



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ

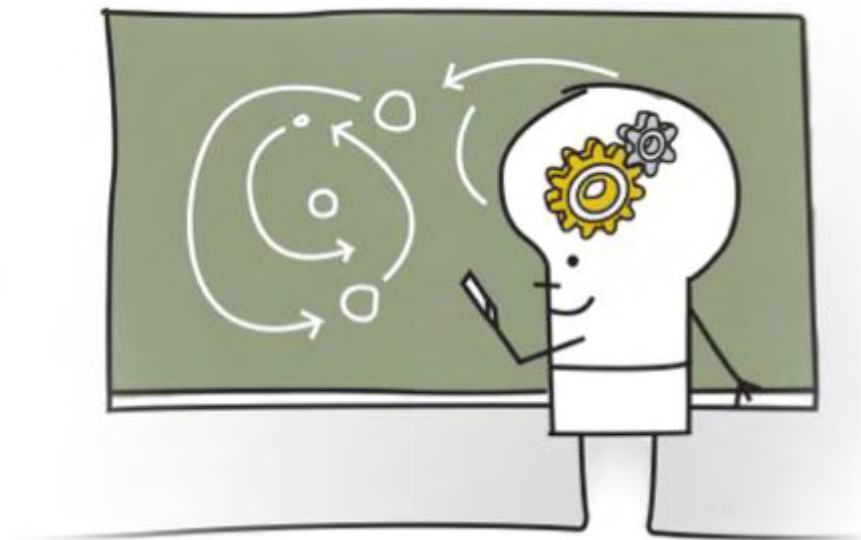
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

«ΝΕΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ, ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Θέμα: *"Modeling business dynamics in roadworks construction company"*



Γκόγκος Γ. Νικόλαος

Επιβλέπων: Δρ. Σταμπουλής Α. Γεώργιος
Επίκουρος καθηγητής

Βόλος, Οκτώβριος 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα έργα οδοποιίας για να υλοποιηθούν απαιτούν ιδιαίτερα προσεκτική διαχείριση εξ αιτίας της εμπλοκής πολλών εταίρων, στην όλη διαδικασία που πολλές φορές έχουν και διαφορετικούς στόχους. Επιπλέον υπάρχουν πολλές παράμετροι οι οποίες αλληλοεπιδρούν δημιουργώντας επιπρόσθετα προβλήματα στην εκτέλεση του έργου που επηρεάζουν την όλη διαδικασία υλοποίησής τους, με εμφανή αποτελέσματα στο χρόνο παράδοσης, στο κόστος και στην παραδοτέα ποιότητα του έργου.

Στην εργασία αυτή αναπτύσσεται ένα μοντέλο διαχείρισης έργων οδοποιίας από έναν οργανισμό με τη μέθοδο της συστημικής δυναμικής. Τα αποτελέσματα της λειτουργίας αυτού του μοντέλου δείχνουν ότι το κόστος και ο χρόνος ολοκλήρωσης των έργων οδοποιίας καθώς και η ποιότητα εξαρτάται σημαντικά από την ικανότητα των εργολάβων να διαχειρίζονται σωστά τα έργα τους, από την παραγωγικότητα και την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών και την εκτίμηση τους κόστους κατασκευής.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η κατασκευή τεχνικών έργων και οι αλληλεπιδράσεις που έχει σε ένα παγκοσμιοποιημένο περιβάλλον καθιστώντας τη διαχείριση τους ιδιαίτερα απαιτητική εισάγοντας για το σκοπό αυτό τη συστημική δυναμική.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται με τη βοήθεια της ανάλογης βιβλιογραφίας μια σύντομη περιγραφή της θεωρίας της συστημικής δυναμικής που την καθιστά κυρίαρχη στη διαχείριση έργων καθώς και των εργαλείων και διαδικασιών που χρησιμοποιούνται προκειμένου να μοντελοποιηθεί ένα δυναμικό σύστημα. Στη συνέχεια αναφέρονται κρίσιμοι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη για την δημιουργία ενός επιτυχημένου μοντέλου.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι φάσεις υλοποίησης ενός έργου οδοποιίας. Σε κάθε φάση γίνεται περιγραφή των βασικών δραστηριοτήτων και περιγράφονται οι παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την πρόοδο του έργου. Οι φάσεις του έργου στις οποίες στηρίχθηκε το μοντέλο είναι πέντε: Χωματουργικές εργασίες, Τεχνικά Έργα, οδοστρώση, ασφαλτόστρωση, διαγράμμιση-σήμανση οδού

Στο τέταρτο κεφάλαιο για την υλοποίηση του έργου οδοποιίας περιγράφεται το διάγραμμα αιτιότητας και το αντίστοιχο μοντέλο προσομοίωσης που αναπτύχθηκε με το πρόγραμμα PowerSim Studio 9. Στη συνέχεια αναλύονται οι διαφορετικές στρατηγικές επιλογές που μπορούν να ακολουθηθούν για την υλοποίηση του έργου με τις αντίστοιχες επιδράσεις τους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ενδεικτικά μερικά αποτελέσματα από τις εναλλακτικές στρατηγικές υλοποίησης.

Η εργασία ολοκληρώνεται με το έκτο κεφάλαιο όπου καταγράφονται τα συμπεράσματα της μελέτης. Παρατηρήθηκε ότι η άριστη στρατηγική δεν υπάρχει. Ανάλογα με το σενάριο παρατηρούνται και διαφορετικές επιπτώσεις στην υλοποίηση του έργου. Αυτό ακριβώς είναι που παρουσιάζεται στην εργασία δηλαδή, τα εργαλεία προσομοίωσης είναι απαραίτητα προκειμένου να αξιολογηθούν

διαφορετικές στρατηγικές για το ίδιο σενάριο ώστε να βοηθήσουν στη λήψη της σωστής απόφασης. Τέλος έγινε προσπάθεια να αναπτυχθούν κάποιες προτάσεις για έρευνα.

Λέξεις κλειδιά: αλληλεπίδραση, ανάδραση, προσομοίωση, πολυπλοκότητα, βρόχος, διαχείριση, αποτέλεσμα.

Abstract

In order for road construction works to be implemented, especially careful management is required because of the involvement of a lot of partners in the whole process, who quite frequently have different objectives. Furthermore, there are various parameters interacting between each other causing additional problems to the implementation of the project and affect the whole process of its materialization, with obvious impact on the delivery period, the cost and the deliverable quality of the work.

In the present study, a management model of road-construction works by an organization is developed with the method of System Dynamics. The results of the operation of the certain model show that the cost and the completion time of the construction as well as their quality depend, to a significant extent, on the ability of the contractors to manage their projects properly, on the productivity and the quality of the offered services and the evaluation of construction cost.

In the first Chapter, it is presented the construction of infrastructure works and the interaction between each other in a globalized environment, rendering their management especially demanding and introducing, for this reason, System Dynamics.

In the second Chapter and with the help of the related bibliography, there is a brief description of the theory of System Dynamics, which renders it dominant in works management, as well as of the tools and processes used in order for a dynamic system to be modeled. Next, critical factors that must be taken into account for the creation of a successful model are mentioned.

In the third Chapter, the implementation stages of a road construction are analyzed. For every stage there is a description of the basic actions and the factors which significantly influence the progress of the project are also described. The stages of the project on which the model was based are five: Earthworks, Engineering Structures, Road Surfacing, Bituminization, Road Marking - Signposting.

In the fourth Chapter, for the implementation of the project, there is a description of the Causal Loop Diagram and the responding Simulation Model developed using PowerSim

Studio 9 software. Following, there is an analysis of the various strategic choices that can be made towards the implementation of the project and their relative interactions.

In Chapter five, there is a presentation of indicative results of the alternative implementation strategies.

The study finishes with Chapter six where the study conclusions are presented. It was noticed that optimal strategy does not exist. Depending on the scenario, different impacts on the project implementation are noticed. This is exactly what is shown through this study, that is, simulation tools are necessary in order for different strategies on the same scenario to be evaluated so that they will help with the correct decision making. Last, it was attempted to make submissions of some suggestions for further study.

Keywords: Interaction, feedback, simulation, complexity, loop, management, result

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	2
Πίνακες.....	7
Γραφήματα.....	8
Σχήματα.....	9
Ευχαριστίες.....	10
Εισαγωγή.....	11
Κεφάλαιο1: Συστημική Δυναμική στη Διαχείριση Έργων	13
1.1 Εισαγωγή	13
1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	18
1.2.1 Βασικές αρχές και εργαλεία που χρησιμοποιούνται στη συστημική δυναμική.....	22
1.2.1 Τομείς εφαρμογής.....	35
1.2.2 Κυριαρχία της συστημικής δυναμικής στη διαχείριση έργου.....	36
1.2.4 Κρίσιμοι παράγοντες επιτυχίας με την εφαρμογή της συστημικής δυναμικής στη διαχείριση έργων	40
Κεφάλαιο 2: Διαδικασία μοντελοποίησης έργου οδοποιίας	
2.1 Εισαγωγή.....	43
2.2 Χωματουργικές Εργασίες.....	44
2.3 Τεχνικά Έργα.....	44
2.4 Οδοστρωσία	44
2.5 Ασφαλτικές εργασίες.....	44
2.6 Διαγράμμιση-σήμανση της οδού.....	45
Κεφάλαιο 3: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ.....	47
3.1 Εισαγωγή.....	47
3.2 Διάγραμμα Αιτιότητας.....	47
3.3 Ανάλυση Μοντέλου.....	48

Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα Μοντέλου.....	51
4.1 Διερεύνηση στρατηγικών υλοποίησης έργου.....	51
4.1.1 Σενάριο επιτοκίου	52
4.1.2 Σενάριο καθυστέρησης πληρωμών	54
4.1.3 Σενάριο παραγωγικής ικανότητας	56
4.2 Συμπεράσματα.....	59
 Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα.....	60
 Παραρτήματα.....	60
 Παράρτημα 1 Κώδικας Μοντέλου	60
Παράρτημα 2 Γραφική Αναπαράσταση Μοντέλου	76
Βιβλιογραφία.....	78

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Φάσεις Έργου.....	44
Πίνακας 2. Τιμές Στρατηγικών Μεταβλητών.....	51
Πίνακας 3. Τιμές Στρατηγικών αποφάσεων.....	52
Πίνακας 4. Σενάριο Επιτοκίου.....	53
Πίνακας 5 Σενάριο καθυστέρησης πληρωμών.....	54
Πίνακας 6. Σενάριο Παραγωγικής ικανότητας.....	56

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1 Επιτόκιο – κόστος.....	53
Γράφημα 2 Ποιότητα – Επιτόκιο.....	53
Γράφημα 3 Διάρκεια- Επιτόκιο.....	54
Γράφημα 4 Καθυστέρηση πληρωμών- κέρδος.....	55
Γράφημα 5 καθυστέρηση πληρωμών – Ποιότητα.....	55
Γράφημα 6 Διάρκεια υλοποίησης του έργου- καθυστερήσεις πληρωμών.....	56
Γράφημα 7 Κέρδος – παραγωγική ικανότητα.....	57
Γράφημα 8 Ποιότητα – Παραγωγικότητα.....	57
Γράφημα 9 Χρόνος υλοποίησης –Παραγωγική Ικανότητα.....	58

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Ολοκληρωμένη επισκόπηση των τομέων του συστήματος και των αλληλεπιδράσεων.	21
Σχήμα 2. Θετικός βρόχος ανάδρασης.....	25
Σχήμα 3. Αρνητικός βρόχος ανάδρασης.....	26
Σχήμα 4. Διάγραμμα αποθέματος και ροής.....	27
Σχήμα 5. Διάγραμμα της μανιέρας.....	28
Σχήμα 6. Pipeline delay.....	29
Σχήμα 7. First-order material delay: structure.....	29
Σχήμα 8. Higher-order delays are formed by cascading first-order delays together.....	30
Σχήμα 9. Δυναμικοί τρόποι συμπεριφοράς συστήματος.....	32
Σχήμα 10. Διάγραμμα αιτιότητας.....	47
Σχήμα 11. Μοντέλο διαδικασίας υλοποίησης.....	49
Σχήμα 12. Μοντέλο διαδικασίας καταγραφής λαθών που δεν ανακαλύπτονται.....	50

Ευχαριστίες

Η παρούσα μελέτη αποτελεί τη διπλωματική εργασία μου στα πλαίσια του διατμηματικού μεταπτυχιακού προγράμματος που παρακολούθησα « Καινοτομία και Επιχειρηματικότητα » των τμημάτων : Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής και των Οικονομικών Επιστημών της Σχολής Ανθρωπιστικών και Κοινωνικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Για την εκπόνηση αυτής της εργασίας αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους που με βοήθησαν να ανταπεξέλθω στις απαιτήσεις αυτής της εργασίας.

Θα ξεκινήσω από τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής τον επίκουρο καθηγητή κ. Σταμπουλή Γεώργιο για την καθοδήγηση του σε όλη την διαδικασία.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Καλαούζη Γεώργιο μέλος ΕΕΔΙΠ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τις πολύτιμες συμβουλές του στη δημιουργία του μοντέλου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ζυγογιάννη Αθανάσιο πολιτικό μηχανικό, ιδιοκτήτη της εταιρείας «ΑΙΑΣ Α.Τ.Ε» για τα στοιχεία που μου έδωσε πάνω στην υλοποίηση έργου οδοποιίας «ΔΡΟΜΟΣ ΑΝΑΤΟΛΗ –ΜΕΓΑΛΟΒΡΥΣΟ – ΜΕΛΙΒΟΙΑ»,

Ν. ΓΚΟΓΚΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα κατασκευαστικό έργο για να ολοκληρωθεί απαιτεί σύνθετες διαδικασίες και σωστό συνδυασμό μεγάλων ποσοτήτων υλικών και ανθρώπινων πόρων καθ' όλη τη διάρκεια του έργου. Ταυτόχρονα ένα κατασκευαστικό έργο καλείται να υλοποιηθεί σε ένα περιβάλλον που συνεχώς αλλάζει με τις νέες τεχνολογικές εξελίξεις με τον ανταγωνισμό που συνεχώς μεγαλώνει μέσα σε ένα παγκοσμιοποιημένο περιβάλλον. Οι απαιτήσεις για την υλοποίηση του έργου στο σωστό χρόνο, στην επιθυμητή ποιότητα με χαμηλότερο κόστος είναι πλέον απαίτηση. Οι κατασκευαστές τεχνικών έργων για να ανταποκριθούν στις νέες απαιτήσεις θα πρέπει να βελτιώσουν τις χρησιμοποιούμενες πρακτικές στην υλοποίηση του έργου. Εδώ η διαχείριση έργου παίζει καθοριστικό ρόλο καθώς ελέγχει όλες τις ενέργειες από την έναρξη μέχρι την ολοκλήρωση του. Τυχόν αποκλίσεις από τους στόχους του έργου έχουν αρνητικές επιπτώσεις τόσο στον ανάδοχο του έργου όσο και στον πελάτη που στα δημόσια έργα είναι το κράτος. Οι καθυστερήσεις καθώς και οι υπερβάσεις στους προϋπολογισμούς των έργων έχουν άμεσο αντίκτυπο στην ανάπτυξη της χώρας καθώς και στον μελλοντικό σχεδιασμό νέων έργων.

Η ολοκλήρωση ενός έργου οδοποιίας έγκαιρα βάσει του αρχικού σχεδιασμού και των προδιαγραφών που έχουν τεθεί μέσα στα όρια του προϋπολογισμού είναι τελείως διαφορετικό από την ολοκλήρωση του χωρίς να υπολογίζονται τα όρια του έργου και ο χρόνος υλοποίησής του. (Meredith & Samuel Mantel, 2009)

Έτσι έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για μια αποτελεσματική διαχείριση ενός έργου. Όταν χρησιμοποιείται ο όρος διαχείριση έργου σύμφωνα με το ινστιτούτο διαχείρισης έργων (Project Management Institute) αναφέρεται στην εφαρμογή γνώσεων, ειδικοτήτων, εργαλείων και τεχνικών στα στάδια υλοποίησης ενός έργου με σκοπό να επιτευχθούν ή υπερκαλυφθούν οι απαιτήσεις του (οι στόχοι του).

Η συστημική δυναμική αποτελεί μια σχετικά νέα διαδικασία προσέγγισης που πλησιάζει την πραγματική λειτουργία ενός έργου και βοηθάει αποτελεσματικά στη διαχείριση του αφού μπορούν να είναι γνωστές οι επιπτώσεις των διαφόρων πολιτικών διαχείρισης πριν ακόμη εφαρμοστούν. (Αλεξόπουλος Α.& Αδαμίδης Ε.,2008)

Δομή της εργασίας

Στην παρούσα εργασία θα γίνει προσπάθεια προσέγγισης της διαχείρισης ενός έργου οδοποιίας με τη βοήθεια της συστημικής δυναμικής.

Αρχικά στο 2^ο κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με την Συστημική Δυναμική σαν μια νέα μέθοδο στη διαχείριση έργων που θα εκπληρώνουν τους στόχους τους.

Θα αναλυθούν τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση δυναμικών συστημάτων, οι αρχές μοντελοποίησης και οι δυναμικές συμπεριφορές των συστημάτων.

Στη συνέχεια θα αναφερθούν οι επικρατέστερες διαδικασίες μοντελοποίησης, οι τομείς εφαρμογής της συστημικής δυναμικής και θα τονιστεί η υπεροχή της στη διαχείριση έργων.

Τέλος θα αναφερθούν σημαντικοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την επιτυχή εφαρμογή της μοντελοποίησης.

Στο 3^ο κεφάλαιο θα ορίσουμε το σκοπό της εργασίας και θα γίνει περιγραφή όλων των βημάτων που οδήγησαν στην μοντελοποίηση ενός έργου οδοποιίας.

Στο 4^ο κεφάλαιο θα γίνουν δοκιμές στη λειτουργία του μοντέλου και θα καταδειχθεί πως επηρεάζουν την υλοποίηση του οι διαφορετικές επιλογές στη διαχείριση του. Μετά απ' αυτό θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις δοκιμές που έγιναν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Συστημική Δυναμική στη Διαχείριση Έργων

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα σύστημα αποτελείται από ένα σύνολο λειτουργικών στοιχείων με προσδιορισμένες δυνατότητες που συνεργάζονται και αλληλεπιδρούν σε ένα ορισμένο περιβάλλον προκειμένου να επιτύχουν με συγκεκριμένες πιθανότητες τους στόχους που έχουν τεθεί (Wasson, 2006).

Όταν τα συστήματα είναι απλά είναι εμφανής και κατανοητή η σχέση μεταξύ αιτίου και αποτελέσματος, στα πολύπλοκα όμως συστήματα η σχέση αιτίου αποτελέσματος γίνεται δύσκολη από τη στιγμή που κάποιο αποτέλεσμα μπορεί να οφείλεται σε κάποιο αίτιο σε παρελθόντα χρόνο σε κάποιο κομμάτι του συστήματος. Η συστημική προσέγγιση των συστημάτων εστιάζει στον τρόπο που συνδέονται τα λειτουργικά στοιχεία του συστήματος μέσα από μια ολιστική αντίληψη. (Αλεξόπουλος Α. & Αδαμίδης Ε. , 2008)

Τα νοητικά μοντέλα παίζουν καθοριστικό ρόλο στην προσπάθεια κατανόησης των πολύπλοκων συστημάτων καθώς και στην λήψη καθοριστικών αποφάσεων που αφορούν το σύστημα.

Στην πραγματικότητα η Σ. Δ. μπορεί γενικά να περιγραφεί σαν μια διαδικασία ανατροφοδότησης στην οποία τα νοητικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη ενός μοντέλου με τη χρήση του υπολογιστή, το οποίο με τη σειρά του δημιουργεί νέες δυνατότητες για την κατανόηση του συστήματος και ταυτόχρονα βελτιώνεται η ακρίβεια, η συνοχή και η πολυπλοκότητα των νοητικών μοντέλων.

Η ιδέα ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος δημιουργεί αποθηκεύει και χειρίζεται μοντέλα δυναμικών συστημάτων τα οποία αλληλεπιδρούν ήταν η βάση της θεωρίας της Σ.Δ. και της πρακτικής αξίας των δυναμικών συστημάτων από την αρχή της εμφάνισής τους.

Η φύση και οι ιδιότητες αυτών των νοητικών μοντέλων στην πραγματικότητα παρέχουν το πρωταρχικό σκεπτικό για την ανάγκη να χρησιμοποιηθεί η μοντελοποίηση δυναμικών

συστημάτων για την βελτίωση της κατανόησης πολύπλοκων συστημάτων καθώς και της λήψης αποφάσεων προκειμένου να αντιμετωπιστεί η πολυπλοκότητα τους.

Σύμφωνα με την θεωρία των δυναμικών συστημάτων οι άνθρωποι μπορούν να διαχειριστούν συστήματα κατασκευάζοντας ένα νοητικό μοντέλο και να το προσομοιώσουν με την πραγματικότητα για να δουν τα πιθανά αποτελέσματα των αποφάσεων των πολιτικών τους.

Αυτή η γνώση αποκτιέται συγκρίνοντας τις προσδοκίες με τις πραγματικές παρατηρούμενες συνέπειες των αποφάσεων της πολιτικής που ακολουθήθηκε και έτσι γνωρίζοντας το αποτέλεσμα, αναθεωρείται ή ενημερώνεται το νοητικό μοντέλο.

Η πρακτική εμπειρία στο τομέα των δυναμικών συστημάτων και ο έλεγχος των εργαστηριακών πειραμάτων στη δυναμική λήψη αποφάσεων έχουν δείξει ότι τα νοητικά μοντέλα των πολύπλοκων συστημάτων υπόκεινται σε μια ποικιλία αστοχιών και περιορισμών. Για παράδειγμα τα νοητικά μοντέλα συχνά παραλείπουν βρόχους ανατροφοδότησης, χρονικές καθυστερήσεις και μη γραμμικές σχέσεις που είναι καθοριστικοί παράγοντες για την συμπεριφορά του συστήματος. Επιπλέον η περιορισμένη ικανότητα απομνημόνευσης των εργασιών καθιστά αδύνατο για τους ανθρώπους διανοητικά να μοντελοποιήσουν δυναμικά σύνθετα μοντέλα. Doyle J.& Ford D. (2003)

Σύμφωνα με την συστημική δυναμική μόνο με την υιοθέτηση της ανατροφοδότησης και την πειθαρχία στην μοντελοποίηση δυναμικών συστημάτων, αξιοποιώντας την ικανότητα του υπολογιστή να υπολογίζει τις συνέπειες των νοητικών μοντέλων μπορούν να ξεπεραστούν οι ατέλειες και οι περιορισμοί των νοητικών μοντέλων, που συχνά θεωρούνται σαν πρώτη πηγή πληροφοριών για την οικοδόμηση του μοντέλου με την διαδικασία της Σ.Δ.

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος ξεκινά με τα νοητικά μοντέλα που μπορούν να διαιρούνται και να υποβάλλονται σε μια διαδικασία ελέγχου και αξιολόγησης.

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα στο να δίνεται έμφαση στις νοητικές πληροφορίες που συμπληρώνουν τις γραπτές και τις αριθμητικές βάσεις δεδομένων που είναι ζωτικής σημασίας για όλες τις προσεγγίσεις των συστημάτων με τη Σ.Δ.. Οι λόγοι είναι:

Πρώτον ότι η νοητική βάση δεδομένων την οποία οι άνθρωποι μορφοποιούν μέσω της παρατήρησης και της εμπειρίας είναι πολύ μεγαλύτερη από τις άλλες βάσεις δεδομένων. Μόνο ένα μέρος της γνώσης που κερδίζουν οι άνθρωποι κατά τη διάρκεια της ζωής τους είναι

καταγεγραμμένο και ένα ακόμη μικρότερο ποσοστό των καταγεγραμμένων μπορεί να εκφραστεί αριθμητικά.

Δεύτερον η νοητική βάση δεδομένων είναι πιο πιθανό να περιέχει τον τύπο πληροφοριών που απαιτείται για την δημιουργία των μοντέλων με τη διαδικασία της Σ.Δ. δηλαδή λεπτομέρειες της δομής του μοντέλου και των διαδικασιών κάτω από τις οποίες οι διαχειριστές λαμβάνουν τις αποφάσεις.

Τρίτον η νοητική βάση δεδομένων μπορεί ευκολότερα να ερευνηθεί και μπορεί να παρέχει πληροφορίες που επιτρέπουν στην μοντελοποίηση να εξελιχθεί όταν οι γραπτές και αριθμητικές πληροφορίες απουσιάζουν.

Τέταρτον η χρήση νοητικών δεδομένων επιτρέπουν στους διαχειριστές να αναπτύξουν μια αίσθηση της ιδιοκτησίας του προκύπτοντος μοντέλου καθώς σταδιακά βλέπουν τα δικά τους νοητικά μοντέλα αναθεωρημένα και αυτό βοηθά στην κατανόηση του μοντέλου καθώς και στην διαδικασία μοντελοποίησης.

Το κύριο μειονέκτημα με τη χρήση νοητικών δεδομένων στην κατασκευή του μοντέλου είναι οι αυξημένες δυνατότητες για λάθη και υποκειμενικότητες δεδομένου ότι τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα δεν είναι γραπτά που προέκυψαν μέσα από τυπικές διαδικασίες. Doyle J.& Ford D. (2003)

Οι ειδικοί που κατασκευάζουν δυναμικά μοντέλα αναγνωρίζουν αυτή τη δυνατότητα σφάλματος στη συλλογή δεδομένων και προσπαθούν να την ελαχιστοποιήσουν. Επιπλέον υποστηρίζουν ότι η νοητική βάση δεδομένων δεν είναι τόσο λανθασμένη που να μην μπορεί να φανεί χρήσιμη σαν σημείο εκκίνησης για την μοντελοποίηση και ότι ο επαναληπτικός χαρακτήρας της διαδικασίας μοντελοποίησης τελικά θα φέρει στην επιφάνεια τα σημαντικά σφάλματα που υπάρχουν.

Δεδομένης της σημασίας των νοητικών μοντέλων σαν μια πηγή πληροφορίας για την βελτίωση της διαδικασίας κατασκευής δυναμικών μοντέλων, δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι οι ερευνητές της συστημικής δυναμικής αφιερώνουν όλο και μεγαλύτερο μέρος της ερευνητικής τους προσπάθειας στη μελέτη τους. Οι ειδικοί που χρησιμοποιούν την συστημική δυναμική έχουν αναπτύξει μια ποικιλία τεχνικών διαγραμμάτων που αποτυπώνουν τις πληροφορίες των νοητικών μοντέλων, με τρόπους που προάγουν την κατανόηση της λειτουργίας των δυναμικών συστημάτων.

Παρόλο το σημαντικό ρόλο που έχουν τα νοητικά μοντέλα στη συστημική δυναμική ο όρος νοητικά μοντέλα δεν είναι αρκετά καλά ορισμένος. Σε κάποιο βαθμό αυτό οφείλεται στις

εγγενείς δυσκολίες να ορισθεί η νοητική αντίληψη. Τα νοητικά μοντέλα δεν είναι παρατηρήσιμα και ο χαρακτήρας τους ορίζεται από την ανθρώπινη συμπεριφορά.

Οι Doyle & Ford έδωσαν έναν ορισμό στον οποίο περιλαμβάνονται οι εγγενείς δυσκολίες του. Ένα νοητικό μοντέλο ενός δυναμικού συστήματος είναι μια σχετικά διαρκή και προσπελάσιμη αλλά περιορισμένη εννοιολογική εσωτερική αναπαράσταση ενός εξωτερικού συστήματος (εικονικού, υφιστάμενου ή σε διαδικασία δημιουργίας), η δομή του οποίου είναι προσιτή με την αντιληπτή δομή αυτού του συστήματος .

Στον ορισμό αυτό η φράση σχετικά διαρκή υποδηλώνει ότι σε ένα νοητικό μοντέλο υπάρχει η επιφύλαξη ότι ενώ μπορεί να συμβαίνουν αλλαγές αυτό σε μακροπρόθεσμη βάση μπορεί να παραμείνει σε κάποια συγκεκριμένη μορφή για χρόνια.

Η λέξη προσιτή υποδηλώνει ότι οι άνθρωποι γενικά γνωρίζουν καλά τα νοητικά τους μοντέλα και σε μεγάλο βαθμό μπορούν διανοητικά να τα επιθεωρήσουν και να τα κοινοποιήσουν σε άλλους.

Η λέξη περιορισμένη εννοεί ότι τα νοητικά μοντέλα δεν αναφέρονται σ' όλες τις γνώσεις που κατέχει ένα άτομο αλλά σ' ένα προκαθορισμένο υποσύνολο πληροφοριών που υπάρχει σε μακρόχρονη μνήμη. Το μέγιστο μέγεθος για ένα νοητικό μοντέλο καθορίζεται από την ικανότητα μνήμης δηλαδή τον νοητικό πάγκο εργασίας στον οποίο οι χρήστες αποθηκεύουν προσωρινές πληροφορίες ενώ σκέφτονται για το μοντέλο. Είναι γεγονός ότι η ποσότητα των πληροφοριών που μπορεί να οργανωθεί σε μια ομάδα πληροφοριών καθίσταται ευέλικτη και αυξάνει την χωρητικότητα της μνήμης αφού πιο αποτελεσματικά οργανώνει τις πληροφορίες.

Η λέξη εσωτερική δηλώνει ότι τα νοητικά μοντέλα υπάρχουν μόνο στο μυαλό του ανθρώπου και δεν θα πρέπει να συγχέονται με προσπάθειες για την εξαγωγή αποτελεσμάτων ή χαρτογράφησης τους ή μέτρησης τους εξ αιτίας της μεγάλης πιθανότητας σφάλματος στην μέτρηση καθώς και της υποκειμενικότητας που τα διέπει.

Η λέξη εννοιολογική περιορίζει τον ορισμό των νοητικών μοντέλων για τους σκοπούς των δυναμικών συστημάτων δηλαδή σε μοντέλα που αποτελούνται από σύμβολα - έννοιες , ιδέες ή άλλα στοιχεία που μοιάζουν με ένα είδος γλώσσας και όχι με νοητικές εικόνες.

Η λέξη αναπαράσταση ενός εξωτερικού συστήματος σημαίνει:

Πρώτον ότι τα νοητικά μοντέλα είναι νοητικές δομές που αποθηκεύουν πληροφορίες και όχι νοητικές διαδικασίες που μετασχηματίζουν τις πληροφορίες και δεύτερον τα νοητικά μοντέλα αναφέρονται ή αντιπροσωπεύουν αντικείμενα, πληροφορίες, νοητικές δομές που βρίσκονται εκτός των ορίων του νοητικού μοντέλου

Η λέξη δομή σημαίνει ότι τα νοητικά μοντέλα δεν είναι απλή γνώση αλλά γνώση που έχει οργανωθεί με κάποιο τρόπο.

Τέλος θα πρέπει να επισημανθεί ότι η λέξη αντιληπτή στον ορισμό είναι σημαντική στο να γίνει σαφές ότι το νοητικό μοντέλο ενός ατόμου για ένα σύστημα μπορεί ή όχι να έχει ομοιότητα με τον πραγματικό σύστημα ανάλογα με την ακρίβεια της αντίληψης του. Doyle J.& Ford D. (2003)

Στη Σ.Δ. ο J. Forester εισήγαγε τον όρο των νοητικών μοντέλων στο πεδίο εφαρμογής της Σ.Δ. στη βιομηχανία το 1961 δηλώνοντας ότι τα νοητικά μοντέλα είναι νοητικές εικόνες ή λεκτικές περιγραφές που υποκαθιστούν στη σκέψη μας το πραγματικό σύστημα που εκπροσωπούν.

Η συστημική δυναμική είναι μια μεθοδολογία που δίνει την δυνατότητα δημιουργίας μοντέλων προσομοίωσης του πραγματικού κόσμου. Ο αρχικός σκοπός της ήταν να γίνει κατανοητό γιατί μια εταιρεία επιτυγχάνει ή αποτυγχάνει. Ποιες δηλαδή πολιτικές οδηγούν σε αποφάσεις που συντελούν στην εκπλήρωση των στόχων της και ποιες όχι. Forrester Jay W. (1997)

Στην προσομοίωση του πραγματικού κόσμου χρησιμοποιούνται τα φυσικά μοντέλα, τα μαθηματικά και τα μοντέλα υπολογιστών.

Τα φυσικά μοντέλα θεωρούνται ιδιαίτερα δαπανηρά. Σαν παράδειγμα θα μπορούσαν να αναφερθούν φυσικά μοντέλα μικρότερης κλίμακας για πειράματα αεροδυναμικής που αφορούν αεροπλάνα και αυτοκίνητα.

Τα μαθηματικά μοντέλα είναι πολύ φθηνότερα των φυσικών μοντέλων και χρησιμοποιούν μαθηματικές σχέσεις για να απεικονίσουν τις αλληλοεξαρτώμενες σχέσεις των στοιχείων του συστήματος. Μαθηματικοί υπολογισμοί εκτελούνται συνεχώς για να δώσουν ένα έγκυρο

αποτέλεσμα. Όταν οι υπολογισμοί παλαιότερα γινόταν με το χέρι ήταν πολύ χρονοβόρα και κοστοβόρα η διαδικασία δημιουργίας του μοντέλου.

Οι υπολογιστές έφεραν επανάσταση στη διαδικασία δημιουργίας μοντέλων προσομοίωσης συστημάτων. Η μεγάλη βοήθεια που πρόσφεραν είναι ότι παρέχουν τη δυνατότητα μελέτης ακραίων συμπεριφορών των συστημάτων χωρίς ρίσκο. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η δυνατότητα λήψης όλων των πληροφοριών από την εξέλιξη των συνθηκών μιας πυρηνικής έκρηξης χωρίς να υπάρχει η παραμικρή έκθεση στους κινδύνους που αυτή εμπεριέχει. (Thomas K. Burch, 1999)

Η δημιουργία μοντέλων προσομοίωσης με την χρήση του υπολογιστή εφαρμόστηκε από τις αρχές της δεκαετίας του '70 για οικονομικά και κοινωνικά φαινόμενα. Η διαχείριση έργων είναι ένα πεδίο στο οποίο βρήκαν εφαρμογή τα μοντέλα με τη χρήση των υπολογιστών. Δίνοντας τον ορισμό του έργου σαν μια διαδικασία όπου άνθρωποι πόροι, υλικοί και οικονομικοί συνεργάζονται μέσα σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο προκειμένου να φθάσουν σε συγκεκριμένο χρόνο με οικονομικούς περιορισμούς. σε κάποιο στόχο με προδιαγραφές που έχουν οριστεί εκ των προτέρων (Turner, 2009) φαίνεται ότι το έργο αποτελεί ένα δυναμικό σύστημα.

Η θεωρία της Σ.Δ. προσεγγίζει δυναμικά συστήματα ανατροφοδότησης με την μοντελοποίηση τους μέσω υπολογιστή.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στη δυναμική συστημική προσέγγιση ενός συστήματος, στις αρχές της συστημικής δυναμικής καθώς και στα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση ενός συστήματος. Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στους τομείς εφαρμογής της συστημικής δυναμικής και αναλυτικότερα στη διαχείριση έργων καθώς και στους λόγους της κυριαρχίας της συστημικής δυναμικής στη διαχείριση έργων σε σχέση με την κλασική γραμμική θεωρία.

1.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η συστημική δυναμική ασχολείται με τις αιτιατές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών στοιχείων ενός σύνθετου συστήματος. Αποτελεί μια μεθοδολογία με τη βοήθεια της οποίας

μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο που θα απεικονίζει ένα σύνθετο σύστημα καθώς επίσης θα αναλύει τη δυναμική συμπεριφορά του. (Forrester, 1961).

Τα μοντέλα που απεικονίζουν δυναμικά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε μεγάλα πολύπλοκα έργα όπως είναι τα έργα στον τομέα των κατασκευών με τη βοήθεια των οποίων μπορεί να γίνει κατανοητή η λειτουργία τους και να εφαρμοστεί η ορθότερη πολιτική στη διαχείριση τους.

Τα μοντέλα αναπαριστούν την λειτουργία ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας στη διάρκεια του χρόνου. Επί της ουσίας αυτή η αναπαράσταση αποτελεί την προσομοίωση της πραγματικότητας δημιουργώντας ένα υποθετικό ιστορικό λειτουργίας που βοηθάει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με την πραγματική λειτουργία του.

Η μέθοδος της προσομοίωσης είναι σημαντικό εργαλείο στην επίλυση σημαντικών πραγματικών προβλημάτων καθώς μπορεί να βοηθήσει στο σωστό σχεδιασμό του συστήματος που θα λειτουργήσει στην πραγματικότητα. Το μοντέλο αποτελεί μια μαθηματική λογική διαδικασία που απεικονίζει ένα πραγματικό ή εικονικό σύστημα που μπορεί να λειτουργεί για κάποια χρονική περίοδο. (Banks, 1998).

Η Συστημική Δυναμική ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1950 και στις αρχές της δεκαετίας του 1960 από τον Jay W. Forrester στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (Forrester, 1961). Ο Forrester πίστευε ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι δεν μπορούσαν να επιλύσουν δύσκολα προβλήματα διαχείρισης και στρατηγικής σε πολύπλοκα σύνθετα συστήματα. Όρισε την συστημική δυναμική σαν διερεύνηση πληροφοριακών στοιχείων ανάδρασης των συστημάτων και η χρήση των μοντέλων απαραίτητη για τη βελτίωση του σχεδιασμού της οργανωτικής μορφής και της καθοδήγησης ενός σύνθετου συστήματος. (Forrester, 1961)

Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν πολλοί ορισμοί για την Συστημική Δυναμική. Ο Coyle (1996) ορίζει τη Σ.Δ. σαν μια προσέγγιση που «ασχολείται με την εξάρτηση των διαχειριζόμενων συστημάτων με το χρόνο, με στόχο την περιγραφή του συστήματος και την κατανόηση του μέσω ποιοτικών και ποσοτικών μοντέλων το πως οι πληροφορίες ανατροφοδοτούν τη συμπεριφορά τους και το σχεδιασμό ισχυρών δομών ανατροφοδότησης πληροφοριών και πολιτικών ελέγχου μέσω της προσομοίωσης και της βελτιστοποίησης».

Η Σ.Δ. στην αρχή χρησιμοποιήθηκε σαν μέθοδος μοντελοποίησης για την ανάλυση βιομηχανικών συστημάτων (Forrester, 1961). Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία σε θέματα από κοινωνικά μέχρι βιομηχανικά και περιβαλλοντικά .

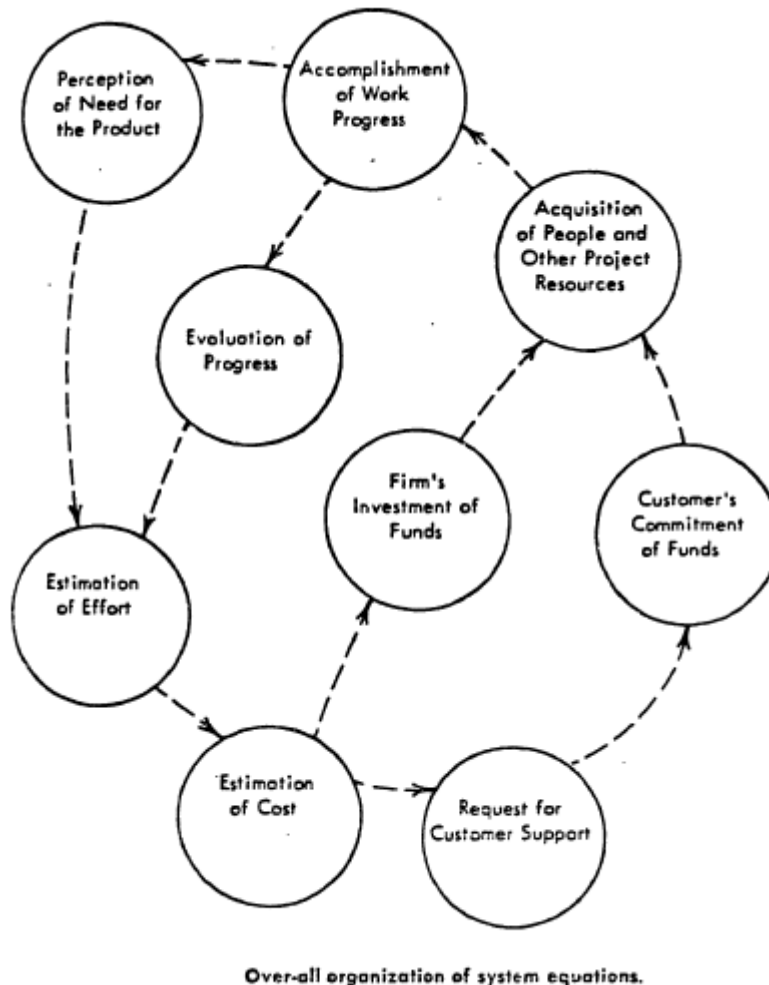
Η ικανότητα της χρήσης της Συστημικής Δυναμικής είναι να βρει και να αναπαραστήσει τις διαδικασίες ανατροφοδότησης που μαζί με τις δομές αποθέματος και ροών, τις χρονικές καθυστερήσεις και τις μη γραμμικότητες καθορίζουν τη δυναμική του συστήματος. Η μοντελοποίηση συστημάτων με τη Συστημική Δυναμική βοηθάει στη διαχείριση και την προσομοίωση των διαδικασιών του συστήματος υπολογίζοντας τις μεταβολές με την πάροδο του χρόνου και επιτρέποντας την ανατροφοδότηση (διαβίβαση και λήψη πληροφοριών) του συστήματος. (Sterman, 2000).

Η Συστημική δυναμική με την μοντελοποίηση χρησιμοποιεί προγράμματα λογισμικού για να μελετήσει την αλλαγή της συμπεριφοράς των συστημάτων στη διάρκεια του χρόνου όταν εφαρμόζονται αλλαγές στη λειτουργία του συστήματος. Μ' αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα να δει μια επιχείρηση τον αντίκτυπο κάποιων αλλαγών χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η επιβίωση της. (Forrester, 1961)

Ο καθηγητής Edwards B. Roberts, το 1962 στη σχολή Sloan του MIT διεξήγαγε την πρώτη ερευνητική προσπάθεια να εφαρμοστεί η τότε νέα μεθοδολογία της Συστημικής Δυναμικής στη διαχείριση έργου με τη διδακτορική διατριβή του με θέμα «Η Δυναμική της Έρευνας και Ανάπτυξης» Από τότε, και κυρίως με την ιδιότητά του ως σύμβουλος διδακτορικών διατριβών στο MIT, συνεχίζει να διαδραματίζει έναν ενεργό "καθοδηγητικό" ρόλο στην έρευνα της συστημικής δυναμικής.

Αυτή η έρευνα τοποθετεί τη διαχείριση έργων Έρευνας και Ανάπτυξης (R&D) κάτω από τη μεθοδολογία της Συστημικής Δυναμικής. Ήταν πολύ σπουδαίο για τους ερευνητές να μπορούν να βλέπουν το τελευταίο και όχι το προηγούμενο. Το δυναμικό μοντέλο που δημιουργείται προσδιορίζει τον πλήρη κύκλο ζωής ενός έργου έρευνας και ανάπτυξης και ενσωματώνει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της Έρευνας και Ανάπτυξης ενός προϊόντος με τον πελάτη, την επιχείρηση και με τις ίδιες της διαδικασίες παραγωγής του προϊόντος. (Σχήμα 1)

Σχήμα 1 Ολοκληρωμένη επισκόπηση των τομέων του συστήματος και των αλληλεπιδράσεων.(Abdel Hamid, T & Stuart, M. 1991)



Είχε προσελκύσει το ενδιαφέρον η συστημική δυναμική λόγω της μεγάλης απογοήτευσης που υπήρχε από την έλλειψη καινοτόμων δραστηριοτήτων στον τομέα της διαχείρισης λογισμικού. Έτσι αποφασίστηκε να ενταθεί η έρευνα για νέες ιδέες σε άλλα πεδία. Ένα τέτοιο πεδίο ήταν τα έργα R&D που αποτέλεσαν την πρώτη επιλογή. Είναι ένα πεδίο που συχνά συσχετίζεται στη βιβλιογραφία με την παραγωγή λογισμικού. Για παράδειγμα ο Gehring και ο Roach (1977) επισήμαναν ότι τα στάδια της έρευνας και ανάπτυξης είναι παρόμοια από πολλές απόψεις με τα στάδια της ανάλυσης και του σχεδιασμού λογισμικού.

Πρώτον ο προσδιορισμός για το τι πρέπει να κάνει το σύστημα (προσδιορισμός εκροών, εισροών) όταν δεν ορίζονται σωστά καθιστά αβέβαιη την εκτίμηση του χρόνου και του κόστους ανάπτυξης του λογισμικού όπως και στο στάδιο της έρευνας.

Δεύτερον ο προσδιορισμός των εισροών (προδιαγραφές αρχείου, προγραμματισμός) εύκολα εκτιμούνται όπως και στο στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης.

Αυτές οι ομοιότητες υποδεικνύουν ότι πολλές καλές πρακτικές από τη διαχείριση έργων έρευνας και ανάπτυξης μπορούν να εφαρμοστούν στην ανάλυση και τον σχεδιασμό λογισμικού. Ο Wolverton σε αναφορές του το 1974 σε paper γράφει : «Οι γενικές αρχές που συμμετέχουν στην τιμολόγηση προσπαθειών κάθε είδους έργου R&D εφαρμόζονται επίσης στην ανάπτυξη μεγάλων λογισμικών»

Τα συστήματα Dynamics Modeling αποτέλεσαν ένα αποτελεσματικό εργαλείο στην αντιμετώπιση προβλημάτων κατά την διαχείριση έργων ανάπτυξης λογισμικού.

Το διάσημο μοντέλο SLIM της Puthnam για την εκτίμηση του κόστους λογισμικού βασίζεται σε έργο R&D του Peter Norden. Ο Peter Norden έδειξε ότι στα έργα R&D το ανθρώπινο δυναμικό ορίζεται από εξισώσεις της μορφής Rayleigh. Όταν η Puthnam υιοθέτησε τα ευρήματα του Peter Norden σε έργα R&D για την σχεδίαση και ανάπτυξη λογισμικού, βρήκε ότι επίσης το απαιτούμενο ανθρώπινο δυναμικό ορίζεται από τις εξισώσεις Rayleigh. Η μοντελοποίηση με τη συστημική δυναμική του Roberts για τη διαχείριση έργων R & D εξακολουθεί να είναι το πιο ολοκληρωμένο έργο που δημοσιεύεται σ' αυτό τον τομέα.

Στο μοντέλο υπολογίζεται ο πλήρης κύκλος ζωής ενός μόνο έργου R&D, ενσωματώνει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του προϊόντος R & D, της επιχείρησης, του πελάτη και των διαδικασιών που σχετίζονται με τη φύση του έργου.

(Abdel Hamid, T & Stuart, M. 1991)

1.2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗ ΣΥΣΤΗΜΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ

Η Συστημική Δυναμική προσπαθεί να απεικονίσει τον πραγματικό κόσμο και να εστιάσει στη δομή και στις λειτουργίες που εμπεριέχονται σ' αυτόν. Στη δομή ενός συστήματος υπολογίζονται πάντα οι απαραίτητες πληροφορίες που επηρεάζουν τη λήψη των αποφάσεων. Ο P. Senge υπογραμμίζει την αδυναμία των επιχειρήσεων να προσαρμοστούν σε ένα αβέβαιο περιβάλλον. Θεωρεί πολύ σημαντικό για μια επιτυχημένη στρατηγική να υπολογίζονται οι λόγοι των αποτυχιών και οι συνθήκες αγοράς. Οι επιχειρήσεις πρέπει να παράγουν «generative learning» που είναι η σημαντικότερη μεταβλητή για την επιτυχία τους και θα πρέπει να βρεθούν τα κατάλληλα εργαλεία με τα οποία θα αναλύεται η πολιτική της

επιχείρησης στη υπάρχουσα δομή της αγοράς. Με τη συστημική δυναμική μπορεί να αναλυθεί ένα πρόβλημα και να αποτυπωθεί σε συστημικά διαγράμματα. (Senge, P. 1990)

Η συμπεριφορά ενός συστήματος είναι αποτέλεσμα της δομής του. Η δομή αυτή αποτελείται από τους βρόχους ανατροφοδότησης, τα αποθέματα και τις ροές, καθώς και τις non-linearities που δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση της φυσικής και θεσμικής δομής του συστήματος με τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων των παραγόντων που ενεργούν μέσα σε αυτή. (Sterman 2000). Μ' αυτόν τον τρόπο οι μηχανισμοί που δημιουργούν ένα μοντέλο της Σ.Δ. εξηγούν σε ένα βαθμό την πραγματικότητα.

Οι βασικές αρχές για μια επιτυχημένη χρήση της συστημικής δυναμικής είναι:

- Το μοντέλο θα πρέπει να αναπτύσσεται για να λύσει ένα συγκεκριμένο πρόβλημα και όχι απλά για να περιγράψει ένα σύστημα. Κάθε παράγοντας άσχετος με το πρόβλημα θα πρέπει να αποκλειστεί και το μοντέλο θα πρέπει να είναι εφαρμόσιμο σε συγκεκριμένο χρόνο
- Το μοντέλο είναι μια απλοποιημένη εικόνα του πραγματικού συστήματος που εστιάζει σε κομβικά σημεία του και στις αλληλεξαρτήσεις που παρουσιάζουν.
- Η μοντελοποίηση ξεκινά από την διατύπωση του προβλήματος και των βασικών δομών του συστήματος που σχετίζονται με το πρόβλημα και συνεχώς επανεξετάζεται το μοντέλο σε κάθε στάδιο μέχρι να διαμορφωθεί το τελικό.
- Η χρήση της Σ.Δ. θα πρέπει να συνοδεύεται από πολλά δεδομένα και πληροφορίες. Οι διαδικασίες μοντελοποίησης αποτελούν ένα μέρος της προσπάθειας που περιλαμβάνει, την ανάλυση της στρατηγικής της επιχείρησης, την επιχειρησιακή έρευνα, την ποσοτική ανάλυση των δεδομένων κ.α. Ένα μοντέλο για να είναι επιτυχημένο πρέπει να στηρίζεται σε μεγάλη βάση δεδομένων.
- Θα πρέπει να εστιάζεται από την αρχή η προοπτική εφαρμογής του μοντέλου και να γίνονται οι απαραίτητες διορθώσεις. Σκοπός είναι το τελικό μοντέλο να είναι εύκολο και κατανοητό από όλους εκείνους στο σύστημα που θα πρέπει να εφαρμόσουν τις νέες πολιτικές.
- Κατά την διαδικασία της μοντελοποίησης θα πρέπει συνεχώς να επανεξετάζεται η όλη διαδικασία. Το επιδιωκόμενο είναι να ανακαλύψουμε τις αιτίες που δημιουργούν ανεπιθύμητες καταστάσεις και στη συνέχεια να αναπτύξουμε τις κατάλληλες πολιτικές που θα τις διορθώσουν και θα οδηγήσουν στην ανάπτυξη. Είναι δυνατόν στην αρχή να έχουμε μια άλλη εκτίμηση για το πρόβλημα που στη συνέχεια να

αλλάξει λόγω των πληροφοριών που αποκτήσαμε στο κάθε στάδιο της μοντελοποίησης .

- Το μοντέλο δεν θα πρέπει να σχεδιάζεται αποκλειστικά από τον σχεδιαστή αλλά θα πρέπει να συμμετέχουν και όλοι οι εμπλεκόμενοι στο σύστημα. Οι παρατηρήσεις και οι προτάσεις των εμπλεκόμενων ανθρώπων στο σύστημα θεωρείται κρίσιμος παράγοντας επιτυχίας του μοντέλου αφού αυτοί οι άνθρωποι θα κληθούν να εφαρμόσουν τις προτεινόμενες νέες πολιτικές και άρα θα πρέπει να τις έχουν αφομοιώσει
- Το μοντέλο θα πρέπει να ελέγχεται σε όλα τα βήματα της διαδικασίας. Ένα μοντέλο είναι αξιόπιστο όταν επικυρώνεται σε κάθε βήμα . Μ' αυτό τον τρόπο το μοντέλο αναπτύσσεται στάδιο-στάδιο και προσαρμόζεται σε νέες πληροφορίες καθώς και στις απόψεις των ειδικών.

Ένα πρώτο μοντέλο προσομοίωσης θα πρέπει να σχηματιστεί όσο πιο γρήγορα γίνεται. Το να αναπτύξεις ένα πλήρες νοητικό μοντέλο πριν από το μοντέλο προσομοίωσης δεν είναι σωστό γιατί τα νοητικά μοντέλα βασίζονται αποκλειστικά σε υποθέσεις που πρέπει να δοκιμαστούν για να είναι έγκυρα. Η προσομοίωση του μοντέλου φέρνει στην επιφάνεια παραλείψεις και λάθη που υπάρχουν στο νοητικό μοντέλο. (Sterman 2000)

Βασικά εργαλεία και διαδικασίες για την μοντελοποίηση συστημάτων με τη συστημική δυναμική είναι:

Διαγράμματα Αιτιώδους Βρόχου

Ένα αιτιώδες διάγραμμα αποτελείται από μεταβλητές που συνδέονται με βέλη που υποδηλώνουν τις αιτιώδεις επιρροές που υπάρχουν μεταξύ τους. Σε κάθε αιτιώδη σύνδεση υπάρχει μια πολικότητα, είτε θετική (+) είτε αρνητική (-), για να υποδείξει τον τρόπο με τον οποίο αλλάζει μια εξαρτημένη μεταβλητή όταν αλλάζει η ανεξάρτητη μεταβλητή. Μια σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών A και B θεωρείται θετική όταν μια αύξηση στο A προκαλεί αύξηση στο B και μια μείωση στο A προκαλεί μείωση στο B. Μια σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών A και B θεωρείται αρνητική όταν μια αύξηση του A προκαλεί μείωση στο B και μια μείωση στο A προκαλεί αύξηση στο B (Sterman, 2000).

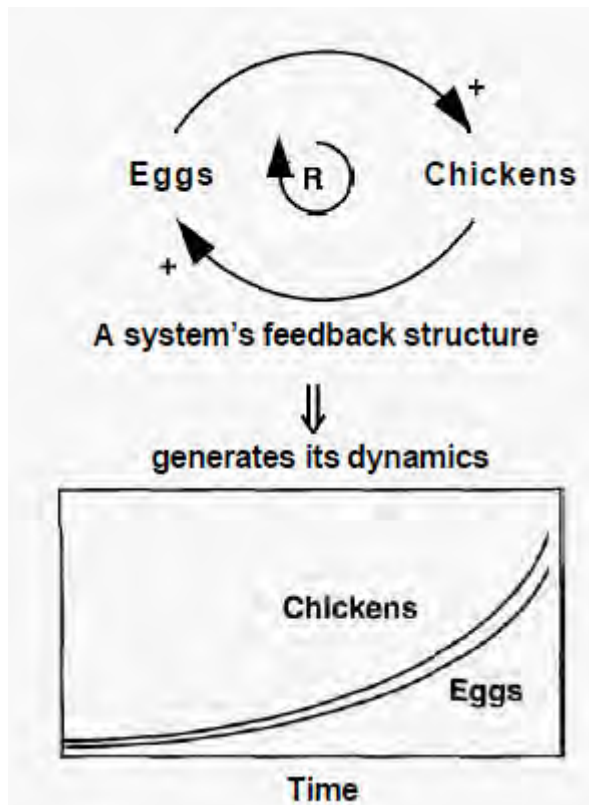
Βρόχοι ανάδρασης (Feedback Loop)

Ένας βρόχος ανάδρασης αποτελείται από δύο ή περισσότερους αιτιώδεις συνδέσμους που είναι συνδεδεμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε αν κάποιος ακολουθεί την αιτιότητα ξεκινώντας από οποιοδήποτε στοιχείο του βρόχου να επιστρέφει στο πρώτο στοιχείο. Για παράδειγμα, αν

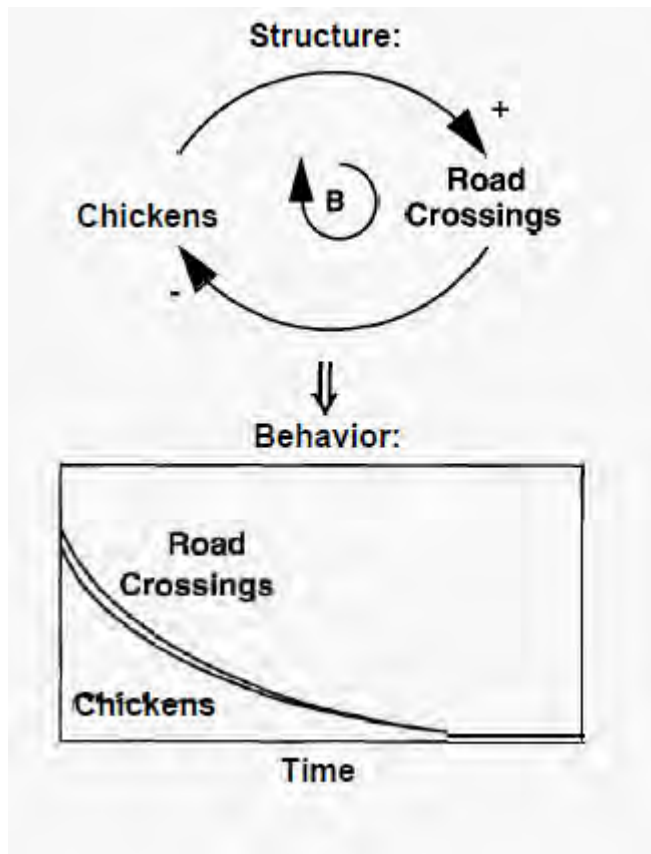
μια μεταβολή στη μεταβλητή A προκαλεί άμεσα μεταβολή στη μεταβλητή B η οποία προκαλεί άμεσα μεταβολή στη μεταβλητή C, που με τη σειρά της προκαλεί άμεσα μεταβολή της αρχικής μεταβλητής A, τότε έχουμε να κάνουμε με ένα βρόχο ανατροφοδότησης. Οι βρόχοι ανάδρασης κατηγοριοποιούνται στους θετικούς και τους αρνητικούς

Οι θετικοί βρόχοι ανάδρασης είναι οι αυτό-ενισχυτικοί και το αναγνωριστικό πολικότητας είναι το R. Στο σχήμα 2 καταγράφεται η λειτουργία τους και τα βέλη καταδεικνύουν τις αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Τα σύμβολα + στα βέλη δείχνουν ότι το αποτέλεσμα σχετίζεται θετικά με την αιτία. Περισσότερα κοτόπουλα γεννούν περισσότερα αυγά, τα οποία εκκολάπτονται και αυξάνουν τον πληθυσμό τους, οδηγώντας στη συνέχεια στη γέννηση ακόμα περισσότερων αυγών και ούτω καθεξής. Εάν αυτός ο βρόχος ήταν ο μόνος που λειτουργούσε τα κοτόπουλα και ο αριθμός των αυγών θα αυξάνονταν εκθετικά. Βέβαια στην πραγματικότητα καμία ποσότητα δεν αυξάνεται για πάντα. Τα όρια τίθενται από τους αρνητικούς βρόχους ανάδρασης οι οποίοι είναι αυτό-διορθωτικοί και το αναγνωριστικό πολικότητας τους είναι B. (Σχήμα 3). Καθώς ο πληθυσμός από τα κοτόπουλα αυξάνεται, διάφοροι αρνητικοί βρόχοι θα δράσουν για την εξισορρόπηση του πληθυσμού όπως π.χ. η πώληση αυγών ή κάποιος άλλος δρόμος.

Σχήμα 2 Θετικός βρόχος ανάδρασης(Sterman, 2000)



Σχήμα 3 Αρνητικός βρόχος ανάδρασης (Stermann, 2000)



Όλα τα συστήματα αποτελούνται από δίκτυα θετικών και αρνητικών ανατροφοδοτήσεων και η δυναμική τους προκύπτει από την αλληλεπίδραση αυτών των βρόχων.

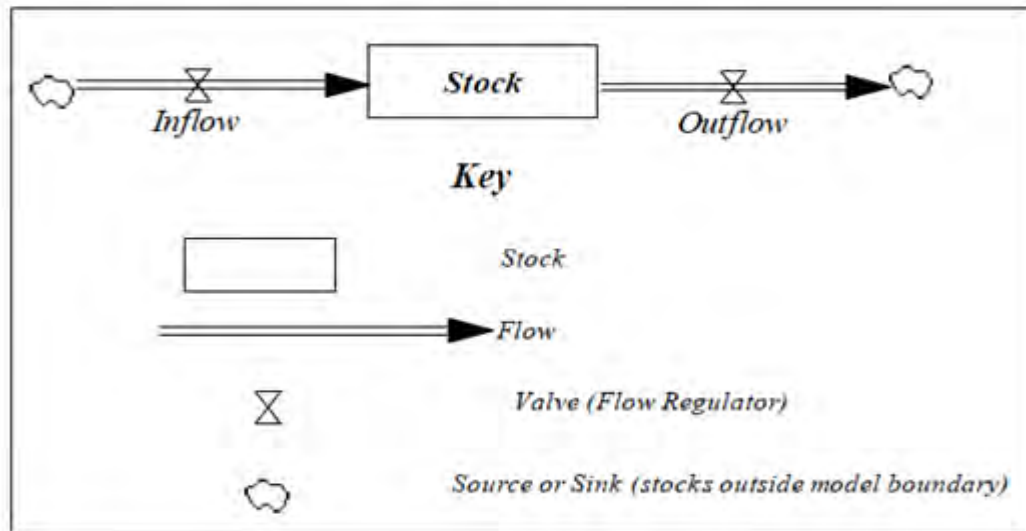
Οι βρόχοι ανάδρασης δημιουργούν μη γραμμική συμπεριφορά, ακόμη και αν όλες οι αιτιώδεις σχέσεις των μεταβλητών είναι γραμμικές.

Ένα απλό παράδειγμα που εξηγεί το φαινόμενο της ανάδρασης είναι το παράδειγμα με τον θερμοστάτη. Ας υποθέσουμε ότι για κάποια ξαφνική αιτία πέφτει η θερμοκρασία ενός δωματίου. Το γεγονός αυτό θα αποτελέσει την αιτία για μια σειρά από γεγονότα. Οι άνθρωποι στο δωμάτιο θα αναγκαστούν να φορέσουν πιο ζεστά ρούχα, ο θερμοστάτης θα ανοίξει και θα δώσει εντολή στον καυστήρα να λειτουργήσει που με τη σειρά του θα καταναλώσει πετρέλαιο, θα πέσει η στάθμη του πετρελαίου στη δεξαμενή και ταυτόχρονα μπορεί να υπάρξει και φθορά του καυστήρα και στη συνέχεια να χρειαστεί επισκευή. Στο παράδειγμα παρατηρούμε μια σειρά από σχέσεις αιτίου – αποτελέσματος που άμεσα δεν επηρεάζουν την θερμοκρασία του δωματίου αλλά που τελικά αυξάνουν την θερμοκρασία του δωματίου.(Roberts, 1983)

Διάγραμμα αποθεμάτων και ροών

Τα μοντέλα προσομοίωσης SD κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας διαγράμματα ροών και αποθεμάτων(σημεία συσσώρευσης). Αυτά τα διαγράμματα αποτελούνται από μεταβλητές αποθεμάτων, μεταβλητές ροής, βοηθητικές μεταβλητές, παραμέτρους και σταθερές, αιτιώδεις δεσμούς μεταξύ μεταβλητών και αιτιώδεις δεσμούς με σημεία καθυστέρησης.

Σχήμα 4 Διάγραμμα αποθέματος και ροής (Stermann, 2000)



Μία μεταβλητή αποθέματος ενσωματώνει ροές με την πάροδο του χρόνου. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, μια μεταβλητή αποθέματος μπορεί να αλλάξει μόνο με τις μεταβολές εισερχόμενης και εξερχόμενης ροής. Τα αποθέματα συσσωρεύουν ή ενσωματώνουν τις ροές τους. Η καθαρή ροή στο απόθεμα είναι ο ρυθμός μεταβολής του αποθέματος.

Η δομή που αναπαρίσταται στο σχήμα 4 αντιστοιχεί στην ακόλουθη εξίσωση

$$Stock(t) = \int_{t_0}^t (Inflow(s) - Outflow(s)) ds + stock(t_0)$$

Όπου οι εισροές αντιπροσωπεύουν την τιμή των εισροών οποιαδήποτε στιγμή t μεταξύ της αρχικής ώρας έως και της τρέχουσας ώρας t .

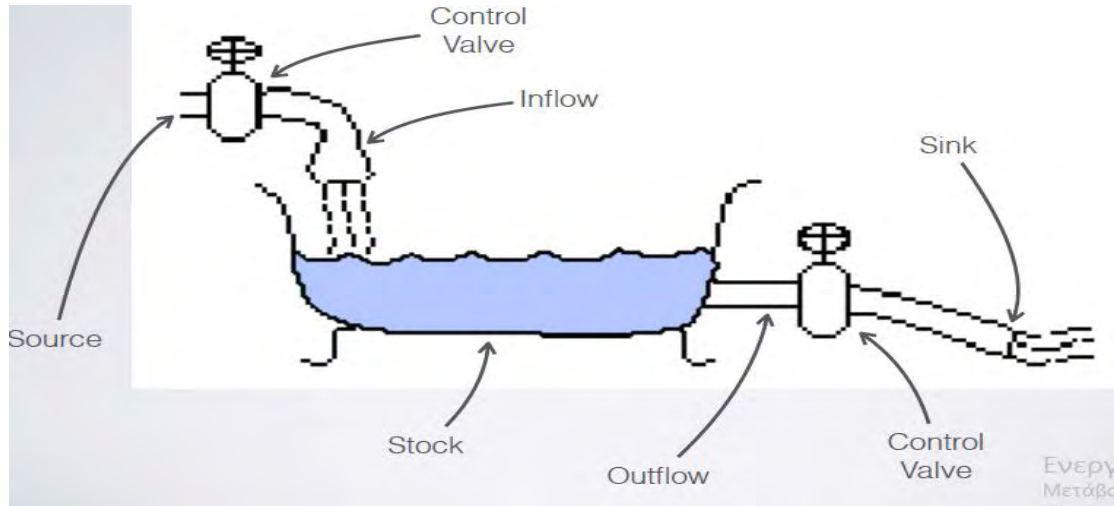
Αντιστρόφως, ο καθαρός ρυθμός μεταβολής κάθε αποθέματος είναι η εισροή μείον την εκροή που αποτυπώνεται στην παρακάτω εξίσωση

$$d(Stock)/dt = [Net Change in Stock] = Inflow(t) - Outflow(t).$$

Ένα παράδειγμα που εξηγεί το διάγραμμα αποθεμάτων ροών είναι το παράδειγμα της μπανιέρας (Σχήμα 5). Ο όγκος του νερού στην μπανιέρα αντιπροσωπεύει το stock το οποίο

εξαρτάται από τον ρυθμό εισροής και εκροής του νερού στην μπανιέρα . Όταν ο ρυθμός εισροής είναι ίσος με τον ρυθμό εκροής η στάθμη του νερού στην μπανιέρα παραμένει σταθερή

Σχήμα 5 Διάγραμμα της μπανιέρας Rafn Thorsteinsson (2015)

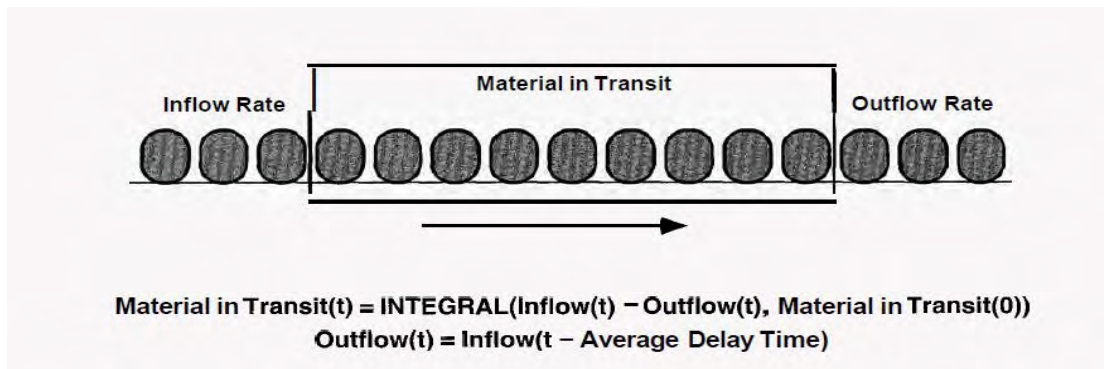


Καθυστερήσεις

Οι καθυστερήσεις είναι κρίσιμες για τη δημιουργία δυναμικής στο σύστημα .

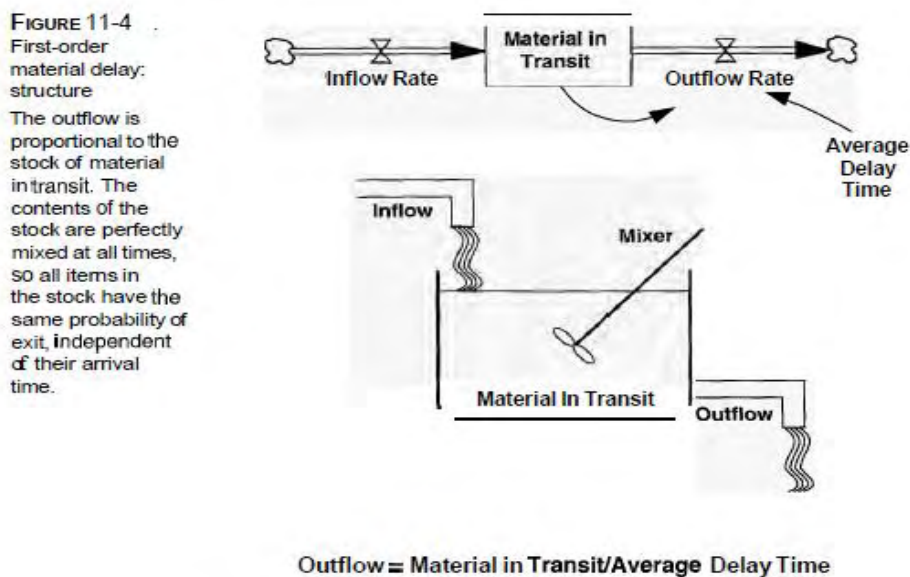
Οι καθυστερήσεις δίνουν στα συστήματα αδράνεια που προκαλούν ταλαντώσεις. Ακόμη είναι συχνά υπεύθυνες για τις Δυναμικές Συμπεριφορές του Συστήματος επηρεάζοντας μακροπρόθεσμα ή βραχυπρόθεσμα τις αποφάσεις για αλλαγή της πολιτικής διαχείρισης. Η καθυστέρηση είναι μια διαδικασία κατά την οποία ο ρυθμός εκροών δεν ακολουθεί το ρυθμό εισροών γι αυτό στη διαδικασία υπάρχει ένας κόμβος (stock) ώστε να αποθηκευτεί αυτή η διαφορά (εισροές-εκροές). Οι καθυστερήσεις μπορεί να είναι υλικές π.χ καθυστέρηση σε διάφορα στάδια υλοποίησης ενός έργου , επίσης μπορεί να είναι καθυστέρηση πληροφοριών. Σε κάποιες πληροφορίες μπορεί να υπάρξει μικρή ή μεγάλη καθυστέρηση στην ενσωμάτωση τους στην λειτουργία του συστήματος που επηρεάζουν τις εισροές και εκροές. Στην καθυστέρηση είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πόσος είναι κατά μέσο όρο ο χρόνος που παραμένει μια μονάδα στον κόμβο (stock) του υλικού. Οι δομές των καθυστερήσεων είναι τριών τύπων pipeline delay, first order delay, high order delay

Σχήμα 6. Pipeline delay: structure. Stermann 2000



Στην δομή Pipeline delay (Σχήμα 6) ο χρόνος καθυστέρησης για κάθε μονάδα είναι ίσος με τον M.O. καθυστέρησης. Ο ρυθμός εισόδου στον κόμβο της καθυστέρησης (αποθήκη υλικών υπό διαμετακόμιση) είναι ίσος με το ρυθμό εξόδου των υλικών. Διαπιστώνεται συνεχής σε σειρά ρυθμός.

Σχήμα 7 First-order material delay: structure (Stermann 2000)

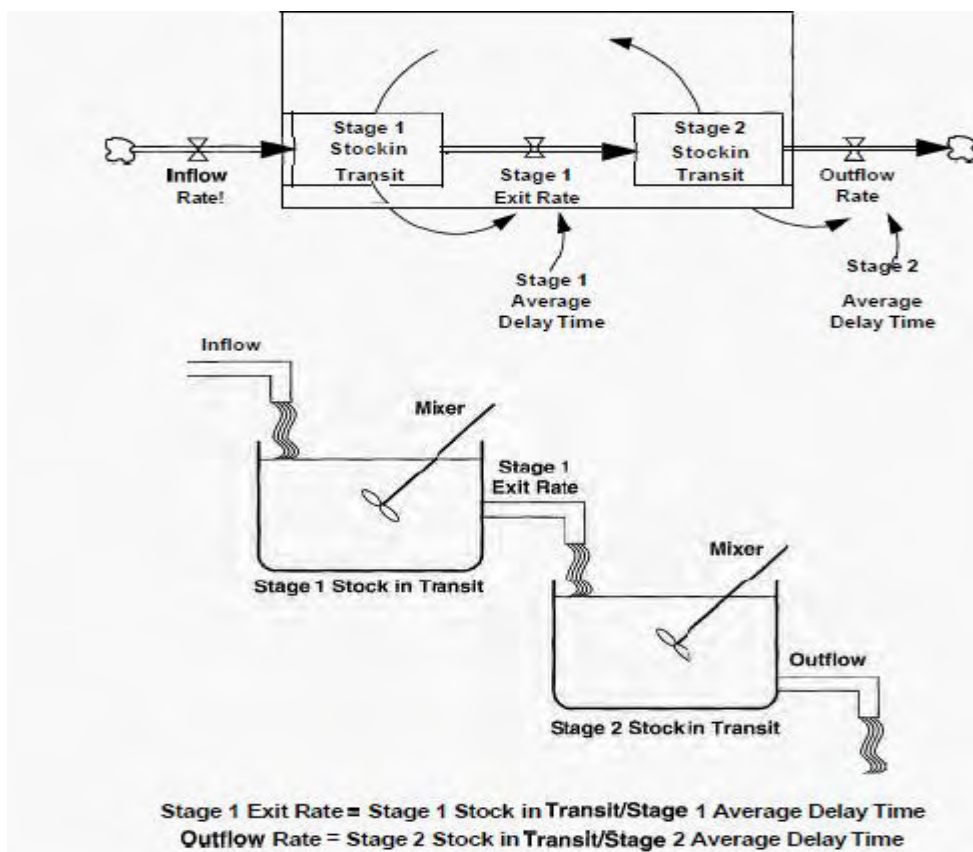


Στη δομή first order delay δεν υπάρχει συνεχής σε σειρά ρυθμός όλα τα υλικά μέσα από τον κόμβο της καθυστέρησης έχουν την ίδια πιθανότητα να βγουν. (Σχήμα 7)

Η δομή high order delay βρίσκεται ανάμεσα από τις δυο πρώτες. Τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας σε κάποια συστήματα μπορούν να προσεγγιστούν με τη διασύνδεση αρκετών υλικών καθυστερήσεων δομής first-order σε συνεχή σειρά.

Για παράδειγμα, μια καθυστέρηση υλικού δεύτερης τάξης αποτελείται από δύο καθυστερήσεις πρώτης τάξης στις οποίες η είσοδος στο δεύτερο στάδιο είναι η έξοδος του πρώτου σταδίου (Σχήμα 8). Το συνολικό υπό διαμετακόμιση απόθεμα είναι το άθροισμα των αποθεμάτων υπό διαμετακόμιση σε κάθε στάδιο. Ο μέσος όρος της συνολικής καθυστέρησης από την εισροή στην εκροή είναι το άθροισμα των μέσων καθυστερήσεων των μεμονωμένων σταδίων. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να δημιουργηθούν καθυστερήσεις με έναν αυθαίρετο αριθμό σταδίων. Οι χρόνοι καθυστέρησης για τα μεμονωμένα στάδια μπορεί να διαφέρουν, εάν τα δεδομένα και ο σκοπός του μοντέλου το δικαιολογεί, αν και συχνά είναι καλό να θεωρείται ότι κάθε στάδιο έχει την ίδια χρονική καθυστέρηση. Μια καθυστέρηση με n στάδια, σε κάθε στάδιο η καθυστέρηση είναι ίση με $1/n$ του συνολικού χρόνου καθυστέρησης και είναι γνωστή ως μία υλική καθυστέρηση n -τάξης.

Σχήμα 8 Higher-order delays are formed by cascading first-order delays together. (Sterman 2000)



Η δομή ανατροφοδότησης σε ένα σύστημα δημιουργεί τρεις διαφορετικές θεμελιώδεις συμπεριφορές, λόγω των θετικών - αρνητικών αναδράσεων στο σύστημα και των καθυστερήσεων. (Σχήμα 9)

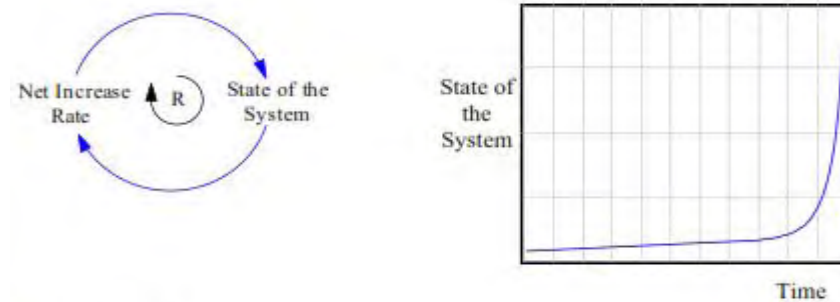
1. Εκθετική ανάπτυξη: Αυτή η συμπεριφορά προκύπτει λόγω θετικών, αυτό-ενισχυτικών ανατροφοδοτήσεων. Η αλλαγή μιας ποσότητας στο σύστημα προκαλεί θετική αλλαγή στην άλλη ποσότητα σχήμα:9-α. Η αλλαγή στην άλλη ποσότητα τροφοδοτεί και προκαλεί, πάλι, μια θετική αλλαγή στην πρώτη ποσότητα. Έτσι ενισχύεται το θετικό αποτέλεσμα.

2. Αναζήτησης στόχου: Αυτή η συμπεριφορά προκύπτει λόγω ενός αρνητικού βρόχου αυτό-εξισορρόπησης που παρουσιάζεται στο σχήμα:9-β με το γράμμα. Η κατάσταση του Συστήματος συγκρίνεται με τον στόχο ή την επιθυμητή κατάσταση του συστήματος. Ανάλογα με την ασυμφωνία, λαμβάνονται διορθωτικά μέτρα. Η διορθωτική ενέργεια είναι μεγαλύτερη εάν η διαφορά είναι μεγαλύτερη. Η διορθωτική ενέργεια μετατοπίζει το σύστημα προς την επιθυμητή κατάσταση. Και πάλι η κατάσταση του συστήματος συγκρίνεται με την επιθυμητή κατάσταση και ανάλογα με την απόκλιση, λαμβάνεται εκ νέου μια διορθωτική ενέργεια. Έτσι, η δομή προσπαθεί να μετακινήσει το σύστημα προς την επιθυμητή κατάσταση.

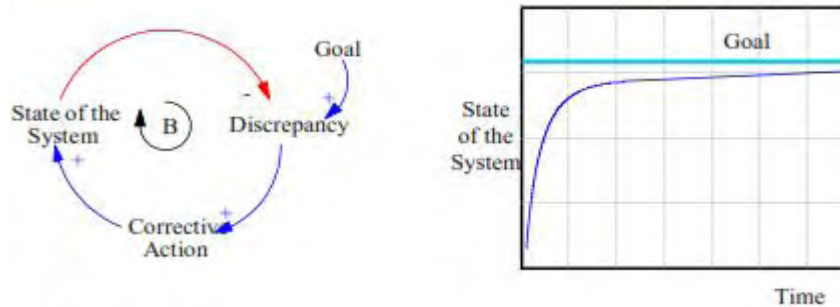
3. Ταλαντώσεις: Αυτή η συμπεριφορά παρατηρείται όταν υπάρχει καθυστέρηση στον βρόχο αρνητικής ανάδρασης. Παρουσιάζεται στο σχήμα: 9-γ. Ο αρνητικός βρόχος ανατροφοδότησης τείνει να μετακινήσει την κατάσταση του συστήματος προς το "στόχο", αλλά λόγω της καθυστέρησης, το σύστημα δεν φτάνει αυτό το στόχο ακαριαία. Επομένως, η αρνητική ανατροφοδότηση προσπαθεί να κινήσει το σύστημα προς την ίδια κατεύθυνση. Αυτό προκαλεί μεγαλύτερη μετακίνηση της κατάσταση του συστήματος με συνέπεια να υπερβεί το στόχο. Και πάλι, ο αρνητικός βρόχος προσπαθεί να φέρει το σύστημα προς το στόχο, αλλά και πάλι η καθυστέρηση παίζει τον ρόλο της και προκαλεί υποτροπή.

Σχήμα 9 Δυναμικοί τρόποι συμπεριφοράς συστήματος (Damle, 2003)

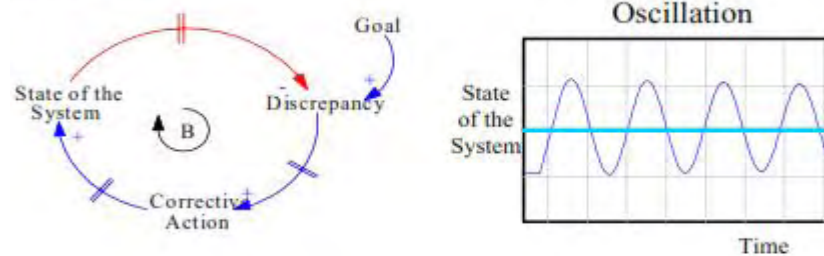
(a) Exponential Growth



(b) Goal Seeking



(c) Oscillation



Η διαδικασία μοντελοποίησης SD

Η διαδικασία μοντελοποίησης δεν ορίζεται αυστηρά σε μια βιβλιογραφία. Ωστόσο, διάφοροι συγγραφείς προτείνουν τα δικά τους μοντέλα. Ο Forrester (1961) ανέπτυξε τέσσερα βήματα για να δημιουργήσει ένα μοντέλο ενός δυναμικού συστήματος.

- Η δήλωση του προβλήματος: Καθορισμός του σκοπού της μοντελοποίησης και ταυτοποίησης των οντοτήτων του, των αλληλεπιδράσεων και των συμπεριφορών τους.

- Περιγραφή των αιτιωδών σχέσεων μεταξύ αυτών των οντοτήτων, οικοδομώντας το διάγραμμα αιτιώδους ροής Εισαγωγή των μεταβλητών αποθέματος και ροής στο σύστημα με την κατασκευή του διαγράμματος ροής - αποθέματος
- Διαμόρφωση του μοντέλου προσομοίωσης
- Δοκιμές- Επικύρωση του

Ο Coyle το (1996) πρότεινε την παρακάτω δομή προσέγγισης του συστήματος.

- την κατανόηση του προβλήματος και τη δήλωση του
- την περιγραφή του συστήματος (με τα διαγράμματα αιτιώδους ροής)
- την ποιοτική ανάλυση
- την προσομοίωση του συστήματος σε ένα μοντέλο
- τις δοκιμές και επικύρωση του
- τον τελικό σχεδιασμό.

Η Albin (1997) πρότεινε μια διαδικασία μοντελοποίησης τεσσάρων σταδίων.

- Ενοιοποίηση. Καθορισμός του σκοπού του μοντέλου, των μεταβλητών και των ορίων του μοντέλου
- Σύνθεση και προσομοίωση με τη χρήση μαθηματικών εξισώσεων
- Επικύρωση μοντέλου μετά από δοκιμές που αποδεικνύουν ότι το μοντέλο είναι συμβατό με την πραγματική συμπεριφορά του συστήματος και του σκοπού του μοντέλου
- Εκτέλεση

Ο J.D. Sterman(2000) προτείνει πέντε βήματα που υιοθετούν τις απόψεις όλων των συγγραφέων

- Ανάλυση προβλήματος(επιλογή ορίων) .Ορίζεται ποιο είναι το πρόβλημα καθώς και οι βασικές μεταβλητές που σχετίζονται με το πρόβλημα και που πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη. Γυρίζοντας πίσω στο παρελθόν ανακαλύπτονται οι ρίζες του προβλήματος και δίνεται ένας δυναμικός ορισμός στο πρόβλημα. Δηλαδή ποιο είναι το ιστορικό της συμπεριφοράς των μεταβλητών και ποια προβλέπεται να είναι η συμπεριφορά τους στο μέλλον.
- Σχηματισμός των αρχικών δυναμικών υποθέσεων και αποτύπωση τους που θα εξηγούν την προβληματική συμπεριφορά του συστήματος. Οι υποθέσεις χαρακτηρίζονται δυναμικές γιατί μέσα από τις δομές ροών αποθεμάτων και των βρόχων ανατροφοδότησης καταδεικνύεται η δυναμική που οδηγεί σε προβληματική συμπεριφορά το σύστημα. Αυτές οι υποθέσεις μπορεί να αλλάξουν ή και να εγκαταλειφθούν ανάλογα με τις πληροφορίες που προκύπτουν από τον πραγματικό κόσμο αλλά και από την διαδικασία μοντελοποίησης. Πολλές φορές υπάρχουν

διαφορετικές εξηγήσεις για μια προβληματική συμπεριφορά. Γι αυτό ο σχεδιαστής του μοντέλου θα πρέπει να εμπλέξει σε διάλογο όλους τους ενδιαφερόμενους για να έχει αφ' ενός ένα καλύτερο αποτέλεσμα λόγω των περισσότερων πληροφοριών που θα συγκεντρώσει και αφετέρου θα γίνει περισσότερο κατανοητή σ' αυτούς η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος. Στη συνέχεια αναπτύσσονται διαγράμματα αιτιώδους δομής με βάση τις αρχικές υποθέσεις, τις βασικές μεταβλητές, το σχέδιο αναφοράς και άλλων διαθέσιμων δεδομένων, χρησιμοποιώντας εργαλεία όπως διαγράμματα ορίων του μοντέλου, τα διαγράμματα των υποσυστημάτων, τα διαγράμματα αιτιώδους βρόχου καθώς και τα διαγράμματα αποθεμάτων και ροών και πιθανά άλλα εργαλεία που μπορούν να βοηθήσουν

- Σχεδίαση του μοντέλου προσομοίωσης με τις προδιαγραφές που θα πρέπει να έχει η δομή του καθώς και με τους κανόνες λήψης των αποφάσεων. Υπολογισμός των παραμέτρων, της συμπεριφοράς του μοντέλου και των αρχικών συνθηκών. Ελέγχεται αν όλες οι μεταβλητές έχουν οριστεί και μάλιστα μια φορά καθώς και η ύπαρξη των σωστών μονάδων μέτρησης. Διεξάγονται δοκιμές για να ορισθούν τα όρια του μοντέλου σε σχέση με την κλίμακα αναφοράς που έχει οριστεί. Δηλαδή εξετάζεται αν το μοντέλο αναπαράγει τα προβλήματα σε ακραίες συνθήκες. Γίνονται πολλές δοκιμές για το αν το μοντέλο συμπεριφέρεται ρεαλιστικά δεδομένων των αβεβαιοτήτων που υπάρχουν βάσει των στόχων και των ορίων του.
- Έλεγχος και Επικύρωση του μοντέλου. Σ' αυτό το βήμα γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των δοκιμών με το σχέδιο αναφοράς που έχει οριστεί. Εξετάζεται αν το μοντέλο αναπαράγει την προβληματική συμπεριφορά σε σχέση με τους στόχους που έχουν τεθεί. Ελέγχεται αν το μοντέλο συμπεριφέρεται ρεαλιστικά κάτω από ακραίες συνθήκες. Πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας δηλαδή καταγράφεται η συμπεριφορά του μοντέλου με δεδομένη την αβεβαιότητα στις μεταβλητές, στις αρχικές συνθήκες και στα όρια του.
- Σχεδιασμός της πολιτικής και αξιολόγηση. Αναπτύσσονται διάφορα σενάρια δεδομένων των αβεβαιοτήτων, σχεδιάζεται η πολιτική, γίνεται η ανάλυση (what....if) καθώς και η ανάλυση ευαισθησίας και καταδεικνύονται οι αλληλεπιδράσεις των εφαρμοζόμενων πολιτικών.

Σύμφωνα με τον J.D. Sterman(2000) δεν υπάρχει μια μαγική συνταγή για μια επιτυχημένη μοντελοποίηση. Η μοντελοποίηση από την ίδια τη φύση της

είναι δημιουργική- δυναμική και όχι στατική. Ο κάθε σχεδιαστής μοντέλου έχει τη δική του προσέγγιση. Βέβαια όλοι οι σχεδιαστές ακολουθούν μια βασική διαδικασία που περιλαμβάνει τις εξής δραστηριότητες:

1. Τη διατύπωση του προβλήματος που πρέπει να αντιμετωπισθεί.
2. Τη διατύπωση μιας δυναμικής υπόθεσης σχετικά με το πρόβλημα
3. Τη διαμόρφωση ενός μοντέλου προσομοίωσης με το οποίο θα δοκιμασθεί η δυναμική υπόθεση.
4. Δοκιμές και διορθώσεις στο μοντέλο μέχρι αυτό να ικανοποιεί τους σκοπούς για τους οποίους δημιουργήθηκε
5. Σχεδιασμός και αξιολόγηση των πολιτικών που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα (Stermann, 2000)

1.2.2 ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Τα δυναμικά συστήματα έχουν εφαρμοστεί σε θέματα που κυμαίνονται από την εταιρική στρατηγική μέχρι τη δυναμική του διαβήτη, από τον αγώνα δρόμου του ψυχρού πολέμου μεταξύ των ΗΠΑ και της ΕΣΣΔ μέχρι τη μάχη μεταξύ του HIV και του ανθρώπινου ανοσοποιητικού συστήματος. Τα δυναμικά συστήματα μπορούν να εφαρμόζονται σε οποιοδήποτε δυναμικό σύστημα, με οποιαδήποτε χρονική και χωρική κλίμακα. Στον κόσμο των επιχειρήσεων και της δημόσιας τάξης πραγμάτων, τα δυναμικά συστήματα έχουν εφαρμοστεί στις βιομηχανίες αεροσκαφών έως τις βιομηχανίες μετάλλου και από τα ζητήματα του AIDS έως την μεταρρύθμιση στην κοινωνική πρόνοια (Stermann 2000)

Ο J. W. Forrester καθώς και άλλοι από το τέλος της δεκαετίας του '60 προσέγγισαν την οικιστική ανάπτυξη με την συστημική δυναμική. Το 1990 η Σ.Δ. προσέγγισε το χώρο της εκπαίδευσης και χρησιμοποιήθηκε σαν εργαλείο μάθησης. Επίσης στο χώρο των τεχνικών έργων η Συστημική Δυναμική χρησιμοποιήθηκε για την καλύτερη διαχείριση τους.

Τα κατασκευαστικά έργα είναι εξαιρετικά πολύπλοκα καθώς αποτελούνται από πολλαπλά αλληλοεξαρτώμενα στοιχεία. Μια μικρή αλλαγή που μπορεί να συμβεί σε ένα μέρος του συστήματος μπορεί να επιφέρει σημαντικές αλλαγές σε άλλα σημεία του συστήματος. Γι' αυτό απαιτείται η καταγραφή και αποτελεσματική κατανόηση των αλληλεξαρτήσεων των στοιχείων του συστήματος. Με τη συστημική δυναμική μπορούν να καταγραφούν αυτές οι αλληλεξαρτήσεις και να εντοπιστεί ο αντίκτυπος τους στη λειτουργία έργου

Η διαχείριση των κατασκευαστικών έργων είναι από την ίδια τη φύση της ένα δυναμικό σύστημα . Διαδικασίες όπως η πρόσληψη εργατικού δυναμικού και η κατάρτιση του απαιτούνται καθ' όλη τη διάρκεια του έργου.

Σ' όλη τη διάρκεια του έργου εμφανίζονται πολλές χρονικές καθυστερήσεις στις φάσεις του έργου. Από τη στιγμή που ανακαλύπτονται κάποια σφάλματα μέχρι αυτά να διορθωθούν μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα που επηρεάζει την ολοκλήρωση του έργου .Σφάλματα συχνά εμφανίζονται και στην αντιμετώπιση απρόβλεπτων αλλαγών στη φάση της εφαρμογής της μελέτης του έργου ή ακόμη και στις προδιαγραφές του έργου.

Η δυναμική των στοιχείων που συνθέτουν το σύστημα οδηγεί σε καταστάσεις που μια μικρή λειτουργική απόκριση του συστήματος μπορεί να επιφέρει μια μεγάλη απόκριση στο κόστος , στο χρονοδιάγραμμα του έργου και στην ποιότητα . Για παράδειγμα, η πρόσληψη πρόσθετων εργαζομένων προσθέτει στην ικανότητα ενός οργανισμού μακροπρόθεσμα, αλλά άμεσα όχι γιατί οι έμπειροι εργαζόμενοι πρέπει να περιορίσουν το χρόνο από την εργασία τους για να εκπαιδεύσουν τους νεοσύλλεκτους μειώνοντας έτσι την παραγωγικότητα τους.

Τα κατασκευαστικά έργα λόγω της πολυπλοκότητάς τους εκτίθενται σε πολλούς παράγοντες που προκαλούν αβεβαιότητα στα έργα. Πολλά κατασκευαστικά έργα δεν επιτυγχάνουν τους στόχους του έργου που σχετίζονται με το χρονοδιάγραμμα υλοποίησης, το κόστος και την ποιότητα του. Οι καθυστερήσεις κι οι υπερβάσεις του κόστους είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο. Απαιτείται μια διαχείριση των έργων τέτοια που να αντιμετωπίζει τις αβεβαιότητες των έργων που έχουν σοβαρό αντίκτυπο τόσο στους πελάτες (το κράτος για δημόσια έργα) όσο και στους αναδόχους. Η συστημική δυναμική αναπτύχθηκε για να αντιμετωπίσει ακριβώς αυτές τις δυναμικές. Από όλες τις επίσημες τεχνικές μοντελοποίησης, η δυναμική έχει εξελιχθεί περισσότερο δίνοντας κατευθυντήριες γραμμές για τη σωστή αναπαράσταση, ανάλυση και εξήγηση της δυναμικής των σύνθετων τεχνικών συστημάτων καθώς και της διαχείρισής τους.(System Dynamics Modeling for Project Management 1992 John D. Sterman)

1.2.3. ΚΥΡΙΑΡΧΙΑ ΤΗΣ ΣΥΣΤΗΜΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΟΥ

Η προσέγγιση της δυναμικής του συστήματος στη διαχείριση έργων βασίζεται σε μια ολιστική άποψη της διαδικασίας διαχείρισης του έργου. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή μεθοδολογία διαχείρισης έργων, ο πρωταρχικός στόχος ενός μοντέλου δυναμικής του συστήματος είναι να συλλάβει τις κύριες διαδικασίες ανάδρασης που είναι υπεύθυνες για τις συμπεριφορές του συστήματος έργου και ανησυχεί λιγότερο για τα λεπτομερή στοιχεία του έργου(Rodrigues, 2001).

Η Συστημική Δυναμική έχει την δυνατότητα να αντιπροσωπεύει τις διάφορες πτυχές του πραγματικού κόσμου και να διαχειρίζεται την πολυπλοκότητα των συστημάτων την μη γραμμικότητα τους με την ανατροφοδότηση τους με βρόχους που υπάρχουν στα κοινωνικά και φυσικά συστήματα (Forester, 1994)

Τα κατασκευαστικά έργα περιλαμβάνουν πολλαπλές διαδικασίες ανάδρασης

Ένα πολύπλοκο σύστημα όπως ένα έργο μεγάλης κλίμακας κατασκευής περιλαμβάνει πολλαπλές αλληλεπιδράσεις και διαδικασίες ανατροφοδότησης.

Για παράδειγμα, όταν ένα έργο υπολείπεται του χρονοδιαγράμματος, μια πιθανή διαχειριστική απάντηση γι' αυτό το πρόβλημα είναι να αυξηθούν οι ώρες εργασίας χρησιμοποιώντας υπερωρίες.

Οι επιπλέον ώρες βοηθούν στην επανέναρξη του προγράμματος ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η ανάγκη για υπερωρίες στο μέλλον. Μια τέτοια διαδικασία ανατροφοδότησης αποτελεί ένα μηχανισμό αυτό-διόρθωσης. Ωστόσο, εάν οι υπερωρίες παραμείνουν υψηλές για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, οι εργαζόμενοι μπορεί να κουραστούν και να μην αποδίδουν. Έτσι η χαμηλότερη παραγωγικότητα θα οδηγήσει σε υψηλότερο ποσοστό σφαλμάτων και σε υπέρβαση του χρονοδιαγράμματος. Ταυτόχρονα θα δημιουργείται η πίεση για ακόμη περισσότερες υπερωρίες, σε έναν φαύλο κύκλο αυτό-ενισχυτικής διαδικασίας ανάδρασης.

Οι διαδικασίες ανάδρασης είναι θεμελιώδεις για την προσομοίωση τεχνικών και άλλων συστημάτων με τη συστημική δυναμική. Όταν υπάρχουν σημαντικές διαδικασίες ανάδρασης σε ένα σύστημα, τα νοητικά μοντέλα και τα παραδοσιακά εργαλεία κόστους και προγραμματισμού, όπως οι μέθοδοι της κρίσιμης διαδρομής, δεν καταφέρνουν να προσομοιώσουν το σύστημα με την πραγματικότητα. Ο λόγος είναι ότι δεν λαμβάνουν επαρκώς υπόψη τα αποτελέσματα ανάδρασης. Παρόλο που είναι πολύ χρήσιμο να

προγραμματιστεί η ακολουθία των δραστηριοτήτων σε ένα έργο, εργαλεία όπως γραφήματα Gantt, μέθοδοι PERT και κρίσιμες διαδρομές δεν επιλύουν το πρόβλημα. Η ανάλυση της κρίσιμης διαδρομής καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο αλλάζει ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί ένα βήμα.

Ωστόσο, ο απαιτούμενος χρόνος για κάθε μεμονωμένο βήμα εκτιμάται από τον αναλυτή με βάση ιστορικά στοιχεία, προηγούμενη εμπειρία, ή κρίση. Εάν όμως οι απαιτήσεις των πελατών αλλάζουν, ή υπήρχαν λάθη που απαιτούσαν την επανεξέταση μετά την έναρξη του έργου, ο αναλυτής μπορεί να επανεκτιμήσει το χρονοδιάγραμμα αλλάζοντας το χρόνο που απαιτείται για τον μικρό αριθμό μεμονωμένων βημάτων που επηρεάζονται άμεσα από την αλλαγή και στη συνέχεια να επαναλάβει την κρίσιμη διαδρομή και τον απαιτούμενο χρόνο μέχρι την ολοκλήρωση. Το λάθος είναι ότι υπάρχει μια σιωπηρή παραδοχή ότι ο χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση όλων των άλλων βημάτων δεν επηρεάζεται. Δηλαδή, όλες οι άλλες αλληλεπιδράσεις αγνοούνται.

Όμως οι αλληλεπιδράσεις είναι πολλές. Για παράδειγμα, αλλαγές στις προδιαγραφές που απαιτούνται για ένα υποσύστημα και η μετέπειτα τεχνικές αλλαγές μπορεί να απαιτήσουν την πρόσληψη και την κατάρτιση επιπλέον μηχανικών που με τη σειρά της θα εκτρέψει τους εξειδικευμένους μηχανικούς από το σχεδιαστικό τους έργο στην κατάρτιση των νέων. Οι εκπαιδευόμενοι με τη σειρά τους μπορεί να δημιουργήσουν περισσότερα σφάλματα, αυξάνοντας τον επανασχεδιασμό.

Τεχνολογικές αλλαγές μπορεί καταστήσουν κάποια κατασκευαστικά έργα ξεπερασμένα λόγω των απηρχαιωμένων σχεδίων. Οι εντολές που έχουν ήδη εκδοθεί ενδέχεται να πρέπει να αναθεωρηθούν. Ορισμένα τμήματα του έργου τα οποία έχουν ανατεθεί σε υπεργολαβία πρέπει να υποστούν νέα επεξεργασία..

Επιπρόσθετες εργασίες σχεδίασης και κατασκευής πρέπει τώρα να γίνουν χωρίς την πλήρη γνώση πώς τα σχετικά συστατικά μέρη και τα υποσυστήματα θα αλληλεπιδράσουν , οδηγώντας ακόμα και σε επανακατασκευή.

Η πρόσθετη πρόσληψη μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση στο εργοτάξιο, μειώνοντας την παραγωγικότητα, αυξάνοντας τα λάθη και ενδεχομένως οδηγώντας σε ατυχήματα που σχετίζονται με την ασφάλεια. Καθώς συσσωρεύονται αυτά τα αποτελέσματα, η ομάδα

διαχείρισης του έργου έχει όλο και λιγότερο χρόνο για να εποπτεύσει όλες τις πτυχές του έργου, έτσι ώστε η ποιότητα και το χρονοδιάγραμμα των εργασιών να υστερούν σε στάδια του έργου που προηγουμένως πήγαιναν καλά. Οι σχέσεις με τους πελάτες μπορούν να επιδεινωθούν, τα meetings, οι αναθεωρήσεις και η εποπτεία εκ μέρους του πελάτη μπορεί να γίνουν ολοένα και πιο ψυχοφθόρες. Με τον τρόπο αυτό η επίδραση της αρχικής αλλαγής κυλάει σε ολόκληρη την οργάνωση του έργου, επιβραδύνοντας την πρόοδο του, μειώνοντας την παραγωγικότητα και αυξάνοντας το κόστος σε κάθε στάδιο του έργου.

Εάν οι αλλαγές είναι αρκετά μεγάλες ένα κύμα επηρεάζει το σύστημα προκαλώντας συμπίεση του προγράμματος προκειμένου να υπάρξει μεγαλύτερου βαθμού συνάφεια στο σχεδιασμό και την κατασκευή, με αποτέλεσμα υπερβολικές υπερωρίες, κόπωση, αυξημένα σφάλματα, μειωμένη ποιότητα και πιέσεις στην ομάδα διαχείρισης του έργου. Καταλήγουμε το πραγματικό κόστος μιας φαινομενικά αθώας αλλαγής σχεδιασμού να υπερβαίνει πολλές φορές το άμεσο πραγματικό κόστος της αλλαγής. Εάν ένας διαχειριστής έργου ή ένας αναλυτής προγραμματισμού αναμένει όλες αυτές τις ανατροφοδοτήσεις και αλληλεπιδράσεις και δεν εισάγει με αυτόματο τρόπο τις αλλαγές στο μοντέλο-σύστημα, η μέθοδος της κρίσιμης διαδρομής θα τείνει να υποτιμήσει τις επιπτώσεις των αλλαγών με δραματικά συχνά αποτελέσματα.

Η προηγούμενη συζήτηση, ωστόσο, δεν σημαίνει ότι τα παραδοσιακά εργαλεία κοστολόγησης και προγραμματισμού όπως το PERT είναι ασήμαντα. Η Συστημική Δυναμική μπορεί να χρησιμοποιεί τα παραδοσιακά εργαλεία σε έργα μεγάλης κλίμακας με πολλαπλές παράλληλες και διαδοχικές δραστηριότητες για την αντιμετώπιση της δυναμικής πολυπλοκότητας που δημιουργείται από τις αλληλεξαρτήσεις, ανατροφοδοτήσεις, χρονικές καθυστερήσεις και μη γραμμικότητες.

Οι μη γραμμικές σχέσεις είναι ο κανόνας και όχι η εξαίρεση σε σύνθετα συστήματα.

Η μη γραμμικότητα σημαίνει ότι οι αιτίες και τα αποτελέσματα δεν έχουν απλές αναλογικές σχέσεις. Για παράδειγμα, αν εξεταστεί η σχέση μεταξύ της εβδομαδιαίας εργασίας και της παραγωγικότητας, η αύξηση της εβδομάδας εργασίας για τέσσερις μηχανικούς από 40 σε 44 ώρες την εβδομάδα μπορεί να αυξήσει την απόδοση του σχεδίου κατά 10% (4/40). Όμως οι επιπλέον υπερωρίες μπορεί γρήγορα να οδηγήσουν σε μείωση ή ακόμα και σε αρνητικές αποδόσεις δεδομένου ότι οι περισσότερες ώρες προκαλούν κόπωση, πρόσθετα σφάλματα και άλλα αποτελέσματα που ήταν προηγουμένως άνευ σημασίας.

Τα μοντέλα δυναμικής του συστήματος απεικονίζουν την πλούσια γκάμα των μη γραμμικών σχέσεων που υπάρχουν στην πραγματική ζωή με μεγάλη πιστότητα. Η δυναμική του συστήματος, περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη επίσημη τεχνική μοντελοποίησης, τονίζει τη σημασία των μη γραμμικοτήτων στη διαμόρφωση μοντέλων. (System Dynamics Modeling for Project Management John D. Sterman 1992)

1.2.4 ΚΡΙΣΙΜΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΥΣΤΗΜΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ

Η ανάπτυξη ενός διορατικού μοντέλου είναι αρκετά δύσκολη. Η χρήση μοντέλων για την αλλαγή οργανώσεων και την εφαρμογή νέων πολιτικών είναι ακόμη πιο δύσκολη. Οι πελάτες πρέπει να έχουν ενεργό συμμετοχή στη διαδικασία μοντελοποίησης. Πολύ σημαντικό σημείο στη συστημική δυναμική είναι η όλη διαδικασία βάσει της οποίας το πρόβλημα που θέσαμε από την αρχή αποτυπώνεται με διαγραμματικό τρόπο.

Στη συστημική δυναμική τα στάδια είναι δυο το ποιοτικό που απεικονίζει την δομή της πραγματικότητας και το ποσοτικό στάδιο όπου εισάγονται αριθμοί και εξισώσεις ώστε να τρέξει το πρόγραμμα επιβεβαιώνοντας ή όχι τις αρχικές υποθέσεις. Στο ποιοτικό όμως στάδιο είναι πολύ δύσκολο να γνωρίζουμε όλες τις πτυχές του προβλήματος ώστε να έχουμε μια πλήρη απεικόνιση (STERMAN, 2001)

Ένα κατασκευαστικό έργο μεγάλης κλίμακας δεν είναι απλά θέμα τεχνικής - σχεδίων, χάλυβα, Σωλήνων και καλωδιώσεων. Πρόκειται ουσιαστικά για μια ανθρώπινη επιχείρηση και δεν μπορεί να γίνει κατανοητή μόνο από την άποψη των τεχνικών σχέσεων μεταξύ των συνιστωσών του έργου. Κάποια, ίσως τα περισσότερα, από τα σημαντικά δεδομένα που απαιτούνται για να γίνει κατανοητή η εξέλιξη και η δυναμική ενός τέτοιου έργου αφορούν τη λήψη αποφάσεων στη διαχείριση του έργου.

Η συντριπτική πλειοψηφία όλων των δεδομένων που είναι ποιοτικά απλά περιγράφονται και πολλά απ' αυτά δεν έχουν καταγραφεί ποτέ. Ωστόσο, είναι ζωτικής σημασίας αυτά τα δεδομένα για την κατανόηση και τη μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η λειτουργία ενός σχολείου, ενός εργοστασίου ή της ίδιας της οικονομίας μόνο με βάση τις διαθέσιμες αριθμητικές πληροφορίες, χωρίς την

περιγραφική γνώση των λειτουργικών διαδικασιών και την οργανωτική δομή τους, σ' αυτή την περίπτωση το αποτέλεσμα θα ήταν το χάος.

Η συστημική δυναμική διδάσκεται από τη χρήση πολλαπλών πηγών πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων αριθμητικών δεδομένων, συνεντεύξεων, άμεσων παρατηρήσεων, και άλλων τεχνικών που θα δημιουργήσουν τους κανόνες των αποφάσεων, τις οργανωτικές δομές και τους στόχους του συστήματος. Ο εξειδικευμένος σχεδιαστής του δυναμικού μοντέλου χρησιμοποιεί όλες τις διαθέσιμες πηγές πληροφοριών για να καθορίσει τις σχέσεις των στοιχείων του συστήματος στο μοντέλο

Η βιβλιογραφία τονίζει ότι η ιστορική εφαρμογή δηλαδή η ικανότητα ενός μοντέλου να αναπαράγει παρελθοντικές συμπεριφορές του συστήματος είναι μια από τις πολλές δοκιμές στις οποίες πρέπει να υποβληθεί ένα μοντέλο. Οι ειδικοί της δυναμικής τονίζουν τη χρήση ποικίλων δοκιμών εκτός από την ιστορική εφαρμογή. Αυτές οι δοκιμές επικεντρώνονται στην αντιστοιχία της δομής του μοντέλου με το σύστημα, στην αξιοπιστία της συμπεριφοράς του μοντέλου και στις αξιόπιστες συστάσεις πολιτικών διαχείρισης. Η διαδικασία επικύρωσης του τρόπου λειτουργίας του είναι ο έλεγχος και η δοκιμή από την ομάδα διαχείρισης. Η εστίαση της επικύρωσης είναι ο έλεγχος των κρίσιμων παραδοχών της μοντελοποίησης. Το μοντέλο γίνεται ένα « συνομιλητής» στο διάλογο για τη διαχείριση του έργου.

Παραδοσιακά, τα επίσημα εργαλεία μοντελοποίησης ήταν περίπλοκα και απρόσιτα, εκτός από τους ειδικούς. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τα μοντέλα να αναπτυχθούν από εμπειρογνώμονες χωρίς την άμεση συμμετοχή των διαχειριστών στη διαδικασία μοντελοποίησης οι οποίοι αναμενόταν να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα των δυναμικών μοντέλων.

Η αδυναμία των διαχειριστών να συμμετάσχουν στη διαδικασία μοντελοποίησης δημιούργησε ένα δίλημμα. Εάν οι μοντελιστές έχτιζαν ένα απλό μοντέλο, θα επικρίνονταν επειδή αγνοούσαν σημαντικές σχέσεις των στοιχείων του συστήματος. Εάν έχτιζαν ένα πολύπλοκο μοντέλο, θα επικρίνονταν για τη μοντελοποίηση που κανείς δεν μπορούσε να καταλάβει. Και οι δύο κριτικές επικεντρώνονται στο αν το μοντέλο είναι υπερπροσχεδιασμένο και πάρα πολύ δύσκολο να γίνει κατανοητό από τους διαχειριστές. Η μοντελοποίηση στην ουσία θα βραχυκύκλωνε τη διαδικασία εκμάθησης μέσω της οποίας οι

άνθρωποι κατανοούν καλύτερα ένα περίπλοκο σύστημα και έτσι η πιθανότητα μιας επιτυχημένης οργανωτικής αλλαγής είναι πολύ μικρή.

Η λύση στο παραπάνω δίλημμα είναι η εντατική συμμετοχή της ομάδας διαχείρισης στην διαδικασία δημιουργίας του μοντέλου. Τα νέα εργαλεία λογισμικού καθιστούν τώρα δυνατή τη συμμετοχή των διαχειριστών στην ανάπτυξη των μοντέλων. Οι εξελιγμένες διεπαφές επιτρέπουν στους διαχειριστές και στους εργαζόμενους σε μια επιχείρηση να χρησιμοποιούν, να δοκιμάζουν και να αναθεωρούν πολύπλοκα μοντέλα. Τα μοντέλα έχουν γίνει "εργαστήρια μάθησης" μέσα από τα οποία μπορεί ένας διαχειριστής να μάθει για τις μακροπρόθεσμες παρενέργειες των αποφάσεων του χωρίς κίνδυνο για την πραγματική οργάνωση. (System Dynamics Modeling for Project Management 1992 John D. Sterman)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΡΓΟΥ ΟΔΟΠΟΪΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σ' αυτή τη μελέτη θα προσεγγίσουμε την υλοποίηση έργων οδοποιίας. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιήσουμε για παράδειγμα ένα έργο δέκα έξι χιλιομέτρων Ανατολή- Μεγαλόβρυσο – Μελιβοία στο Δήμο Αγιάς στην Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας. Ο συγκεκριμένος δρόμος βρίσκεται γεωγραφικά στις πλαγιές του Κισσάβου σε υψόμετρο 600 μέτρων περίπου με ότι αυτό συνεπάγεται για τις δυσκολίες της κατασκευής του. Στην διαδρομή που κατασκευάστηκε υπήρχε παλιότερα ένας απλός χωματόδρομος χωρίς κανένα τεχνικό έργο και κυκλοφορούσαν μόνο αγροτικά μηχανήματα. Η τελική διατομή της οδού θα έχει μεταβλητό πλάτος: 5,5μ-6,0μ έως 7,0μ-9,0μ.

Με την μεθοδολογία της Συστημικής Δυναμικής θα σχεδιάσουμε ένα μοντέλο προσομοίωσης της διαδικασίας κατασκευής του έργου. Η δομή του μοντέλου θα καταγράψει την πολυπλοκότητα της διαδικασίας υλοποίησης και διαχείρισης του έργου και ταυτόχρονα θα είναι εύκολο και κατανοητό.

Το έργο το διαιρούμε σε πέντε φάσεις: χωματουργικές εργασίες, τεχνικά έργα, οδοστρωσία, ασφαλτικές εργασίες, διαγράμμιση-σήμανση της οδού και ταυτόχρονα αποτυπώνονται οι αλληλεξαρτήσεις των φάσεων.

Αυτή η δομική ανάλυση του έργου αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για την μοντελοποίηση του. Σε κάθε φάση περιγράφονται οι βασικές δραστηριότητες καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την εξέλιξη του έργου.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα αιτιότητας με το αντίστοιχο μοντέλο προσομοίωσης που σχεδιάστηκε με τη βοήθεια του προγράμματος PowerSim Studio 9.

Σκοπός της εργασίας είναι να χρησιμοποιηθεί η συστημική δυναμική στη διαχείριση έργων οδοποιίας και με την μοντελοποίηση τους να καταδειχθεί πως επηρεάζουν κάποιες παράμετροι την ολοκλήρωση του.

Πίνακας 1 Φάσεις Έργου

α/α	Τίτλος	Περιγραφή	Εξοπλισμός	Τιμή εξοπλισμού	Εργαζόμενοι	Μισθός εργατών	Υλικά	Τιμή υλικών	Μηχανικοί	Αμοιβή μηχανικών
1	1ο στάδιο	Χωματουργικές εργασίες	Εκσκαφείς, επιχορσεις και διαμόρφωση της πρώτης βάσης της οδού	Εκσκαφείς, φορτωτές, φορτηγά, εκσκαφέα-σφύρα, ισοπεδωτής	24.000 €/μήνα	Χειριστές Εξοπλισμού	-	-	-	Πολιτικοί Μηχανικοί 1000€/μήνα
2	2ο στάδιο	Τεχνικά Έργα1	Προμήθεια, μεταφορά επιτόπου, διάστρωση και συμπύκνωση σκυροδέματος με χρήση αντλίας ή πυρογερανούς για κατασκευές από σκυρόδεμα καθαριότητας	-	-	Τεχνίτης ξυλοτυπων, βοηθός τεχνίτη ξυλοτυπων, εργάτης, τεχνίτες τοποθέτησης γάλυβα	320 €/ημέρα	Σκυρόδεμα, χάλυβας	38312€/km	Πολιτικοί Μηχανικοί 1000€/μήνα
3	3ο στάδιο	Οδοστρώση	Περιλαμβάνει εργασίες στρώσης της βάσης της οδού με θραυστό υλικό λατομείου κατηγορίας Ε4 και Ο5 155	Σπαστήρας, κόσκινο, εκσκαφέας, φορτηγά, φορτωτής, βυτιοφόρο νερού, οδοστρωτήρας	63.000 €/μήνα	Χειριστές Εξοπλισμού	-	-	-	Πολιτικοί Μηχανικοί 1000€/μήνα
4	4ο στάδιο	Τεχνικά Έργα2	Κατασκευή ρείθρων διαμόρφωσης ροής νερού	-	-	Τεχνίτης ξυλοτυπων, βοηθός τεχνίτη ξυλοτυπων, εργάτης	200€/ημέρα	Σκυρόδεμα, χάλυβας	1075€/km	Πολιτικοί Μηχανικοί 1000€/μήνα
5	5ο στάδιο	Ασφαλτικά	Διαμόρφωση ασφαλτικής επιφάνειας της οδού	Διανομέας ασφάλτου, διαστρωτής ασφάλτου, φορτηγά, οδοστρωτήρας	69000 €/μήνα	Χειριστές Εξοπλισμού	-	-	-	Πολιτικοί Μηχανικοί 1000€/μήνα
6	6ο στάδιο	Σήμανση	Σήμανση δαπέδου, στηθαία και πινακίδες	-	-	-	-	Μονόπλευρα χαλύβδινα στηθαία ασφαλείας, σιδερωσώνες κινκιδωμάτων, Πινακίδες ρυθμιστικές	22.411 €/km	Πολιτικοί Μηχανικοί 1000€/μήνα
7	ο									

2.2 Χωματουργικές Εργασίες

Οι μηχανικοί που αναλαμβάνουν το έργο με τα κατάλληλα όργανα οριοθετούν την χάραξη του δρόμου, παίρνουν τα υψόμετρα και χαράσσουν την στρατηγική που θα ακολουθηθεί για την επιτυχή εφαρμογή της μελέτης που δημοπρατήθηκε.

Σ' αυτή τη φάση εγκαθίστανται τα μηχανήματα που αποτελούνται από δύο(2) εκσκαφείς, δύο (2) φορτωτές, τέσσερα (4) φορτηγά, ένα (1) εκσκαφέα-σφύρα και ένα (1) ισοπεδωτή με τους χειριστές τους που προβαίνουν στις απαραίτητες χωματουργικές εργασίες. Αυτές συνίστανται σε διαπλάτυνση του υπάρχοντος αγροτικού δρόμου με αύξηση του πλάτους της επιφάνειας κυκλοφορίας στα 5,50μ έως 6,00μ και διαμόρφωση ερεισμάτων εκατέρωθεν του μεταβλητού πλάτους 0,50 - 1,00μ.. Επίσης διαμορφώνονται τα αρχικά υψόμετρα της οδού και γίνονται οι κατάλληλες εκσκαφές για την κατασκευή των τεχνικών έργων. Μόλις τελειώσουν

οι χωματουργικές εργασίες σε μήκος 4 χιλιομέτρων συνεχίζονται στα επόμενα 4 χλμ μέχρι να ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία, σε όλο το μήκος του δρόμου. Ταυτόχρονα με το τέλος των χωματουργικών εργασιών στα πρώτα τέσσερα χιλιόμετρα και ενώ αυτές συνεχίζονται στα επόμενα τέσσερα ξεκινά η φάση των τεχνικών έργων στα πρώτα τέσσερα χιλιόμετρα

2.3 Τεχνικά έργα

Στην φάση αυτή εγκαθίστανται συνεργεία κατασκευής ξυλότυπων και έγχυσης οπλισμένου σκυροδέματος για να κατασκευάσουν τα τεχνικά έργα που είναι απαραίτητα στο πρώτο τμήμα της οδού. Αυτά τα τεχνικά έργα περιλαμβάνουν γέφυρες, αποστραγγιστικά δίκτυα, τοίχους αντιστήριξης και κατασκευή ερεισμάτων. Σε αυτή την φάση, εκτός από τους ξυλότυπους που είναι ιδιοκτησίας των συνεργείων, η εταιρεία παραγωγής σκυροδέματος χρησιμοποιεί επί τόπου μία (1) πρέσα άντλησης σκυροδέματος και τρεις (3) βαρέλες μεταφοράς. Η δε εταιρεία που προμηθεύει τον σιδηρό οπλισμό χρησιμοποιεί ένα (1) φορτηγό μεταφοράς. Με την ολοκλήρωση των τεχνικών έργων στο μήκος των τεσσάρων χλμ, αυτά συνεχίζονται στα επόμενα 4 χλμ και μέχρι να ολοκληρωθεί αυτή η φάση σε όλο το μήκος της οδού. Ταυτόχρονα αρχίζει η φάση της οδοστρωσίας στα πρώτα τέσσερα χιλιόμετρα.

2.4 Οδοστρωσία

Στην τρίτη φάση εγκαθίστανται τα μηχανήματα της οδοστρωσίας, που αποτελούνται από ένα (1) σπαστήρα, ένα (1) κόσκινο, ένα (1) εκσκαφέα, τέσσερα (4) φορτηγά, ένα (1) φορτωτή, ένα (1) βυτιοφόρο νερού και ένα (1) οδοστρωτήρα με τους χειριστές τους, στην αρχή του έργου. Η οδοστρωσία συνίσταται στην κατασκευή μίας στρώσης υπό βάσης και μίας στρώσης βάσης με τα κατάλληλα πετρώδη υλικά στις κατάλληλες διατομές από σπαστήρα λατομείου στο σωστό υψόμετρο. Επίσης με διάφορες τεχνικές επιτυγχάνεται η πλήρη συμπίκνωση των διαστρωμένων υλικών για την αποφυγή κατολισθήσεων

Έτσι με την ακολουθούμενη διαδικασία κατασκευής, των πρώτων τριών φάσεων σε τμήματα των 4 χλμ επιτυγχάνουμε να έχουμε συνεχή ροή συνεργείων και μηχανημάτων χωρίς να υπάρχει αλληλοεπικάλυψη εργασιών και καθυστερήσεων που επηρεάζουν τα οικονομικά δεδομένα του έργου και το χρόνο παράδοσης του έργου.

2.5 Ασφαλτικές εργασίες

Όταν τελειώσει η φάση της οδοστρωσίας σε όλο το μήκος κατασκευής της επαρχιακής οδού αρχίζει η φάση της ασφαλτόστρωσης. Εγκαθίστανται τα μηχανήματα των ασφαλτοστρώσεων που αποτελούνται από ένα (1) διανομέα ασφάλτου, ένα (1) διαστρωτή ασφάλτου, τέσσερα (4) φορτηγά και ένα (1) οδοστρωτήρα με τους χειριστές τους. Η ασφαλτόστρωση περιλαμβάνει την διαδικασία ασφαλικής προεπάλειψης και στην συνέχεια μια ασφαλική στρώση κυκλοφορίας πάχους 5cm. Εδώ δεν ακολουθείτε η λογική της κατάτμησης γιατί αυτή είναι μια φάση που χρειάζεται πολύ λιγότερο χρόνο για να πραγματοποιηθεί και τυχόν αλληλοεπικάλυψη εργασιών θα επηρεάσει το κόστος.

2.6 Διαγράμμιση-σήμανση της οδού

Τελειώνοντας τη φάση της ασφαλτόστρωσης ολοκληρώνουμε το έργο με τη φάση της διαγράμμισης -σήμανσης της οδού που είναι η τελευταία και συνίσταται στη σήμανση και στην ασφάλεια που πρέπει να παρέχει η οδός στους πολίτες . Σε αυτή τη φάση τοποθετούνται πινακίδες σήμανσης , μπάρες ασφαλείας στα επικίνδυνα σημεία και ασφαλώς γίνεται η διαγράμμιση της οδού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

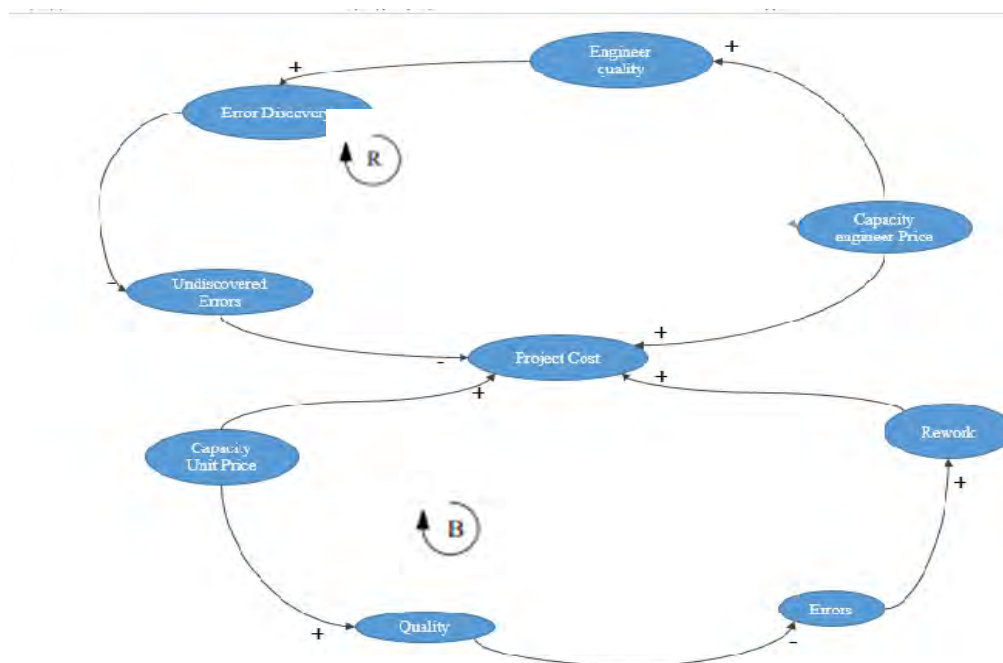
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε το διάγραμμα αιτιότητας και θα παρουσιαστεί το μοντέλο προσομοίωσης έργου οδοποιίας που αναπτύχθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος PowerSim Studio 9.

3.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΙΤΙΟΤΗΤΑΣ

Χρησιμοποιήσαμε ένα διάγραμμα αιτιότητας για όλες τις φάσεις του έργου διότι θεωρήσαμε ότι οι ίδιες ποιοτικές μεταβλητές επηρεάζουν την κάθε φάση του με διαφορετικό ποσοτικό μέγεθος. Το διάγραμμα αιτιότητας φαίνεται στο Σχήμα 10.

Σχήμα 10 Διάγραμμα αιτιότητας



Στο διάγραμμα αιτιότητας οι κρίσιμες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν είναι το μοναδιαίο κόστος του εξοπλισμού και το μοναδιαίο κόστος της εργασίας των πολιτικών μηχανικών που επιβλέπουν την υλοποίηση του έργου. Παρατηρείται ότι υπάρχουν δυο βρόχοι ανάδρασης.

Στο διάγραμμα φαίνεται ότι το μοναδιαίο κόστος του εξοπλισμού επηρεάζει την ποιότητα της παρεχόμενης εργασίας. Όταν αυξάνεται το μοναδιαίο κόστος του εξοπλισμού αυξάνεται η ποιότητα εργασίας. Η δε αυξημένη ποιότητα εργασίας μειώνει τα λάθη στην υλοποίηση του έργου. Στην περίπτωση που αυξάνονται τα λάθη στην υλοποίηση του έργου, αυξάνεται ο αριθμός επαναλήψεων της εργασίας που με τη σειρά της αυξάνει και το κόστος του έργου. Η άλλη κρίσιμη μεταβλητή που επηρεάζει το σύστημα είναι το μοναδιαίο κόστος της εργασίας των μηχανικών που επιβλέπουν το έργο. Όταν αυξάνεται αυτό το μοναδιαίο κόστος αυξάνεται και η ποιότητα επίβλεψης. Η ποιότητα επίβλεψης επηρεάζει θετικά την ανακάλυψη λαθών με άμεση συνέπεια να μειώνει τα λάθη που δεν ανακαλύπτονται και να μειώνεται έτσι το κόστος του έργου.

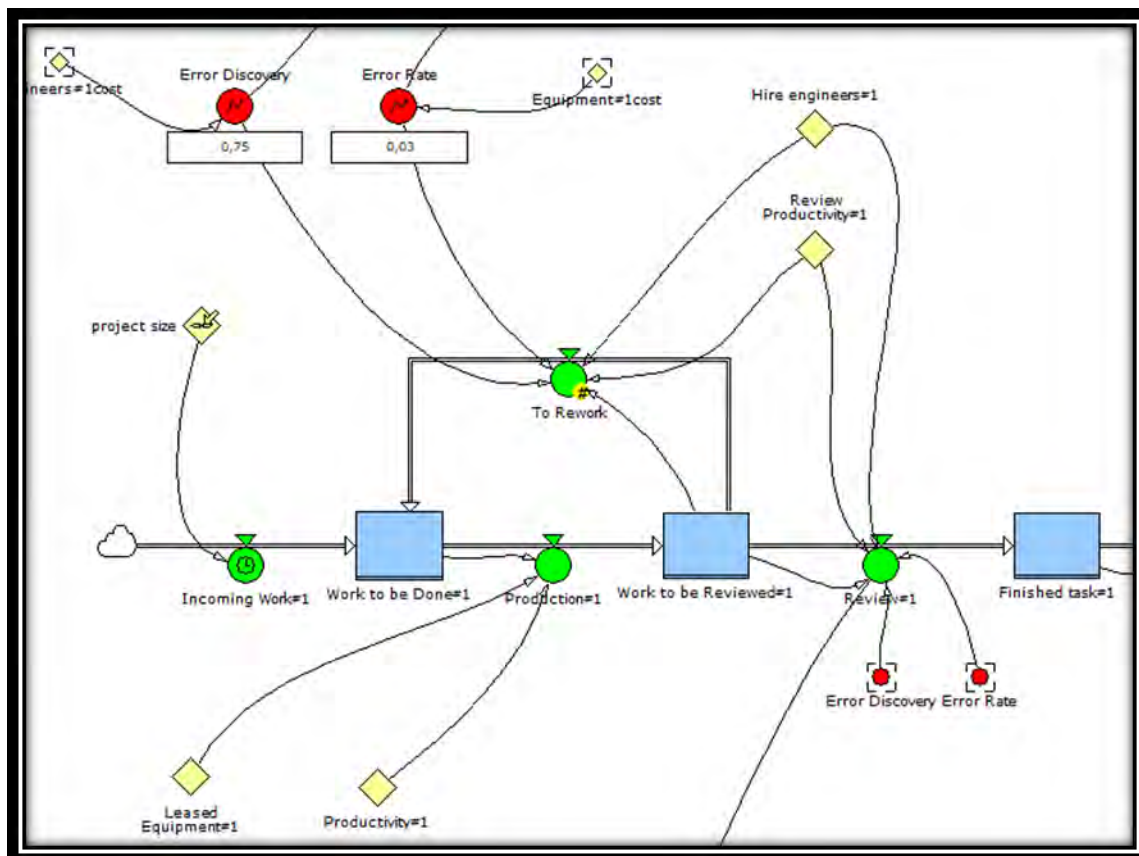
3.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το μοντέλο που δημιουργήθηκε αποτυπώνει τις πέντε φάσεις του έργου, όπως έχει αναφερθεί. Αυτές οι φάσεις παρουσιάζουν αλληλεξαρτήσεις και έχουν παρόμοια δομή. Αυτός είναι ο λόγος που θα περιγράψει μόνο η δομή του μοντέλου από το πρώτη φάση που είναι οι χωματουργικές εργασίες ενώ στο παράρτημα υπάρχει ολόκληρο το μοντέλο που περιλαμβάνει όλες τις φάσεις.

Το μοντέλο αποτελείται από πέντε σταθερές οι οποίες είναι ο «Όγκος του έργου» (project size), ο «αριθμός των σετ εξοπλισμού» (Leased Equipment), η «παραγωγική ικανότητα» του εξοπλισμού (Productivity#1), η «Παραγωγική ικανότητα στην επίβλεψη» των πολιτικών μηχανικών (Review Productivity#1) και ο «αριθμός των πολιτικών μηχανικών» (Hire engineers#1). Επίσης υπάρχουν τέσσερις ροές όγκου εργασίας. Η πρώτη είναι η ροή εισόδου όγκου έργου (Incoming work#1) η επόμενη είναι η παραγωγή (Production#1), στη συνέχεια είναι ο έλεγχος (Review#1) και ο όγκος εργασίας που πρέπει να επαναληφθεί (To rework). Ακόμη έχει τρεις συσσωρεύσεις όγκου έργου: την εργασία που πρέπει να γίνει (Work to be done#1), τον όγκο εργασίας που πρέπει να ελεγχθεί (Work to be reviewed#1) και το τέλος της φάσης (Finished task#1).

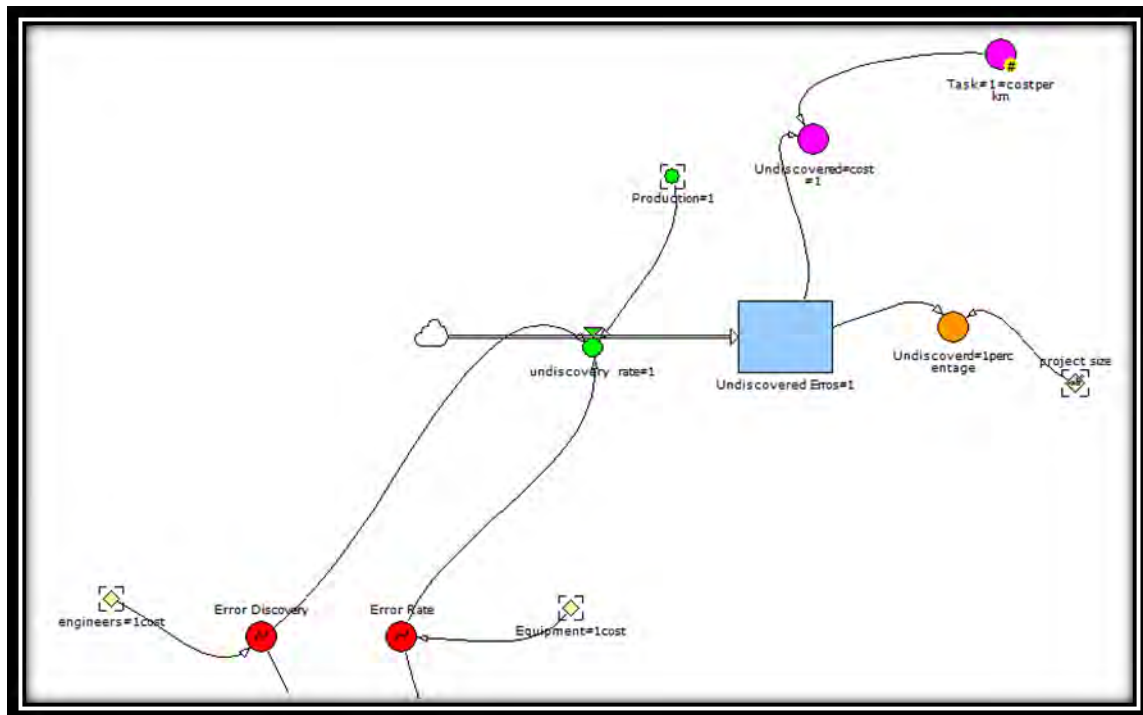
Τέλος το μοντέλο έχει και δυο βοηθητικές παραμέτρους οι οποίες είναι τα λάθη που γίνονται κατά τη διάρκεια της εργασίας (Error Rate) και τα λάθη που ανακαλύπτονται (Error Discovery) κατά τη διάρκεια του ελέγχου. Οι μεταβλητές των λαθών είναι εξαρτημένες από το μοναδιαίο κόστος του εξοπλισμού και της εργασίας των πολιτικών μηχανικών αντίστοιχα.

Σχήμα 11 Μοντέλο διαδικασίας υλοποίησης



Αυτή η εξάρτηση εκφράζεται με δυο διαγράμματα (μοναδιαίο κόστος του εξοπλισμού-Λαθών κατά τις εργασίες) και (Μοναδιαίο κόστος της εργασίας των πολιτικών μηχανικών - Λαθών που ανακαλύπτουν κατά τον έλεγχο). Με την έναρξη της προσομοίωσης μέσω του (Project size) εισάγεται ο όγκος δουλειάς σε «Km» στη συνέχεια περνάει μέσα από μέσα από τη ροή (Incoming Work#1) μετά από τον συσσωρευτή όγκου εργασίας (Work to be done#1). Αμέσως μετά περνάει μέσα από τη ροή εργασίας που δίνει το ρυθμό εργασίας (km/day) και αδειάζει στον συσσωρευτή (Work to be reviewed#1). Αμέσως μετά περνάει μέσα από τη ροή ελέγχου που θα αποφασίσει τι όγκος εργασίας πρέπει να ξαναγίνει και να τον στείλει στη ροή(To Rework) και τι όγκος πρέπει να συνεχίσει και να πάει στο συσσωρευτή (Finished Work#1) ώστε να περάσει στο επόμενο στάδιο. Ανάμεσα στα στάδια (φάσεις) του έργου υπάρχει μια αλληλεξάρτηση δηλαδή για να ξεκινήσει το δεύτερο στάδιο (Τεχνικά έργα) πρέπει να ολοκληρωθούν τα πρώτα 4km του πρώτου (Χωματουργικές εργασίες). Το ίδιο ισχύει και ανάμεσα στο δεύτερο(Τεχνικά έργα) στάδιο και το τρίτο (Οδοστρωσία) ενώ για να ξεκινήσει το τέταρτο στάδιο (Ασφαλτόστρωση πρέπει να ολοκληρωθεί το τρίτο (Οδοστρωσία). Το πέμπτο στάδιο (Διαγράμμιση-Σήμανση) για να ξεκινήσει πρέπει να ολοκληρωθεί το τέταρτο (Ασφαλτόστρωση).

Σχήμα 12 Μοντέλο διαδικασίας καταγραφής λαθών που δεν ανακαλύπτονται



Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται το κομμάτι του μοντέλου που αφορά την καταγραφή των λαθών που δεν ανακαλύπτονται. Αποτελείται από μια ροή (Undiscovery rate#1) η οποία στέλνει το όγκο των λαθών που δεν ανακαλύπτονται στον συσσωρευτή (Undiscovered Errors#1) και με της βοήθεια της μεταβλητής (Undiscovered#cost#1) στο κόστος αυτών των λαθών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Αποτελέσματα Μοντέλου

Το μοντέλο αυτό όπως έχουμε προαναφέρει δημιουργήθηκε ώστε να παρατηρήσουμε τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των μεταβλητών και την πολυπλοκότητα που υπάρχει στη συστημική δυναμική. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την διαδικασία της υλοποίησης έργων οδοποιίας και πρέπει να τους λαμβάνουμε υπόψιν σε κάθε στρατηγική που επιλέγουμε να εφαρμόσουμε.

Για να έχουμε όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα εισάγουμε στις μεταβλητές του μοντέλου τιμές που συλλέχθηκαν μέσα από συνεντεύξεις με τους ιδιοκτήτες της εταιρείας ΑΙΑΣ ΑΤΕ με έδρα στη Λάρισα. Οι υπόλοιπες μεταβλητές είναι μεταβλητές σεναρίου.

4.1 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΡΓΟΥ

Όπως αναφέραμε στόχος του μοντέλου είναι να κάνει προσομοίωση στην υλοποίηση έργων πολεοδομίας ώστε να επιλέξουμε ανάλογα με το υποτιθέμενο σενάριο την καλύτερη στρατηγική.

Τα σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν βασίστηκαν σε τρεις μεταβλητές που είναι το επιτόκιο δανεισμού, η καθυστέρηση πληρωμών και η παραγωγική ικανότητα. Η κάθε μεταβλητή έλαβε από δύο τιμές (πίνακας 2). Όπως είναι προφανές κάνοντας όλους τους δυνατούς συνδυασμούς προέκυψαν οκτώ στρατηγικές όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 2. Τιμές Στρατηγικών Μεταβλητών

Στρατηγική μεταβλητή	Τιμή1	Τιμή2
Equipment Cost/Staff Cost	2000-2500-2700/1000	2200-2750-2970/1100
Engineer salary/Hired Engineers	73/1	80/2
Staff/Leased Equipment	1--1	2--2

Πίνακας 3. Τιμές Στρατηγικών Αποφάσεων

A/A Στρατηγικής	capital	Staff-Leased Equipment	Hired Engineers
1	μεγάλη	μεγάλη	μεγάλη
2	μεγάλη	μικρή	μεγάλη
3	μεγάλη	μεγάλη	μικρή
4	μεγάλη	μικρή	μικρή
5	μικρή	μεγάλη	μεγάλη
6	μικρή	μικρή	μεγάλη
7	μικρή	μεγάλη	μικρή
8	μικρή	μικρή	μικρή

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προαναφερόμενων στρατηγικών με τις διαφορετικές τιμές των μεταβλητών τιμών σεναρίου.

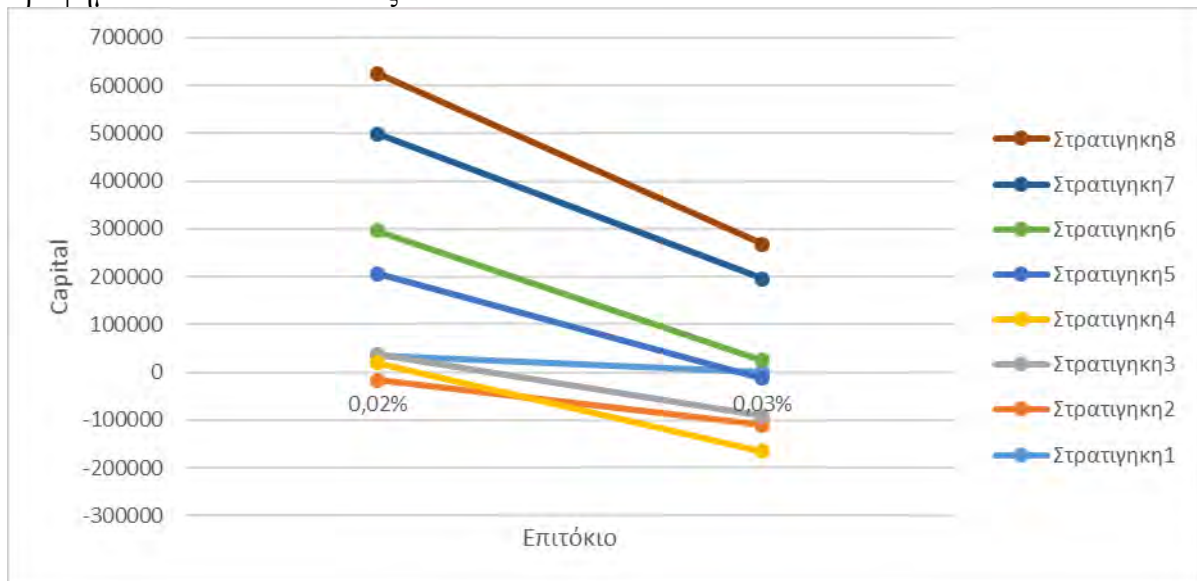
4.4.1 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΠΙΤΟΚΙΟΥ

Στο σενάριο αυτό θα δώσουμε δυο διαφορετικές τιμές στο επιτόκιο δανεισμού. Οι τιμές που δόθηκαν δεν είναι απόρροια στατιστικών αναλύσεων αλλά απλής εμπειρίας γιατί όπως ήδη αναφέρθηκε ο σκοπός αυτής της διπλωματικής είναι να δείξει την πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων διαφόρων παραγόντων στην υλοποίηση των έργων οδοποιίας.

Πίνακας 4 Σενάριο Επιτοκίου

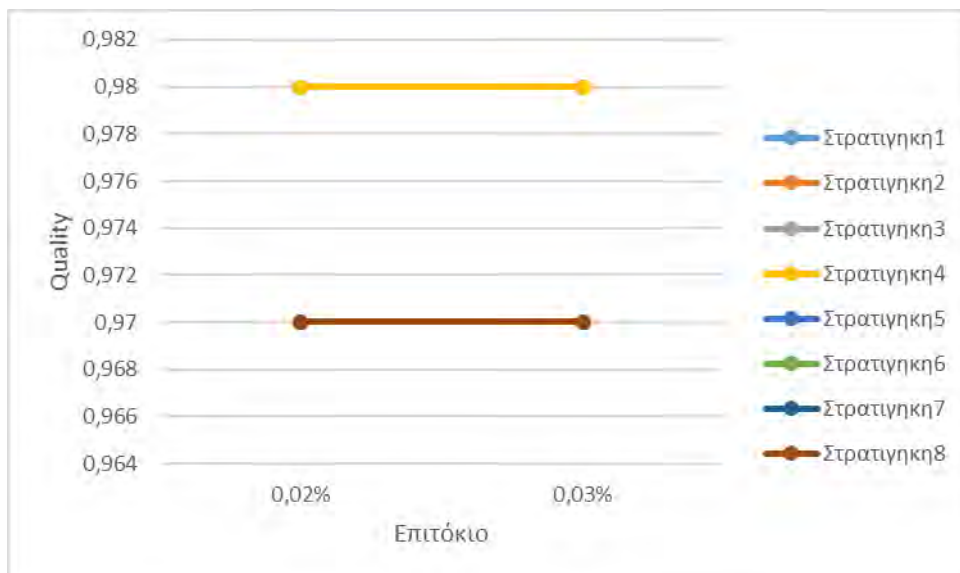
	Τιμές στρατηγικών μεταβλητών						Σενάριο Επιτόκιο	Αποτελέσματα		
	Equipment Cost €/da/set	Staff Cost €/da/staff	Staff Leased	Equipment	Engineers salary €/da/eng	Hired Engineers		Cost	Quality	Duration
Στρατηγική1	1980-2750-2970-3300	1100	2	2	80	2	0,02%	36359,55	0,98	288
	1980-2750-2970-3300	1100	2	2	80	2	0,03%	979,33	0,98	288
Στρατηγική2	1980-2750-2970-3300	1100	1	1	80	2	0,02%	-52578,29	0,98	532
	1980-2750-2970-3300	1100	1	1	80	2	0,03%	-111067,43	0,98	532
Στρατηγική3	1980-2750-2970-3300	1100	2	2	73	1	0,02%	53495,69	0,98	288
	1980-2750-2970-3300	1100	2	2	73	1	0,03%	18750,53	0,98	288
Στρατηγική4	1980-2750-2970-3300	1100	1	1	73	1	0,02%	-17504,91	0,98	532
	1980-2750-2970-3300	1100	1	1	73	1	0,03%	-74269,36	0,98	532
Στρατηγική5	1800-2500-2700-3300	1000	2	2	80	2	0,02%	186040	0,97	290
	1800-2500-2700-3300	1000	2	2	80	2	0,03%	153560	0,97	290
Στρατηγική6	1800-2500-2700-3300	1000	1	1	80	2	0,02%	90954,2	0,97	535
	1800-2500-2700-3300	1000	1	1	80	2	0,03%	36951,3	0,97	535
Στρατηγική7	1800-2500-2700-3300	1000	2	2	73	1	0,02%	202874,22	0,97	290
	1800-2500-2700-3300	1000	2	2	73	1	0,03%	170827,82	0,97	290
Στρατηγική8	1800-2500-2700-3300	1000	1	1	73	1	0,02%	125668,91	0,97	535
	1800-2500-2700-3300	1000	1	1	73	1	0,03%	73099,86	0,97	535

Γράφημα 1.Επιτόκιο - Κόστος



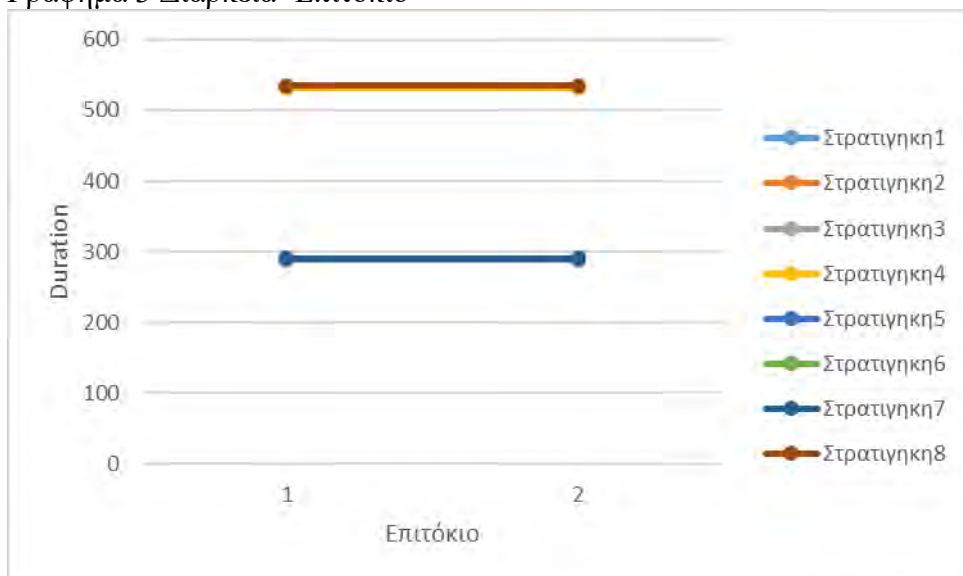
Παρατηρώντας το γράφημα διαπιστώνεται ότι η στρατηγική 7 και 8 είναι καλύτερες όσον αφορά το κέρδος που αποκομίζει η εταιρεία. Συγκεκριμένα στην στρατηγική επτά και οκτώ πήραμε το μικρότερο λειτουργικό κόστος και ήταν λογικό αφού στην συγκεκριμένη περίπτωση η μεταβλητή στο σενάριο μας ήταν το επιτόκιο.(Γράφημα 1)

Γράφημα 2 Ποιότητα - Επιτόκιο



Όπως φαίνεται στο γράφημα 2 Το επιτόκιο δανεισμού δεν επηρεάζει καθόλου την ποιότητα του έργου διότι η ποιότητα του έργου εξαρτάται από την ποσότητα των λαθών που γίνονται κατά την διάρκεια των εργασιών και από το μέγεθος των λαθών που ανακαλύπτονται. Επιπλέον η ποιότητα εξαρτάται από το μοναδιαίο κόστος του εξοπλισμού και των μηχανικών και είναι εξαρτημένα μέσω μιας γραφικής παράστασης που υπάρχει στο μοντέλο.

Γράφημα 3 Διάρκεια- Επιτόκιο



Όπως φαίνεται στο γράφημα η διάρκεια υλοποίησης του έργου δεν επηρεάζεται από το επιτόκιο αλλά επηρεάζεται από την παραγωγική ικανότητα εξοπλισμού και εργαζομένων καθώς και την ποσότητα τους.

4.4.2 ΣΕΝΑΡΙΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΠΛΗΡΩΜΩΝ

Στο σενάριο αυτό παρουσιάζεται η επίδοση των οκτώ στρατηγικών που επηρεάζεται από την καθυστέρηση πληρωμών της πολιτείας προς την εταιρεία. (Πίνακας 5)

Πίνακας 5. Σενάριο καθυστέρησης πληρωμών

	Τιμές στρατηγικών μεταβλητών						Σενάριο	Αποτελέσματα		
	Equipment Cost €/da/set	Staff Cost €/da/staff	Staff Leased	Equipment	Engineer salary €/da/eng	Hired Engineers	Payments delay	Cost	Quality	Duration
Στρατιγική1	2200-2750-2970-3300	1100	2	2	80	2	1 month	36359,55	0,98	288
	2200-2750-2971-3300	1100	2	2	80	2	2 month	-736082,05	0,98	288
Στρατιγική2	2200-2750-2970-3300	1100	1	1	80	2	1 month	-52578,29	0,98	532
	2200-2750-2970-3300	1100	1	1	80	2	2 month	-830717,36	0,98	532
Στρατιγική3	2200-2750-2970-3300	1100	2	2	73	1	1 month	53495,69	0,98	288
	2200-2750-2971-3300	1100	2	2	73	1	2 month	-718921,72	0,98	288
Στρατιγική4	2200-2750-2972-3300	1100	1	1	73	1	1 month	-17504,91	0,98	532
	2200-2750-2973-3300	1100	1	1	73	1	2 month	-795549,28	0,98	532
Στρατιγική5	2000-2500-2700-3300	1000	2	2	80	2	1 month	186040	0,97	290
	2000-2500-2701-3300	1000	2	2	80	2	2 month	-585374,4	0,97	290
Στρατιγική6	2000-2500-2702-3300	1000	1	1	80	2	1 month	90954,2	0,97	535
	2000-2500-2703-3300	1000	1	1	80	2	2 month	-685930,4	0,97	535
Στρατιγική7	2000-2500-2704-3300	1000	2	2	73	1	1 month	202874,22	0,97	290
	2000-2500-2705-3300	1000	2	2	73	1	2 month	-568515,82	0,97	290
Στρατιγική8	2000-2500-2706-3300	1000	1	1	73	1	1 month	125668,91	0,97	535
	2000-2500-2707-3300	1000	1	1	73	1	2 month	-650891,48	0,97	535

Γράφημα 4 Καθυστέρηση πληρωμών- κέρδος



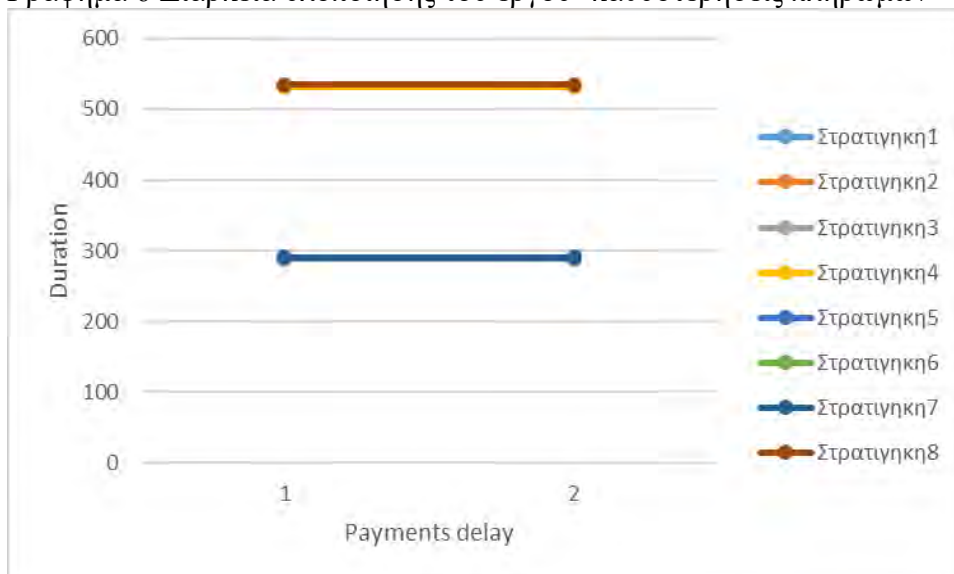
Στο γράφημα τέσσερα φαίνεται ότι υπάρχει μια τεράστια διαφορά στο κέρδος λόγω της αυξημένης καθυστέρησης πληρωμών. Η τιμή της καθυστέρησης των δύο μηνών επηρέασε δυσμενώς και τις οκτώ στρατηγικές

Γράφημα 5 καθυστέρηση πληρωμών - Ποιότητα



Παρατηρείται στο γράφημα 5 ότι η καθυστέρηση πληρωμών δεν επηρεάζει την ποιότητα του έργου.

Γράφημα 6 Διάρκεια υλοποίησης του έργου- καθυστερήσεις πληρωμών



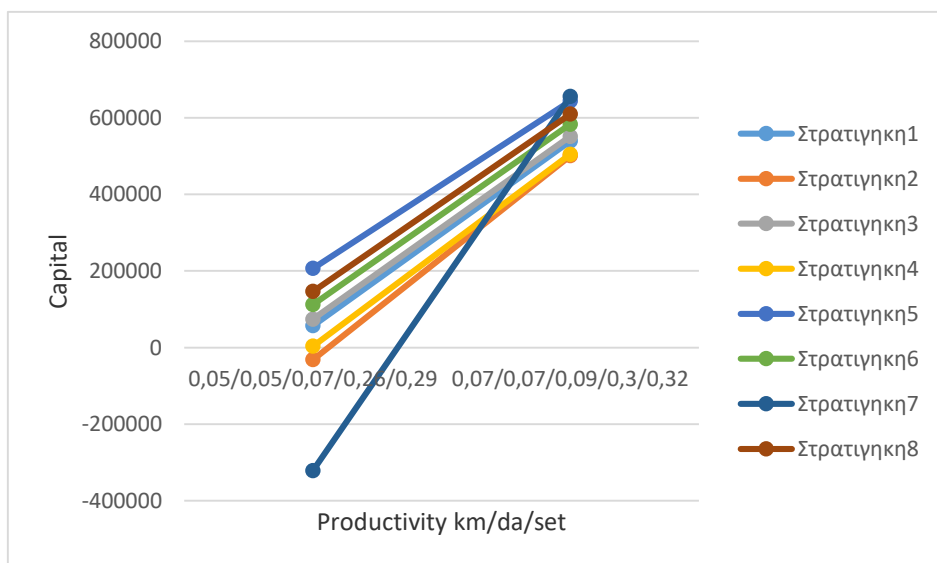
Όπως φαίνεται η διάρκεια υλοποίησης του έργου δεν εξαρτάται από την καθυστέρηση πληρωμών.

4.4.3 ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Στο σενάριο αυτό παρουσιάζεται η επίδοση των οκτώ στρατηγικών μέσα από την επίδραση των διαφορετικών τιμών της παραγωγικής ικανότητας. (Πίνακας

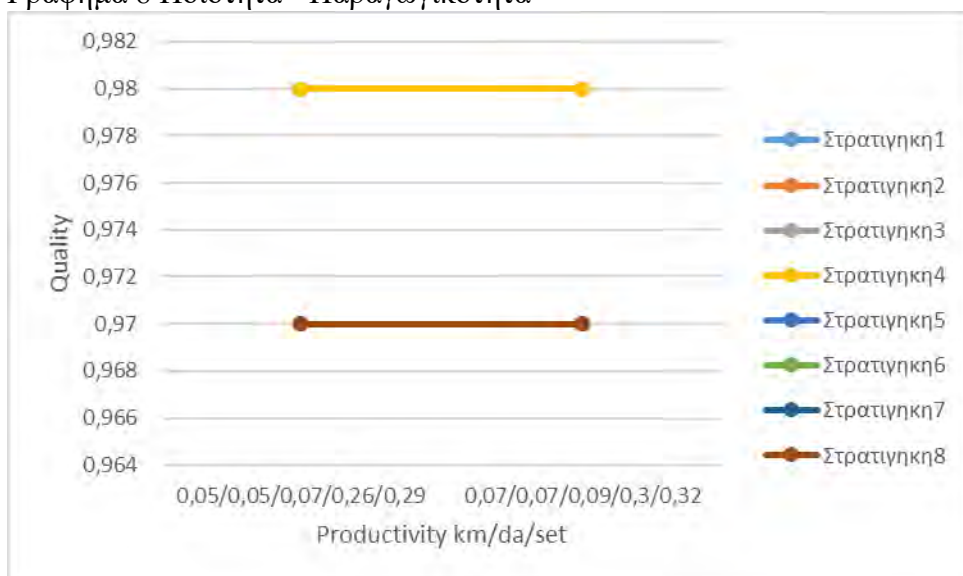
Πίνακας 6. Σενάριο Παραγωγικής ικανότητας
Γράφημα 7 Κέρδος – παραγωγική ικανότητα

	Τιμές στρατηγικών μεταβλητών						Σενάριο	Αποτελέσματα		
	Equipment Cost €/da/set	Staff Cost €/da/staff	Staff Leased	Equipment	Engineer salary €/da/eng	Hired Engineers	Productivity km/da/set	Cost	Quality	Duration
Στρατιγική1	2200-2750-2970-3300	1100	2	2	80	2	0,05/0,05/0,07/0,26/0,29	57136,64	0,98	285
	2200-2750-2971-3300	1100	2	2	80	2	0,07/0,07/0,09/0,3/0,32	539743,03	0,98	231
Στρατιγική2	2200-2750-2970-3300	1100	1	1	80	2	0,05/0,05/0,07/0,26/0,29	-31198,87	0,98	527
	2200-2750-2970-3300	1100	1	1	80	2	0,07/0,07/0,09/0,3/0,32	501265,7	0,98	416
Στρατιγική3	2200-2750-2970-3300	1100	2	2	73	1	0,05/0,05/0,07/0,26/0,29	74238,55	0,98	285
	2200-2750-2971-3300	1100	2	2	73	1	0,07/0,07/0,09/0,3/0,32	551741,52	0,98	229
Στρατιγική4	2200-2750-2972-3300	1100	1	1	73	1	0,05/0,05/0,07/0,26/0,29	3800,09	0,98	527
	2200-2750-2973-3300	1100	1	1	73	1	0,07/0,07/0,09/0,3/0,32	504934,98	0,98	416
Στρατιγική5	2000-2500-2700-3300	1000	2	2	80	2	0,05/0,05/0,07/0,26/0,29	206752	0,97	287
	2000-2500-2701-3300	1000	2	2	80	2	0,07/0,07/0,09/0,3/0,32	643933,7	0,97	231
Στρατιγική6	2000-2500-2702-3300	1000	1	1	80	2	0,05/0,05/0,07/0,26/0,29	112243,6	0,97	530
	2000-2500-2703-3300	1000	1	1	80	2	0,07/0,07/0,09/0,3/0,32	583252,11	0,97	418
Στρατιγική7	2000-2500-2704-3300	1000	2	2	73	1	0,05/0,05/0,07/0,26/0,29	-320800,2	0,97	398
	2000-2500-2705-3300	1000	2	2	73	1	0,07/0,07/0,09/0,3/0,32	655892,1	0,97	231
Στρατιγική8	2000-2500-2706-3300	1000	1	1	73	1	0,05/0,05/0,07/0,26/0,29	146889,51	0,97	530
	2000-2500-2707-3300	1000	1	1	73	1	0,07/0,07/0,09/0,3/0,32	609714,54	0,97	418



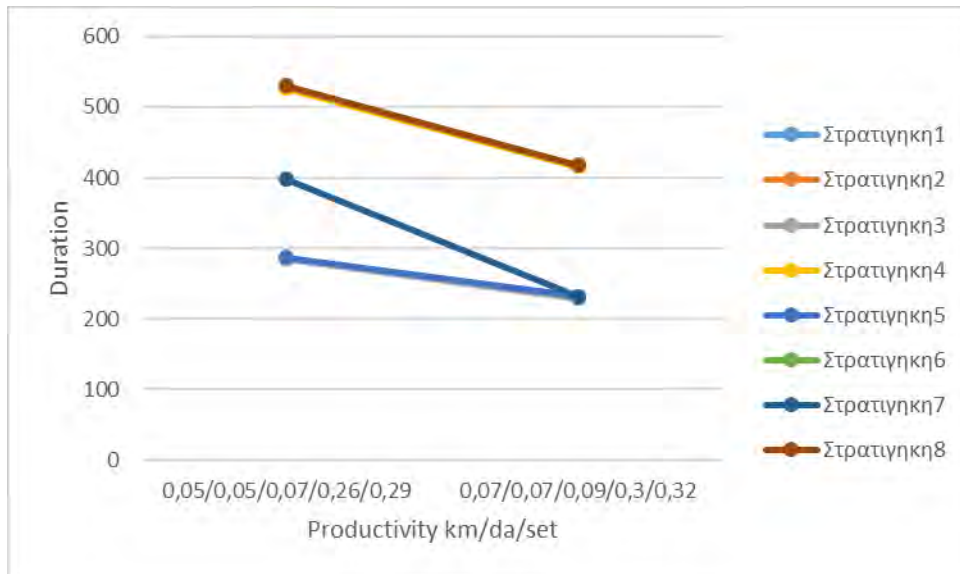
Στο γράφημα 7 φαίνεται ότι όταν αυξάνεται η παραγωγική ικανότητα αυξάνεται και το κέρδος. Στη στρατηγική 7 παρατηρείται ότι για χαμηλή παραγωγική ικανότητα παρουσιάζει μεγάλη πτώση στο κέρδος και ο λόγος είναι ότι απασχολεί μεγάλο αριθμό εξοπλισμού με μικρή παραγωγική ικανότητα.

Γράφημα 8 Ποιότητα - Παραγωγικότητα



Στο γράφημα 8 φαίνεται ότι έχει μικρή επιρροή η παραγωγική ικανότητα στην ποιότητα. Στην χαμηλότερη ποιότητα έχει επιλεγεί μικρότερο μοναδιαίο κόστος εξοπλισμού.

Γράφημα 9 Χρόνος υλοποίησης –Παραγωγική Ικανότητα



Στο γράφημα 9 παρατηρείται μεγάλη διαφορά στη διάρκεια υλοποίησης του έργου ανάμεσα στην υψηλότερη και χαμηλότερη τιμή της παραγωγικής ικανότητας. Περισσότερο επηρεάζεται η στρατηγική 7 και ο λόγος είναι ότι έχει μεγάλο αριθμό εξοπλισμού.

4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα σενάρια που αναπτύχθηκαν μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα. Παρατηρήθηκε η μεγάλη επίδραση της καθυστέρησης των πληρωμών στο κέρδος. Διαπιστώσαμε ότι σε υψηλό μοναδιαίο κόστος εξοπλισμού και εργασίας μηχανικών οι διαφοροποιήσεις κόστους επηρεάζουν ελάχιστα την ποιότητα του έργου. Όταν υπάρχουν λάθη κατά τη διάρκεια της εργασίας που δεν ανακαλύπτονται από τους επιβλέποντες μηχανικούς οδηγούν σε αύξηση του κόστους του έργου. Ο λόγος είναι ότι θα πρέπει να επαναληφθούν εργασίες μετά την ολοκλήρωση του έργου. Στην προσομοίωση μας, λόγω της παραδοχής υψηλού μοναδιαίου κόστους εργασίας η ποιότητα του έργου ήταν υψηλή και ελάχιστα τα λάθη που δεν ανακαλύφθηκαν ως εκ τούτου δεν υπήρχε επιβάρυνση του κόστους από την επανάληψη των εργασιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή έγινε η περιγραφή του μοντέλου προσομοίωσης έργου οδοποιίας με τη συστημική δυναμική. Με την μοντελοποίηση του έργου έγινε προσπάθεια να γίνει φανερή η συστημική πολυπλοκότητα του έργου που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην διαχείριση του. Η σωστή διαχείριση τέτοιων έργων απαιτεί την καλύτερη δυνατή κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε δεν είχε σκοπό και δεν θα μπορούσε να καταδείξει τη βέλτιστη στρατηγική γιατί στο κάθε σενάριο έχουμε και διαφορετική στρατηγική. Εκείνο που θα μπορούσε να βοηθήσει στη διαχείριση του όμως είναι τα εργαλεία προσομοίωσης που παρουσιάστηκαν σ' αυτή την εργασία με στόχο να γίνει η ορθότερη επιλογή στρατηγικής για κάθε σενάριο. Η Συστημική Δυναμική δίνει δυνατότητα ανάλυσης και κατανόησης των αλληλεπιδράσεων σε πολύπλοκα προβλήματα χωρίς να δίνει τις καλύτερες λύσεις τις οποίες θα μπορέσει να βρει όμως ο ενδιαφερόμενος ανάλογα με τις δυνατότητες του και τους στόχους που θέτει.

Από το μοντέλο προσομοίωσης που αναπτύχθηκε θέτοντας κάποιες παραδοχές και κάποιες μεταβλητές φάνηκε ότι παράγοντες όπως οι οικονομικοί πόροι, η ποιότητα της εργασίας επηρεάζουν το κόστος του έργου το χρόνο εργασίας και την ποιότητα του παραδοτέου έργου.

ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Θα ήταν χρήσιμο να γίνει έρευνα σε έργα οδοποιίας που έχουν πραγματοποιηθεί στη χώρα μας ώστε με στατιστική ανάλυση των δεδομένων να αξιολογηθούν οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τα έργα οδοποιίας στη χώρα μας και με την μέθοδο της συστημικής δυναμικής να καταδειχθεί ο τρόπος, οι αλληλεξαρτήσεις που έχουν με άλλους παράγοντες υποδεέστερης σημασίας και ο βαθμός που μπορούν να επηρεάζουν την υλοποίηση των έργων οδοποιίας στο κόστος, το χρόνο και την ποιότητα του έργου.

Τα μοντέλα προσομοίωσης χρειάζονται περισσότερο να ερευνηθούν ώστε να εκπροσωπούν ρεαλιστικά όλα τα κατασκευαστικά έργα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

```
mainmodel Component 1 {
  aux Auxiliary_1 {
    autotype Logical
    def STOPRUNIF(Level_1>='total payment')
  }
  aux Auxiliary_2 {
    autotype Real
    autounit EUR
    def Level_3*(1+(0,02*duration)/100)
  }
  aux Auxiliary_3 {
    autotype Real
    autounit EUR
    def Level_2-Auxiliary_2
  }
  level Capital {
    autotype Real
    autounit EUR
    init 0<<EUR>>
    outflow { autodef 'Total @Eq Cost' }
    outflow { autodef 'Total@engineers Cost' }
    inflow { autodef Loan }
    outflow { autodef 'debt payments' }
    inflow { autodef 'payments delay' }
  }
  level completion task#1 {
    autotype Real
    autounit km
    init 0<<km>>
    inflow { autodef Rate1 }
    outflow { autodef Rate_9 }
  }
  level completion task#2 {
    autotype Real
    autounit km
    init 0<<km>>
    inflow { autodef Rate2 }
    outflow { autodef Rate_8 }
  }
  level completion task#3 {
    autotype Real
    autounit km
    init 0<<km>>
    inflow { autodef Rate3 }
    outflow { autodef Rate_7 }
  }
  level completion task#4 {
    autotype Real
    autounit km
    init 0<<km>>
    inflow { autodef Rate4 }
    outflow { autodef Rate_6 }
  }
  level completion task#5 {
    autotype Real
    autounit km
    init 0<<km>>
    inflow { autodef Rate6 }
```

```
outflow { autodef Rate_10 }
}
level debt {
autotype Real
autounit EUR
init 0<<EUR>>
outflow { autodef Loan }
inflow { autodef 'debt payments' }
21
}
aux debt payments {
def PMT('interest rate';NUMBER(Nper);debt;0<<EUR>>)
}
aux duration {
autotype Real
autounit da
def TIME-STARTTIME
}
const engineers#1cost {
autotype Real
autounit EUR/(da*staff)
init 60<<EUR/da/staff>>
}
const Equipment#1cost {
autotype Real
autounit EUR/(da*sets)
init 1900<<EUR/da/sets>>
}
const Equipment#3cost {
autotype Real
autounit EUR/(da*sets)
init 2300<<EUR/da/sets>>
}
const Equipment#4cost {
autotype Real
autounit EUR/(da*sets)
init 2600<<EUR/da/sets>>
}
const Equipment#5cost {
autotype Real
autounit EUR/(da*sets)
init 3300<<EUR/da/sets>>
}
aux Error Discovery {
autotype Real
def GRAPHCURVE('engineers#1cost';0<<EUR/da/staff>>;20<<EUR/da/staff>>;{0,0,3;0,6;0,75;0,8;1//Min:
0;Max:1//})
}
aux Error Rate {
autotype Real
def GRAPHCURVE('Equipment#1cost';1200<<EUR/da/sets>>;200<<EUR/da/sets>>;{0,2;0,1;0,05;0,03;
0,02;0//Min:0;Max:1//})
}
aux Error Rate#2 {
autotype Real
def GRAPHCURVE('Staff#2cost';700<<EUR/da/sets>>;200<<EUR/da/sets>>;{0,07;0,05;0,02;0,01;0,005;
0//Min:0;Max:1//})
}
aux Error Rate#3 {
autotype Real
def GRAPHCURVE('Equipment#3cost';1700<<EUR/da/sets>>;200<<EUR/da/sets>>;{0,2;0,1;0,05;0,03;
0,02;0//Min:0;Max:1//})
}
aux Error Rate#4 {
autotype Real
def GRAPHCURVE('Equipment#4cost';1900<<EUR/da/sets>>;200<<EUR/da/sets>>;{0,2;0,1;0,05;0,03;
0,02;0//Min:0;Max:1//})
}
```

```
}
aux Error Rate#5 {
  autotype Real
  def 0
}
level Finished task#1 {
  reservoir
  autotype Real
  22
  autounit km
  init 0<<km>>
  inflow { autodef 'Review#1' }
  outflow { autodef 'Incoming Work#2' }
}
level Finished task#2 {
  reservoir
  autotype Real
  autounit km
  init 0<<km>>
  inflow { autodef 'Review#2' }
  outflow { autodef 'Incoming Work#3' }
}
level Finished task#3 {
  reservoir
  autotype Real
  autounit km
  init 0<<km>>
  inflow { autodef 'Review#3' }
  outflow { autodef 'Incoming Work#4' }
}
level Finished task#4 {
  reservoir
  autotype Real
  autounit km
  init 0<<km>>
  inflow { autodef 'Review#4' }
  outflow { autodef 'Incoming Work#5' }
}
level Finished task#5 {
  reservoir
  autotype Real
  autounit km
  init 0<<km>>
  inflow { autodef 'Review#5' }
}
const Hire engineers#1 {
  autotype Real
  autounit staff
  init 1<<staff>>
}
const Hire engineers#2 {
  autotype Real
  autounit staff
  init 1<<staff>>
}
const Hire engineers#3 {
  autotype Real
  autounit staff
  init 1<<staff>>
}
const Hire engineers#4 {
  autotype Real
  autounit staff
  init 1<<staff>>
}
const Hire engineers#5 {
  autotype Real
```



```
autounit staff
init 1<<staff>>
}
const Hire Staff#2 {
autotype Real
autounit sets
init 1<<sets>>
}
23
aux Incoming Work#1 {
autotype Real
autounit km
def IF(ATSTART();'project size';0<<km>>)
}
aux Incoming Work#2 {
autotype Real
autounit km
def IF(
('Finished task#1'>=4<<km>> OR RUNAVERAGE('Work to be Done#2')>0<<km>>);
'Finished task#1';
0<<km>>
)
doc Πρέπει να ξεκινάει όταν φτάσει τα 4 km το finished task#1
}
aux Incoming Work#3 {
autotype Real
autounit km
def IF(
('Finished task#2'>=4<<km>> OR RUNAVERAGE('Work to be Done#3')>0<<km>>);
'Finished task#2';
0<<km>>
)
}
aux Incoming Work#4 {
autotype Real
autounit km
def IF(
('Finished task#3'>='project size'*0,99 OR RUNAVERAGE('Work to be Done#4')>0<<km>>);
'Finished task#3';
0<<km>>
)
}
aux Incoming Work#5 {
autotype Real
autounit km
def IF(
('Finished task#4'>='project size'*0,99 OR RUNAVERAGE('Work to be Done#5')>0<<km>>);
'Finished task#4';
0<<km>>
)
}
const Leased Equipment#1 {
autotype Real
autounit sets
init 1<<sets>>
}
const Leased Equipment#3 {
autotype Real
autounit sets
init 1<<sets>>
}
const Leased Equipment#4 {
autotype Real
autounit sets
init 1<<sets>>
}
const Leased Equipment#5 {
```

```
autotype Real
autounit sets
init 1<<sets>>
}
level Level_1 {
autotype Real
autounit EUR
init 0<<EUR>>
24
inflow { autodef Rate_1 }
}
level Level_2 {
autotype Real
autounit EUR
init 0<<EUR>>
outflow { autodef Rate_11 }
inflow { autodef Rate_12 }
inflow { autodef Rate_2 }
}
level Level_3 {
autotype Real
autounit EUR
init 0<<EUR>>
inflow { autodef Rate_13 }
}
aux Loan {
autotype Real
autounit EUR/da
def IF(Rate_4>=Capital;Rate_4-Capital;0<<EUR>>)
}
aux Payments {
autotype Real
autounit EUR
def (IF('completion task#1'>='project size'*0,8;21%*'total payment';0<<EUR>>))+
(IF('completion task#2'>='project size'*0,8;25%*'total payment';0<<EUR>>))+
(IF('completion task#3'>='project size'*0,8;16%*'total payment';0<<EUR>>))+
(IF('completion task#5'>='project size'*0,8;23%*'total payment';0<<EUR>>))+
(IF('completion task#5'>='project size'*0,8;15%*'total payment';0<<EUR>>))
}
aux payments delay {
autotype Real
autounit EUR
def DELAYPPL(Payments;1<<mo>>)
}
aux Production#1 {
autotype Real
autounit km/da
def IF (
'Productivity#1'*Leased Equipment#1*TIMESTEP>='Work to be Done#1';
'Work to be Done#1'/TIMESTEP;
'Productivity#1'*Leased Equipment#1'
)
}
aux Production#2 {
autotype Real
autounit km/da
def IF (
'Productivity#2'*Hire Staff#2*TIMESTEP>='Work to be Done#2';
'Work to be Done#2'/TIMESTEP;
'Productivity#2'*Hire Staff#2'
)
}
aux Production#3 {
autotype Real
autounit km/da
def IF (
'Productivity#3'*Leased Equipment#3*TIMESTEP>='Work to be Done#3';
```

```
'Work to be Done#3'/TIMESTEP;
'Productivity#3'*Leased Equipment#3'
)
}
aux Production#4 {
autotype Real
autounit km/da
def IF (
25
'Productivity#4'*Leased Equipment#4'*TIMESTEP>='Work to be Done#4';
'Work to be Done#4'/TIMESTEP;
'Productivity#4'*Leased Equipment#4'
)
}
aux Production#5 {
autotype Real
autounit km/da
def IF (
'Productivity#5'*Leased Equipment#5'*TIMESTEP>='Work to be Done#5';
'Work to be Done#5'/TIMESTEP;
'Productivity#5'*Leased Equipment#5'
)
}
const Productivity#1 {
autotype Real
autounit km/(da*sets)
init 0,05<<km/da/sets>>
}
const Productivity#2 {
autotype Real
autounit km/(da*sets)
init 0,05<<km/da/sets>>
}
const Productivity#3 {
autotype Real
autounit km/(da*sets)
init 0,07<<km/da/sets>>
}
const Productivity#4 {
autotype Real
autounit km/(da*sets)
init 0,26<<km/da/sets>>
}
const Productivity#5 {
autotype Real
autounit km/(da*sets)
init 0,26<<km/da/sets>>
}
const project size {
autotype Real
autounit km
init 15<<km>>
}
aux Quality of project {
autotype Real
def 1-'total undiscovered'/'project size'
}
aux Rate1 {
autotype Real
autounit km
def 'Review#1'
}
aux Rate2 {
autotype Real
autounit km
def 'Review#2'
}
```

```
aux Rate3 {
autotype Real
autounit km
def 'Review#3'
}
aux Rate4 {
autotype Real
autounit km
26
def 'Review#4'
}
aux Rate6 {
autotype Real
autounit km
def 'Review#5'
}
aux Rate_1 {
autotype Real
autounit EUR
def DELAYPPL(Payments;1<<mo>>)
}
aux Rate_10 {
autotype Real
autounit km
def IF('completion task#5'>='project size'*0,8;'project size'*0,8;0<<km>>)
}
aux Rate_11 {
autotype Real
autounit EUR/da
def 'Total@engineers Cost'+ 'Total @Eq Cost'
}
aux Rate_12 {
autotype Real
autounit EUR
def DELAYPPL(Payments;1<<mo>>)
}
aux Rate_13 {
autotype Real
autounit EUR/da
def Rate_2
}
aux Rate_2 {
autotype Real
autounit EUR/da
def
IF(Level_2<0<<EUR>>;Rate_4;IF(Rate_4>=Level_2;Rate_4-Level_2;0<<EUR>>)
)
}
aux Rate_3 {
autotype Real
autounit km/da
def 'undiscovery rate#1'+ 'undiscovery rate#2'+ 'undiscovery rate#3'+ 'undiscovery rate#4'+ 'undiscovery
rate#5'+ 'undiscovery rate#5'
}
aux Rate_4 {
autotype Real
autounit EUR/da
def 'Total@engineers Cost'+ 'Total @Eq Cost'
}
aux Rate_6 {
autotype Real
autounit km
def IF('completion task#4'>='project size'*0,8;'project size'*0,8;0<<km>>)
}
aux Rate_7 {
autotype Real
autounit km
```

```

def IF('completion task#3'>='project size'*0,8;'project size'*0,8;0<<km>>)
}
aux Rate_8 {
autotype Real
autounit km
def IF('completion task#2'>='project size'*0,8;'project size'*0,8;0<<km>>)
}
27
aux Rate_9 {
autotype Real
autounit km
def IF('completion task#1'>='project size'*0,8;'project size'*0,8;0<<km>>)
}
const Review Productivity#1 {
autotype Real
autounit km/(da*staff)
init 1<<km/da/staff>>
}
aux Review#1 {
autotype Real
autounit km
def IF(
'Work to be Reviewed#1'<=1<<km>>;'Work to be Reviewed#1';
IF (
'Hire engineers#1'*Review Productivity#1*TIMESTEP >='Work to be Reviewed#1';
('Work to be Reviewed#1'*(1-'Error Rate'*Error Discovery))/TIMESTEP;
'Hire engineers#1'*Review Productivity#1*(1-'Error Rate'*Error Discovery')
)
)
}
aux Review#2 {
autotype Real
autounit km
def IF(
'Work to be Reviewed#2'<=1<<km>>;'Work to be Reviewed#2';
IF (
'Hire engineers#2'*Review Productivity#1*TIMESTEP >='Work to be Reviewed#2';
('Work to be Reviewed#2'*(1-'Error Rate#2'*Error Discovery))/TIMESTEP;
'Hire engineers#2'*Review Productivity#1*(1-'Error Rate#2'*Error Discovery')
)
)
}
aux Review#3 {
autotype Real
autounit km
def
IF(
'Work to be Reviewed#3'<=1<<km>>;'Work to be Reviewed#3';
IF (
'Hire engineers#3'*Review Productivity#1*TIMESTEP >='Work to be Reviewed#3';
('Work to be Reviewed#3'*(1-'Error Rate#3'*Error Discovery')
)/TIMESTEP;
'Hire engineers#3'*Review Productivity#1*(1-'Error Rate#3'*Error Discovery')
)
)
}
aux Review#4 {
autotype Real
autounit km
def IF(
'Work to be Reviewed#4'<=1<<km>>;'Work to be Reviewed#4';
IF (
'Hire engineers#4'*Review Productivity#1*TIMESTEP >='Work to be Reviewed#4';
('Work to be Reviewed#4'*(1-'Error Rate#4'*Error Discovery))/TIMESTEP;
'Hire engineers#4'*Review Productivity#1*(1-'Error Rate#4'*Error Discovery')
)
)
}

```

```
}
aux Review#5 {
  autotype Real
  autounit km
  def IF(
    'Work to be Reviewed#5'<=1<<km>>;'Work to be Reviewed#5';
  IF (
    28
    'Hire engineers#5'*Review Productivity#1'*Timestep >='Work to be Reviewed#5';
    ('Work to be Reviewed#5'*(1-'Error Rate#5'*Error Discovery))/Timestep;
    'Hire engineers#5'*Review Productivity#1'*(1-'Error Rate#5'*Error Discovery')
  )
}
const Staff#2cost {
  autotype Real
  autounit EUR/(da*sets)
  init 1000<<EUR/da/sets>>
}
aux Task#1#cost per km {
  autotype Real
  autounit EUR/km
  def ('Total Equipment Cost#1'*duration)/'project size'
}
aux Task#2#cost per km {
  autotype Real
  autounit EUR/km
  def ('Total StaffCost#2'*duration)/'project size'
}
aux Task#3#cost per km {
  autotype Real
  autounit EUR/km
  def ('Total Equipment Cost#3'*duration)/'project size'
}
aux Task#4#cost per km {
  autotype Real
  autounit EUR/km
  def ('Total Equipment Cost#4'*duration)/'project size'
}
aux To Rework {
  autotype Real
  autounit km
  def IF(
    'Work to be Done#1'<=1<<km>>;0<<km>>;
  IF (
    'Hire engineers#1'*Review Productivity#1'*Timestep >='Work to be Reviewed#1';
    ('Work to be Reviewed#1'*Error Rate#1'*Error Discovery))/Timestep;
    'Hire engineers#1'*Review Productivity#1'*Error Rate#1'*Error Discovery')
  )
}
aux To Rework#2 {
  autotype Real
  autounit km
  def IF(
    'Work to be Done#2'<=1<<km>>;0<<km>>;
  IF (
    'Hire engineers#2'*Review Productivity#1'*Timestep >='Work to be Reviewed#2';
    ('Work to be Reviewed#2'*Error Rate#2'*Error Discovery))/Timestep;
    'Hire engineers#2'*Review Productivity#1'*Error Rate#2'*Error Discovery')
  )
}
aux To Rework#3 {
  autotype Real
  autounit km
  def IF(
    'Work to be Done#3'<=1<<km>>;0<<km>>;
  IF (
```

```
'Hire engineers#3'*Review Productivity#1'*TIMESTEP >='Work to be Reviewed#3';
('Work to be Reviewed#3'*Error Rate#3'*Error Discovery')/TIMESTEP;
'Hire engineers#3'*Review Productivity#1'*Error Rate#3'*Error Discovery')
)
}
aux To Rework#4 {
autotype Real
autounit km
def IF(
'Work to be Done#4'<=1<<km>>;0<<km>>;
IF (
'Hire engineers#4'*Review Productivity#1'*TIMESTEP >='Work to be Reviewed#4';
('Work to be Reviewed#4'*Error Rate#4'*Error Discovery')/TIMESTEP;
'Hire engineers#4'*Review Productivity#1'*Error Rate#4'*Error Discovery')
)
}
aux To Rework#5 {
autotype Real
autounit km
def IF(
'Work to be Done#5'<=1<<km>>;0<<km>>;
IF (
'Hire engineers#5'*Review Productivity#1'*TIMESTEP >='Work to be Reviewed#5';
('Work to be Reviewed#5'*Error Rate#5'*Error Discovery')/TIMESTEP;
'Hire engineers#5'*Review Productivity#1'*Error Rate#5'*Error Discovery')
)
}
aux Total @Eq Cost {
autotype Real
autounit EUR/da
def 'Total Equipment Cost#1'
+'Total StaffCost#2'
+'Total Equipment Cost#3'
+'Total Equipment Cost#4'
+'Total Equipment Cost#5'
}
aux total engineersCost#1 {
autotype Real
autounit EUR/da
def IF(
'Work to be Reviewed#1'>0<<km>>;
'Hire engineers#1'*engineers#1cost';0<<EUR/da>>
)
}
aux total engineersCost#2 {
autotype Real
autounit EUR/da
def IF(
'Work to be Reviewed#2'>0<<km>>;'Hire engineers#2'*engineers#1cost';0<<EUR/da>>
)
}
aux total engineersCost#3 {
autotype Real
autounit EUR/da
def IF(
'Work to be Reviewed#2'>0<<km>>;'Hire engineers#3'*engineers#1cost';0<<EUR/da>>
)
}
aux total engineersCost#4 {
autotype Real
autounit EUR/da
def IF(
'Work to be Reviewed#4'>0<<km>>;'Hire engineers#4'*engineers#1cost';0<<EUR/da>>
)
}
aux total engineersCost#5 {
```

```
autotype Real
autounit EUR/da
def IF(
'Work to be Reviewed#5'>0<<km>>;'Hire engineers#5'*'engineers#1cost';0<<EUR/da>>
)
}
aux Total Equipment Cost#1 {
30
autotype Real
autounit EUR/da
def IF(
'Work to be Done#1'>0<<km>>;'Leased Equipment#1'*'Equipment#1cost';0<<EUR/da>>
)
}
aux Total Equipment Cost#3 {
autotype Real
autounit EUR/da
def IF
(
'Work to be Done#3'>0<<km>>;('Leased Equipment#3'*'Equipment#3cost');0<<EUR/da>>
)
}
aux Total Equipment Cost#4 {
autotype Real
autounit EUR/da
def IF
(
'Work to be Done#4'>0<<km>>;('Leased Equipment#4'*'Equipment#4cost');0<<EUR/da>>
)
}
aux Total Equipment Cost#5 {
autotype Real
autounit EUR/da
def IF
('Work to be Done#5'>0<<km>>;'Leased Equipment#5'*'Equipment#5cost';0<<EUR/da>>
)
}
level total operational cost {
autotype Real
autounit EUR
init 0<<EUR>>
inflow { autodef Rate_4 }
}
const total payment {
autotype Real
autounit EUR
init 2000000<<EUR>>
}
aux Total StaffCost#2 {
autotype Real
autounit EUR/da
def IF
(
'Work to be Done#2'>0<<km>>;'Hire Staff#2'*'Staff#2cost';0<<EUR/da>>
)
}
level total undiscovered {
autotype Real
autounit km
init 0<<km>>
inflow { autodef Rate_3 }
}
aux Total#undiscovered#cost {
autotype Real
autounit EUR
def 'Undiscovered#cost#1'+ 'Undiscovered#cost#2'+ 'Undiscovered#cost#3'+ 'Undiscovered#cost#4'
}
}
```



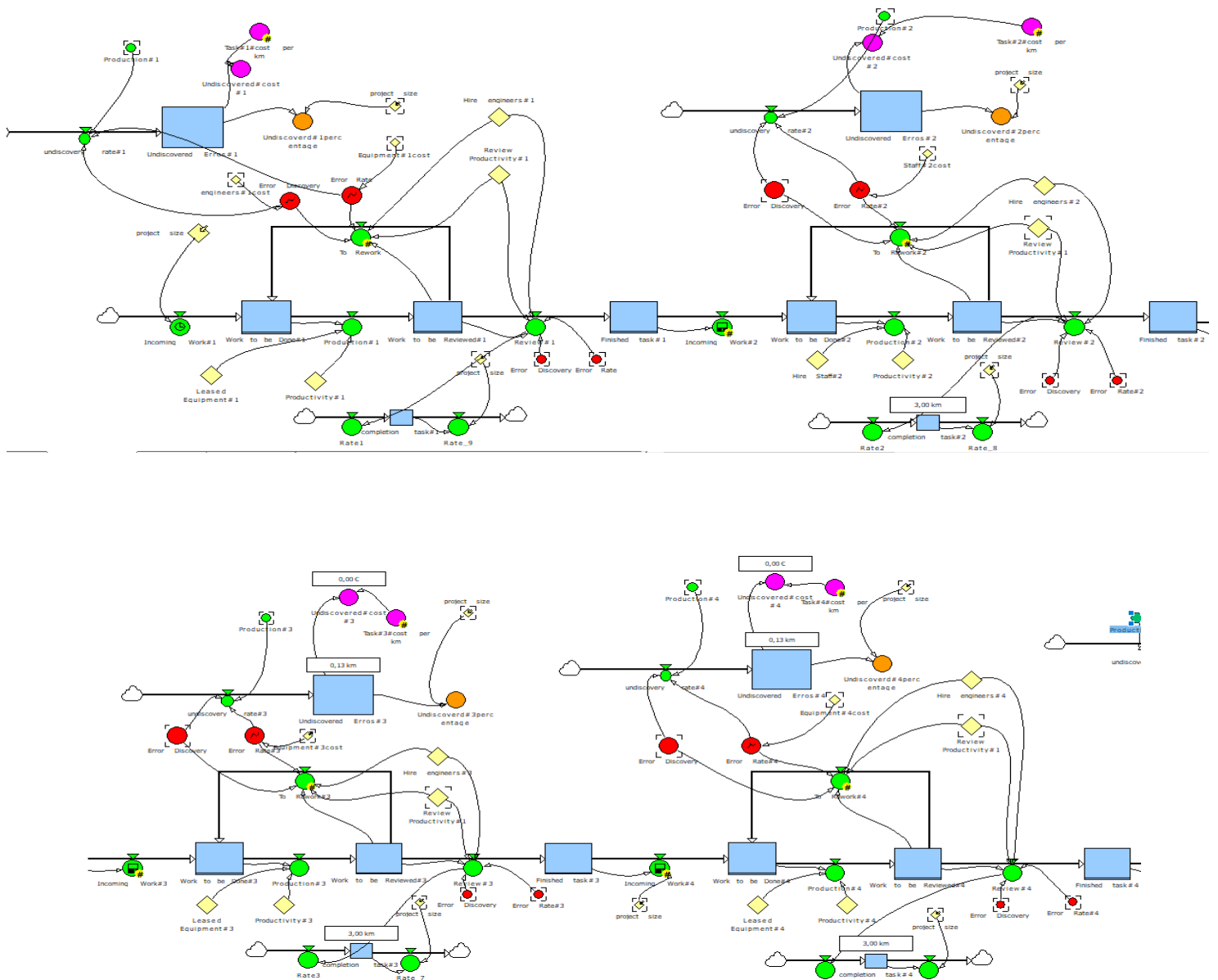
```
aux Total@engineers Cost {
  autotype Real
  autounit EUR/da
  def 'total engineersCost#1'
  +'total engineersCost#2'
  +'total engineersCost#3'
  +'total engineersCost#4'
  31
  +'total engineersCost#5'
}
aux Undiscovered#1percentage {
  autotype Real
  def 'Undiscovered Erros#1'/'project size'
}
aux Undiscovered#2percentage {
  autotype Real
  def 'Undiscovered Erros#2'/'project size'
}
aux Undiscovered#3percentage {
  autotype Real
  def 'Undiscovered Erros#3'/'project size'
}
aux Undiscovered#4percentage {
  autotype Real
  def 'Undiscovered Erros#4'/'project size'
}
aux Undiscovered#5percentage {
  autotype Real
  def 'Undiscovered Erros#5'/'project size'
}
level Undiscovered Erros#1 {
  autotype Real
  autounit km
  init 0<<km>>
  inflow { autodef 'undiscovery rate#1' }
}
level Undiscovered Erros#2 {
  autotype Real
  autounit km
  init 0<<km>>
  inflow { autodef 'undiscovery rate#2' }
}
level Undiscovered Erros#3 {
  autotype Real
  autounit km
  init 0<<km>>
  inflow { autodef 'undiscovery rate#3' }
}
level Undiscovered Erros#4 {
  autotype Real
  autounit km
  init 0<<km>>
  inflow { autodef 'undiscovery rate#4' }
}
level Undiscovered Erros#5 {
  autotype Real
  autounit km
  init 0<<km>>
  inflow { autodef 'undiscovery rate#5' }
}
aux Undiscovered#cost#1 {
  autotype Real
  autounit EUR
  def 'Task#1#cost per km'*'Undiscovered Erros#1'
}
aux Undiscovered#cost#2 {
  autotype Real
```

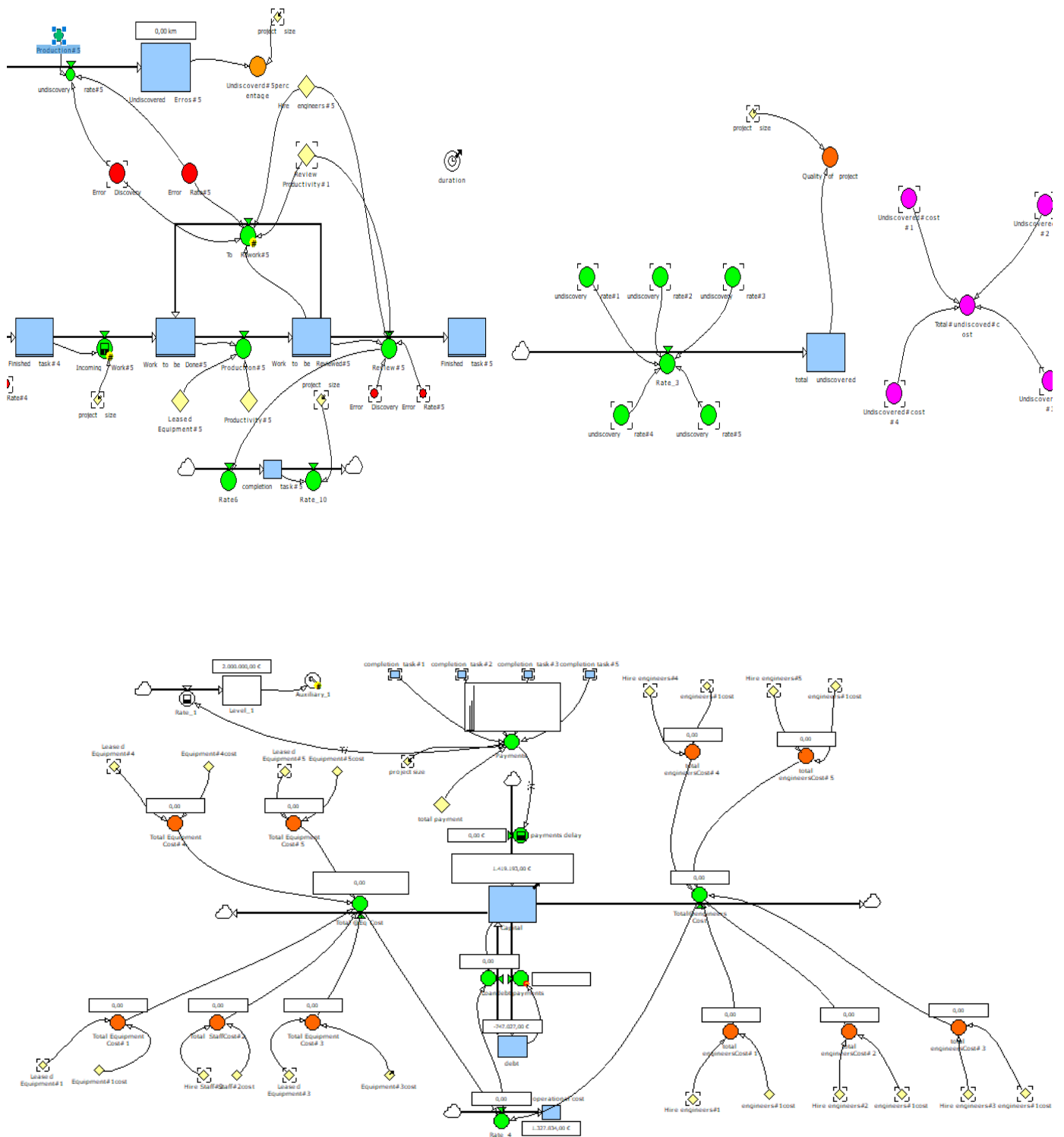
```
autounit EUR
def 'Task#2#cost per km'*Undiscovered Erros#2'
}
aux Undiscovered#cost#3 {
autotype Real
autounit EUR
def 'Task#3#cost per km'*Undiscovered Erros#3'
32
}
aux Undiscovered#cost#4 {
autotype Real
autounit EUR
def 'Task#4#cost per km'*Undiscovered Erros#4'
}
aux undiscovery rate#1 {
autotype Real
autounit km/da
def 'Production#1'*Error Rate*(1-'Error Discovery')
}
aux undiscovery rate#2 {
autotype Real
autounit km/da
def 'Production#2'*Error Rate#2*(1-'Error Discovery')
}
aux undiscovery rate#3 {
autotype Real
autounit km/da
def 'Production#3'*Error Rate#3*(1-'Error Discovery')
}
aux undiscovery rate#4 {
autotype Real
autounit km/da
def 'Production#4'*Error Rate#4*(1-'Error Discovery')
}
aux undiscovery rate#5 {
autotype Real
autounit km/da
def 'Production#5'*Error Rate#5*(1-'Error Discovery')
}
level Work to be Done#1 {
reservoir
autotype Real
unit km
init 0<<km>>
inflow { autodef 'Incoming Work#1' }
outflow { autodef 'Production#1' }
inflow { autodef 'To Rework' }
}
level Work to be Done#2 {
reservoir
autotype Real
unit km
init 0<<km>>
inflow { autodef 'Incoming Work#2' }
outflow { autodef 'Production#2' }
inflow { autodef 'To Rework#2' }
}
level Work to be Done#3 {
reservoir
autotype Real
unit km
init 0<<km>>
inflow { autodef 'Incoming Work#3' }
outflow { autodef 'Production#3' }
inflow { autodef 'To Rework#3' }
}
level Work to be Done#4 {
```

```
reservoir
autotype Real
unit km
init 0<<km>>
inflow { autodef 'Incoming Work#4' }
outflow { autodef 'Production#4' }
inflow { autodef 'To Rework#4' }
33
}
level Work to be Done#5 {
reservoir
autotype Real
unit km
init 0<<km>>
outflow { autodef 'Production#5' }
inflow { autodef 'To Rework#5' }
inflow { autodef 'Incoming Work#5' }
}
level Work to be Reviewed#1 {
reservoir
autotype Real
autounit km
init 0<<km>>
inflow { autodef 'Production#1' }
outflow { autodef 'Review#1' }
outflow { autodef 'To Rework' }
}
level Work to be Reviewed#2 {
reservoir
autotype Real
autounit km
init 0<<km>>
inflow { autodef 'Production#2' }
outflow { autodef 'Review#2' }
outflow { autodef 'To Rework#2' }
}
level Work to be Reviewed#3 {
reservoir
autotype Real
autounit km
init 0<<km>>
inflow { autodef 'Production#3' }
outflow { autodef 'To Rework#3' }
outflow { autodef 'Review#3' }
}
level Work to be Reviewed#4 {
reservoir
autotype Real
autounit km
init 0<<km>>
inflow { autodef 'Production#4' }
outflow { autodef 'Review#4' }
outflow { autodef 'To Rework#4' }
}
level Work to be Reviewed#5 {
reservoir
autotype Real
autounit km
init 0<<km>>
inflow { autodef 'Production#5' }
outflow { autodef 'To Rework#5' }
outflow { autodef 'Review#5' }
}
level δανειο {
autotype Real
autounit EUR
init 0<<EUR>>
```

```
outflow { autodef Rate_2 }  
}  
level κοστος λειτουργιας {  
  autotype Real  
  autounit EUR  
  init 0<<EUR>>  
  inflow { autodef Rate_11 }  
  34  
}  
}  
unit EUR {  
  def __CURRENCY("EUR")  
  doc Euro  
}  
unit km {  
  def 1000*m  
  doc Kilometer - Length  
}  
unit m {  
  def __METER  
  doc Meter - Length  
}  
unit sets {  
  def ATOMIC  
}  
unit staff {  
  def ATOMIC  
}
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 ΜΟΝΤΕΛΟ





ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αλεξόπουλος, Α & Αδαμίδης Ε. (Επιμ.) (2008). *Συστημική Θεωρία και Πρακτική Από τη συστημική θεώρηση του κοινωνικού κόσμου στη συστημικό-δυναμική του αναπαράσταση*. Αθήνα: Κλειδάριθμος

Abdel-Hamid, T. and Madnick, S. (1991) *Software Project Dynamics: An Integrated Approach*. NJ: Prentice Hall, Inc.

Banks, J. (1998). *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice*. New York : NY Wiley.

Coyle, R. (1996). *System dynamics modeling: a practical approach*. UK: Springer-Science+Business Media, B.Y.

Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. MIT Press. USA.είναι

Mantel M. & S.. (2009). *Project Management*. Copyright John Wiley & Sons

Roberts, N., Andersen D. , Deal R., Grant M., and Shaffer W.. (1983). *Introduction to Computer Simulation: The System Dynamics Modeling Approach*. Reading, MA: Addison-Wesley, reprinted by Productivity Press, Portland, Oregon

Sterman, J. (2000). *Business Dynamics. Systems Thinking for a Complex World* Boston: Irwin McGraw-Hill.

Turner, J.R. (2009). *The Handbook of Project-Based Management*. New York: McGraw-Hill

Wasson, C. S. (2006). *System Analysis, Design and Development: Concepts, Principles and Practice*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

ΑΡΘΡΑ

Burch, Thomas K. (1999) "Computer Modelling of Theory: Explanation for the 21st Century," *PSC Discussion Papers Series*: Vol. 13: Iss. 4, Article 1.

Forrester J. W. (1997) Industrial dynamics. *Journal of the Operational Research Society*, 48(10): 1037-1041.

Forrester, J.W. 1994. *System dynamics, systems thinking, and soft OR*. In: *System Dynamics Review* 10 (2) Review 10, issue 2-3, pages 245-256, Summer – Autumn

Rodrigues, A. and Bowers, J.. (1996) *System Dynamics in Project Management: a comparative analysis with traditional methods*. *System Dynamics Review*, 12(2),121-139

ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

Albin, S. (1997). *Building a System Dynamics Model*. Copyright by Massachusetts Institute of Technology- διαθέσιμο στο διαδίκτυο
<https://ocw.mit.edu/courses/sloan-school-of-management/15-988-system-dynamics-self-study-fall-1998-spring-1999/readings/building.pdf> (πρόσβαση 20/7/2017)

Damle, P. (2003). *A System Dynamics Model of the Integration of New Technologies for Ship Systems*. Master Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University. – διαθέσιμο στο διαδίκτυο
<https://pdfs.semanticscholar.org/0edb/0c5f76f95ec939a64e6e52db346edc25fb73.pdf>
(πρόσβαση 20/7/2017)

Ford D., Doyle J., Radzicki M. and Scott Trees W. (2003) *Mental Models of Dynamic Systems* –διαθέσιμο στο διαδίκτυο
<http://davidnford.engr.tamu.edu/wpcontent/uploads/sites/83/2017/02/MentalModelsEOLSS.pdf> (πρόσβαση 25/7/2017)

Senge, P. (1990) *Systems Thinking and Organization Learning: Acting Locally and Thinking Globally in the Organization of the Future*- διαθέσιμο στο διαδίκτυο
<http://www.systemdynamics.org/conferences/1990/proceed/pdfs/senge1007.pdf> (πρόσβαση 25/7/2017)

Sterman, J. (1992). *System Dynamics Modeling for Project Management* - διαθέσιμο στο διαδίκτυο
<http://scripts.mit.edu/~jsterman/docs/Sterman-1992-SystemDynamicsModeling.pdf>
(πρόσβαση 25/7/2017)

Rafn Thorsteinsson (2015) A Brief Introduction to System Dynamics University of Iceland - διαθέσιμο στο διαδίκτυο
<https://www.sedlabanki.is/library/Skraarsafn/Malstofur/Rafn%20Thorsteinsson%20-%20A%20Brief%20Introduction%20to%20System%20Dynamics.pdf> (πρόσβαση 28/7/2017)

