα πιο πιθανά. Επίσης στο μοντέλο αυτό, τόσο η μέση τιμή όσο και η τυπική απόκλιση της κατανάλωσης μπορεί να αλλάζει κατά την εξέλιξη του σεναρίου. Οι ετήσιες μέσες τιμές για κάθε προσομοίωση προστίθενται στο ιστογράμματα και συνοψίζονται στα παραπάνω διαγράμματα τα οποία δείχνουν το αναμενόμενο εύρος τιμών.

### 10.3.2 Προσομοιώσεις και αποτελέσματα

Μία από τις κύριες αρχικές ανησυχίες ήταν η εγκυρότητα του μοντέλου. Κύριος σκοπός των προσομοιώσεων ήταν να παραχθούν ικανοποιητικά δεδομένα. Μεγάλη δυσκολία εντοπίζεται στο γεγονός ότι υπάρχει ένα τεράστιο ποσό των δεδομένων διαθέσιμο, όχι μόνο όσον αφορά στην τιμή αλλά και την παραγωγή και την απογραφή. Τα διαθέσιμα στοιχεία στην πραγματικότητα καλύπτουν περίπου το 80% της συνολικής παραγωγής, γι' αυτό ήταν απαραίτητο πρώτα να εκτιμηθεί πλήρως σε παγκόσμιο επίπεδο ο όγκος του χαρτοπολτού.

Στη συνέχεια, η βαθμονόμηση του μοντέλου διεξήχθη με αρκετές προσομοιώσεις, με διάφορες τιμές που δόθηκαν στις παραμέτρους μέχρι να υπάρχουν ελάχιστες αποκλίσεις. Επειδή υπάρχει μια καλή ποσότητα διαθέσιμων δεδομένων, το μοντέλο θα μπορούσε να διερευνηθεί και να βαθμονομηθεί ως ξεχωριστές ενότητες.

Η εικόνα 10-5 δείχνει ένα παράδειγμα των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για την τιμή, όπου τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μπορούν να συγκριθούν με τα ιστορικά δεδομένα. Το μοντέλο αναπαράγει ικανοποιητικά τις διακυμάνσεις των τιμών μετά τις παγκόσμιες κρίσεις και τις μεταβολές στην παραγωγή. Το διάγραμμα δείχνει επίσης τις δύο δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο Monte Carlo. Για αυτή την προσομοίωση επελέγησαν τυχαία σενάρια. Για το δεύτερο σενάριο-δοκιμή, μια παγκόσμια κρίση προσομοιώνεται με μικρή έως αρνητική αύξηση του ΑΕΠ, σε όλες τις περιοχές, κατά τη διάρκεια του 2016. Τα αποτελέσματα δείχνουν τις τιμές να πέφτουν κατακόρυφα, ως αποτέλεσμα της προσομοίωσης της κρίσης.



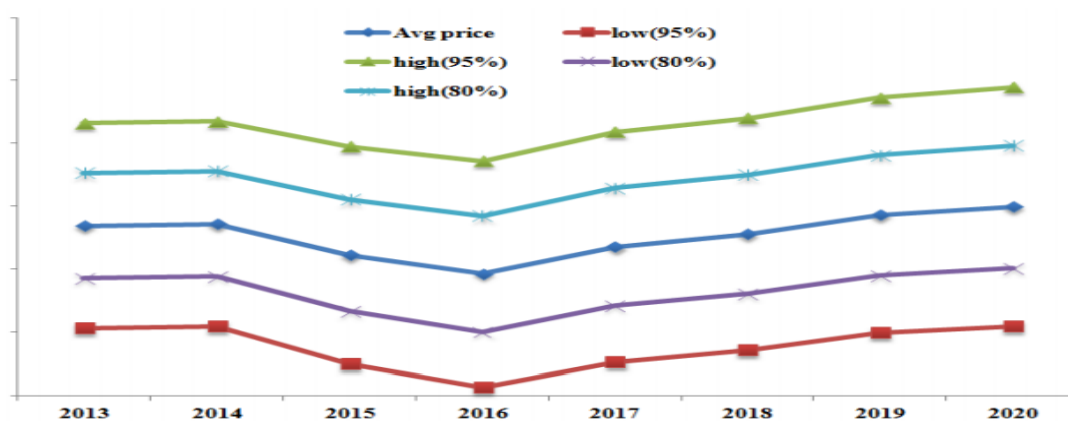
Εικόνα 10-5: Αποτελέσματα της προσομοίωσης για την τιμή

Μόλις η προσομοίωση ελέγχθηκε και αρκετά σενάρια παρήχθησαν, ένα σύνολο σεναρίων που θεωρούνταν τα πιο πιθανά να συμβούν, επελέγησαν. Τα εν λόγω σενάρια φορτώνονται ως προεπιλογή, μαζί με όλες τις παραμέτρους που είναι γνωστές για την καλύτερη βαθμονόμηση του μοντέλου. Ως εκ τούτου, μόλις ο προσομοιωτής ανοίγει και τρέχει χωρίς καμιά αλλαγή, δημιουργεί ένα σενάριο τιμών για το σκληρό και το μαλακό ξύλο (softwood), που θεωρείται ως το πιο πιθανό σενάριο. Αυτό το σενάριο πρόκειται να αναθεωρηθεί σε ένα διάστημα ενός έως δύο μηνών. Η ερώτηση που πρέπει να πραγματοποιηθεί σε αυτό το σημείο και τη θέτει και ο ίδιος ο συγγραφέας αυτής της μελέτης, είναι το «πόσο πιθανό είναι πραγματικά», ή με άλλα λόγια, ποιος είναι ο κίνδυνος που συνδέεται με αυτό το αναμενόμενο σενάριο;

Για να δοθεί απάντηση σε αυτό το ερώτημα, σχεδιάστηκε μια προσομοίωση Μόντε Κάρλο. Ένα πρώτο βήμα ήταν να αναλυθούν τα ιστορικά στοιχεία για το ΑΕΠ, οι συναλλαγματικές ισοτιμίες και η τάση για κατανάλωση πολτού ανά κάτοικο, προκειμένου να υπολογιστεί η μεταβλητότητα στις τιμές κατά προσέγγιση.

Η εικόνα 10-6 αποτελεί ένα παράδειγμα των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Η μέση τιμή είναι κοντά στο πιο πιθανό σενάριο. Οι υψηλότερες και οι χαμηλότερες

αναμενόμενες τιμές για κάθε έτος, εμφανίζονται στη συνέχεια για δύο επίπεδα αξιοπιστίας. Η μικρότερη τιμή αναμένεται να συμβεί με μια αξιοπιστία της τάξης του 80%. Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη αξιοπιστία, η αναμενόμενη τιμή πρέπει να διευρυνθεί σημαντικά.



Εικόνα 10-6: Μέση τιμή και εύρος διακύμανσης σε διαφορετικά επίπεδα αξιοπιστίας

#### 10.4 Συμπεράσματα

Οι προσομοιώσεις Μόντε Κάρλο, μπορούν να αποτελέσουν ένα ισχυρό εργαλείο για την εκτίμηση του κινδύνου. Με την ανεξάρτητη τυχαία μεταβολή των παραμέτρων, η προσομοίωση παράγει στην πραγματικότητα ένα μεγάλο αριθμό πιθανών εκβάσεων, κάποιες πιο πιθανές από άλλες, που θα αποφέρουν την αναμενόμενη κατανομή. Επειδή κάθε προσομοίωση χρησιμοποιεί το ίδιο ισχύον μοντέλο της system dynamics, υπάρχει ισχυρός λόγος να πιστεύουμε ότι το αποτέλεσμα είναι πολύ πιθανό να παραμείνει εντός των ορίων που προκύπτουν από την ανάλυση, ειδικά όταν χρησιμοποιείται ένα υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας.

Αυτή η ερευνητική εργασία μπορεί να μελετηθεί ως μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή της system dynamics και της μεθόδου Monte Carlo με σκοπό ναδειχθεί, ότι εκτός από τη δημιουργία του μοντέλου με τη μέθοδο System Dynamics, μεγάλο ρόλο στην προσομοίωση έπαιξε η χρήση της μεθόδου Monte Carlo για την βαθμονόμηση του μοντέλου και την παραγωγή σεναρίων κατόπιν.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι ο μελετητής της παρούσας προσομοίωσης, δεσμεύτηκε ότι η έρευνα θα συνεχιστεί περαιτέρω πάνω σε αυτό το πεδίο και

προφανώς αυτή η μελέτη περίπτωσης αρχικά έγινε για να υπογραμμιστεί η καλή συνεργασία των δύο μεθόδων προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη.

## **11 Προσομοίωση με System Dynamics, της εργασιακής συμπεριφοράς**

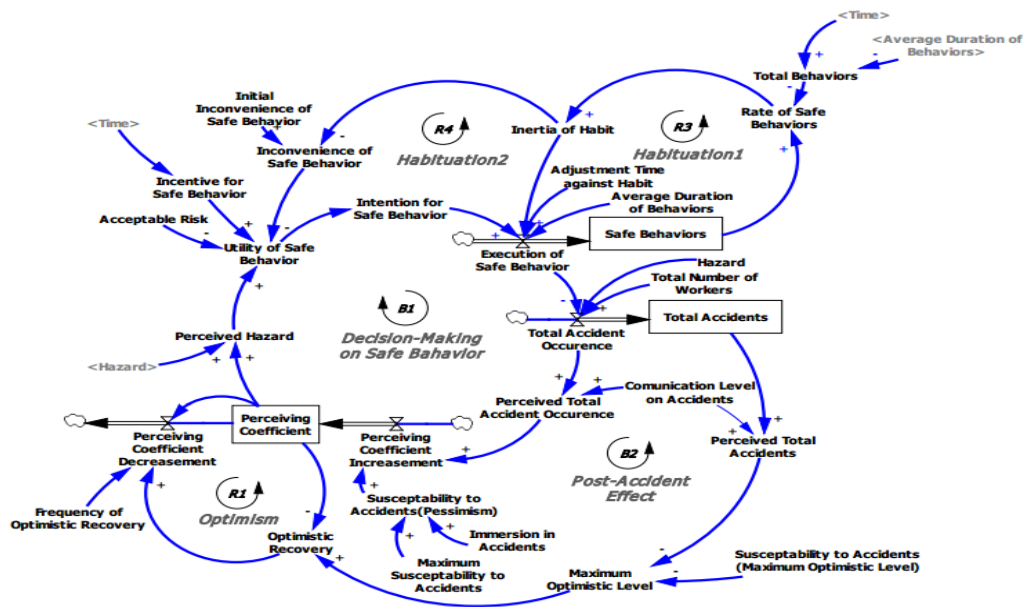
### **11.1 Εισαγωγή**

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, ο κλάδος των κατασκευών έχει βελτιώσει κατά πολύ την ασφάλεια που παρέχεται στο εργασιακό περιβάλλον του. Ένας λόγος για τη βελτίωση αυτή, είναι η διαχείριση της ασφάλειας, η οποία αφορά δύο τομείς, το Environment-based Safety Management (ESM) και το Human-based Safety Management (HSM). Η ESM βασίζεται στην ιδέα ότι τα ατυχήματα είναι λιγότερο πιθανό να εκδηλωθούν, εάν όλες οι συνθήκες γύρω από έναν εργαζόμενο είναι ασφαλείς. Η HSM από την άλλη πλευρά, θεωρεί ως κύρια αιτία των ατυχημάτων την επικίνδυνη συμπεριφορά του εργαζομένου. Οι βιομηχανίες δίνουν περισσότερη έμφαση στην ESM διαχείριση της ασφάλειας. Παρά ταύτα, προκειμένου να διαχειριστεί η ασφάλεια στον τομέα της κατασκευής, οι βιομηχανίες θα πρέπει να επικεντρωθούν στην HSM περισσότερο. Μέσα από την παρούσα μελέτη θα προσπαθήσουμε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα από την προσομοίωση της εργασιακής συμπεριφοράς, από την πλευρά των εργαζομένων προκειμένου να δειχθεί πόσο αναγκαία είναι η χρήση της HSM.

### **11.2 Το μοντέλο της προσομοίωσης**

Μέσα στο πλαίσιο της μελέτης αυτής, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο, για να εξηγήσει το πώς ένας εργαζόμενος αποφασίζει να ενεργήσει, όσον αφορά την ασφάλεια. Το μοντέλο αποτελείται από τρία υπο-μοντέλα. Το μοντέλο για τη λήψη αποφάσεων των εργαζομένων (Worker's Decision-Making) σχετικά με την ασφαλή συμπεριφορά, το οποίο ασχολείται με την κύρια διαδικασία λήψης των αποφάσεων, το μοντέλο για την αισιόδοξη αποκατάσταση (Optimistic Recovery) που περιγράφει την τάση για την αισιόδοξη αντίληψη των εργαζομένων και τη διαδικασία αποκατάστασης από τα ατυχήματα και το μοντέλο για την εξοικείωση (Habituation), που εξηγεί πώς η συνήθεια του εργαζομένου επηρεάζει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων του

εργαζομένου. Ολόκληρο το μοντέλο, το οποίο περιλαμβάνει τα τρία υπο-μοντέλα που αναφέρονται παραπάνω, παρουσιάζεται στην εικόνα 11-1.



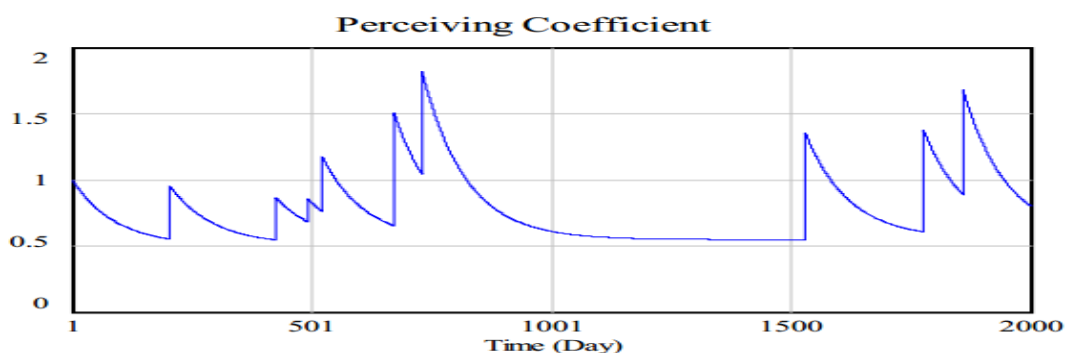
Εικόνα 11-1: Μοντέλο της προσομοίωσης

### 11.3 Ανάλυση του Μοντέλου

Μετά την ποσοτικοποίηση του μοντέλου με διάφορες τιμές (Τελικός χρόνος : 2000 Ημέρες, Χρόνος Βήματος: 1 Ημέρα , Επίπεδο επικοινωνίας: 0,8 , πραγματοποίηση ατυχήματος 0,8, και χρησιμότητα των κινήτρων για την ασφαλή συμπεριφορά : 0,3 ), διεξήχθη η ανάλυση του μοντέλου.

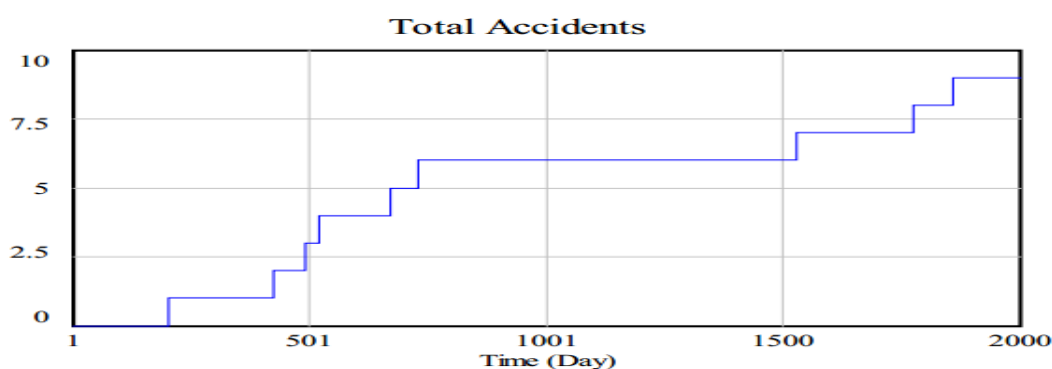
Οι κυριότεροι δείκτες του μοντέλου είναι ο συντελεστής αντίληψης, το σύνολο των ατυχημάτων, και το ποσοστό των ασφαλών συμπεριφορών που είναι στην ουσία τα σημεία συσσώρευσης του διαγράμματος. Η γραφική παράσταση στην εικόνα 11-2, παρουσιάζει το πώς η στάση ενός εργαζομένου απέναντι στους κινδύνους, η οποία παρουσιάζεται ως συντελεστής αντίληψης, αλλάζει. Η τιμή ένα δείχνει ότι ο πραγματικός κίνδυνος ισούται με τους εκτιμώμενους κινδύνους. Ο εργαζόμενος έχει ένα ελάχιστο συντελεστή αντίληψης ίσο με 0,5 και στην ουσία αυτό σημαίνει ότι ο εργαζόμενος ποτέ δεν αντιλαμβάνεται ότι συμβαίνουν ατυχήματα. Ωστόσο, τα ατυχήματα συμβαίνουν και επηρεάζουν τη στάση του εργαζομένου προς τους κινδύνους. Έτσι , η ραγδαία αύξηση των περιπτώσεων αυτών, παρουσιάζει τον χρόνο

που συμβαίνουν ατυχήματα. Όπως προαναφέρθηκε, ένας εργαζόμενος τροποποιεί την στάση του προς τους κινδύνους. Επομένως όταν ο εργαζόμενος αντιμετωπίζει τα ατυχήματα, ο συντελεστής αντίληψης αυξάνεται απότομα. Δεδομένου ότι ο εργαζόμενος γίνεται ανθεκτικός στα ατυχήματα, ο συντελεστής αντίληψης ανακάμπτει την τιμή του 0,5 σταδιακά.



Εικόνα 11-2: Αποτέλεσμα της προσομοίωσης για το συντελεστή αντίληψης

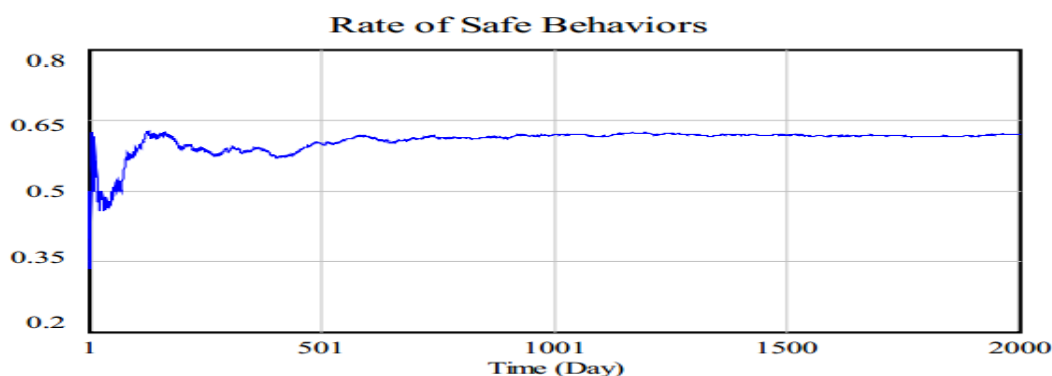
Η γραφική παράσταση στην εικόνα 11-3, παρουσιάζει τα συνολικά ατυχήματα στο εργοτάξιο. Υπό τις δεδομένες υποτιθέμενες συνθήκες, συνέβησαν εκεί δέκα ατυχήματα. Μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι ο κίνδυνος στην τοποθεσία είναι υπερεκτιμημένος σε αυτή τη μελέτη, προκειμένου να καταστεί εφικτή η αξιολόγηση των παραγόντων που επηρεάζουν. Επιπλέον, οι στιγμές του ατυχήματος στο δεύτερο γράφημα αντιστοιχούν στις στιγμές κορύφωσης στο πρώτο γράφημα (εικόνα 11-2).



Εικόνα 11-3: Αποτέλεσμα της προσομοίωσης για τα συνολικά ατυχήματα

Η γραφική παράσταση της εικόνας 11-3, παρουσιάζει πόσες ασφαλείς συμπεριφορές έχει ένας εργαζόμενος, στο σύνολο των εργασιακών συμπεριφορών του. Υπό τις συνθήκες που αναφέρονται παραπάνω, ο εργαζόμενος δρα με ασφάλεια περίπου έξι στις δέκα φορές. Το ποσοστό της ασφαλούς συμπεριφοράς τείνει να διακυμαίνεται

περισσότερο στο αρχικό στάδιο των αποτελεσμάτων, και υπάρχουν δύο λόγοι για αυτή τη διακύμανση. Πρώτον, το ποσοστό της ασφαλούς συμπεριφοράς είναι μια τιμή που υπολογίζεται διαιρώντας την ασφαλή συμπεριφορά με το σύνολο συμπεριφορών. Καθώς οι δύο παράγοντες μεγαλώνουν, το ποσοστό της ασφαλούς συμπεριφοράς γίνεται λιγότερο ευαίσθητο στην αλλαγή των δύο παραγόντων. Δεύτερον, η συνήθεια είναι ένας παράγοντας που μειώνει τις διακυμάνσεις στο μοντέλο, αλλά δεν είναι πλήρως εδραιωμένη στο αρχικό στάδιο. Καθώς η συμπεριφορά του εργαζομένου γίνεται σταθερή, το ποσοστό της ασφαλούς συμπεριφοράς γίνεται επίσης σταθερό.



Εικόνα 11-4: Αποτέλεσμα της προσομοίωσης για το ποσοστό των ασφαλών συμπεριφορών

#### 11.4 Συμπεράσματα

Η διαχείριση της ασφάλειας μέσα στο εργασιακό περιβάλλον που μελετήθηκε, η οποία χαρακτηρίζεται από τις φυσικές συνθήκες που επικρατούν μέσα σε αυτό, αποκαλύπτει τα όριά της και αποτελεί τη βάση για την βελτίωση της ασφάλειας στον κλάδο των κατασκευών. Παρατηρούμε ότι για την επίλυση των προβλημάτων ασφάλειας, απαιτείται η διαχείριση της ανθρώπινης (human-based) ασφάλειας, η οποία επικεντρώνεται στους εργαζόμενους και τη συμπεριφορά τους. Παρά το γεγονός ότι ένας μεγάλος αριθμός των ερευνών για τη διαχείριση της ανθρώπινης ασφάλειας έχει διεξαχθεί, έχει υπάρξει λίγη προσπάθεια για την ανάπτυξη μοντέλου για την υποστήριξη της Διαχείρισης της Ανθρώπινης Ασφάλειας. Για το λόγο αυτό, η μελέτη αυτή πρότεινε ένα μοντέλο για να εξηγηθεί πώς ένας εργαζόμενος λαμβάνει μια απόφαση, σχετικά με την ασφαλή συμπεριφορά. Δεδομένου ότι το μοντέλο έπρεπε να ασχοληθεί με πολλές ανατροφοδοτήσεις (feedbacks), η system dynamics χρησιμοποιήθηκε ως μια μεθοδολογία για να περιγράψει αυτές τις σχέσεις.



## 12 Συμπεράσματα

### 12.1 Σύγκριση και εφαρμογές των μεθόδων προσομοίωσης

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα προσπαθήσουμε να τονίσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της κάθε μεθόδου προσομοίωσης, συγκεντρώνοντάς τα σε ένα πίνακα και τέλος θα καταλήξουμε μέσα από την έρευνα που θα πραγματοποιήσουμε, πάνω σε ήδη υπάρχοντα projects, να καταλήξουμε στον κλάδο (οικονομία, οικολογία, κλπ) που θα ήταν καλύτερη η χρήση της κάθε μεθόδου προσομοίωσης με βάση τα χαρακτηριστικά της. Παρακάτω δίνεται ο πίνακας με τα χαρακτηριστικά της κάθε μεθόδου προσομοίωσης.

Μέθοδος Προσομοίωσης	Χαρακτηριστικά					
System Dynamics	Ολιστική προσέγγιση	Σχηματική Αναπαράσταση	Μάκρο επίπεδο	Ένα πράκτορα, με χαμηλή πολυπλοκότητα	Συστήματα διαφορικών εξισώσεων	
Μοντέλα Ουρών	Στοχαστικά	Μοντέλα διακριτού χρόνου	Μίκρο επίπεδο	Μεγάλος αριθμός πρακτόρων		
Agent-based προσομοιώσεις	Καθορισμένος χώρος (Τοπικές αλληλεπιδράσεις)	Ετερογένεια	Μίκρο επίπεδο προς το μάκρο	Μεγάλος αριθμός πρακτόρων		
Μικροαναλυτικά Μοντέλα Προσομοίωσης	Στατικά και Δυναμικά μοντέλα μικροπροσομοιώσεις	Καμία αλληλεπίδραση μεταξύ των πρακτόρων	Μίκρο και μάκρο επίπεδο	Πράκτορες με υψηλή πολυπλοκότητα	Δειγματοληπτική έρευνα	



## Κυψελοειδή Αυτόματα

Ιδιότητα  
γειτνίασης-  
τοπικότητας

Πλέγμα σε μία  
δεδομένη  
διάσταση

Αριθμός  
κελιών  
(cells) με  
διαφορε-  
τικούς  
κανόνες

Μεγάλος  
αριθμός  
πρακτόρων

Δυναμική  
μεταβολή  
της  
κατάστα-  
σης του  
κελιού στο  
χρόνο

**Πίνακας 12-1: Χαρακτηριστικά γνωρίσματα της κάθε μεθόδου προσομοίωσης**

Τα στοιχεία που συγκεντρώνονται στον πίνακα 12-1 θα αναλυθούν στις επόμενες ενότητες, στις οποίες θα υπογραμμιστούν οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων προσομοίωσης και οι εφαρμογές τους.

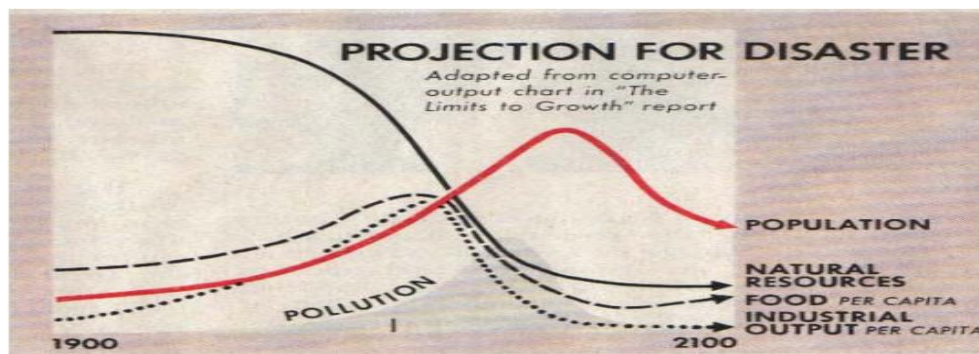
### 12.1.1 System Dynamics και εφαρμογές

Η System Dynamics έχει βρει εφαρμογή σε πολλά πεδία, όπως τον πληθυσμό, την οικολογία και τα οικονομικά συστήματα, τα οποία συνήθως αλληλεπιδρούν έντονα το ένα με το άλλο.

Το πιο γνωστό μοντέλο SD είναι ίσως αυτό που δημιουργήθηκε το 1972, που αφορά τα όρια της ανάπτυξης στον πλανήτη μας. Αυτό το μοντέλο που περιγράφεται στο βιβλίο "The Limits to Growth", προέβλεψε ότι η εκθετική ανάπτυξη θα οδηγήσει σε οικονομική κατάρρευση κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα. Επιδεικνύει πώς το μοντέλο της συστημικής δυναμικής που παρουσιάζεται, είναι ένα σημαντικό εργαλείο πρόβλεψης και κατανόησης της μελλοντικής κατάστασης όσον αφορά τα όρια του πλανήτη μας.

Πέντε μεταβλητές εξετάστηκαν στο αρχικό μοντέλο. Αυτές οι μεταβλητές είναι: ο παγκόσμιος πληθυσμός, η εκβιομηχάνιση, η ρύπανση, η παραγωγή τροφίμων και η εξάντληση των πόρων. Οι επιστήμονες που ασχολήθηκαν αυτό το μοντέλο προσομοίωσης είχαν σαν στόχο να διερευνήσουν τις δυνατότητες του βιώσιμου αυτού μοντέλου ανάδρασης, μέσα από τις αλλαγές που θα παρουσιάζονται μεταξύ των πέντε μεταβλητών σε τρία διαφορετικά σενάρια. Τα δύο από τα σενάρια οδήγησαν στην «κατάρρευση» του παγκόσμιου συστήματος από τα μέσα έως τα τέλη του 21ου αιώνα, ενώ ένα τρίτο σενάριο οδήγησε σε ένα «σταθεροποιημένο» κόσμο.

Το βιβλίο «Τα όρια της ανάπτυξης» (The Limits to Growth) έγινε ένα διεθνές best seller. Οι εφημερίδες και τα περιοδικά ειδήσεων γέμισαν με άρθρα σχετικά με αυτό. Η πρόβλεψη για την καταστροφή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 12-1: Standard simulation από τη μελέτη δημοσιευμένη στο Time magazine, Jan 24, 1972

Μελετώντας κάποια δοκίμια από το συγκεκριμένο βιβλίο (<http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>) παρατηρήθηκε ότι για την συγκεκριμένη προσομοίωση μελετήθηκαν πολλοί παράγοντες οι οποίοι θα άλλαζαν με την πάροδο του χρόνου. Δηλαδή οι ερευνητές του μοντέλου αυτού, έπρεπε να μελετήσουν πολλές αναδράσεις. Για παράδειγμα για να μελετηθεί η ποσότητα της παραγωγής της τροφής, θα πρέπει να μελετηθεί και το ποσοστό της καλλιεργήσιμης γης. Δηλαδή προκειμένου να μελετηθεί ένας παράγοντας πρέπει να ληφθούν υπόψη και πολλοί άλλοι.

Τέτοια συστήματα, για την προσομοίωσή τους καθιστούν τη system dynamics ως την «καταλληλότερη μέθοδο» προσομοίωσης, με την έννοια ότι τα αποτελέσματα τείνουν να είναι πιο κοντά στα πραγματικά δεδομένα λόγω του ότι η system dynamics είναι σχεδιασμένη ακριβώς για να λαμβάνει υπόψη της, πολλές ανατροφοδοτήσεις και να λειτουργεί κάτω από μία ολιστική προσέγγιση, δίνοντας ιδιαίτερη σημασία σε πολλούς παράγοντες ή ακόμα και σε διαφορετικά συστήματα τα οποία αλληλοσυσχετίζονται.

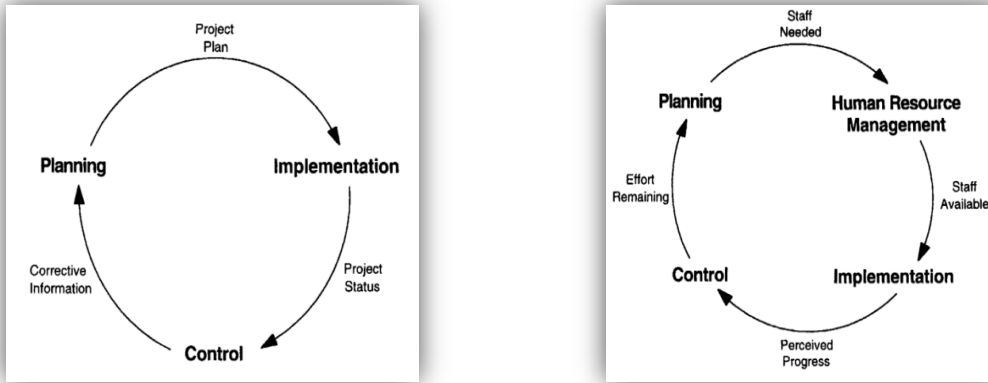
Όταν η πολυπλοκότητα αυξάνει, είναι δύσκολο για το μελετητή να κινείται με βασικό λογισμό μόνο την αιτιοκρατία. Στα περιβάλλοντα υψηλής πολυπλοκότητας όπως είναι για παράδειγμα οι ζωντανοί οργανισμοί, τα κοινωνικά ή οικονομικά συστήματα οι αιτίες διαπλέκονται, δημιουργούν κυκλικούς ενισχυτικούς μηχανισμούς, παρουσιάζουν υστερήσεις και δεν μπορούν να συσχετιστούν εύκολα με ευδιάκριτα αποτελέσματα. Επόμενο είναι να απαιτείται μια διαφορετική, ολιστική προσέγγιση η οποία θα είναι σε θέση να αντιμετωπίζει την πολυπλοκότητα και να

επιτρέπει στον παρατηρητή να λογίζεται ικανοποιητικά. Η προσέγγιση αυτή είναι η συστημική ανάλυση η οποία αποτελείται από χρήσιμα εργαλεία διάγνωσης, σχεδιασμού και ανάλυσης.

Επομένως η system dynamics μπορεί να βρει εφαρμογή στη μελέτη της οικονομίας, η οποία αποτελείται από το οικονομικό σύστημα μιας χώρας ή άλλης μονάδας της ανθρώπινης κοινωνίας και περιλαμβάνει το εργατικό δυναμικό, το κεφάλαιο, τους φυσικούς πόρους, την παραγωγή, το εμπόριο, τη διανομή και την κατανάλωση αγαθών και υπηρεσιών στην περιοχή που η ανθρώπινη κοινωνία δραστηριοποιείται. Αυτοί οι παράγοντες δίνουν το πλαίσιο της προσομοίωσης της system dynamics και δημιουργούν πολλές ανατροφοδοτήσεις.

Αντίστοιχα η system dynamics χρησιμοποιείται για την προσομοίωση περιβαλλοντικών και κοινωνικών συστημάτων, όπου απαιτούνται πολλοί συσχετισμοί μεταξύ των παραγόντων που πρέπει να μελετηθούν, καθώς επίσης και στην προσομοίωση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, χαρακτηριστικό παράδειγμα το οποίο δίνεται στην παρούσα εργασία, στο οποίο προσομοιώνεται η συμπεριφορά των εργαζομένων στο περιβάλλον εργασίας τους.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι στο μεγάλο εύρος εφαρμογών της system dynamics, ανήκουν και οι εφαρμογές της στο πεδίο της Διαχείρισης Έργων (Project Management). Οι εφαρμογές αυτές τείνουν να παρουσιάζουν εξαιρετικά αποτελέσματα σε σύγκριση με τον παραδοσιακό τρόπο που χρησιμοποιείται το project management. Στην παραδοσιακή προσέγγιση του project management, η εκτίμηση της κατάστασης του έργου βασίζεται στη σύγκριση της τρέχουσας κατάστασής του, με τον αρχικό προϋπολογισμό. Μόλις διαπιστωθεί κάποια απόκλιση πραγματοποιούνται διορθωτικές κινήσεις, οι οποίες έχουν σκοπό να υποστηρίξουν εκ νέου το σχεδιασμό του έργου και οι οποίες καθορίζουν λεπτομερώς τις αποκλίσεις, οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν το χρονοδιάγραμμα και την υπέρβαση κόστους των συγκεκριμένων δραστηριοτήτων και του συνόλου του έργου. Αντιθέτως, ο πρωταρχικός στόχος ενός μοντέλου της system dynamics στο πεδίο του project management, είναι να επικεντρωθεί στις μεγάλες διαδικασίες ανατροφοδότησης, που είναι υπεύθυνες για τη συμπεριφορά του συστήματος του έργου, χωρίς να υπάρξει ιδιαίτερη ενασχόληση με τα αναλυτικά στοιχεία του έργου. Η διαδικασία διαχείρισης του έργου μέσω της system dynamics, ασχολείται έντονα με τον το ανθρώπινο παράγοντα και τις διευθυντικές ανάγκες. Οι περιοχές που επικεντρώνεται η system dynamics στον τομέα αυτό, φαίνεται στην εικόνα που δίνεται κάτω δεξιά, ενώ τα πεδία της παραδοσιακής προσέγγισης του project management, κάτω αριστερά.



**Εικόνα 12-2: Παραδοσιακή προσέγγιση του project management (αριστερά) και προσέγγιση της system dynamics (δεξιά)**

Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται κατά την παραδοσιακή προσέγγιση (όπως διαγράμματα Gantt και PERT), δίνουν έμφαση στη δομή εργασιών του έργου που είναι πιο εξειδικευμένες, ενώ παράλληλα υποθέτουν μια λεπτομερή εικόνα των επιμέρους τμημάτων της διαδικασίας διαχείρισης του έργου. Αυτή η προσέγγιση εξετάζει αναλυτικά τις άμεσες αιτίες του εκτιμώμενου κόστους του έργου και τη διάρκειά του. Οι παραδοσιακές τεχνικές είναι πιο άκαμπτες, επιβάλλοντας μια συγκεκριμένη άποψη όσον αφορά το έργο. Αυτό μπορεί να διευκολύνει την εφαρμογή τους, αλλά είναι εις βάρος κάποιων άλλων στοιχείων, διότι με το να εξασφαλίζουν την αυστηρή παρακολούθηση του παρελθόντος του έργου, η άποψή τους για το μέλλον εστιάζεται σε μια «προγραμματισμένη επιτυχία».

Σε αντίθεση, τα μοντέλα προσομοίωσης της system dynamics παρέχουν τη δυνατότητα να δοκιμαστούν διάφορα σενάρια που αφορούν το έργο, παρέχοντας μια σαφέστερη και ίσως πιο ρεαλιστική άποψη της πιθανής μελλοντικής συμπεριφοράς. Ένα μοντέλο της system dynamics δεν παρουσιάζει λεπτομερώς τις άμεσες αιτίες του εκτιμώμενου κόστους του έργου και τη διάρκεια, αλλά υπολογίζει με ακρίβεια τις έμμεσες αιτίες που προκύπτουν από τις διαδικασίες ανάδρασης, που είναι συχνά υπεύθυνες για την υπέρβαση του προϋπολογισμού. Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας ο οποίος αφορά τη σύγκριση των χαρακτηριστικών του παραδοσιακού project management και του project management με την προσέγγιση της system dynamics.

	Παραδοσιακή Προσέγγιση	Προσέγγιση της System Dynamics
Παράγοντες που υπολογίζονται	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η λογική της δομής της εργασίας</li> <li>• Το κόστος των πόρων</li> <li>• Το έμμεσο κόστος</li> <li>• Περιορισμοί σχετικά με τη διαθεσιμότητα των πόρων</li> <li>• Απαιτήσεις των εργασιακών πόρων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ποιότητα εργασιακής απόδοσης</li> <li>• Η παραγωγικότητα του προσωπικού</li> <li>• Το επίπεδο της εμπειρίας, της μάθησης και της κατάρτισης του προσωπικού</li> <li>• Πίεση που ασκείται στο προσωπικό</li> <li>• Ασυμφωνία των αντιλήψεων και της πραγματικότητας</li> <li>• Τα κίνητρα του προσωπικού</li> <li>• Σχέση πελάτη και έργου</li> </ul>
Διευθυντικές Αποφάσεις	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εξισορρόπηση κόστους-χρόνου</li> <li>• Αλλαγές στο πρόγραμμα Δραστηριοτήτων</li> <li>• Προγραμματισμός των πόρων της κάθε δραστηριότητας</li> <li>• Αλλαγές της λογικής του έργου για την οργάνωση των εργασιών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πρόσληψη προσωπικού vs καθυστέρηση του έργου</li> <li>• Εισαγωγή νέων τεχνολογιών</li> <li>• Προσπάθεια για τη διασφάλιση της ποιότητας</li> <li>• Εξισορρόπηση κόστους-χρόνου: πρόσληψη προσωπικού</li> <li>• Multiproject προγραμματισμός (Multiproject scheduling)</li> <li>• Multiproject κατανομή του προσωπικού (Multi-project staff allocation)</li> <li>• Εκτίμηση του χρονοδιαγράμ-</li> </ul>

Αβέβαια Γεγονότα	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οι καθυστερήσεις στην ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων</li> <li>• Περιορισμοί στο πρόγραμμα των δραστηριοτήτων</li> <li>• Περιορισμός των διαθέσιμων πόρων</li> <li>• Αβεβαιότητα στη διάρκεια των δραστηριοτήτων (προσομοίωση)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αλλαγές της Ημερομηνίας ολοκλήρωσης στο χρονοδιάγραμμα</li> <li>• Αλλαγές στο πεδίο εργασιών του έργου</li> <li>• Αλλαγές στο επίπεδο της ποιότητας και της παραγωγικότητας</li> <li>• Καθυστερήσεις στην παροχή πληροφοριών και τα υλικά, μεταξύ πελάτη και προμηθευτή</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διάρκεια του έργου</li> <li>• Κόστος του έργου</li> <li>• Κατανομή των πόρων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διάρκεια του έργου</li> <li>• Κόστος του έργου</li> <li>• Κατανομή του προσωπικού</li> <li>• Ζήτηση του προσωπικού (Demand on staff)</li> </ul>
Βασικός Υπολογισμός		

Πίνακας 12-2: Παραδοσιακή προσέγγιση του project management και προσέγγιση της system dynamics

### 12.1.2 Multi-agent based simulations και εφαρμογές

Η προσομοίωση με τη χρήση πρακτόρων λογισμικού (εμφανίζεται επίσης ως σύστημα πολλών πρακτόρων ή άλλες φορές ως πολυπρακτορικά συστήματα προσομοίωσης) είναι μια κατηγορία από υπολογιστικά μοντέλα για την προσομοίωση των ενεργειών και των αλληλεπιδράσεων των αυτόνομων πρακτόρων (που μπορεί να αναφέρονται τόσο σε ατομικές όσο και σε συλλογικές οντότητες όπως οργανώσεις ή ομάδες), με σκοπό την αξιολόγηση των επιπτώσεών τους στο συλλογικό προς εξέταση σύστημα. Τα μοντέλα που υλοποιούνται, προσομοιώνουν ταυτόχρονες κινήσεις, τις προσπάθειες των πρακτόρων να καταφέρουν το σκοπό τους και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πρακτόρων σε μία προσπάθεια να προβλεφθούν οι

καταστάσεις και τα αποτελέσματα των σύνθετων φαινομένων που μοντελοποιούνται μέσα σε ένα ορισμένο περιβάλλον δράσης των πρακτόρων.

Το πεδίο των εφαρμογών των Multi-agent based προσομοιώσεων, προσδιορίζεται στα εξής πεδία, μετά από τη μελέτη πολλών ερευνητικών papers:

- Ένα κοινωνικό σύστημα αποτελείται από ένα σύνολο ανθρώπων με προσωπικούς στόχους, οι οποίοι μπορούν να είναι και αλληλοσυγκρουόμενοι.
- Ένας οργανισμός στην προκειμένη περίπτωση ορίζεται ως μία δομή από άτομα τα οποία αλληλοσυσχετίζονται σκόπιμα προκειμένου να φέρουν εις πέρας ένα είδος δραστηριότητας. Τα άτομα που ανήκουν σε έναν οργανισμό έχουν κοινούς στόχους μεταξύ τους. Ο στόχος της προσομοίωσης σε αυτή την περίπτωση, θα μπορούσε να αξιολογήσει διαφορετικές προσεγγίσεις του προγραμματισμού των καθηκόντων εργασίας, με σκοπό την επιτάχυνση της ολοκλήρωσης των επιχειρηματικών διαδικασιών.
- Ένα οικονομικό σύστημα είναι μία οργανωμένη δομή από πράκτορες (άτομα ομάδες ή επιχειρήσεις) που πραγματοποιούν συναλλαγές αγαθών ή υπηρεσιών σε μία αγορά. Οι εφαρμογές που θεωρούμε ότι μπορούν να υποστηριχτούν από τις Multi-agent based προσομοιώσεις σε αυτό το πεδίο, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ώστε να αναλυθούν οι αλληλεπιδράσεις και οι δραστηριότητες των οντοτήτων στο σύστημα που μελετάται, προκειμένου να κατανοήσουμε πώς η αγορά ή η οικονομία μπορεί να εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου και πώς οι συμμετέχοντες σε ένα οικονομικό σύστημα αντιδρούν στην αλλαγή των οικονομικών πολιτικών του περιβάλλοντος όπου το σύστημα λειτουργεί.
- Σε ένα οικολογικό σύστημα τα ζώα και τα φυτά ζουν και αναπτύσσονται, έχοντας σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ τους και ανεξαρτησίας με το περιβάλλον. Ο σκοπός της προσομοίωσης σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσε να εκτιμήσει τις συνέπειες από μία καταστροφή της χλωρίδας, λόγω της εισβολής κάποιας ασθένειας των φυτών, σε μία αγροτική περιοχή.
- Μία κοινωνία από ζώα αποτελείται από έναν αριθμό αλληλεπιδρώντων ζώων, όπως μία κοινότητα μυρμηγκιών ή μία κοινότητα πτηνών. Ο σκοπός της προσομοίωσης σε αυτή την περίπτωση, θα ήταν η καλύτερη κατανόηση των ατομικών συμπεριφορών που δημιουργούν αναδυόμενα φαινόμενα, όπως για παράδειγμα η δημιουργία ενός σμήνους πουλιών.
- Ένα βιολογικό σύστημα αποτελείται από λειτουργικά όργανα που έχουν ενσωματωθεί και λειτουργούν συνεργατικά σε ένα ζωντανό οργανισμό, για παράδειγμα ένα υποσύστημα του ανθρώπινου σώματος. Σκοπός της προσομοίωσης σε αυτό το πεδίο θα μπορούσε να αποτελέσει η επαλήθευση θεωριών, όπως για παράδειγμα η ρύθμιση γλυκόζης-ινσουλίνης μέσα στο ανθρώπινο σώμα.



### 12.1.3 Σύγκριση της Multi-agent based προσομοίωσης με τη System Dynamics και τη μικροπροσομοίωση

Αξίζει να αναφερθεί ότι η agent-based προσομοίωση δεν προτιμάται σε ορισμένα πεδία. Οι agent-based προσομοιώσεις μπορούν να συγκριθούν (λόγω ομοιότητας σε αρκετά σημεία) με την προσομοίωση με τη μέθοδο system dynamics καθώς και με τη μικροπροσομοίωση.

Η μικροπροσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει τις επιπτώσεις στην κοινωνική ασφάλιση, στην φορολογία και στις συντάξεις. Για παράδειγμα μπορεί να φανεί χρήσιμη στην αξιολόγηση των επιπτώσεων που προκύπτουν από την αλλαγή του εισοδήματος. Ένα πλεονέκτημα των μοντέλων μικροπροσομοίωσης είναι ότι δεν ξεκινούν από κάποιους υποθετικούς ή τυχαία δημιουργημένους πράκτορες, αλλά από ένα πραγματικό δείγμα, όπως περιγράφεται από μια δειγματοληπτική έρευνα. Ως εκ τούτου, είναι σχετικά εύκολο, σε σύγκριση με τα agent-based μοντέλα, να κάνει προβλέψεις για τη μελλοντική κατάσταση ενός πραγματικού πληθυσμού. Όμως υπάρχουν δύο βασικά μειονεκτήματα. Πρώτον, η διαδικασία της γήρανσης απαιτεί πολύ λεπτομερείς πίνακες μετάβασης που καθορίζουν την πιθανότητα ένας πράκτορας τη δεδομένη χρονική στιγμή που βρίσκεται σε συγκεκριμένη κατάσταση, να αλλάξει σε κάποια άλλη κατάσταση για το επόμενο έτος. Για παράδειγμα, κάποιος πρέπει να γνωρίζει ποια είναι η πιθανότητα για έναν άνθρωπο ο οποίος είναι άνεργος, να βρει δουλειά ένα χρόνο αργότερα. Επιπλέον λόγω του ότι αυτή η πιθανότητα μπορεί να διαφέρει από άντρα σε γυναίκα, γυναίκες με ή χωρίς παιδιά, νέους και ηλικιωμένους ανθρώπους κλπ, είναι αναγκαία η χρήση ενός πίνακα από πιθανότητες, για κάθε συνδυασμό των επιμέρους καταστάσεων. Η απόκτηση αξιόπιστων εκτιμήσεων για αντίστοιχους πίνακες μετάβασης, μπορεί να είναι πολύ δύσκολη, απαιτώντας εκτίμηση από πολύ μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Δεύτερον, κάθε παράγοντας υφίσταται γήρανση μεμονωμένα και αντιμετωπίζονται απομονωμένα σε σχέση με τον υπόλοιπο κόσμο. Η μικροπροσομοίωση δεν επιτρέπει καμία αλληλεπίδραση μεταξύ των πρακτόρων και τυπικά δεν λαμβάνει υπόψη της την έννοια του χώρου ή τη γεωγραφία. Έτσι, για παράδειγμα, είναι δύσκολο να ληφθεί υπόψη η πιθανότητα ένας άνεργος να βρει μία θέση εργασίας αν ζει σε μια περιοχή όπου το ποσοστό ανεργίας είναι υψηλό.

Σε σύγκριση με τη system dynamics, η agent-based προσομοίωση ασχολείται με επιμέρους πράκτορες και όχι με ομαδοποιημένους. Για το λόγο αυτό, με τη system dynamics είναι πολύ δύσκολο να προσομοιωθεί η ετερογένεια μεταξύ των πρακτόρων, αν και θα μπορούσε, να υπάρξει ένα ξεχωριστό σημείο συσσώρευσης (stock) για κάθε διαφορετικό τύπο πράκτορα. Στην πράξη όμως αυτό γίνεται εξαιρετικά περίπλοκο. Είναι επίσης δύσκολο να αναπαραστήσουμε συμπεριφορές



πρακτόρων που εξαρτώνται από την προηγούμενη εμπειρία του πράκτορα, τη μνήμη, ή τη μάθηση.

Από την άλλη πλευρά, επειδή χαρακτηρίζεται από ολιστική προσέγγιση, η προσέγγιση της system dynamics είναι ιδανική για θέματα όπου υπάρχουν μεγάλοι πληθυσμοί από πράκτορες με παρόμοια συμπεριφορά. Επομένως η system dynamics ήταν η κατάλληλη μέθοδος, για παράδειγμα για τα μοντέλα του Forrester (system dynamics) πάνω στην παγκόσμια οικονομία, διότι η ατομική δράση ήταν ασήμαντη και το επίκεντρο της έρευνας αφορούσε την κατάσταση που θα επικρατήσει σε όλο τον κόσμο σαν σύνολο.

#### 12.1.4 Cellular Automata και εφαρμογές

Στα κυψελοειδή αυτόματα, το υπό μελέτη σύστημα χωρίζεται σε κυψέλες, με συγκεκριμένη θέση στο χώρο οι οποίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Η επαναληπτική αυτή διαδικασία προσομοίωσης, ενδείκνυται για πολύπλοκα φαινόμενα με χωρικές διαστάσεις τα οποία είναι δύσκολο να μοντελοποιηθούν με άλλες τεχνικές.

Τα μοντέλα των κυψελοειδών αυτόματων προσεγγίζουν την εξέλιξη ενός συστήματος βάσει τοπικών συσχετίσεων. Παρουσιάζουν ομοιότητες με τα δυναμικά συστήματα, αλλά διαφοροποιούνται σε δύο σημεία. Τα cellular automata είναι εγγενώς χωρικές οντότητες και παρέχουν άμεση σύνδεση μεταξύ των μικροσκοπικών και μακροσκοπικών μεγεθών.

Σε περιβάλλοντα στα οποία δεν υπάρχει ένα καθορισμένο πλαίσιο για την προσομοίωση ενός κοινωνικού φαινομένου, δηλαδή σε περιβάλλοντα στα οποία υπάρχει σημαντική ενδογενής χωρική και χρονική ετερογένεια, αλλά και ετερογένεια σε επίπεδο λήψης αποφάσεων, η πιο αποτελεσματική μέθοδος προσομοίωσης είναι τα κυψελοειδή αυτόματα. Όπως για παράδειγμα για τη μοντελοποίηση του κοινωνικού φαινομένου της αστικής επέκτασης ή για παράδειγμα στην μελέτη της χρήσης μιας γλώσσας σε μία περιοχή, αντίστοιχο παράδειγμα περιγράφεται λεπτομερώς σε προηγούμενες σελίδες της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Συγκεκριμένα τα μοντέλα των κυψελοειδών αυτόματων δύο διαστάσεων έχουν εφαρμοστεί για την κατανόηση του φυσικού περιβάλλοντος, αλλά επίσης και για την κατανόηση του ανθρώπινου κόσμου. Εξελιγμένα μοντέλα κυψελοειδών αυτομάτων έχουν βρει ως την πιο διαδεδομένη μέχρι σήμερα εφαρμογή τους, για τη μελέτη της ανάπτυξης των πόλεων στην πάροδο του χρόνου. Η έκταση της πόλης χωρίζεται σε κυψέλες. Σε αυτή την περίπτωση, μπορεί να επιτρέπεται στις κυψέλες να παρουσιάσουν αρκετές διαφορετικές καταστάσεις ταυτόχρονα ώστε να αντικατοπτρίζεται η μεγάλη ποικιλία συνδυασμών που είναι δυνατόν να παρατηρηθούν σε μια πραγματική πόλη. Για παράδειγμα, μια μικρή περιοχή του

αστικού χώρου μπορεί να περιέχει μια σειρά διαφορετικών χρήσεων γης (όπως κατοικίες, καταστήματα, γραφεία, βιομηχανικά κτίρια), κτισμένα με διαφορετικό τρόπο για παράδειγμα σε πολυώροφα μπλοκ ή σε ένα συγκρότημα κατοικιών χαρακτηριζόμενα από διαφορετικές τιμές ακινήτων, και ούτω καθεξής. Επομένως, τα συστήματα αυτά όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα χαρακτηρίζονται από χωρική ετερογένεια προκειμένου να μιμηθούν την πραγματικότητα. Αυτό το χαρακτηριστικό τους αποτελεί και ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της κατηγορίας των μεθόδων προσομοίωσης.

Ένα από τα πιο γνωστά μοντέλα που έχει αναπτυχθεί και έχει χρησιμοποιηθεί σε πολυάριθμες μελέτες προσομοιώσεων είναι το μοντέλο Sleuth που παρουσιάστηκε αρχικά το 1997 και έκτοτε έχει εφαρμοσθεί σε πάρα πολλές περιοχές. Το μοντέλο αυτό μπορεί να προσομοιώσει τις γενικότερες μεταβολές των χρήσεων της γης. Συνολικά αναγνωρίζει τέσσερις μορφές εξέλιξης: την αυθόρμητη ανάπτυξη, την επέκταση της αυθόρμητης ανάπτυξης, την επέκταση των αστικών περιοχών και την επέκταση κατά μήκος των οδικών αξόνων. Το Sleuth έχει εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο αριθμό περιπτώσεων στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής καθώς και στην Ευρώπη ιδιαίτερα στις πόλεις Πόρτο και Λισσαβώνα της Πορτογαλίας (Silva & Clarke 2005).

Σε αυτή την περιοχή προσομοιώσεων μετά το 2001 άρχισαν να βρίσκουν εφαρμογές και τα συστήματα πολλών πρακτόρων για την μοντελοποίηση της δυναμικής του πληθυσμού. Έτσι άρχισε έκτοτε να ωριμάζει, στην επιστημονική κοινότητα, η ιδέα του συνδυασμού των cellular automata με τα συστήματα των πρακτόρων. Σε επίπεδο σύλληψης βέβαια δύο αυτές τεχνικές είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, διαφέρουν όμως πρακτικά σε ένα σημείο: οι πράκτορες μπορούν να μετακινηθούν στο χώρο ενώ τα κυψελοειδή αυτόματα όχι.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών της συγκεκριμένης μεθόδου προσομοίωσης βρίσκει τεράστιο αντίκρισμα στον τομέα της φυσικής και ιδιαίτερα της Υπολογιστικής Ρευστομηχανικής (Computational Fluid Dynamics, CFD) καθώς και στον τομέα της βιολογίας. Τα πιο γνωστά παραδείγματα της χρήσης των κυψελοειδών αυτόματων στην βιβλιογραφία της βιολογίας, χαρακτηρίζονται ως «excitable media» τα οποία μιμούνται τη συμπεριφορά των νευρικών κυττάρων, των μυϊκών κυττάρων, της καρδιακής λειτουργίας και των χημικών αντιδράσεων του σώματος.

## 12.2 Συμπεράσματα και λόγος της χρήσης της κοινωνικής προσομοίωσης έναντι των άλλων πειραματικών μεθόδων

Η δημιουργία των μοντέλων προσομοίωσης κρίνεται χρήσιμη, διότι ο σκοπός τους είναι να γίνει κατανοητό καλύτερα ένα κοινωνικό φαινόμενο, όπως ο σχηματισμός γνώμων των ατόμων μιας κοινωνίας ή η διασπορά ενός πολιτισμού, να προβλεφθούν οι μελλοντικές τιμές των μεταβλητών που μας ενδιαφέρουν, όπως τα φορολογικά έσοδα μετά από κάποια τροποποίηση του φορολογικού συστήματος, ή η ανάπτυξη ανθρωπίνων ικανοτήτων όπως ένας προσομοιωτής πτήσης με τον οποίο οι πιλότοι μπορούν να εκπαιδευθούν, προκειμένου να αποφευχθεί η συντριβή ενός πραγματικού αεροπλάνου.

Οι αντίπαλοι των προσομοιώσεων με ηλεκτρονικό υπολογιστή, όσον αφορά τις κοινωνικές επιστήμες, εκφράζουν την ανησυχία τους πάνω στο γεγονός ότι οι πιο ενδιαφέρουσες πτυχές των ανθρωπιστικών και των κοινωνικών επιστημών, δεν μπορεί να συλληφθεί από έναν επίσημο μηχανισμό. Σύμφωνα με αυτή την άποψη, οι προσομοιώσεις σε ηλεκτρονικό υπολογιστή δεν θα μπορούσαν ποτέ να περιγράψουν πλήρως τον πλούτο των ψυχολογικών και κοινωνικών διεργασιών. Ειδικά οι άνθρωποι που ανήκουν σε ένα κοινωνικό πλαίσιο, είναι πολύ δύσκολο να συλληφθούν από ένα πρόγραμμα προσομοίωσης. Στην κοινωνική πραγματικότητα το αποτέλεσμα των περισσότερων διαδικασιών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Στις κοινωνικές επιστήμες η πιθανότητα μιας λανθασμένης υπόθεσης είναι υψηλότερη από ό, τι στις φυσικές επιστήμες. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη το πλήθος των παραγόντων που επηρεάζουν κάθε κοινωνική διαδικασία, δεν είναι δυνατόν όλες οι υποθέσεις των προσομοιώσεων να είναι σωστές. Επιπλέον, πολλά από τα στοιχεία που έχουν σημασία για την πρόβλεψη είναι ιδιοσυγκρασιακά και πρακτικά αδύνατα η καταχώρησή τους στις προσομοιώσεις των υπολογιστών. Αυτές είναι κάποιες από τις απόψεις που έχουν οι αντίπαλοι των κοινωνικών προσομοιώσεων.

Οι δύο κύριοι λόγοι που χρησιμοποιούνται οι προσομοιώσεις είναι οι εξής (κατόπιν θα αναλυθούν όλοι). Πρώτον για να αντιμετωπισθούν προβλήματα με μεγάλη πολυπλοκότητα, τα οποία δεν επιδέχονται εύκολες αναλυτικές λύσεις ή η επίλυσή τους χωρίς τη βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή θα ήταν απίστευτα χρονοβόρα υπόθεση και δεύτερον για να εξοικονομήσουμε χρόνο και χρήμα μέσα από τους ελέγχους/δοκιμές των λύσεων με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή, που θα απαιτούσαν δαπανηρές δοκιμές διαφορετικά.

Το κόστος του να καταλήξουμε σε λάθος λύση, με τη χρήση λάθος παραδοχών, είναι υψηλό. Μια ποσοτική ακριβής και αξιόπιστη απάντηση αναμένεται συνήθως από τις ποσοτικές προσομοιώσεις που έχουν πραγματοποιηθεί. Γι αυτό το λόγο τέτοιου είδους προσομοιώσεις πρέπει να βασίζονται σε ελεγμένη θεωρία, διαφορετικά μια λάθος αποδοχή των αποτελεσμάτων θα μπορούσε να οδηγήσει στην καταστροφή, όπως για παράδειγμα η συντριβή ενός αεροσκάφους.

Βέβαια η απόκτηση αξιόπιστων ποσοτικών απαντήσεων μέσω της προσομοίωσης, στο πεδίο των κοινωνικών επιστημών, είναι ακόμα αρκετά δύσκολη, λόγω του γεγονότος ότι στις κοινωνικές επιστήμες οι σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών δεν υπακούουν σε κάποια στοχαστική διαδικασία. Στις κοινωνικές επιστήμες οι προσομοιώσεις αποτέλεσαν ένα σημαντικό εργαλείο, για την ανάπτυξη της θεωρίας των μη γραμμικών δυναμικών συστημάτων, που αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό γεγονός της δεκαετίας του '80 στις κοινωνικές επιστήμες.

Τα βασικά χαρακτηριστικά που μας κάνουν να δεχόμαστε την προσομοίωση ως μία αποτελεσματική μέθοδο η οποία υπερτερεί των άλλων πειραματικών μεθόδων, που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- Κόστος

Ο πειραματισμός στην πραγματική ζωή είναι αρκετά δαπανηρός. Αυτό δεν οφείλεται μόνο στην κεφαλαιουχική δαπάνη για την πρόσληψη νέου προσωπικού, ή η αγορά νέου εξοπλισμού, αλλά και το κόστος από τις επιπτώσεις αυτών των αποφάσεων. Θα πρέπει για παράδειγμα να αναλογιστούμε τι θα γινόταν αν προσλαμβάναμε στην επιχείρησή μας, τρία άτομα ως προσωπικό και στη συνέχεια να αποδεικνυόταν ότι τα άτομα αυτά δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν το φόρτο εργασίας, με αποτέλεσμα να χάνονται πελάτες. Το μόνο κόστος με προσομοίωση είναι το κόστος του λογισμικού και οι εργατοώρες για την κατασκευή της προσομοίωσης.

- Επαναληψιμότητα

Προσφέρει τη δυνατότητα επανάληψης και πλήρους ενόρασης του συστήματος, το οποίο εξετάζεται με τη μέθοδο αυτή απ' όλες τις πλευρές. Στην πραγματική ζωή, είναι πραγματικά πολύ δύσκολο να επαναλάβουμε τις ακριβώς τις ίδιες διαδικασίες. Έτσι υπάρχει μόνο μία ευκαιρία να συγκεντρώσουμε κάποια αποτελέσματα και δεν μπορούμε να δοκιμάσουμε νέες ιδέες υπό τις ίδιες ακριβώς συνθήκες. Έτσι, δεν γνωρίζουμε ποιά ιδέα είναι πραγματικά η καλύτερη. Με τη μέθοδο της προσομοίωσης, μπορούμε να δοκιμάσουμε το ίδιο σύστημα ξανά και ξανά με διαφορετικές εισόδους, επομένως να καταλήξουμε και στη λύση που θέλουμε.

- Χρόνος

Με τη μέθοδο της προσομοίωσης μπορούμε να ελέγξουμε ένα αποτέλεσμα, από τη μελέτη του συστήματος που μας ενδιαφέρει σε σύντομο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα σε περίπτωση που θέλουμε να μάθουμε αν με την πρόσληψη επιπλέον τριών γιατρών θα μειώσουμε τις λίστες αναμονής των ασθενών κατά τα επόμενα 2 χρόνια θα πρέπει πραγματικά να περιμένουμε δύο χρόνια. Με την προσομοίωση μπορούμε να ελέγξουμε αυτό το σενάριο για δύο, δέκα ή ακόμα και εκατό χρόνια σε

δευτερόλεπτα. Έτσι, μπορούμε να πάρουμε μία απάντηση τώρα, και όχι όταν είναι πολύ αργά για να κάνουμε κάτι για το ζήτημα που διερευνούμε.

Τα βασικά χαρακτηριστικά που κάνουν την προσομοίωση να υπερτερεί των μαθηματικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- Μη αντιπροσωπευτικές προσεγγίσεις

Πολλές μαθηματικές τεχνικές αναγκάζουν τον κατασκευαστή του μοντέλου να περιγράψει μια κατάσταση ως μια προσέγγιση, λόγω του ότι τα μαθηματικά μοντέλα αρκετές φορές είναι πιο αφηρημένα από τα μοντέλα της προσομοίωσης. Για παράδειγμα χρειάζεται κατά μέσο όρο πέντε λεπτά για να εξυπηρετηθεί κάθε πελάτης. Στην πραγματική ζωή δεν μπορεί να υπάρξει αυτή η περίπτωση. Θα απαιτούνταν τρία λεπτά για να εξυπηρετήσει τον πελάτη, αν ο πελάτης είχε τέσσερα αντικείμενα, θα χρειάζονταν επτά λεπτά, αν είχε είκοσι αντικείμενα θα χρειαζόταν περισσότερος χρόνος κλπ. Η προσέγγιση σημαίνει ότι αποτελέσματα, όπως είναι ο χρόνος της χρησιμοποίησης των πόρων, και ο χρόνος αναμονής των πελατών είναι όλα μεγέθη ανακριβή. Αντιθέτως, η προσομοίωση παρέχει την ευελιξία να μπορεί περιγράψει τα γεγονότα και τους χρόνους, όπως πραγματικά είναι στην πραγματική ζωή.

- Πλήρης ενόραση

Η προσομοίωση παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου και μελέτης όλων των πτυχών της διαδικασίας. Η συγκέντρωση των δεδομένων και των κανόνων μας αναγκάζει να εξετάσουμε γιατί τα στοιχεία λειτουργούν με ένα συγκεκριμένο τρόπο και αν θα μπορούσαν να λειτουργήσουν καλύτερα. Φέρνει επίσης στην επιφάνεια τις αντιφάσεις και τις ανεπάρκειες, ιδίως μεταξύ διαφορετικών πτυχών μιας διαδικασίας που λειτουργούν ανεξάρτητα.

- Επικοινωνία

Επειδή η προσομοίωση χρησιμοποιεί οπτικά και κινούμενα σχέδια, επιτρέπει να περιγραφεί με σαφήνεια η πρότασή μας στους άλλους. Είναι πιο περιγραφική και ταυτόχρονα πειστική, σε σύγκριση με την εμφάνιση μόνο των τελικών αποτελεσμάτων, εφόσον οι άνθρωποι δεν μπορούν να γνωρίζουν από πού προέρχονται τα αποτελέσματα αυτά. Για το λόγο αυτό για παράδειγμα πολλές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν την προσομοίωση ως εργαλείο πωλήσεων των προϊόντα τους.

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η προσομοίωση μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να αποτελεί τη μοναδική προσέγγιση για τη λύση ενός προβλήματος. Ίσως αυτό και μόνο να καθιστά τη χρήση της μοναδική.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι η προσομοίωση είναι μια οικονομική μέθοδος που επιτρέπει τη μελέτη μιας μακροχρόνιας εξέλιξης, σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και μπορεί να υλοποιηθεί από μηχανικούς, οικονομολόγους κ.α., οι οποίοι δεν είναι απαραίτητο να έχουν εκτεταμένες μαθηματικές γνώσεις, παρά μόνο τη δυνατότητα κατανόησης κάποιων εννοιών στατιστικής.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, ασχοληθήκαμε με διαφορετικές τεχνικές προσομοίωσης, προσπαθώντας να προσομοιώσουμε κάποια πολύπλοκα κοινωνικά προβλήματα, πολλά από τα οποία μαστίζουν μεγάλο αριθμό ανθρώπων πάνω στη γη και κάποια από αυτά μας αφορούν όλους. Χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές προσομοίωσης, όπως η system dynamics, τα μικροαναλυτικά μοντέλα, τα κυψελοειδή αυτόματα, προσομοιώθηκαν και μελετήθηκαν πολλά κοινωνικά προβλήματα και εξήχθησαν συμπεράσματα από την κάθε μελέτη, για την καλύτερη μελλοντική αντιμετώπιση των κοινωνικών αυτών προβλημάτων.

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

Gilbert, Nigel, & Troitzsch, Klaus G. (1999). *Simulation for the social scientist*. Milton Keynes: Open University Press

Gilbert, G. Nigel. (1981). *Modelling society: An introduction to loglinear analysis for social researchers*. London: Allen and Unwin

Hegselmann, R. Mueller, U. & Troitzsch, K. G. (1996). *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*. Dordrecht

Euel Elliott and L. Douglas Kiel.(2004).*A Complex Systems Approach for Developing Public Policy Toward Terrorism: An Agent-Based Approach* Chaos, Solitons and Fractals

North, Michael J. & Macal, Charles M. (2007). *Managing Business Complexity: discovering strategic solutions with agent-based modeling and simulation*. New York: Oxford University Press

North, Michael J. & Macal, Charles M. (2005). *Tutorial on agent-based modeling and simulation*. In: Kuhl ME, Steiger NM, Armstrong FB, Joines JA (eds) Proceeding of the 2005 winter simulation conference, Orlando

Richardson, G.P. (2011). Reflections on the foundations of system dynamics. *System Dynamics Review* 27 (3):219-243

Sterman, J. D. 2000. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*: McGraw-Hill

Davies, E.G.R. (2007). *Modelling Feedback in the Society-Biosphere-Climate System*. PhD Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario, London, Ontario, Canada

Davies, E.G.R., and Simonovic. S.P. (2008). An Integrated System Dynamics Model for Analyzing Behaviour of the Social-Economic-Climatic System: Model Description and Model Use Guide. London, Ontario, Canada: University of Western Ontario

Davies, E.G.R., and S.P. Simonovic.(2010). ANEMI: a new model for integrated assessment of global change. *Interdisciplinary Environmental Review* 11 (2/3):127-161

Davies, E.G.R., and Simonovic. S.P. (2011). Global water resources modeling with an integrated model of the social-economic-environmental system. *Advances in Water Resources* 34 (6):684-700.

Alcomo, J., P. Döll, T. Henrichs, F. Kaspar, B. Lehner, T. Rösch, and S Siebert. (2003). Development and Testing of the WaterGAP 2 Global Model of Water Use and Availability. *Hydrological Sciences Journal* 48 (3):317-337

Alcom, J., Flörke M., and Märker. M. (2007). Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal* 52 (2):247-275

Yeh, G.Y, Eisenberg D.M, Kaptchuk T.J, Phillips R.S.(2003).Systematic review of herbs and dietary supplements for glycemic control in diabetes. *Diabetes Care*

Lombardo, Giovanni and Sutherland Alan.(2007). Computing Second-Order-Accurate Solutions for Rational Expectation Models using Linear Solution Methods', *Journal of Economic Dynamics and Control*, 31, 515-530

Bardaji, J., Sédillot B. and Walraet E. (2003). Un outil de prospective des retraites: le modèle de microsimulation Destinie, *Économie et prévision*

Curry, C. (1996). "PENSIM: A Dynamic Simulation Model of Pensioners' Incomes". London: Department of Social Security

Flood, L. (2007). *Can we Afford the Future? An evaluation of the new Swedish pension system, Modelling our future: population ageing, social security and taxation*

O'Donoghue, C. (2001). Dynamic Microsimulation: A Survey, *Brazilian Electronic Journal of Economics*

Packard, N.H. (1985). "Complexity of growing patterns in cellular automata", in: *Dynamical systems and cellular automata*

Wolfram, S. (1986). *Theory and applications of cellular automata*

Ninyoles, R.L. (2005). *Coneixement i ús social del valencià (síntesi de resultats)* [Knowledge and usage of Valencian (Summary of Results)], Servei d'Investigació i Estudis Sociolingüístics, Direcció General de Política Lingüística, Generalitat Valenciana, Valencia

CARLEY, KATHLEEN and LIN, ZHIANG. (1995). 'Organizational Designs Suited to High Performance Under Stress., 25(1), 221-230.' *IEEE - Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 25/1, 221-30.

Comfort, L.K., Ko, Kilkon, and Zagorecki, Adam. (2004). Coordination in Rapidly Evolving Disaster Response Systems: The Role of Information. *American Behavioral Scientist*, 48/3

Ritakallio, V.M. (2005). 'Tulonsiirrot—Köyhyys—Työttömyys - Turvaako perusturva?' Työttömien 12. valtakunnalliset ihmisoikeuspäivät 24.10.2005. Seis yhteiskunta - tahdomme sisään. Järvenpää: Työttömien valtakunnallinen yhteistoimintajärjestö

Posel, D. and Casale, D. (2003), What has been happening to Internal Labour Migration in South Africa, 1993-1999? Development Policy Research Unit, Working Paper 03/74



- Simon, H.A. (1996). *The Sciences of the Artificial*, 3rd ed. MIT Press, Cambridge, MA
- Gordon G. (1969). *System Simulation*, Prentice–Hall Englewood Cliffs, NJ.
- McDougall, M.H. (1975). «System Level Simulation,» in M. Breuer ed., *Digital System Design Automation*, vol. 2, Computer Science Press
- Lackner, M.R. (1962). «Toward a general Simulation Capability», *Proceedings of the SJCC*, San Francisco CA
- Pidd M. (1992). *Computer Simulation in Management Science*, 3 , Wiley.
- Law A.M., Kelton W.D. (1991). *Simulation Modeling and Analysis*, 2nd ed., McGraw–Hill, New–York
- Fishman G.S. (1973) .*Concepts and Methods for Discrete Event Digital Simulation*, Wiley, New York
- Neumann, J. von.(1966). *Theory of self-reproducing automata* , edited and completed by Arthur W. Burks. University of Illinois Press: Urbana, IL.
- Wolfram, S.(1986). *Theory and applications of cellular automata*. World Scientific: Singapore
- HEGSELMANN, R., FLACHE, A and MÖLLER, V. (1998). Solidarity and Social Impact in Cellular Worlds - Results and Sensitivity Analyses. In: R. Suleiman, K. G. Troitzsch and N. Gilbert (eds.) *Social Science Microsimulation: Tools for Modeling, Parameter Optimization and Sensitivity Analysis*. Springer: Berlin 1998, to appear
- Burks, A W.(1970). *Essays on cellular automata*. University of Illinois Press: Urbana, IL
- Demongeot, J, Goles, E. and Tchuente, M. (1985). *Dynamical systems and cellular automata*. Academic Press: London
- Toffoli, T. and Margolus, N. (1987). *Cellular automata machines: A new environment for modeling*. MIT Press: Cambridge, MA
- Gutowitz, H. (1991). *Cellular automata: theory and experiment*. MIT Press: Cambridge, MA
- Epstein, J. M. and Axtell, R. (1996). *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. MIT Press: Cambridge, MA
- Casti, J. L. (1992). *Reality rules: Picturing the world in mathematics* , Volume I: The Fundamentals, Volume II: The Frontier. John Wiley and Sons: New York, NY
- Casti, J. (1997). *Would-be worlds: how simulation is changing the world of science*, New York: Wiley
- Laszlo, E.(1996). *The Systems View of the World*. Hampton Press, Inc.

Waldrop, M. Mitchell.(1992). *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. New York: Simon & Schuster

Bonabeau, E. 2001. Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems. In *Proceedings of National Academy of Sciences*

Mellouli., S., Mineau., G., and Moulin., B. (2003). Modelling a Multi-Agent System Environment. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag

Wu, B.M. , Birkin M.H., Rees P.H. (2008). *A spatial microsimulation model with student agents*. University of Leeds

Walker, J.R. (2006). Economic Perspectives on Family and Migration.

7th International Conference on Cellular Automata for Research and Industry, ACRI 2006, Perpignan, France, September 20-23, 2006, Proceedings

Alfons G. Hoekstra, Jiri Kroc, Peter M.A. (2010). *Understanding Complex Systems: Sloat. Simulating Complex Systems by Cellular Automata*. University of Amsterdam

Silva, E. A. and Clarke, K. C. (2005) "Complexity, emergence and cellular urban models: *Lessons learned from applying sleuth to two Portuguese metropolitan areas.*"

## Σύνδεσμοι

<http://www.microsimulation.org>

<http://www.systemdynamics.org>

<http://jasss.soc.surrey.ac.uk> Journal of Artificial Societies and Social Simulation

<http://books.google.com/>

<http://scholar.google.gr/>

<http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/14946#page/1/mode/2up>

[http://www.ssc.wisc.edu/~walker/research/ma\\_conf\\_walker.pdf](http://www.ssc.wisc.edu/~walker/research/ma_conf_walker.pdf)

<http://www.informs-sim.org>