

**ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ
ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ
ΕΞΟΥΥΞΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

Η Διπλωματική Εργασία
παρουσιάστηκε ενώπιον
του Διδακτικού Προσωπικού του
Πανεπιστημίου Αιγαίου

Σε Μερική Εκπλήρωση
των Απαιτήσεων για το Δίπλωμα του
Μηχανικού Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

του
ΑΝΔΡΕΑ ΓΑΡΟΥΦΑ
ΕΑΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2010

Η ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΩΝ ΕΓΚΡΙΝΕΙ
ΤΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΑΝΔΡΕΑ ΓΑΡΟΥΦΑ:

ΣΑΜΟΣ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2010

ΜΟΝΙΜΟΣ ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΕΥΡΙΠΙΔΗΣ ΛΟΥΚΗΣ, Επιβλέπων

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΚΟΚΟΛΑΚΗΣ, Μέλος

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΛΕΚΤΟΡΑΣ

ΜΑΡΑΓΚΟΥΔΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, Μέλος

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΕΑΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων βρίσκουν στις μέρες μας ολοένα και μεγαλύτερη εφαρμογή. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη τέτοιου είδους συστημάτων αλλά και εργαλείων που τα υποστηρίζουν. Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη, στο πρώτο κομμάτι ασχοληθήκαμε με τη μεθοδολογία Systems Dynamics που είναι ευρέως διαδεδομένη στην Ευρώπη και στην Αμερική και στο δεύτερο κομμάτι ασχοληθήκαμε με την εξόρυξη γνώσης και αλγορίθμους μηχανικής γνώσης. Στόχος μας είναι να παρουσιάσουμε τη λειτουργικότητα και τη χρησιμότητα που μπορεί να έχουν τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων σε σοβαρά ζητήματα της επαγγελματικής μας ζωής ή της καθημερινότητας μας.

Η Systems Dynamics συμβάλλει τα μέγιστα στη βελτίωση της απόδοσης που παρουσιάζει μια επιχείρηση, ενώ ταυτόχρονα είναι σε θέση να προσομοιώνει διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτή παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα να προβλέψουμε πως μπορεί να αντιδράσει η επιχείρηση μας κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Από την άλλη πλευρά η εξόρυξη γνώσης βασίζεται στη συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων προσπαθώντας να την οργανώσει προκειμένου να μας βοηθήσει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Μας βοηθάει να καταγράψουμε τάσεις, να εντοπίσουμε κανόνες που χαρακτηρίζουν κάποιες διαδικασίες και γενικά παράγει γνώση που από μόνοι μας δεν θα μπορούσαμε να την αντιληφθούμε.

Μπορεί οι δύο μεθοδολογίες που χρησιμοποιούμε να διαφέρουν κατά πολύ στη πραγματικότητα όμως έχουν τον ίδιο ακριβώς στόχο, προσπαθούν να μας βοηθήσουν στη εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων και κατ' επέκταση στην ορθή λήψη αποφάσεων. Οι μεθοδολογίες αυτές και τα εργαλεία που τις πλαισιώνουν δεν υπήρχαν στο παρελθόν, όποτε σήμερα διαθέτουμε ένα ισχυρό σύμμαχο όταν καλούμαστε να αποφασίσουμε για μια αλλαγή που πρέπει να κάνουμε στην επιχείρηση μας ή ακόμα και αν σώσουμε τη ζωή ενός ανθρώπου κάνοντας τη σωστή επιλογή.

ΑΝΔΡΕΑΣ ΓΑΡΟΥΦΑΣ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

2010

ABSTRACT

The systems of support of decisions find in our days continuously bigger application. The object of this present work is the study of such type systems but also of the tools that support them. The work is separated in two parts. In the first piece we dealt with the methodology Systems Dynamics that is widely widespread in Europe and in America and in the second piece we dealt with the excavation of knowledge and algorithms of mechanic knowledge. Our intention is to present the functionalism and the usefulness that the systems of support of decisions can have in serious questions of our professional life or our everyday routine.

Systems Dynamics contributes the biggest in the improvement of the output that is presented by an enterprise, while simultaneously it is in the position to simulate processes that take place in this providing thus the possibility of forecasting how our enterprise will react under different conditions.

On the other hand, the excavation of knowledge is based on the collection of a big volume of data trying to organize it in order to help us in the export of useful conclusions. It helps us to record tendencies, locate rules that characterize certain processes and in general it produces knowledge that we alone could not conceive.

The two methodologies that we use may differ by far in reality. However, they have the same intention precisely. They try to help us in the export of useful conclusions and at extension in the equitable decision-making. These methodologies and the tools that frame them did not exist in the past. Therefore, today we allocate a powerful ally when we are called to decide for a change that we should make in our enterprise or even if we save the life of a person by making the correct choice.

ANDREAS GAROUFAS

Department of Information and Communication Systems Engineering

UNIVERSITY OF THE AEGEAN

2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ - ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ

Πρώτα από όλα τα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Ευριπίδη Λουκή (Μόνιμο Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Μ.Π.Ε.Σ) για τη πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, ήταν δίπλα μου σε κάθε μου δυσκολία και πάντα βοηθούσε στην επίλυση των προβλημάτων που αντιμετώπισα. Το Διδάσκοντα κ. Απόστολο Ανδριτσάκη για τις πολύτιμες συμβουλές και επισημάνσεις τους και βεβαίως την οικογένεια μου και ειδικότερα τους γονείς μου που χωρίς την πολύτιμη αρωγή τους δεν θα τα είχα καταφέρει.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ABSTRACT	iv
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ - ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	ix
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.1 Στόχοι Εργασίας	14
1.2 Περιεχόμενα & Δομή εργασίας	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ SYSTEM DYNAMICS	16
2.1 Εισαγωγικά	16
2.2 Systems Thinking	18
2.3 Χαρακτηριστικά Πρότυπα Συμπεριφοράς – Patterns of Behavior	19
2.4 Feedback and Causal Loop Diagrams.....	21
2.5 Ερμηνεία πρότυπων συμπεριφοράς.....	24
2.6 Κατασκευή Causal Loop Diagram.....	26
2.7 Stock Flow diagram.....	27
2.7.1 Μεταβλητές Stocks and Flows	29
2.8 Προσομοίωση διαδικασίας	32
2.8.1 Εισαγωγή εξισώσεων για τις Stocks μεταβλητές.....	32
2.8.2 Επίλυση των εξισώσεων	33
2.8.3 Επίλυση μοντέλου.....	34
2.9 Βασικές Δομές	36
2.9.1 Goal Seeking.....	38
2.9.2 S-shaped Growth.....	40
2.10 Ανάπτυξη μοντέλου	42
2.10.1 Πρώτο Μοντέλο.....	42
2.10.2 Δεύτερο μοντέλο.....	53
2.10.3 Τρίτο Μοντέλο.....	61
2.10.4 Τέταρτο Μοντέλο	65
2.10.5 Πέμπτο Μοντέλο.....	69
2.11 Delays, Smoothing and Averaging	77
2.11.1 Pipeline Material Flow Delays.....	77
2.11.2 Third Order Exponential Delays.....	78
2.11.3 Information Averaging & Exponential Smoothing.....	79

2.12 Nonlinearities.....	82
2.12.2 Μη γραμμικές αποκρίσεις (Nonlinear Responses)	83
2.13 Περιορισμός Πόρων	90
2.14 Αρχικοποιώντας ένα μοντέλο σε ισορροπία	93
2.15 Simultaneous Initial Conditions.....	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Παραδείγματα Εφαρμογής Systems Dynamics.....	99
3.1 Πρώτο Παράδειγμα: Future Electronics Company.....	100
3.2 Δεύτερο Παράδειγμα : Commodity Cycles	119
3.3 Τρίτο Παράδειγμα – Αναπτυσσόμενη αγορά – Προσαρμογή παραγωγής	124
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - DATA MINING & ΙΑΤΡΙΚΗ.....	132
4.1 Στόχοι & Αντικείμενο εργασίας	133
4.2 Ασθένειες που εξετάστηκαν	134
4.2.1 Στένωση Αορτής ή στένωση αορτικής βαλβίδας.....	134
4.2.2 Ανεπάρκεια μιτροειδούς βαλβίδας	139
4.2.3 Ανεπάρκεια αορτικής βαλβίδας.....	142
4.2.4 Στένωση μιτροειδούς βαλβίδας	147
4.3 Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης:	151
4.4 Εφαρμογές μηχανικής μάθησης και εξόρυξης γνώση:	153
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	157
5.1 Σύντομος Οδηγός Χρήσης για το WEKA.....	157
5.2 Αποτελέσματα Κατηγοριοποίησης.....	164
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	172
6.1 Συμπεράσματα για Systems Dynamics.....	172
6.2 Συμπεράσματα για Data Mining	172
6.3 Σύγκριση Δύο Μεθοδολογιών	174
6.4 Μελλοντική εργασία.....	176
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	177
Παράρτημα I: Χαρακτηριστικά Αλγορίθμου J48.....	181
Παράρτημα II: Σύγκριση WEKA με άλλα εργαλεία	183
ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	18484

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5-1: Αποτελέσματα προσομοίωσης στο Weka – Κατηγοριοποίηση Normal Sick	165
Πίνακας 5-2: Αποτελέσματα προσομοίωσης για τα μεγέθη FNR για τη κλάση Normal.	168
Πίνακας: Π-1 Σύγκριση γνωστών εργαλείων εξόρυξης γνώσης ως προς το πλήθος των αλγορίθμων που προσφέρουν.....	183

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2-1: Χαρακτηριστικά πρότυπα συμπεριφοράς.....	19
Σχήμα 2-2: Χαρακτηριστική δομή τομέα παραγωγής.....	21
Σχήμα 2-3: Γραφική αναπαράσταση για το πώς γεμίζουμε ένα ποτήρι νερό.....	22
Σχήμα 2-4: Παράδειγμα εκθετικής αύξησης.....	24
Σχήμα 2-5: Παράδειγμα Goal Seeking συμπεριφοράς.....	25
Σχήμα 2-6: Παράδειγμα που παρουσιάζει διακύμανση – oscillation.....	25
Σχήμα 2-7: Παράδειγμα πωλήσεων προϊόντος.....	27
Σχήμα 2-9: Εξισώσεις Vensim Ple για το παράδειγμα των πωλήσεων.....	34
Σχήμα 2-10: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το παράδειγμα των πωλήσεων.....	35
Σχήμα 2-11: Παράδειγμα επιτοκίου Stock Flow diagram & Εξισώσεις για το Vensim.....	36
Σχήμα 2-12: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το παράδειγμα του επιτοκίου.....	38
Σχήμα 2-13 Χαρακτηριστική γραφική παράσταση Goal Seeking συμπεριφοράς.....	38
Σχήμα 2-14: Παράδειγμα υπολογισμού μέσου αριθμού πωλήσεων.....	39
Σχήμα 2-15: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το μέσο αριθμό πωλήσεων.....	40
Σχήμα 2-16: Παράδειγμα πωλήσεων – μετάδοση φήμης ενός προϊόντος.....	41
Σχήμα 2-17: Stock flow diagram «πρώτου μοντέλου».....	43
Σχήμα 2-18: Απλοποιημένο παράδειγμα παραγωγής και διανομής προϊόντος.....	44
Σχήμα 2-19: Αναπαράσταση παραγωγής προϊόντος.....	46
Σχήμα 2-20: Εξισώσεις στο Vensim Ple για το πρώτο μοντέλο.....	47
Σχήμα 2-21 Αναπαράσταση τρόπου εκτέλεσης παραγγελίας.....	48
Σχήμα 2-22: Αποτελέσματα προσομοίωσης πρώτου μοντέλου.....	51
Σχήμα 2-23: Αποτελέσματα προσομοίωσης πρώτου μοντέλου.....	52
Σχήμα 2-24: Stock Flow diagram για το δεύτερο μοντέλο.....	54
Σχήμα 2-25: Stock Flow διάγραμμα για το δεύτερο μοντέλο.....	55
Σχήμα 2-26: Εξισώσεις Vensim Ple για το δεύτερο μοντέλο.....	56
Σχήμα 2-27: Διαφορές μεταξύ των μοντέλων.....	57
Σχήμα 2-28: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το δεύτερο.....	58
Σχήμα 2-29: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το δεύτερο μοντέλο.....	59
Σχήμα 2-30: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το δεύτερο μοντέλο.....	59
Σχήμα 2-31: Σύγκριση πρώτου και δεύτερου μοντέλου.....	60
Σχήμα 2-32: Σύγκριση πρώτου και δεύτερου μοντέλου.....	60
Σχήμα 2-33: Stock Flow diagram τρίτου μοντέλου.....	62
Σχήμα 2-34: Εξισώσεις στο Vensim Ple για το τρίτο μοντέλο.....	62
Σχήμα 2-35: Πορεία μεταβλητής retail sales για το τρίτο μοντέλο (εν σύγκριση με το δεύτερο).63	

Σχήμα 2-36: Πορεία μεταβλητής retail orders για το τρίτο μοντέλο (εν σύγκριση με το δεύτερο).	63
Σχήμα 2-37: Πορεία μεταβλητής Retail Inventory για το τρίτο μοντέλο (ενσύγκριση με το δεύτερο).	64
Σχήμα 2-38: Εντοπισμός διαφορών ανάμεσα στο δεύτερο και το τρίτο μοντέλο.	64
Σχήμα 2-40: Stock Flow diagram τέταρτου μοντέλου.....	65
Σχήμα 2-41: Εντοπισμός διαφορών ανάμεσα στο τέταρτο και το δεύτερο μοντέλο.	66
Σχήμα 2-43: Εξισώσεις μεταβλητών τέταρτου μοντέλου.....	67
Σχήμα 2-44: Σύγκριση τιμών μεταβλητής retail orders στο πρώτο και τέταρτο μοντέλο.	68
Σχήμα 2-45: Σύγκριση τιμών μεταβλητής Retail Inventory στο πρώτο και τέταρτο μοντέλο.	68
Σχήμα 2-46: Stock Flow diagram πέμπτου μοντέλου.....	69
Σχήμα 2-47: Causes tree για τη μεταβλητή “delivery delay forecast by retailer”	70
Σχήμα 2-48: Αποτελέσματα προσομοίωσης πέμπτου μοντέλου.	71
Σχήμα 2-49: Κώδικας Vensim Ple για το πέμπτο μοντέλο.....	72
Σχήμα 2-50 Sketch Tools.....	72
Σχήμα 2-51:Παράθυρο επιλογής shadow μεταβλητής	73
Σχήμα 2-52: Σύγκριση πορεία μεταβλητής “retailer orders” και στα πέντε μοντέλα.....	74
Σχήμα 2-53: Σύγκριση πορεία μεταβλητής “Retail Inventory” και στα πέντε μοντέλα.....	74
Σχήμα 2-54: Αποτελέσματα προσομοίωσης όταν η πορεία των πωλήσεων είναι τυχαία.	76
Σχήμα 2-55: Stock Flow diagram.	78
Σχήμα 2-56: Αποτελέσματα προσομοίωσης για Pipeline Material Flow Delays.	78
Σχήμα 2-57: Γραφική απεικόνιση Third order delay.....	79
Σχήμα 2-58: Stock Flow diagram υλοποίησης Smooth συνάρτησης	81
Σχήμα 2-59: Εξισώσεις στο Vensim Ple υλοποίησης Smooth συνάρτησης.....	81
Σχήμα 2-60: Γραφική απεικόνιση εξόδου της συνάρτησης Smooth	81
Σχήμα 2-61: Γραφική απεικόνιση εισόδου της συνάρτησης Smooth.....	82
Σχήμα 2-62: Stock Flow diagram παράδειγμα τοκισμό χρημάτων στη τράπεζα.	83
Σχήμα 2-63: Εξισώσεις στο Vensim ple παράδειγμα τοκισμό χρημάτων στη τράπεζα.	83
Σχήμα 2-64: Ανατοκισμός χρημάτων όταν το επιτόκιο μεταβάλλεται.....	84
Σχήμα 2-65: Εξισώσεις Vensim ple ανατοκισμός χρημάτων όταν το επιτόκιο μεταβάλλεται.....	84
Σχήμα 2-66: Αποτελέσματα προσομοίωσης για μεταβαλλόμενο επιτόκιο.	85
Σχήμα 2-67: Μεταβαλλόμενο επιτόκιο Look up function.....	86
Σχήμα 2-68: Παράθυρο εισαγωγής εξίσωσης για την INTEREST.	87
Σχήμα 2-69: Προσδιορισμός τύπου συνάρτησης.....	87
Σχήμα 2-70: Επιλογή As Graph για την εισαγωγή των ζευγών σημείων.	88
Σχήμα 2-71: Εισαγωγή σημείων και γραφική παράσταση συνάρτησης look up.....	88
Σχήμα 2-72: Εισαγωγή σημείων και γραφική παράσταση συνάρτησης look up.....	89

Σχήμα 2-73: Εισαγωγή σημείων και γραφική παράσταση συνάρτησης look up.....	89
Σχήμα 2-74: Stock Flow diagram παραδείγματος πωλήσεων προϊόντος (Περιορισμός πόρων)....	90
Σχήμα 2-75: Εξισώσεις στο Vensim Ple παραδείγματος πωλήσεων προϊόντος (Περιορισμός πόρων).....	91
Σχήμα 2-76: Πορεία αποθέματος στο πέρασμα του χρόνου.....	92
Σχήμα 2-77: Αποτέλεσμα προσομοίωσης.....	92
Σχήμα 2-78: Stock Flow diagram – Διαδικασία εκπαίδευσης προσωπικού.....	93
Σχήμα 2-79: Πορεία μεταβλητής Trainees.....	94
Σχήμα 2-80: Πορεία μεταβλητής Trained.....	95
Σχήμα 2-81: Εξισώσεις Vensim Ple Παράδειγμα: Εκπαίδευση υπαλλήλων.....	95
Σχήμα 2-82: Αποτελέσματα προσομοίωσης όταν το μοντέλο βρίσκεται σε ισορροπία.....	966
Σχήμα 2-83: Stock Flow diagrams (simultaneous conditions).....	988
Σχήμα 2-84: Εξισώσεις Vensim Ple για το παράδειγμα (simultaneous conditions).....	988
Σχήμα 2-85: Εμφάνιση μηνύματος σφάλματος.....	988
Σχήμα 2-86: Εμφάνιση Παραθύρου για τη διόρθωση του σφάλματος.....	999
Σχήμα 3-1: Stock Flow diagram – Παράδειγμα Future Electronics Company.....	102
Σχήμα 3-2: Εξισώσεις στο Vensim Ple για τη παραμετροποίηση του μοντέλου.....	102
Σχήμα 3-3: Αναπαράσταση διαδικασία εκπαίδευσης ελεγκτών.....	104
Σχήμα 3-4: Εξίσωση μεταβλητής Trained Testers.....	106
Σχήμα 3-5: Μεταβλητές που προσδιορίζουν τη γνώμη του πελάτη.....	107
Σχήμα 3-6: Αποτελέσματα προσομοίωσης για τις μεταβλητές Trainee Testers, hiring rate , training completion rate (μονάδα μέτρησης και για τις τρεις μεταβλητές είναι αριθμός υπαλλήλων) - Future electronics Company.....	110
Σχήμα 3-7: Αποτελέσματα προσομοίωσης για τις μεταβλητές production rate και order rate μονάδα μέτρησης και για τις τρεις μεταβλητές είναι αριθμός μονάδες προϊόντος) - Future electronics Company.....	111
Σχήμα 3-8: Αποτελέσματα προσομοίωσης για τις μεταβλητές Trained Testers, quitting rate , training completion rate (μονάδα μέτρησης και για τις τρεις μεταβλητές είναι αριθμός υπαλλήλων) - Future electronics Company.....	111
Σχήμα 3-9: Stock Flow diagram βελτιωμένο μοντέλο για τη Future Electronics Company.....	112
Σχήμα 3-10: Εξισώσεις VensimPle βελτιωμένο μοντέλο για τη Future Electronics Company.....	113
Σχήμα 3-11: Συγκριτικά αποτελέσματα των δύο μοντέλων (με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι πορείες των μεταβλητών του αρχικού μοντέλου ενώ με μπλε απεικονίζονται οι πορείες των μεταβλητών του τροποποιημένου μοντέλου).....	114
Σχήμα 3-12: Γραφική αναπαράσταση των IF THEN ELSE συναρτήσεων που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο.....	115

::Σχήμα 3-13: Causes Tree για τη μεταβλητή “order rate”.....	117
Σχήμα 3-14: Διαφορές που προκύπτουν ανάλογα με τη τιμή που μπορεί να πάρει το A (με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όταν $A=0$ και με μπλε όταν $A=1$).	118
Σχήμα 3-15 Αποτελέσματα προσομοίωσης Future Electronics Company.	119
Σχήμα 3-16: Stock Flow diagram – Commodity products.	120
Σχήμα 3-17: Αναπαράσταση Pipeline Delay.....	121
Σχήμα 3-18: Lookup συνάρτηση που συσχετίζει τις μεταβλητές Distributors Inventory, price. .	122
Σχήμα 3-19: Γραφική παράσταση CONSUMPTION LOOKUP.	123
Σχήμα 3-20: Γραφική παράσταση PRODUCTION CAPACITY LOOKUP.....	123
Σχήμα 3-21: Stock flow diagram Αναπτυσσόμενη αγορά – Προσαρμογή παραγωγής.....	128
Σχήμα 3-22: Υλοποίηση LookUp συνάρτησης.	128
Σχήμα 3-23: Εξισώσεις στο Vensim Ple Αναπτυσσόμενη αγορά – Προσαρμογή παραγωγής. .	129
Σχήμα 3-24: Αποτελέσματα προσομοίωσης /Sales – Marketing model output.....	129
Σχήμα 4-1: Αναπαράσταση αορτικής βαλβίδας.	135
Σχήμα 4-2: Βλάβες αορτικής βαλβίδας.	136
Σχήμα 4-3: Μεταλλική βαλβίδα στη θέση της αορτής.	138
Σχήμα 4-4: Αναπαράσταση μιτροειδούς βαλβίδας.....	146
Σχήμα 4-5: Υπέρηχος καρδιάς.....	149
Σχήμα 4-6: Αναπαράσταση νευρωνικών δικτύων.	155
Σχήμα 5-1: Εκκίνηση WEKA.....	157
Σχήμα 5-2: Εικόνα του WEKA Explorer.....	159
Σχήμα 5-3: Δημιουργία αρχείου *.arff στα πλαίσια της εργασίας μας.....	159
Σχήμα 5-4: Εικόνα του Weka explorer μετά τη φόρτωση του σετ δεδομένων.....	160
Σχήμα 5-5: Εικόνα του Weka explorer μετά τη μετάβαση στη στήλη “Classify”.....	160
Σχήμα 5-6:Εικόνα του WEKA Explorer – λίστα διαθέσιμων Classifiers (κόκκινο πλαίσιο).....	161
Σχήμα 5-7:Επιλογές πειράματος.....	161
Σχήμα 5-8: Αποψη της στήλης “Cluster” του WEKA Explorer.....	163
Σχήμα 5-9: Μη επιτηρούμενη εκπαίδευση.	163
Σχήμα 5-10: Δέντρο απόφασης.....	164
Σχήμα 5-11: Πιθανόφανερες.....	167
Σχήμα 5-12: Ραβδόγραμμα (Μονάδα μέτρησης %) αποτελέσματα προσομοίωσης στο Weka – Κατηγοριοποίηση Normal Sick.	168
Σχήμα 5-13: Ραβδόγραμμα (Μονάδα μέτρησης %) αποτελέσματα προσομοίωσης στο Weka – Κατηγοριοποίηση Diastolic – Systolic.	169
Σχήμα 5-14: Ραβδόγραμμα (Μονάδα μέτρησης %) αποτελέσματα προσομοίωσης στο Weka – Κατηγοριοποίηση AR-MS.....	170

Σχήμα 5-15: Ραβδόγραμμα (Μονάδα μέτρησης %) αποτελέσματα προσομοίωσης στο Weka – Κατηγοριοποίηση AS-MR.....	171
--	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Στόχοι Εργασίας

Η εργασία μας ασχολείται με τη μελέτη δύο διαφορετικών μεθοδολογιών που βοηθούν στη λήψη αποφάσεων. Στο πρώτο μέρος της εργασίας θα έχουμε τη δυνατότητα να γνωρίσουμε τη μεθοδολογία Systems Dynamics και το εργαλείο Vensim Ple που χρησιμοποιείται ευρέως από μεγάλες επιχειρήσεις προκειμένου να προβλεφθεί η συμπεριφορά που θα έχει μια επιχείρηση σε ενδεχόμενες αλλαγές που θα προκύψουν. Στόχος μας είναι να μπορέσουμε να βοηθήσουμε το χρήστη να κατανοήσει τα βασικά χαρακτηριστικά αυτής της μεθοδολογίας, να γνωρίσει και να κατανοήσει τα δομικά της συστατικά και τις δυνατότητες που προσφέρει. Επίσης, μέσα από πραγματικά παραδείγματα να διαπιστώσει τη χρησιμότητα και τις ιδιαιτερότητες της. Επιθυμούμε με ένα σύντομο και συνοπτικό τρόπο η εργασία αυτή να αποτελέσει το ερέθισμα που θα κάνει τον αναγνώστη να ασχοληθεί με αυτή τη μεθοδολογία. Βεβαίως αυτό δεν είναι καθόλου εύκολο γιατί κάποιες από τις βασικές δομές που χαρακτηρίζουν τη System Dynamics είναι λίγο πολύπλοκες και απαιτείται αρκετή εξικοίωση από τη πλευρά του αναγνώστη για να μπορέσει να τις κατανοήσει πλήρως.

Στο δεύτερο κομμάτι εφαρμόζουμε τη τεχνική εξόρυξη γνώσης σε ιατρικά δεδομένα για την εξαγωγή χρήσιμων και ταυτόχρονα κρίσιμων συμπερασμάτων. Σήμερα δεν είναι λίγες οι ιατρικές συσκευές που από ενσωματώνουν από μόνες τους αλγόριθμους μηχανικής γνώσης που τους βοηθούν τους επιστήμονες στη μελέτη και επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων. Συγκεκριμένα εμείς θα προσπαθήσουμε για ένα πραγματικό πρόβλημα να εντοπίσουμε την αλγόριθμο που θα μας βοηθήσει περισσότερο και αποτελεσματικότερα στη λήψη μιας απόφασης που έχει να κάνει με τη ενδεχόμενη πάθηση που μπορεί να πάσχει ένας ασθενής. Μελετώντας αυτό το κομμάτι της εργασίας θέλουμε να καταστήσουμε σαφές στον αναγνώστη πόσο απλή και εύκολη μπορεί να είναι η αξιοποίηση των πολλών δεδομένων που διαθέτουμε σήμερα προς όφελος μας. Παράλληλα, τις περισσότερες φορές τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ιδιαίτερος χρήσιμα και εύκολα διαχειρίσιμα. Επιπροσθέτως, τα εργαλεία που πλαισιώνουν τις τεχνικές εξόρυξης γνώσης είναι απλά στη χρήση τους και εύχρηστα χωρίς να μπερδεύουν καθόλου το χρήστη.

Αξιοποιώντας τις διαθέσιμες τεχνολογίες, μεθοδολογίες και εργαλεία είμαστε σε θέση να περιορίσουμε σε σημαντικό βαθμό τα ρίσκα που πιθανόν υπάρχουν όταν λαμβάνουμε κάποια απόφαση. Βεβαίως, αυτό κάνει τη ζωή μας πιο εύκολη καθώς αν μπορούμε να αξιοποιήσουμε όλες τις πληροφορίες που έχουμε μπορούμε να πάρουμε τη σωστή απόφαση που θα μας οδηγήσει στο σωστό αποτέλεσμα.

1.2 Περιεχόμενα & Δομή εργασίας

Η εργασία όπως εύκολα μπορεί να διαπιστώσει κανείς αποτελείται από τρία νοητά μέρη. Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει τα βασικά στοιχεία της διπλωματικής εργασίας όπως είναι η περίληψη, η εισαγωγή που έχουν ως στόχο να μας ενημερώσουν για τα βασικά στοιχεία της διπλωματικής, για τη δομή της τους στόχους της έτσι ώστε ο αναγνώστης να αποκτήσει μια πρώτη γενική εικόνα.

Το δεύτερο μέρος είναι αφιερωμένο στη μεθοδολογία Systems Dynamics και περιλαμβάνει δύο κεφάλαια (δεύτερο και τρίτο κεφάλαιο). Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλα τα απαραίτητα δομικά στοιχεία της μεθοδολογίας, τις θεμελιώσεις αρχές που την διέπουν μαζί με μικρές απλές εφαρμογές για τη διευκόλυνση του χρήστη. Στο τρίτο κεφάλαιο υπάρχουν τρία παραδείγματα του πραγματικού κόσμου στα οποία εφαρμόζονται όλα όσα μάθαμε στο δεύτερο κεφάλαιο που ουσιαστικά αποτελεί ένα μικρό εγχειρίδιο χρήσης της μεθοδολογίας. Τα παραδείγματα αυτά είναι ιδιαίτερος χρήσιμα καθώς περιγράφουν παράλληλα και τις δυσκολίες που υπάρχουν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας στο πραγματικό κόσμο.

Το τρίτο μέρος περιλαμβάνει τη εφαρμογή της τεχνικής της εξόρυξης γνώσης σε ένα πραγματικό ιατρικό πρόβλημα. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρέχεται όλο το απαραίτητο γνωστικό υπόβαθρο για τη κατανόηση της σπουδαιότητας του προβλήματος από τον αναγνώστη ενώ παράλληλα παρέχεται και ένα μικρός οδηγός χρήσης για το εργαλείο WEKA. Στο πέμπτο κεφάλαιο εμφανίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης τους. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται μια μικρή σύνοψη των μεθοδολογιών περιγράφονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους έτσι ώστε ο αναγνώστης να είναι σε θέση να αντιπαραθέσει τις δικές τους απόψεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ SYSTEM DYNAMICS

Στόχος Κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο θέλουμε να παρουσιάσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά και τα δομικά στοιχεία της μεθοδολογίας Systems Dynamics. Επίσης, παρατίθενται και ορισμένα ιστορικά στοιχεία χρήσιμα για να δούμε την εξέλιξη της μεθοδολογία στο πέρασμα των τελευταίων τριάντα χρόνων.

2.1 Εισαγωγικά

Ορισμός

Η Systems Dynamics είναι μια μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για τη κατανόηση της συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων, ασχολείται κυρίως με τους εσωτερικούς βρόγχους ανάδρασης (internal feedback loop) και τις χρόνο- καθυστερήσεις ολόκληρου του συστήματος. Αυτό που κάνει τη συγκεκριμένη μεθοδολογία να διαφοροποιείται έναντι άλλων παρόμοιων είναι η χρήση των feedback loops καθώς και η χρήση των Stocks και Flows (θα δούμε παρακάτω τι σημαίνουν ακριβώς όλα αυτά). Αυτές οι δομές μας επιτρέπουν να περιγράψουμε τον τρόπο λειτουργίας μιας διαδικασίας.

Γενική επισκόπηση

Η Systems Dynamics είναι μια μεθοδολογία και ταυτόχρονα μια τεχνική μοντελοποίησης και προσομοίωσης απαραίτητης για τη κατανόηση και επεξεργασία πολύπλοκων ζητημάτων και προβλημάτων. Δημιουργήθηκε το 1950 προκειμένου να βοηθήσει τους managers να κατανοήσουν καλύτερα τις επιχειρηματικές διαδικασίες, σήμερα είναι ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται τόσο στον ιδιωτικό όσο και στον δημόσιο φορέα. Η Systems Dynamics αποτελεί ένα κομμάτι του συστημικού τρόπου σκέψης και δίνει ιδιαίτερη έμφαση στη συμπεριφορά που εμφανίζει ένα σύστημα όταν οι συνθήκες μεταβάλλονται. Όπως θα δούμε και στις επόμενες ενότητες αυτό που μας ενδιαφέρει να κάνουμε είναι να μοντελοποιήσουμε μια διαδικασία που μας ενδιαφέρει, να προσομοιώσουμε το μοντέλο που δημιουργήσαμε και να αναλύσουμε τα αποτελέσματα.

Αποτελεί μια αποτελεσματική μέθοδος για να δούμε τον τρόπο με τον οποίο θα ανταποκριθεί μια επιχείρηση σε ενδεχόμενες ανάγκες και αλλαγές που θα προκύψουν.

Ιστορική Αναδρομή

Η μεθοδολογία Systems Dynamics δημιουργήθηκε από το καθηγητή του MITⁱ Jay Forrester στα μέσα της δεκαετίας του 1950. Το 1956 ο Jay Forrester αποδέχτηκε την ακαδημαϊκή θέση που του πρόσφερε το MIT στο τμήμα Management. Ο αρχικός του στόχος ήταν να καταφέρει να συνδυάσει τις γνώσεις που είχε στο τομέα της μηχανικής και των οικονομικών προκειμένου να ασχοληθεί με τους λόγους που συμβάλλουν είτε στην επιτυχία είτε στην αποτυχία μιας επιχείρησης.

Εκτός από το πολύ καλό θεωρητικό του υπόβαθρο και τη διορατικότητα που τον χαρακτήριζε σημαντικό ρόλο για τη δημιουργία της Systems Dynamics διαδραμάτισε και η συνεργασία του με managers της εταιρίας General Electric (GE) στα μέσα της δεκαετίας τους '50. Ο καθηγητής Jay Forrester κατάφερε να αποδείξει ότι η αστάθεια που χαρακτήρισε το πλήθος των εργαζομένων (γινόταν συνεχώς προσλήψεις και απολύσεις) οφειλόταν κυρίως στο τρόπο λειτουργίας της επιχείρησης (GE) και όχι σε κάποιο «εξωτερικό» παράγοντα. Η μέθοδος και οι υπολογισμοί που χρησιμοποίησε για να το αποδείξει αυτό αποτέλεσε την αρχή της Systems Dynamics.

Από τα τέλη του 1950 και μέχρι τις αρχές του 1960 ο Jay Forrester μαζί με τους διδακτορικούς μαθητές τους κατάφερε να αναδείξει σιγά - σιγά σε ακαδημαϊκό επίπεδο τη συγκεκριμένη μεθοδολογία, ενώ παράλληλα αρχίζει να χρησιμοποιεί τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές για την επίλυση των πολύπλοκων υπολογισμών που απαιτούνται. Ο Richard Bennett το 1958 δημιούργησε τη πρώτη ουσιαστικά γλώσσα προγραμματισμού που υποστηρίζει τη Systems Dynamics, η γλώσσα αυτή είχε την ονομασία SIMPLE (Simulation of Industrial Management Problems with lots of Equations) . Αργότερα το 1959 ο Phyllis Fox και ο Alexander Pugh έγραψε τη πρώτη έκδοση της DYNAMO (DYNAmic Models) μια βελτιωμένη έκδοση της SIMPLE. Το 1961 ο Jay Forrester δημοσίευσε το πρώτο βιβλίο με τίτλο “Industrial Dynamics” που ουσιαστικά αποτέλεσε το πρώτο οδηγό για τη μεθοδολογία. Για τα επόμενα τριάντα χρόνια η Systems Dynamics αποτέλεσε το βασικό εργαλείο λήψης αποφάσεων για τις περισσότερες αμερικάνικες επιχειρήσεις.

2.2 Systems Thinking

Απαιτείται αλλαγή στο τρόπο αντιμετώπισης των προβλημάτων που προκύπτουν σε μια επιχείρηση. Οι περισσότεροι προσπαθούν να εντοπίσουν τα εξωτερικά γεγονότα που κατά τη γνώμη τους προκαλούν δυσλειτουργίες. Αυτό όμως τους παρέχει μια μοναδιάστατη θεώρηση του προβλήματος (μπαίνουμε ουσιαστικά σε ένα ατέρμονο βρόγχο καθώς πάντα θα βρίσκουμε γεγονότα που προκαλούν άλλα γεγονότα). Στη πραγματικότητα όμως τα προβλήματα αυτά προκύπτουν από αδυναμίες της εσωτερικής δομής της επιχείρησης. Έτσι λοιπόν ο στόχος μας θα πρέπει να είναι η διαμόρφωση και η λειτουργία μιας ευέλικτης δομής που θα επιτρέπει στην επιχείρηση να ανταποκρίνεται στις δυσκολίες και να προσαρμόζεται άμεσα στις συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο δραστηριοποιείται.

Για να μπορέσουμε να αντιμετωπίσουμε καλύτερα τα προβλήματα που δημιουργούνται θα πρέπει να σταματήσουμε να βλέπουμε την επιχείρηση μας σαν ένα σύστημα που αποτελείται από αλληλεπιδρώντα μέρη (σταματάμε να βλέπουμε μόνο τα γεγονότα που ενδεχομένως δημιουργούν προβλήματα) .

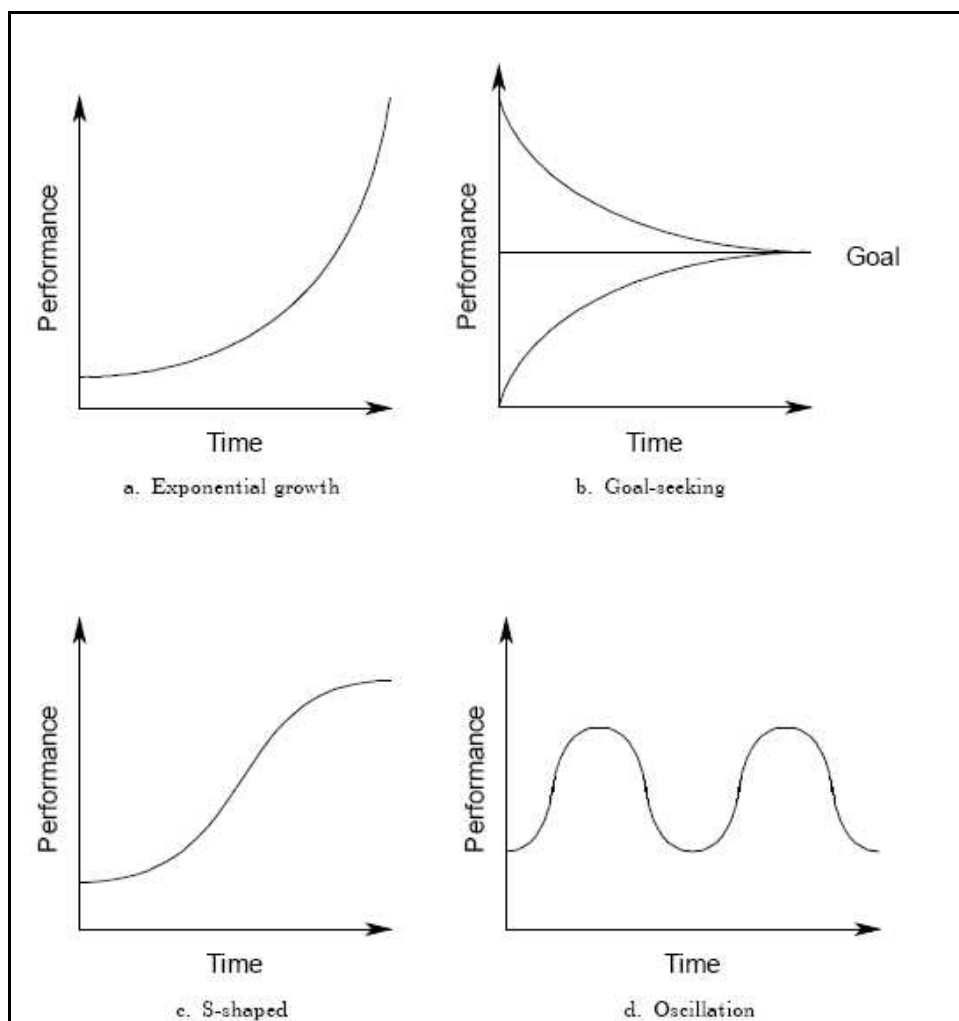
Μέχρι πρότινος όταν αντιμετωπίζαμε κάποιο διαχειριστικό πρόβλημα προσπαθούσαμε να εντοπίσουμε τα εξωτερικά γεγονότα που το προκαλούσαν υιοθετώντας όμως το συστημικό τρόπο σκέψης αποκτούμε μια διαφορετική θεώρηση των πραγμάτων πιο συγκεκριμένα η εσωτερική δομή ενός συστήματος είναι πιο σημαντική από τα εξωτερικά γεγονότα που συμβαίνουν.

Το να προσπαθούμε να βρούμε ποιο γεγονός προκάλεσε ένα άλλο γεγονός ουσιαστικά δεν μας προσφέρει τίποτα καθώς τότε δεν θα μπορέσουμε να βρούμε τη πραγματική αιτία του προβλήματος (που συνήθως βρίσκεται σε κάποια εσωτερική διαδικασία). Αλλάζοντας όμως τον τρόπο με το οποίο λειτουργεί η επιχείρηση θα μπορεί να αντιμετωπιστεί πιο αποτελεσματικά το οποιοδήποτε πρόβλημα.

Στη δομή της επιχείρησης βρίσκεται συνήθως η πραγματική αιτία του προβλήματος. Προφανώς διορθώνοντας εσωτερικές διαδικασίες κ.α αυξάνουμε τις πιθανότητες όχι μόνο να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά το πρόβλημα αλλά και να μην εμφανιστεί ξανά το ίδιο πρόβλημα στο εγγύς μέλλον.

2.3 Χαρακτηριστικά Πρότυπα Συμπεριφοράς – Patterns of Behavior

Σ' ένα πρώτο επίπεδο θα πρέπει να εντοπίσουμε τις μεταβλητές ενδιαφέροντος (variable of interest) που σχετίζονται με το πρόβλημα προκειμένου να δημιουργήσουμε τα πρότυπα συμπεριφοράς που χαρακτηρίζουν το πρόβλημα μας. Αυτό προϋποθέτει να βρούμε τις μεταβλητές ενδιαφέροντος (π.χ για μια επιχείρηση μεταβλητές ενδιαφέροντος είναι το κέρδος, οι πωλήσεις, το κόστος κ.α). Η δημιουργία των προτύπων συμπεριφοράς είναι πολύ σημαντική καθώς τα ίδια πρότυπα εμφανίζονται σε διαφορετικά προβλήματα. Έτσι λοιπόν όταν εντοπιστεί κάποιο πρότυπο συμπεριφοράς που υποδηλώνει την ύπαρξη κάποιου προβλήματος τότε απλά μπορούμε να αναζητήσουμε εκείνες τις δομές του συστήματος που είναι γνωστό ότι μπορεί να προκαλούν τα συγκεκριμένα πρότυπα. Εν συνεχεία μελετούμε και βρίσκουμε ποιες εσωτερικές δομές της επιχείρησης προκαλούν αυτά τα προβληματικά πρότυπα και τα αποφεύγουμε.



Σχήμα 2-1: Χαρακτηριστικά πρότυπα συμπεριφοράς

Έχουμε τέσσερα βασικά πρότυπα συμπεριφοράς:

- **Εκθετική Αύξηση:**

Μια αρχική ποσότητα αρχίζει να αυξάνεται και ο ρυθμός ανάπτυξης αυξάνεται και αυτός.

- **Goal Seeking behavior**

Σε αυτή τη περίπτωση υπάρχει ένας μέγεθος – στόχος αρχικά απέχουμε από αυτό το στόχο και με το πέρασμα του χρόνου κατευθυνόμαστε προς τον επιθυμητό στόχο.

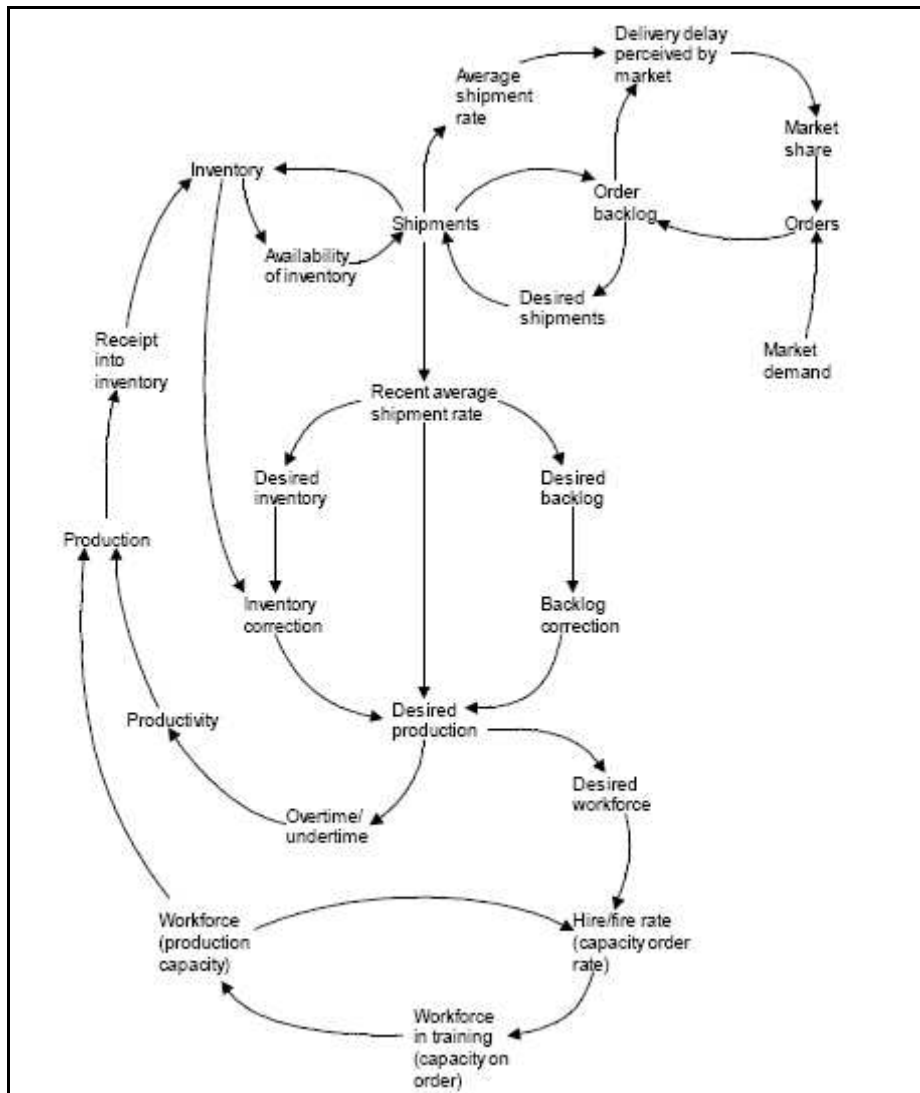
- **S- shaped growth**

Η αρχική εκθετική αύξηση ακολουθείται από Goal Seeking behavior.

- **Oscillation**

Σε αυτή τη περίπτωση το οι τιμές του μεγέθους στόχου κυμαίνονται ανάμεσα σε κάποια επίπεδα. Αρχικά, ξεκινά σαν εκθετική αύξηση στη συνέχεια αποκτά μια Goal Seeking behavior και στο τα τέλος αντιστρέφει τη κατεύθυνση της.

2.4 Feedback and Causal Loop Diagrams



Σχήμα 2-2: Χαρακτηριστική δομή τομέα παραγωγής

Στην εικόνα αυτή περιγράφονται οι σχέσεις των διαφόρων στοιχείων του τομέα παραγωγής μιας εταιρίας.

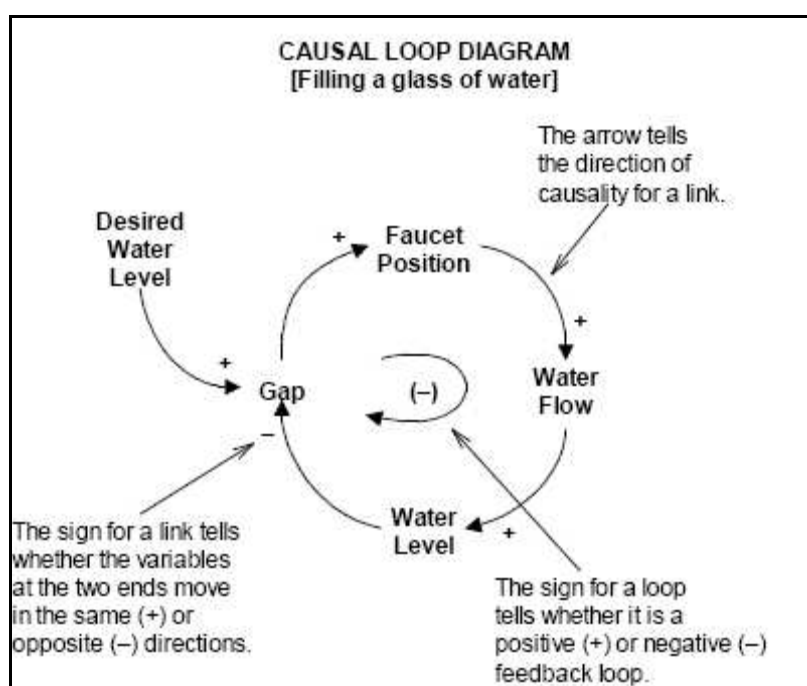
Σε αυτό το σχήμα οι ονομασίες που υπάρχουν αναπαριστούν τα στοιχεία που αποτελούν το τομέα παραγωγής, ενώ τα βέλη αναπαριστούν τη σχέση αιτίας – αποτελέσματος (causal influences) μεταξύ των στοιχείων του τομέα παραγωγής. Στο διάγραμμα αυτό αναπαρίστανται σχέσεις που δύσκολα μπορούν να αναπαρασταθούν λεκτικά.

Feedback or Causal Loop: όταν ένα στοιχείο ενός συστήματος επηρεάζει έμμεσα τον εαυτό του. Ο λόγος για τον οποίο συνήθως επικεντρωνόμαστε στα feed back είναι διότι

συχνά είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε τι είναι αυτό που προκαλεί the pattern of behavior .

Συμπέρασμα

Feedback or Causal Loop είναι μια κλειστή ακολουθία από αιτίες και αποτελέσματα δηλαδή ένα κλειστό μονοπάτι από ενέργειες και πληροφορίες. Feedback and Causal Loop Diagrams συναντιόνται συχνά στα συστήματα διαχείρισης. Οι γραμμικές αλυσίδες cause-effect ονομάζονται open loop.



Σχήμα 2-3: Γραφική αναπαράσταση για το πώς γεμίζουμε ένα ποτήρι νερό.

Αυτό το διάγραμμα περιλαμβάνει στοιχεία (elements) και βέλη (arrows causal links). Η σύνδεση δύο στοιχείων υποδηλώνει ότι υπάρχει μια σχέση αλληλεπίδρασης μεταξύ τους. Επίσης, διαπιστώνουμε την ύπαρξη κάποιων επιπλέον συμβόλων πάνω σε κάθε βέλος η λειτουργικότητα των οποίων θα αναλυθεί παρακάτω.

Causal Loop Diagram – Causal Links

- + → Α προσθέτει στο Β ή μια αλλαγή στο Α προκαλεί μια αντίστοιχη αλλαγή στο Β.
- → Το Α αφαιρεί από το Β ή μια αλλαγή στο Α προκαλεί την ακριβώς αντίθετη μεταβολή στο Β.

Επεξήγηση παραδείγματος

Ξεκινάμε από το στοιχείο *κάνουλα (Faucet Position)*: όσο η *κάνουλα* παραμένει ανοικτή τόσο η *ροή του νερού (Water flow)* αυξάνεται. Επομένως, η ένδειξη για το βέλος που συνδέει τη *κάνουλα (Faucet Position)* και τη *ροή του νερού (Water flow)* είναι θετική (+). Αντιστοίχως, όσο η *ροή του νερού (Water flow)* τόσο η *στάθμη του νερού (Water Level)* στο ποτήρι αυξάνεται επομένως η ένδειξη για το βέλος δηλαδή για τη συσχέτιση μεταξύ αυτών των δύο στοιχείων είναι θετική (+). Το επόμενο στοιχείο που θα πρέπει να μελετήσουμε είναι το κενό μέρος του ποτηριού δηλαδή το κομμάτι εκείνο που δεν έχει καλυφθεί ακόμα από νερό (*Gap*) και είναι διαφορετικό από το *Desired Water Level* (δηλαδή το σημείο που θέλουμε να φτάσει η στάθμη του νερού). Για την ακρίβεια $Gap = \text{Desired Water Level} - \text{Water Level}$. Προφανώς, όσο αυξάνεται η στάθμη του νερού (*Water Level*) τόσο μειώνεται το κενό (*Gap*) και για αυτό ακριβώς το λόγο η ένδειξη που χαρακτηρίζει τη συσχέτιση τους είναι αρνητική. Με το ίδιο ακριβώς σκεπτικό έχουμε και τη θετική ένδειξη στο βέλος που συνδέει την επιθυμητή στάθμη του νερού (*Desired Water Level*) και το κενό (*Gap*). Τέλος, υπάρχει άλλη μια αλληλεπίδραση ανάμεσα στα στοιχεία *Gap* και *Faucet Position* γίνεται εύκολα κατανοητό ότι όσο πιο πολύ είναι το κομμάτι του ποτηριού που είναι άδειο τόσο πιο πού νερό χρειάζεται να τρέξει από τη *κάνουλα (Faucet Position)* για αυτό το λόγο έχουμε και τη θετική ένδειξη στο βέλος που τα συνδέει. Επιπρόσθετα με τις ενδείξεις που εξηγήσαμε προηγουμένως διαπιστώνουμε ότι υπάρχει μια ακόμα ένδειξη που έχει ως στόχο να χαρακτηρίσει ολόκληρο το Causal Loop.

Characterize complete loop

Even number of (-) → positive feedback loop

Odd number of (-) → negative feedback loop

s → Same direction (+)

o → Opposite direction (-)

R → Reinforce (+)

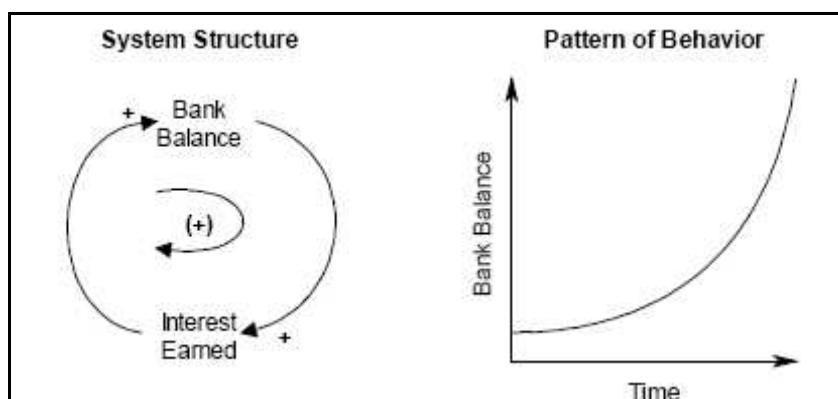
B → Balancing (-)

2.5 Ερμηνεία πρότυπων συμπεριφοράς

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν απλές δομές που οδηγούν σε τυπικά πρότυπα συμπεριφοράς (Pattern of Behavior) .

Positive (Reinforcing) Feedback Loop

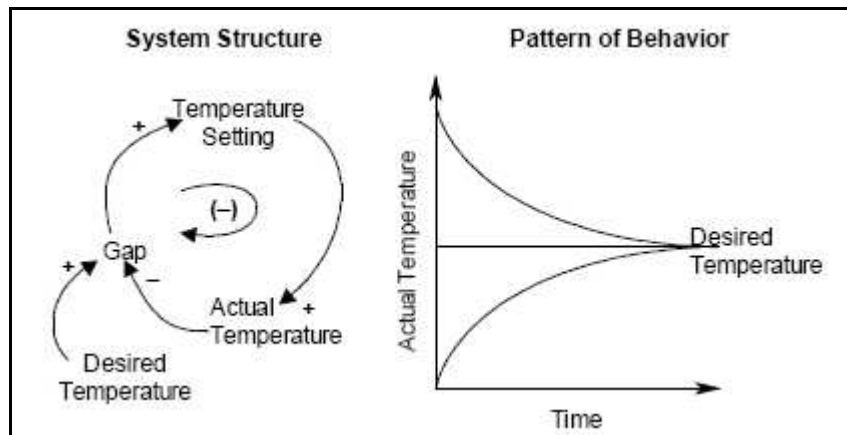
Αναφέρεται συχνά σαν εκθετική αύξηση. Αρχικά, η αύξηση φαίνεται να είναι πολύ αργή αλλά στη συνέχεια ο ρυθμός αύξησης μεγαλώνει για αυτό το λόγο δεν θα πρέπει να παραπλανηθούμε. Για παράδειγμα σε μια περίπτωση περιβαλλοντικής μόλυνσης στα πρώτα στάδια της εκθετικής αύξησης το πρόβλημα δεν φαίνεται να είναι πολύ σημαντικό στη συνέχεια όμως η κατάσταση αντιστρέφεται και ξαφνικά γίνεται αντιληπτό ότι έχουμε να αντιμετωπίσουμε ένα πολύ σοβαρό πρόβλημα που δύσκολα μπορεί να αντιμετωπιστεί από τη στιγμή που αργήσαμε να καταλάβουμε τη σπουδαιότητα του.



Σχήμα 2-4: Παράδειγμα εκθετικής αύξησης.

Negative (Balancing) Feedback Loop

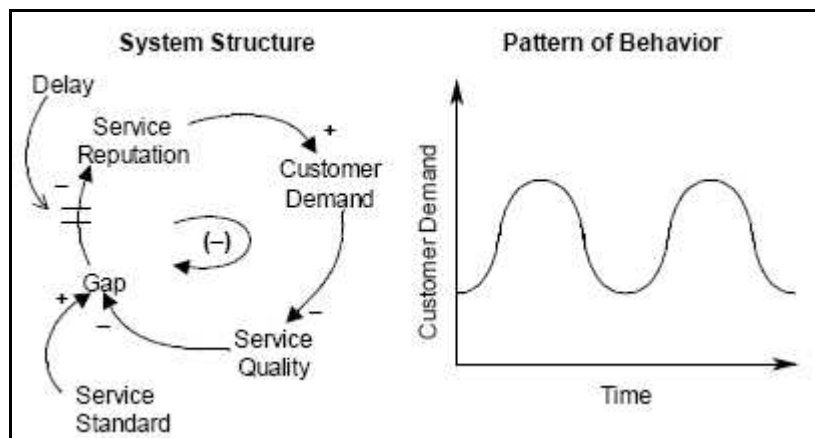
Ουσιαστικά αναζητά ένα στόχο παρουσιάζει δηλαδή μια Goal Seeking behavior. Αν το τωρινό επίπεδο τη μεταβλητής είναι πάνω από το στόχο τότε το loop structure πιέζει τη τιμή προς τα κάτω και αντιστοίχως συμπεριφέρεται με ανάλογο τρόπο όταν η τιμή τη μεταβλητής είναι σε χαμηλότερα επίπεδα από το στόχο. Περιέχονται σε πολλές διαδικασίες διαχείρισης καθώς προσφέρουν σταθερότητα . The negative feedback loop είναι τόσο ισχυρά που σε ορισμένες περιπτώσεις οι εταιρίες προτιμούν να αντιμετωπίζουν προβλήματα και να καθυστερούν από το να τις αλλάξουν.



Σχήμα 2-5: Παράδειγμα Goal Seeking συμπεριφοράς.

Negative Feedback Loop with Delay

A negative feedback loop with substantial delay can lead to oscillation. Η συμπεριφορά του εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του loop . Σε κάποιες περιπτώσεις η τιμή της μεταβλητής συνεχίζει να ταλαντώνεται (να διακυμαίνεται) επ' αορίστων ενώ σε κάποιες άλλες περιπτώσεις το πλάτος διακύμανσης της μεταβλητής ενδιαφέροντος μειώνεται βαθμιαία έως ότου σταθεροποιηθεί κοντά σε μια επιθυμητή τιμή.



Σχήμα 2-6: Παράδειγμα που παρουσιάζει διακύμανση – oscillation.

Συχνά σε πολύ-επίπεδα συστήματα παραγωγής ή σε συστήματα διανομής παρουσιάζονται τέτοιου είδους συμπεριφορές εξαιτίας του γεγονότος ότι αργεί να φτάσει η πληροφορία που αφορά τη ζήτηση ενός προϊόντος με αποτέλεσμα να καθυστερεί η παραγωγή.

Combination of Positive and Negative Loops

When positive and negative Loops are combined a variety of patterns are possible.
Χαρακτηριστικό παράδειγμα πωλήσεις ενός νέου προϊόντος.

Αρχικά το positive loop οδηγεί σε μια εκθετική αύξηση μετά όμως από κάποιο χρονικό διάστημα η συμπεριφορά που προκύπτει από το negative loop προσδιορίζει και τη συμπεριφορά του συστήματος (goal seeking behavior).

2.6 Κατασκευή Causal Loop Diagram

Μεθοδολογία

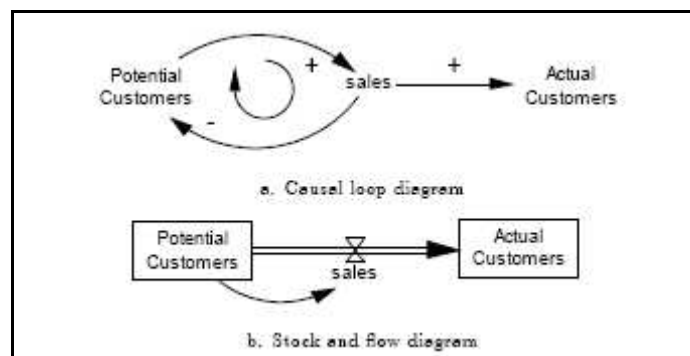
Πρώτα από όλα θα πρέπει να αποφασίσω γεγονότα (events) μπορεί να μας οδηγήσουν στη κατανόηση μιας καλύτερης κατανόησης της System Structure.

1. Πρέπει αρχικά να αντιμετωπίζουμε τα στοιχεία του Causal Loop Diagram ως μεταβλητές που οι τιμές είτε αυξάνονται είτε μειώνονται ασχέτως αν δεν μπορούμε να βρούμε εύκολα μονάδα μέτρησης για τι τιμές της κάθε μεταβλητής
 - Χρησιμοποιούμε ουσιαστικά αντί για ρήματα για την αναπαράσταση των μεταβλητών. Για παράδειγμα προτιμούμε να χρησιμοποιήσουμε τη λέξη «κόστος» σε σχέση με τη φράση «αυξανόμενο κόστος».
 - Τα Causal Links συχνά υπαινίσσονται μια σχέση αιτίου και αποτελέσματος ανάμεσα σε δύο στοιχεία- μεταβλητές παρά μια χρονική ακολουθία. Έτσι λοιπόν ένα βέλος από το στοιχείο A στο στοιχείο B με θετική ένδειξη σημαίνει ότι όταν αυξάνεται η τιμή του A αυξάνεται και η τιμή του B .
2. Όταν σχεδιάζω τις διασυνδέσεις σε ένα διάγραμμα θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας πιθανές παρενέργειες (ενδεχομένως να υπάρχουν περισσότερες αλληλεπιδράσεις από αυτές που αρχικά είχαμε σκεφτεί οπότε θα πρέπει να βρεθεί ένα τρόπος αναπαράστασης και για αυτές) που μπορούν να προκύψουν.
3. Υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες συνέπειες (για παράδειγμα όταν παίρνουμε κάποιο χάπι για την αντιμετώπιση κάποιας ασθένειας το βραχυπρόθεσμο αποτέλεσμα είναι η βελτίωση της υγείας μας μακροπρόθεσμα όμως το χάπι αυτό μπορεί να προκαλέσει διάφορες παρενέργειες

στον οργανισμό μας) και αυτό θα πρέπει να αποτυπώνεται ευδιάκριτα στο Causal Loop Diagram (για παράδειγμα θα πρέπει να ανήκουν σε διαφορετικά Loop).

4. Όταν η σύνδεση ανάμεσα σε δύο στοιχεία ενός Causal Loop diagram απαιτεί περαιτέρω επεξήγηση τότε ενδείκνυται η εισαγωγή επιπρόσθετων «στοιχείων» που θα διευκρινίζει καλύτερα το τι ακριβώς συμβαίνει ανάμεσα σε αυτά τα δύο στοιχεία.
5. Το διάγραμμα θα πρέπει να είναι όσο πιο απλό γίνεται και θα πρέπει να έχουμε πάντα στο μυαλό μας ότι ο στόχος ενός Causal Loop diagram δεν είναι να περιγράψει όλες τις λεπτομέρειες μιας διοικητικής διαδικασίας (management process) αλλά να παρουσιάσει τον τρόπο με τον οποίο εκτελείται μια διαδικασία έτσι ώστε να είμαστε σε θέση να εντοπίσουμε που υπάρχει το οποιοδήποτε πρόβλημα.[1],[2],[3],[4],[5]

2.7 Stock Flow diagram



Σχήμα 2-7: Παράδειγμα πωλήσεων προϊόντος.

Προκειμένου να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να μοντελοποιηθεί μια διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε μια επιχείρηση εξετάζουμε το παρακάτω παράδειγμα.

Μελετούμε λοιπόν τη περίπτωση μιας εταιρίας που εμπορεύεται ένα συγκεκριμένο προϊόν από τη μια πλευρά υπάρχουν οι «εν δυνάμει πελάτες» άτομα δηλαδή που δεν έχουν αγοράσει ακόμα το προϊόν και η εταιρία ευελπιστεί να τους προσεγγίσει ώστε να το αγοράσουν. Στο Σχήμα 2-8 απεικονίζεται το Causal Loop diagram του συγκεκριμένου παραδείγματος για το οποίο θα γίνουν κάποιες παρατηρήσεις. Διαπιστώνουμε ότι εκτός από τους «εν δυνάμει πελάτες» (στο Causal Loop diagram αναφέρονται με το όνομα *Potential Customers*) υπάρχουν και τα άτομα εκείνα που έχουν αγοράσει το προϊόν (αναφέρονται με το όνομα *Actual Customers*). Προφανώς στόχος της εταιρίας είναι να

αυξήσει τις πωλήσεις της έτσι ώστε ολοένα και περισσότερα άτομα να έχουν αγοράσει το προϊόν της. Γίνεται λοιπόν εύκολα κατανοητό ότι όσο περισσότεροι είναι οι «εν δυνάμει πελάτες» τόσο περισσότερες θα είναι και οι πωλήσεις έτσι εξηγείται το βέλος με το θετικό πρόσημο που συνδέει της πωλήσεις (*Sales*) και τους «εν δυνάμει πελάτες» (*Potential Customers*) από την άλλη αύξηση των πωλήσεων συνεπάγεται μείωση των «εν δυνάμει πελατών» εξ' ου και το βέλος με το αρνητικό πρόσημο που συνδέει τις πωλήσεις και τους «εν δυνάμει πελάτες». Παράλληλα, αύξηση των πωλήσεων προκαλεί αύξηση των πελατών (*Actual Customers*) γεγονός που απεικονίζεται κατάλληλα στο Causal Loop diagram (βέλος με θετικό πρόσημο). Τέλος , στο διάγραμμα υπάρχει ένα feed back loop ανάμεσα στις πωλήσεις και στους «εν δυνάμει πελάτες» στο οποίο υπάρχει περιττό πλήθος συνδέσεων (*Links*) με αρνητικό πρόσημο με αποτέλεσμα το συγκεκριμένο feed back loop να χαρακτηρίζεται ως negative.

Δυστυχώς, αντιλαμβανόμαστε την αδυναμία του συγκεκριμένου διαγράμματος να μας δώσει χρήσιμες και λειτουργικές πληροφορίες. Πιο συγκεκριμένα γνωρίζουμε ότι όσο θα αυξάνονται οι πωλήσεις θα αυξάνεται και ο αριθμός των πελατών δεν γνωρίζουμε όμως το ρυθμό με τον οποίο αυξάνονται οι πωλήσεις έτσι ώστε να ρυθμιστεί ανάλογα και η παραγωγή της εταιρίας. Αναμφίβολα , προκύπτει η ανάγκη ύπαρξης ενός μοντέλου που θα μας παρέχει ποιοτικότερες και πιο ουσιαστικές πληροφορίες.

Μια γραφική απεικόνιση που είναι σε θέση να μας προσφέρει περισσότερες πληροφορίες για μια διαδικασία που εξετάζουμε είναι τα Stock and Flow diagrams τα οποία θα αναλυθούν στη παρούσα ενότητα. Τα βασικά στοιχεία ενός Stock and Flow diagram είναι τα εξής: Stocks, Flows και Information (πληροφορία) τη σημειολογία των οποίων θα τη δούμε παρακάτω. Όσο και αν φαίνεται περίεργο τα τρία αυτά στοιχεία επαρκούν για τη αποδοτική αναπαράσταση οποιασδήποτε διαδικασίας που λαμβάνει χώρα σε μια επιχείρηση ενώ παράλληλα, μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για τη δημιουργία ποσοτικών μοντέλων που συντελούν αποτελεσματικά στη μελέτη των χαρακτηριστικών μιας διαδικασίας.

Στα Stock and Flow diagrams αναπαριστούν κυρίως μεταβλητές οι οποίες έχουν τη τάση να μεταβάλλονται στο πέρασμα του χρόνου. Στο σχήμα 2-7 παρουσιάζεται το Stock and Flow diagram για το παράδειγμα που μελετήσαμε στην αρχή της ενότητας, οι μεταβλητές εδώ είναι: οι πωλήσεις (*Sales*), οι «εν δυνάμει πελάτες» (*Potential Customers*) και οι

πελάτες (Actual Customers). Υπάρχουν δύο διαφορετικά είδη μεταβλητών τα οποία διαφέρουν εκ πρώτης όψεως ως προς την αναπαράστασή τους. Από τη μια πλευρά έχουμε τις μεταβλητές που είναι γνωστές με τις ονομασίες *stocks*, *level* ή *accumulation* στο παράδειγμα μας σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν οι Potential και οι Actual Customers που απεικονίζονται στο διάγραμμα ως τετράγωνα. Η άλλη κατηγορία μεταβλητών είναι γνωστή με τις ονομασίες *flow* ή *rate*. Η μεταβλητή πωλήσεις (sales) ανήκει σε αυτή τη κατηγορία και αναπαρίσταται σαν «παπιών» ή σαν «βαλβίδα». Για τη αξιοποίηση των διαγραμμάτων αυτών είναι απαραίτητη η κατανόηση των διαφορών ανάμεσα στις *stocks* και *flows* μεταβλητές.

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι τα τρία δομικά στοιχεία (*stocks flows information*) ενός *Stock and Flow diagram* επαρκούν για τη περιγραφή οποιασδήποτε διαδικασίας γεγονός που για κάποιους ίσως να είναι υπερβολή στη πράξη θα δούμε τελικά ότι κάτι τέτοιο ισχύει αρκεί να κατανοήσουμε ότι για τη μοντελοποίηση μιας διαδικασίας δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούμε άχρηστες λεπτομέρειες, μας αρκεί να χρησιμοποιήσουμε τη κριτική μας σκέψη και την εμπειρία μας προκειμένου να καταγράψουμε τις βασικές μεταβλητές που διέπουν τη συγκεκριμένη διαδικασία και εντοπίζονται και σε άλλες βασικές διαδικασίες της επιχείρησης.

2.7.1 Μεταβλητές *Stocks and Flows*

Το παράδειγμα που μελετάμε ενδεχομένως να μας προϋδεάζει για τις διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στις *flows* και *stocks* μεταβλητές. Η πρώτη τους διαφορά έχει ήδη εντοπιστεί και έχει να κάνει με την απεικόνισή τους στο διάγραμμα (χρησιμοποιούνται τετράγωνα για τις *stocks* μεταβλητές και σχήματα που μοιάζουν με βαλβίδες για την αναπαράσταση των *flows* μεταβλητών). Η σύνδεση των μεταβλητών γίνεται με τη βοήθεια διπλών γραμμών που μοιάζουν με σωλήνες (*pipe*). Τα σχήματα που έχουν επιλεχτεί για τις απεικονίσεις που αναφέρθηκαν δεν είναι καθόλου τυχαία αντιθέτως, προσπαθούν να βοηθήσουν τον αναγνώστη να καταλάβει καλύτερα τι κρύβεται πίσω από αυτά τα σχήματα. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε δύο ομάδες ατόμων ή πιο απλά δύο σύνολα (πελάτες και «εν δυνάμει πελάτες») ανήκουν στη κατηγορία των *stocks* μεταβλητών) και αυτά αναπαρίστανται με τετράγωνα σχήματα, έχουμε μια σύνδεση που ενώνει αυτές τις μεταβλητές (διπλή γραμμή) και τέλος έχουμε τη μεταβλητή πωλήσεις – ανήκει στη κατηγορία των *flows* μεταβλητών- η οποία καθορίζει το ρυθμό με τον οποίο οι «εν δυνάμει πελάτες» αγοράζουν το προϊόν και μετατρέπονται σε πελάτες (η βαλβίδα

προσπαθεί να αποτυπώσει αυτό το γεγονός . Συμπερασματικά λοιπόν οι stocks μεταβλητές αναπαριστούν σύνολα ή ομάδες ,ενώ οι flows μεταβλητές χρησιμοποιούνται προκειμένου να υποδηλώσει αυτή τη «ροή» που υπάρχει ανάμεσα σε δύο flows μεταβλητές.

Η *systems dynamics* σαν μεθοδολογία προσπαθεί να εντοπίσει τον τρόπο με τον οποίο τα διάφορα στοιχεία ή δομές μιας διαδικασίας προκαλούν αλλαγές στην εταιρία. Για αυτό το λόγο εστιάζουμε στα στοιχεία που συνθέτουν μια διαδικασία αλλά και στο τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται η διαδικασία αυτή στο πέρασμα του χρόνου.

Είναι πολύ δύσκολη η διάκριση ανάμεσα στις stocks και flows μεταβλητές αυτό που ίσως θα πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας είναι το εξής : οι stocks μεταβλητές είναι σύνολα από φυσικές οντότητες που μπορούν κατά κάποιο τρόπο να ομαδοποιούνται (αν και αυτό καμιά φορά είναι δύσκολο όπως για παράδειγμα τα χρήματα που για πολλές επιχειρήσεις είναι ένα σημαντικότατο stock στη πραγματικότητα όμως δεν αντιπροσωπεύουν κάποια φυσική οντότητα).

Ένα άλλος τρόπος για να μπορέσουμε να διακρίνουμε τις flows από τις stocks είναι να προσπαθήσουμε να μαντέψουμε τι θα γινόταν αν μπορούσαμε να παγώσουμε το χρόνο και να παρατηρήσουμε αυτή τη διαδικασία. Εάν διαπιστώσουμε ότι υπάρχει μια μη μηδενική τιμή για κάποια ποσότητα τότε αυτή είναι stock ενώ αν η ποσότητα δεν μπορεί να μετρηθεί είναι flow.

Οι περισσότερες επιχειρηματικές διαδικασίες περιέχουν ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω είδη Stocks μεταβλητών:

- Υλικά (Materials) : Σε αυτή τη κατηγορία περιέχονται όλα τα stocks και όλα τα flow φυσικών αγαθών που αποτελούν μέρος της παραγωγικής διαδικασίας.
- Προσωπικό (Personnel) : αναφερόμαστε στο ανθρώπινο δυναμικό μιας εταιρίας.
- Capital Equipment: Σε αυτή τη κατηγορία περιλαμβάνονται τα κτίρια, τα εργαλεία και γενικά όλος ο εξοπλισμός που απαιτείται για τη παραγωγή προϊόντων ή για τη παροχή υπηρεσιών.
- Παραγγελίες (Orders) : εδώ περιλαμβάνονται οι Παραγγελίες για την αγορά πρώτων υλών, ενδεχομένως συμβόλαια για την αγορά νέων κτιρίων κ.α. Συνήθως, οι

παραγγελίες είναι αποτέλεσμα επιχειρηματικών αποφάσεων που έχουν ληφθεί αλλά ακόμα δεν έχουν επιφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

- Χρήματα (Money): Συνήθως, αναφερόμαστε στο ρευστό που διαθέτει μια εταιρία .

Εκτός από τις μεταβλητές σε ένα Stock and Flow diagram έχουμε και τη πληροφορία (information) που αναπαρίσταται με τη βοήθεια μιας καμπύλης γραμμής, στο σχήμα 2.1β βλέπουμε ότι μια τέτοια γραμμή υπάρχει και συνδέει τις μεταβλητές Sales και Potential Customers. Αυτό υποδηλώνει ότι πληροφορίες που σχετίζονται με τους «εν δυνάμει πελάτες» επηρεάζουν με κάποιο τρόπο τις πληροφορίες που σχετίζονται με τις πωλήσεις (Sales). Η παραγωγή , ο έλεγχος και η διανομή πληροφορίας είναι μια πολύ βασική διαδικασία δια τη διοίκηση επιχειρήσεων . Ο τρόπος διαχείρισης της πληροφορίας προσδιορίζει και τον τρόπο λειτουργίας μια εταιρίας. Παλαιότερα , το ενδιαφέρον επικεντρώνονταν στο να διαβιβαστεί η πληροφορία στα ανώτερα επίπεδα της ιεραρχίας της εταιρίας ώστε να ληφθούν οι αποφάσεις και εν συνεχεία οι εντολές να μεταβιβαστούν στους εργαζομένους το χαμηλότερων ιεραρχικά τάξεων. Βεβαία με τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών τα δεδομένα έχουν αλλάξει σημαντικά καθώς ο όγκος των δεδομένων και της πληροφορίας έχει αυξηθεί κατακόρυφα με αποτέλεσμα να απαιτείται ένας πιο αποδοτικός τρόπος διαχείρισης τους. Παράλληλα, οι πληροφορίες αλληλοεξαρτώνται έτσι λοιπόν γίνεται απαραίτητο ένα τμήμα μιας εταιρίας να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες που στο παρελθόν θεωρούταν αδιάφορες και αυτό γίνεται εύκολα μόνο με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η ροή της πληροφορίας στο εσωτερικό μιας εταιρίας διαχρονικά αλλάζει προκαλώντας αλλαγές και στο τρόπο με τον οποίο εκτελείται κάθε διαδικασία ξεχωριστά. Η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών ορισμένες φορές έχουν βελτιώσει τον τρόπο με τον οποίο εκτελούνται κάποιες διεργασίας , ενώ άλλες φορές προκάλεσε δυσλειτουργίες. Εμείς θα προσπαθήσουμε να αναπτύξουμε μια μεθοδολογία που θα μας επιτρέψει να ερευνήσουμε τις πιθανές συνέπειες που θα προκύψουν από αλλαγές στη ροή της πληροφορίας .Στο χώρο των επιχειρήσεων η δυνατότητα πρόβλεψης συνεπειών είναι εξαιρετικά σημαντική και υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί να προσδώσει ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα , ανεπιτυχής αλλαγές στη δομή της επιχείρησης μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητα αποτελέσματα.

2.8 Προσομοίωση διαδικασίας

Όπως είδαμε και στις προηγούμενες ενότητες τα stock and flow diagrams παρέχουν περισσότερες πληροφορίες για μια διεργασία σε σχέση με τα causal loop diagrams παρά το γεγονός ότι έχουν παραληφθεί σημαντικές πληροφορίες. Το βασικό στοιχείο είναι ότι δεν έχει γίνει η παραμικρή αναφορά σε ποσοτικά χαρακτηριστικά που χωρίς αμφιβολία θεωρούνται απαραίτητα για τη λήψη αποφάσεων. Επομένως, είναι χρήσιμο να μοντελοποιήσουμε ποσοτικά τη διαδικασία που μελετούμε αρκεί βεβαίως να δώσουμε ιδιαίτερη προσοχή στα εξής σημεία: πόση πληροφορία και πόσες πολλές λεπτομέρειες θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο μας, αλλά και το πώς θα διαχειριστούν οι διάφορες αβεβαιότητες.

Η μεθοδολογία που μελετούμε απευθύνεται κυρίως στα ενδιάμεσα επίπεδα της εταιρικής ιεραρχίας όπου για να ληφθούν αποφάσεις δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε πάρα πολλές λεπτομέρειες. Στόχος αποτελεί η βελτίωση των ήδη υπαρχόντων διεργασιών με τη χρήση ενός σχετικά απλού μοντέλου που περιέχει τις βασικές ποσοτικές παραμέτρους που απαιτούνται για τη περιγραφή της διεργασίας και τα αποτελέσματα θα είναι άμεσα ορατά χωρίς να απαιτείται η πρόσβαση σε μεγάλο όγκο δεδομένων και χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ομαλή λειτουργία της εταιρίας. Προτού αρχίσουμε τα εξετάζουμε να βλέπουμε τα βήματα για τη προσομοίωση μιας διαδικασίας θα πρέπει να επισημάνουμε ότι για τη διευκόλυνση μας μπορούμε να παραβλέψουμε τις αβεβαιότητες που χαρακτηρίζουν τις μεταβλητές (του μοντέλου) χωρίς να επηρεάζεται η αποδοτικότητα του.

Για τη καλύτερη κατανόηση θα προσπαθήσουμε να εφαρμόσουμε τα βήματα που απαιτούνται για τη μοντελοποίηση μιας διαδικασίας στο παράδειγμα που μελετήσαμε στη δεύτερη ενότητα (πώληση ενός προϊόντος)[1].

2.8.1 Εισαγωγή εξισώσεων για τις Stocks μεταβλητές

Αρχικά, εντοπίζουμε τις μεταβλητές που ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία (παράδειγμα μας σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν οι μεταβλητές «εν δυνάμει πελάτες» και πελάτες). Εν συνεχεία, με τη βοήθεια του εργαλείου Vensim Ple θα εισάγουμε τις εξισώσεις που χαρακτηρίζουν τις μεταβλητές. Πιο συγκεκριμένα για τη μεταβλητή «εν δυνάμει πελάτες» (Potential Customers) έχουμε:

$$\text{Potential Customers}(t) = 1,000,000 - \int_0^t \text{sales}(\tau) d\tau.$$

Ας προχωρήσουμε λοιπόν στην ερμηνεία αυτής της εξίσωσης, ο αριθμός των «εν δυνάμει πελατών» κάθε χρονική στιγμή ισούται με το αρχικό πλήθος (θεωρούμε ότι το αρχικό πλήθος των «εν δυνάμει πελατών» ανέρχεται στο 1.000.000) των «εν δυνάμει πελατών» μείον το πλήθος των «εν δυνάμει πελατών» που μέχρι εκείνη τη στιγμή έχουν αγοράσει το προϊόν (αυτό εκφράζεται με τη βοήθεια του ολοκληρώματος – η μεταβλητή τ είναι η μεταβλητή ολοκλήρωσης).

Αντίστοιχα, η παρακάτω εξίσωση περιγράφει τη συμπεριφορά της μεταβλητής Πελάτες (Actual Customers).

$$\text{Actual Customers} = \int_0^t \text{sales}(\tau) d\tau.$$

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός σε πακέτα όπως το Vensim Ple ο χρήστης δεν χρειάζεται να εισάγει καμία τέτοια εξίσωση καθώς το πρόγραμμα τις αντιλαμβάνεται από μόνο του. Και σε αυτή τη περίπτωση εντοπίζουμε τις μεταβλητές αυτής της κατηγορίας (στο παράδειγμα μας είχαμε τις Πωλήσεις –Sales-) μόνο που σε αυτή τη περίπτωση τις εξισώσεις που χαρακτηρίζουν τη μεταβλητή θα πρέπει να της εισάγουμε εμείς. Η εξίσωση 3.3 ή 3.4 χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη πορεία που θα έχουν οι Πωλήσεις σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις (ειδικά στη περίπτωση της 3.4 θεωρούμε των 2.5% από το σύνολο των «εν δυνάμει πελατών» αγοράζει το προϊόν)

$$\text{sales}(t) = \begin{cases} 25,000, & \text{Potential Customers}(t) > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\text{sales}(t) = 0.025 \times \text{Potential Customers}(t). \quad (3.4)$$

2.8.2 Επίλυση των εξισώσεων

Η επίλυση των εξισώσεων του μοντέλου γίνεται αποκλειστικά με τη χρήση του Vensim Ple. Σχεδιάζουμε το Stock and flow diagram και στη συνέχεια εισάγουμε τις αρχικές τιμές και τις εξισώσεις για όλες τις μεταβλητές του μοντέλου. Η επίλυση του μοντέλου γίνεται εύκολα και γρήγορα (στη εργασία παρουσιάζονται σε ειδικά tutorials όλα τα βήματα αναλυτικά) και τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι έτοιμα προς αξιοποίηση. Στην εικόνα 3.1 α παρουσιάζεται ο κώδικας που πρέπει να περαστεί στο Vensim Ple στη

περίπτωση που για τη μοντελοποίηση χρησιμοποιήσουμε τις εξισώσεις 3.1, 3.2, 3.3 ενώ στο σχήμα 2-10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

```
(1) Actual Customers = INTEG( sales , 0)
(2) FINAL TIME = 100
(3) INITIAL TIME = 0
(4) Potential Customers = INTEG( - sales , 1e+006)
(5) sales = IF THEN ELSE ( Potential Customers > 0, 25000, 0)
(6) SAVEPER = TIME STEP
(7) TIME STEP = 1
```

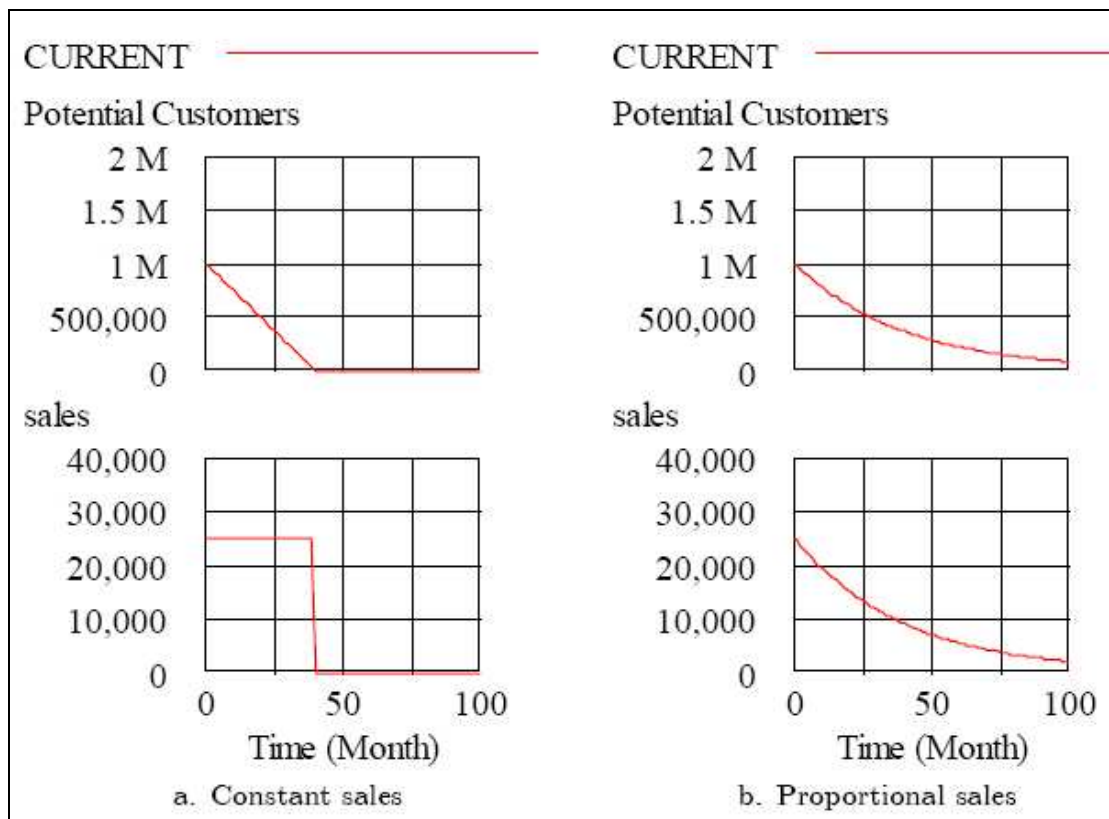
a. Equations with constant sales

```
(1) Actual Customers = INTEG( sales , 0)
(2) FINAL TIME = 100
(3) INITIAL TIME = 0
(4) Potential Customers = INTEG( - sales , 1e+006)
(5) sales = 0.025 * Potential Customers
(6) SAVEPER = TIME STEP
(7) TIME STEP = 1
```

Σχήμα 2-9: Εξισώσεις Vensim Ple για το παράδειγμα των πωλήσεων.

2.8.3 Επίλυση μοντέλου

Προσομοιώνοντας το μοντέλο που μόλις πριν από λίγο δημιουργήσαμε παράγονται τα αποτελέσματα συνήθως σε μορφή γραφημάτων (σχήμα 2-10). Σε αυτά τα διαγράμματα αποτυπώνονται οι πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν (όπως για παράδειγμα η πορεία που προβλέπεται ότι θα ακολουθήσουν οι πωλήσεις και άλλα).



Σχήμα 2-10: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το παράδειγμα των πωλήσεων.

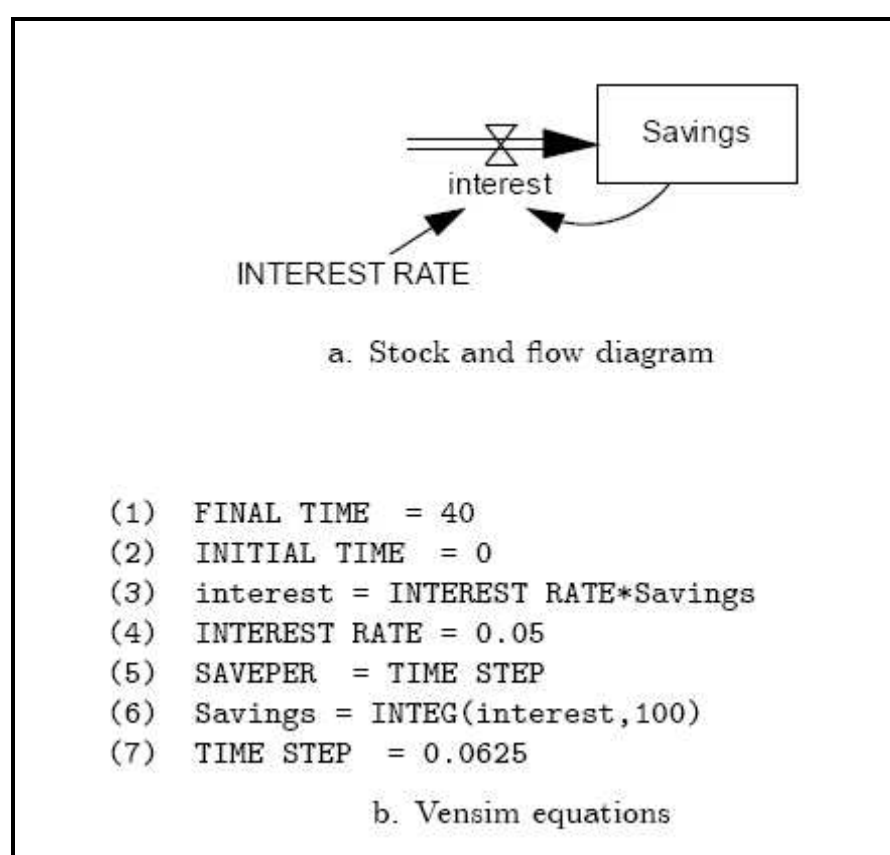
Παρατηρήσεις & Σχόλια

Μέχρις στιγμής είδαμε πως δημιουργούμε ένα μοντέλο και πως αυτό υλοποιείται στο πακέτο Vensim Ple σε όλα τα στάδια που παρουσιάστηκαν εφαρμόστηκαν κάποιοι κανόνες οι οποίοι θα ήταν καλό να ακολουθούνται από όλους όσους επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν τη μεθοδολογία που μελετούμε. Πιο συγκεκριμένα:

- Τα ονόματα το stocks μεταβλητών ξεκινούν πάντα με κεφαλαίο γράμμα.
- Τα ονόματα το flows μεταβλητών γράφονται εξολοκλήρου με μικρά γράμματα.
- Ορισμένες φορές όταν στο stock flow diagram θα ήταν χρήσιμο να προσθέσουμε κάποιες νέες μεταβλητές που θα προσδιορίσουν ακόμα καλύτερα τη διαδικασία με την οποία φτιάχτηκε το μοντέλο. Αυτές οι μεταβλητές ονομάζονται *βοηθητικές (auxiliary variables) μεταβλητές* τα ονόματά τους γράφονται εξολοκλήρου με κεφαλαία γράμματα.[6]

2.9 Βασικές Δομές

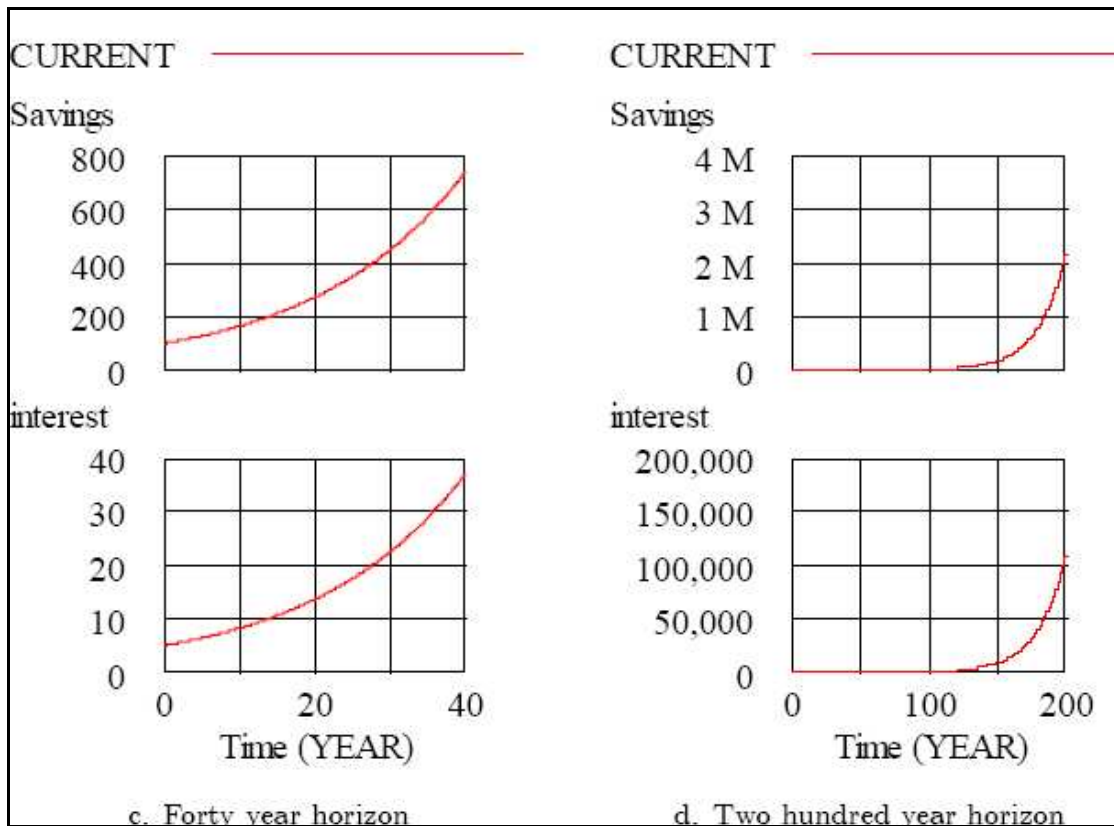
Στη ενότητα αυτή θα δημιουργήσουμε μοντέλα για κάποια απλά παραδείγματα θα τα προσομοιώσουμε και θα προσπαθήσουμε να ερμηνεύσουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Γνωρίζουμε ότι η δομή και ο τρόπος που εκτελείται μια διαδικασία παράγει συγκεκριμένα patterns of behavior. Στα causal loop diagrams συνήθως διαπιστώνουμε ότι βασικό ρόλο για τα patterns of behavior προκύπτουν ευθύνονται feed backs (καταστάσεις δηλαδή που αλλαγή στη τιμή μιας μεταβλητής επηρεάζει έμμεσα τη μελλοντική τιμή της ίδιας μεταβλητής).



Σχήμα 2-11: Παράδειγμα επιτοκίου Stock Flow diagram & Εξισώσεις για το Vensim.

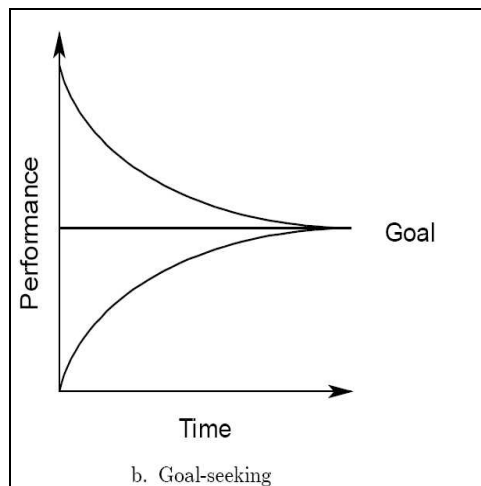
Στην εικόνα εμφανίζεται το Causal Loop diagram που προσπαθεί να περιγράψει τη διαδικασία ανατοκισμού των χρημάτων που έχουμε στη τράπεζα. Ο τρόπος κατασκευής του causal loop diagram είναι πλέον γνωστός, θα γίνουν απλώς κάποιες επισημάνσεις. Έχουμε μια μόνο Stock μεταβλητή –Savings- μια Flow μεταβλητή –Interest- και μια σταθερά (auxiliary variable) –INTEREST RATE-. Αύξηση στο τόκο (interest) προκαλεί αύξηση των χρημάτων που έχουμε στη τράπεζα (Savings) γεγονός που προκαλεί την

περαιτέρω αύξηση του τόκου (interest). Αυτό ισχύει γιατί όσο μεγαλύτερο είναι το κεφάλαιο που έχουμε στη τράπεζα τόσο μεγαλύτερος είναι ο τόκος που αυτή μας δίνει. Η δημιουργία και η προσομοίωση του μοντέλου είναι απλή διαδικασία πλέον οπότε ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Στην εικόνα 10 παρουσιάζεται ο κώδικας που απαιτείται να γραφεί στο πρόγραμμα Vensim Ple. [Για τη μελέτη του παραδείγματος θεωρήσαμε ότι ο τόκος είναι 5%]. Στο σχήμα 2-11 c και 2-11 d εμφανίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, πιο συγκεκριμένα βλέπουμε γραφικά τη πορεία που θα έχουν οι αποταμιεύσεις μας (savings) και ο τόκος(interest) σε βάθος 40 και 200 χρόνων αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις συμβαίνει ακριβώς το ίδιο, τόκος και αποταμιεύσεις αυξάνονται εκθετικά στο πέρασμα του χρόνου. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να γίνει μια επισήμανση που ενδεχομένως να μην γίνεται αντιληπτή με μια πρώτη ματιά και αποκαλύπτει άλλο εν χαρακτηριστικό της εκθετικής αύξησης. Στο σχήμα 2-12 φαίνεται ένα ακόμα χαρακτηριστικό της εκθετικής ανάπτυξης. Σε αυτό το διάγραμμα επιλέξαμε σαν χρονική χρονικό ορίζοντα για τη μελέτη του επιτοκίου τα 200 χρόνια. Αυτό που διαπιστώνουμε είναι ότι μετά από ένα χρονικό διάστημα η εκθετική ανάπτυξη παρουσιάζει ένα φαινόμενο κατά το οποίο συμβαίνει το εξής: αρχικά η αύξηση είναι πάρα πολύ μικρή σχεδόν σταθερή θα μπορούσαμε να πούμε, στη συνέχεια όμως η πορεία του επιτοκίου παρουσιάζει εκθετική αύξηση. Αυτό συμβαίνει γιατί στην εκθετική αύξηση η περίοδος που απαιτείται για να διπλασιαστεί η τιμή της μεταβλητής που υπόκειται την αύξηση εν προκειμένω το επιτόκιο είναι σταθερή και ανεξάρτητη από το τωρινό επίπεδο της τιμής της μεταβλητής. Επομένως, απαιτείται το ίδιο χρονικό διάστημα για να πάει η τιμή μιας μεταβλητής από το ένα στο δύο και από το 1.000 στις 2.000.



Σχήμα 2-12: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το παράδειγμα του επιτοκίου.

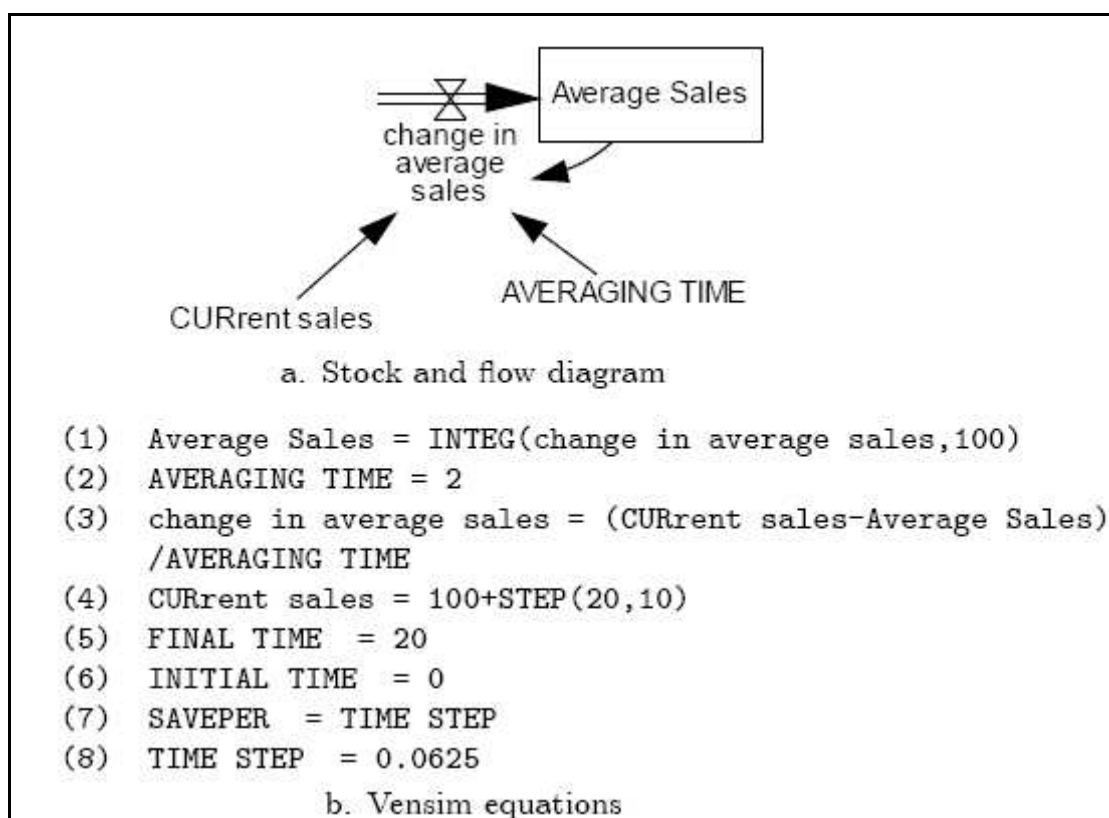
2.9.1 Goal Seeking



Σχήμα 2-13 Χαρακτηριστική γραφική παράσταση Goal Seeking συμπεριφοράς

Στην παραπάνω εικόνα εμφανίζεται η γραφική απεικόνιση μιας μεταβλητής που παρουσιάζει Goal Seeking συμπεριφορά κατά την οποία η τιμή μιας μεταβλητής μεταβάλλεται προκειμένου να προσεγγίσει μια συγκεκριμένη τιμή. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα που θα μας βοηθήσει να καταλάβουμε πώς προκύπτει μια τέτοια συμπεριφορά.

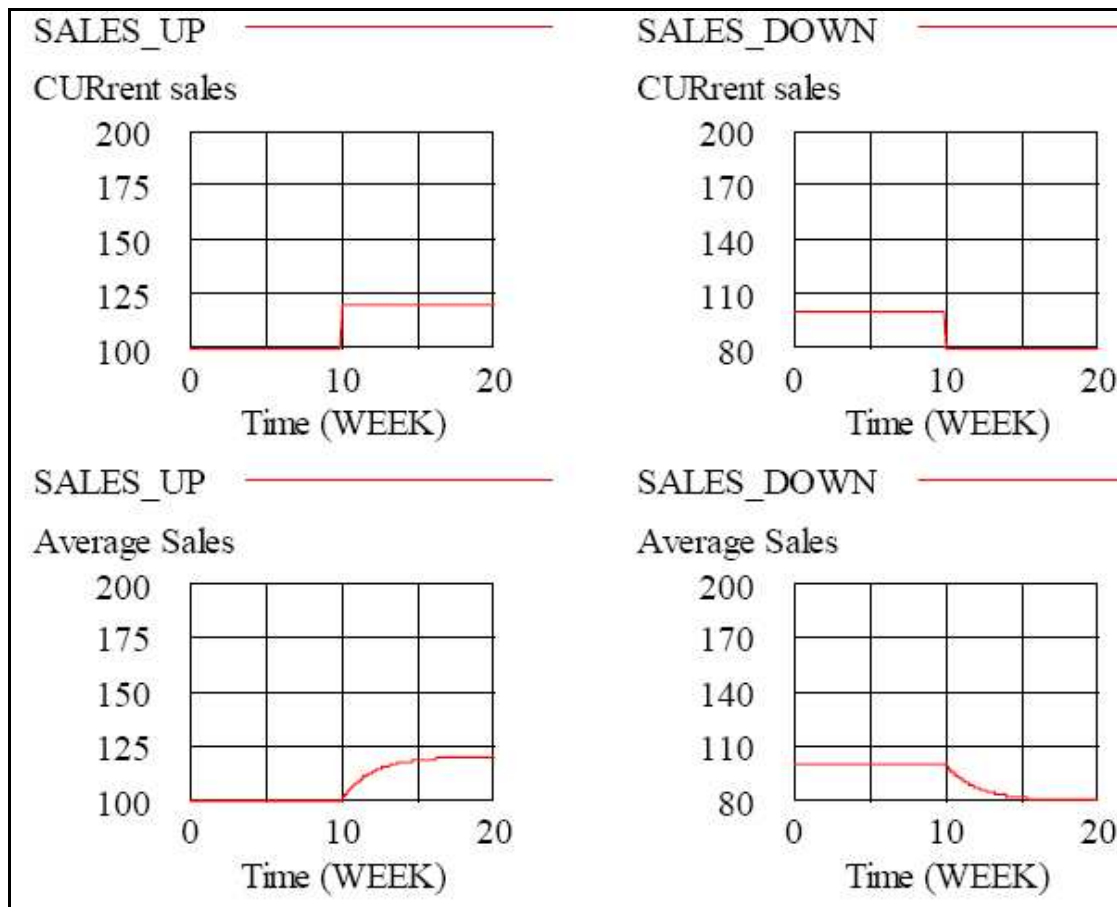
Στην εικόνα παρουσιάζεται το flow stock diagram του παραδείγματος που θέλουμε να μελετήσουμε. Όπως βλέπουμε, υπάρχει μια stock μεταβλητή (Average Sales) μια flow μεταβλητή (change in average sales), μια auxiliary (AVERAGING TIME) και τέλος μια μεταβλητή που δεν είναι σταθερά αλλά μια συνάρτηση του χρόνου (CURrent sales). Όσο η τιμή της μεταβλητής CURrent sales αλλάζει, η τιμή της Average Sales μεταβάλλεται ομαλά προκειμένου να γίνει ίδια με αυτή της CURrent sales.



Σχήμα 2-14: Παράδειγμα υπολογισμού μέσου αριθμού πωήσεων.

Όπως γνωρίζουμε μεταβλητές όπως η CURrent sales ουσιαστικά λειτουργούν σαν συναρτήσεις του χρόνου όπως για παράδειγμα το ημίτονο ή η βηματική συνάρτηση. Στο ποκαλύπτεται τι συμβαίνει όταν η τιμή της CURrent sales μεταβάλλεται απότομα προς τα πάνω (step up) και απότομα προς τα κάτω (step down) δηλαδή παρουσιάζει συμπεριφορά ίδια με αυτή της βηματικής συνάρτησης. Αρχικά, η τιμή της CURrent sales είναι σταθερή (μέχρι τις πρώτες δέκα εβδομάδες) και στη συνέχεια η τιμή της αυξάνεται κατά είκοσι μονάδες. Η μεταβλητή Average Sales επηρεάζεται από αυτή την μεταβολή γεγονός που αποτυπώνεται στην αλλαγή που παρουσιάζει η τιμή της, με αποτέλεσμα η τιμή της μετά

από κάποιο χρονικό διάστημα να είναι ίδια με αυτής της CURrent sales. Η εξίσωση 3 στο κώδικα προσδιορίζει τη συμπεριφορά της Average Sales.

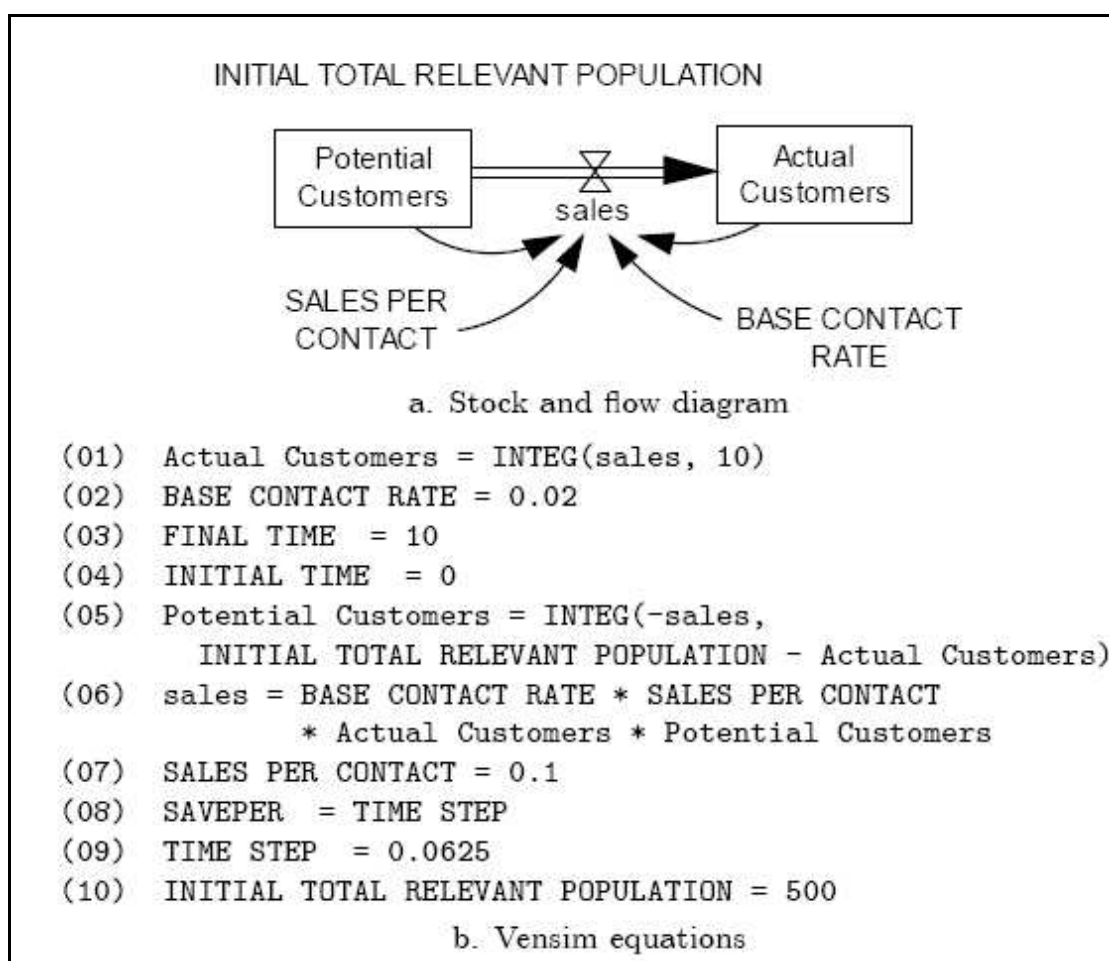


Σχήμα 2-15: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το μέσο αριθμό πωλήσεων.

2.9.2 S-shaped Growth

Η εικόνα παρουσιάζει μια διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε μια επιχείρηση και μπορεί να οδηγήσει σε «s-shaped growth». Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχουμε μια επιχείρηση που εμπορεύεται κάποιον προϊόν και τα σχόλια το πελατών κάνουν γνωστό το προϊόν, δηλαδή από στόμα σε στόμα μεταφέρεται η φήμη του προϊόντος. Αρχικά, έχουμε μια κατηγορία ατόμων που δεν έχουν αγοράσει το προϊόν που τους ονομάζουμε «Εν δυνάμει πελάτες», αυτά τα άτομα αγοράζοντας το προϊόν μετατρέπονται σε «Πελάτες». Ο τρόπος με τον οποίο οι «εν δυνάμει πελάτες» μετατρέπονται σε «Πελάτες» είναι ο εξής: τα άτομα που ανήκουν στις δύο αυτές κατηγορίες συνυπάρχουν μέσα σε μια κοινωνία και κατά καιρούς γνωρίζονται και έρχονται σε επαφή (εννοείται κοινωνική επαφή). Όταν έρχονται σε επαφή υπάρχει πιθανότητα τα θετικά σχόλια ενός ατόμου που ανήκει στη κατηγορία

«Πελάτες» να επηρεάσει ένα άτομο που δεν γνωρίζει το προϊόν και τελικά να το πείσει να το αγοράσει.



Σχήμα 2-16: Παράδειγμα πωλήσεων – μετάδοση φήμης ενός προϊόντος.

Στο μοντέλο της εικόνας υποθέτουμε ότι για κάθε *επαφή* που δημιουργείται ανάμεσα σε ένα άτομο της κατηγορίας «Πελάτες» και σε ένα άτομο υπάρχει ένας αριθμός πωλήσεων που ουσιαστικά αποτελεί τη τιμή που παίρνει η μεταβλητή «SALES PER CONTACT», η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει τη πιθανότητα που υπάρχει ένα άτομο της ομάδας «Actual customers» να πείσει ένα άτομο της ομάδας «Potential Customers» να αγοράσει το προϊόν. Έτσι λοιπόν προκύπτει ότι σε κάθε χρονική στιγμή το πλήθος των πωλήσεων ισούται με το γινόμενο της τιμής της μεταβλητής «SALES PER CONTACT» και του αριθμού των *επαφών* που αναπτύσσονται μεταξύ ατόμων των δύο κατηγοριών στη μονάδα του χρόνου και είναι ανάλογο του μεγέθους των δύο κατηγοριών. Στο stock flow diagram διακρίνουμε την ύπαρξη μιας ακόμα μεταβλητής με την ονομασία «BASE CONTACT

RATE» που αναπαριστά τον αριθμό των επαφών στη μονάδα του χρόνου ανάμεσα σε ένα οποιοδήποτε άτομο της κατηγορίας των «Actual customers» και σε ένα οποιοδήποτε άτομο της κατηγορίας «Potential customers». Τέλος, η μεταβλητή «INITIAL TOTAL RELEVANT POPULATION» χρησιμοποιείται για να εκφράσει τον αρχικό συνολικό πληθυσμό στον οποίον ανήκουν άτομα και των δύο κατηγοριών. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης υποδηλώνουν ότι έχουμε S-shaped growth για τον πληθυσμό των «Actual Customers». [7][8]

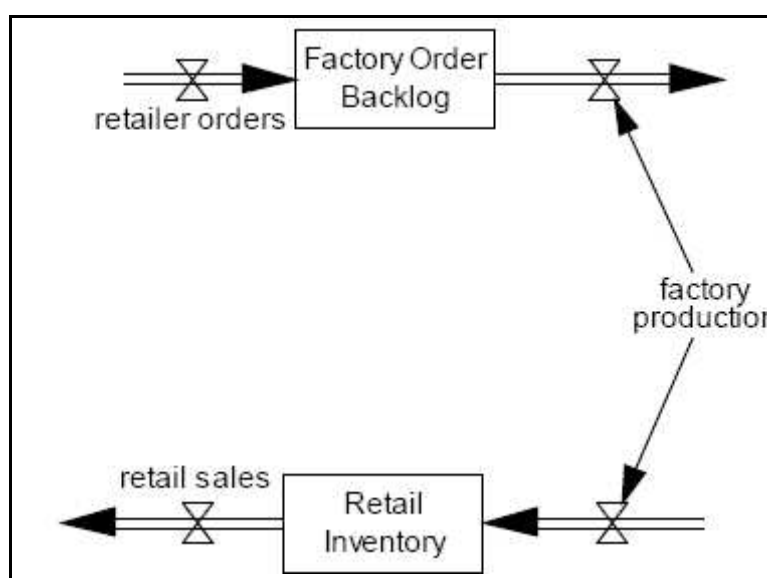
2.10 Ανάπτυξη μοντέλου

2.10.1 Πρώτο Μοντέλο

Αυτό το κεφάλαιο έχει σαν στόχο να παρουσιάσει τον τρόπο με τον οποίο κατασκευάζεται ένα μοντέλο προσομοίωσης μιας διαδικασίας που λαμβάνει χώρα σε μια επιχείρηση. Πιο συγκεκριμένα θα αναλυθεί και μελετηθεί ένα μοντέλο για ένα απλό σύστημα παραγωγής και διανομής προϊόντος . Τέτοιου είδους συστήματα είναι ευρέως διαδεδομένα και η σωστή κατανόηση τους θα μας βοηθήσει να καταλάβουμε άλλα πολυπλοκότερα συστήματα. Συχνά , δυσκολίες που προκύπτουν σε αυτά τα συστήματα αποδίδονται σε εξωτερικούς παράγοντες λανθασμένα όμως , καθώς η κακή εσωτερική οργάνωση και η λανθασμένη δομή του συστήματος διαταράσσουν την ομαλή λειτουργία της επιχείρησης.

Παρακάτω θα παρουσιαστεί ένα παράδειγμα που μελετώντας θα δούμε πως μπορούμε να το κατανοήσουμε και να κατασκευάσουμε από μόνοι μας το μοντέλο που θα το προσομοιώνει. Μέχρις στιγμής έχουμε δει το εύκολο κομμάτι της δημιουργίας του μοντέλου στο Vensim Ple και της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων τώρα ήρθε η ώρα να δούμε το πώς πρέπει να σκεφτούμε για να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργία μιας διαδικασίας αλλά και το πώς τη μοντελοποιούμε.

και να ανταποκρίνεται περισσότερο στη πραγματικότητα. Για την ακρίβεια έχουν προστεθεί στο αριστερό μέρος του διαγράμματος μια βοηθητική μεταβλητή «average retail sales» καθώς και μια βοηθητική σταθερά με το όνομα «TIME TO AVERAGE SALES». Παράλληλα, διαπιστώνουμε την ύπαρξη μιας ακόμα βοηθητικής μεταβλητής με την ονομασία «TESt input» (η οποία μεταβάλλεται στο πέρασμα του χρόνου καθώς αυτό υποδηλώνεται από τον τρόπο που αναγράφεται η ονομασία της , τα τρία πρώτα γράμματα είναι κεφαλαία ενώ τα υπόλοιπα είναι μικρά). Στο κέντρο του διαγράμματος έχουν προστεθεί οι βοηθητικές μεταβλητές «TIME TO ADJUST PRODUCTION», «TARGET PRODUCTION DELAY», «desired production».



Σχήμα 2-18: Απλοποιημένο παράδειγμα παραγωγής και διανομής προϊόντος.

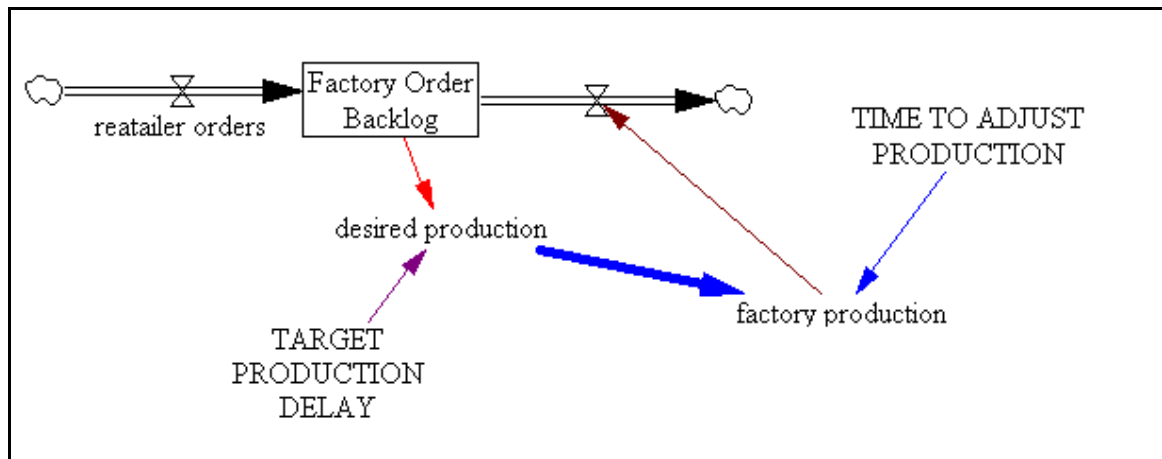
Το διάγραμμα του σχήματος 2-18 παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο γίνεται μια παραγγελία από τον έμπορο λιανικής και πως προσαρμόζεται η παραγωγή προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες των πελατών. Προκειμένου να δούμε πόσο σημαντική είναι η μοντελοποίηση μιας διαδικασίας θα μελετήσουμε διαφορετικούς τρόπους πραγματοποίησης μιας παραγγελίας , προσομοιώνοντας κάθε έναν από αυτούς θα καταλήξουμε στον αποδοτικότερο. Πρώτα από όλα όμως θα πρέπει να καταλάβουμε από ποιους παράγοντες επηρεάζεται η παραγωγή. Ουσιαστικά όπως προκύπτει και από το διάγραμμα η παραγωγή εξαρτάται από τις εξής μεταβλητές: «Factory Order Backlog», «desired production», «TARGET PRODUCTION DELAY», «TIME TO ADJUST PRODUCTION», τα βέλη προσδιορίζουν ακριβώς τον τρόπο με τον οποίο μια μεταβλητή

επηρεάζει μια άλλη. Η μεταβλητή «desired production» επηρεάζεται από τις μεταβλητές «TARGET PRODUCTION DELAY» και «Factory Order Backlog». Επιπροσθέτως, είναι λογικό να απαιτείται κάποιο χρονικό διάστημα προκειμένου να προγραμματιστεί η παραγωγική διαδικασία γεγονός που αποτυπώνεται με τη βοήθεια της βοηθητικής σταθεράς «TIME TO ADJUST PRODUCTION». Σε αυτό το διάγραμμα οι καθυστερήσεις που υπάρχουν στη ροή των πληροφοριών αποτυπώνονται με πιο έντονα βέλη. Η φιλοσοφία αυτού του συστήματος παραγωγής είναι ότι η έμπορος λιανικής που παραγγέλνει το προϊόν από το εργοστάσιο θα πρέπει να είναι σε θέση να προβλέψει το χρονικό διάστημα που απαιτείται έως ότου παραλάβει το προϊόν. Η μεταβλητή «TARGET PRODUCTION DELAY» εκφράζει ακριβώς αυτό το πράγμα ,έτσι λοιπόν αν η τιμή της μεταβλητής αυτής είναι δύο εβδομάδες αυτό σημαίνει ότι το εργοστάσιο θα προσαρμόσει τη παραγωγή του έτσι ώστε όλες οι παραγγελίες να έχουν ετοιμαστεί μέσα σε διάστημα δύο εβδομάδων (δηλαδή στο Factory Order Backlog να μην υπάρχει καμία παραγγελία).

Έτσι λοιπόν έχουμε ότι:

$$\text{Desired production} = \text{Factory Order Backlog} / \text{TARGET PRODUCTION DELAY}$$

Επισημάνση→ μονάδα μέτρησης για τη μεταβλητή «TARGET PRODUCTION DELAY» είναι οι εβδομάδες και μονάδα μέτρησης για τη μεταβλητή Factory Order Backlog είναι η ποσότητα του προϊόντος που να παρασκευαστεί . Για παράδειγμα αν TARGET PRODUCTION DELAY =2 εβδομάδες και το σύνολο των παραγγελιών που υπάρχουν στο Factory Order Backlog απαιτεί τη παρασκευή 1500 μονάδων του συγκεκριμένου προϊόντος τότε η μεταβλητή desired production εκφράζει ότι θα πρέπει να παράγονται 1500 μονάδες προϊόντος/ 2 εβδομάδες = 750 μονάδες προϊόντος ανά κάθε εβδομάδα.



Σχήμα 2-19 Αναπαράσταση παραγωγής προϊόντος

Στη πραγματικότητα γνωρίζουμε ότι είναι αδύνατο ο ρυθμός παραγωγής να μεταβάλλεται ακαριαία προκειμένου να καλύψει το συνεχόμενα μεταβαλλόμενο πλήθος παραγγελιών που φτάνουν στο εργοστάσιο (είναι αδύνατο γιατί απαιτείται κάποιο χρονικό διάστημα έως ότου προγραμματιστούν εκ νέου οι διαθέσιμοι πόροι εξοπλισμός, ανθρώπινο δυναμικό κ.α). Η μεταβλητή «TIME TO ADJUST PRODUCTION» έρχεται να καλύψει αυτό ακριβώς το κενό στο μοντέλο μας, εκφράζει δηλαδή τη μέση καθυστέρηση που υπάρχει έως ότου η παραγωγή του εργοστασίου (factory production) ταυτιστεί με την επιθυμητή παραγωγή «desired production» ικανοποιώντας έτσι τις απαιτήσεις των πελατών εντός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος (TARGET PRODUCTION DELAY).

Εάν θέλουμε να είμαστε πιο ακριβής θα πρέπει να επισημάνουμε ότι ο χρόνος που απαιτείται για τη προσαρμογή της παραγωγής στις εκάστοτε ανάγκες που υπάρχουν δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες (δεν είναι δηλαδή ακριβώς ίδια με τον χρόνο που εκφράζει η μεταβλητή «TIME TO ADJUST PRODUCTION»). Εμείς σε αυτό το μοντέλο μας θα κάνουμε τη θεώρηση ότι ο χρόνος που απαιτείται για τη προσαρμογή της παραγωγής είναι κατά μέσο όρο ίσος με τη τιμή της μεταβλητής «TIME TO ADJUST PRODUCTION»

Στη παρακάτω εικόνα εμφανίζονται όλες οι εξισώσεις που πρέπει να εισάγουμε στο πακέτο Vensim Ple ώστε να μπορέσει να τρέξει η προσομοίωση.

```

(01) average retail sales
      = SMOOTH(retail sales, TIME TO AVERAGE SALES)
(02) desired production
      = Factory Order Backlog / TARGET PRODUCTION DELAY
(03) Factory Order Backlog
      = INTEG(retailer orders - factory production, 200)
(04) factory production
      = SMOOTH(desired production, TIME TO ADJUST PRODUCTION)
(05) FINAL TIME = 50
(06) INITIAL TIME = 0
(07) Retail Inventory = INTEG(factory production - retail sales, 400)
(08) retail sales = TEST input
(09) retailer orders = average retail sales
(10) SAVEPER = TIME STEP
(11) TARGET PRODUCTION DELAY = 2
(12) TEST input = 100 + STEP(20, 10)
(13) TIME STEP = 0.25
(14) TIME TO ADJUST PRODUCTION = 4
(15) TIME TO AVERAGE SALES = 1

```

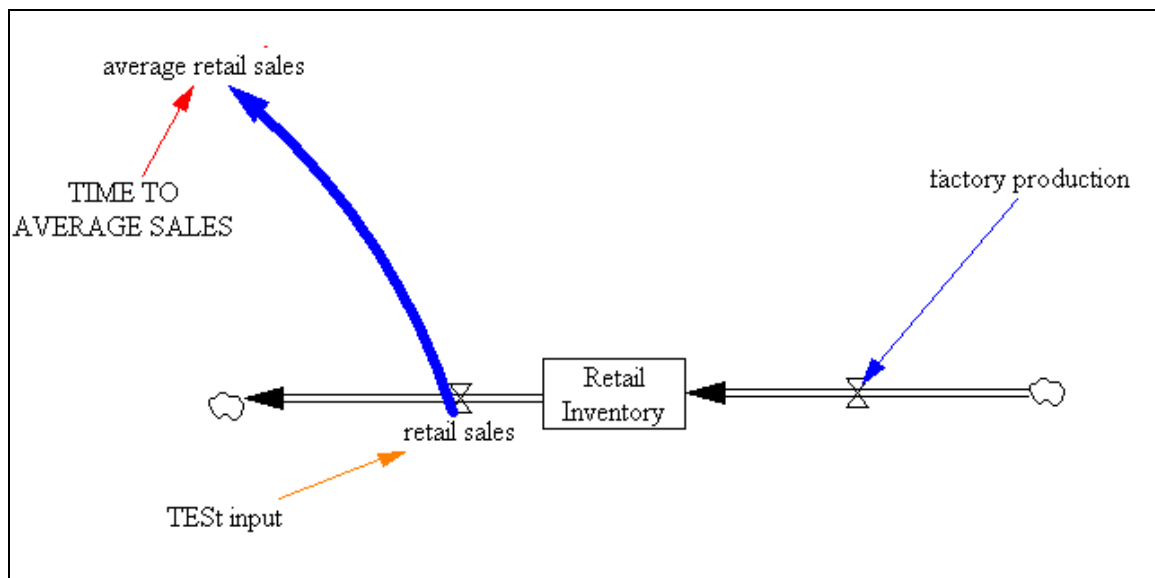
Σχήμα 2-20: Εξισώσεις στο Vensim Ple για το πρώτο μοντέλο.

Παρατηρήσεις

- Από τις εξισώσεις διαπιστώνουμε ότι ο χρόνος προσαρμογής της παραγωγής (TIME TO ADJUST PRODUCTION) καθώς οι ανάγκες μεταβάλλονται είναι 4 εβδομάδες (εντολή 14 στο κώδικα), ενώ ο χρόνος για την κάλυψη όλων των παραγγελιών TARGET PRODUCTION DELAY είναι 2 εβδομάδες (εντολή 11 στο κώδικα). Ουσιαστικά αυτές τις μεταβλητές το Vensim Ple τις θεωρεί σταθερές μιας και οι τιμές τους δεν μεταβάλλονται. Οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές και ενδεχομένως να μην ανταποκρίνονται στη πραγματικότητα.
- Η τιμή της μεταβλητής desired production έχει συζητηθεί παραπάνω.
- Στην εντολή 4 βλέπουμε ένα είδος συνάρτησης (SMOOTH) που μέχρι τώρα δεν το έχουμε ξαναδεί. Η συνάρτηση SMOOTH δέχεται δύο ορίσματα [SMOOTH(input,delay time) exponential SMOOTH, εκφράζει δηλαδή την εκθετική καθυστέρηση] , και υποδηλώνει ότι η παραγωγή καθυστερείτε από την επιθυμητή παραγωγή για χρονικό διάστημα που κατά μέσο όρο αγγίζει τις 4 εβδομάδες - TIME TO ADJUST PRODUCTION.

- Μιας και έχουμε μεταβλητές που εκφράζουν πολλά διαφορετικά πράγματα θα πρέπει να δείξουμε μεγάλη προσοχή στις μονάδες μέτρησης για παράδειγμα όλες οι μεταβλητές που εκφράζουν χρόνο θα πρέπει να έχουν ως μονάδα μέτρησης την εβδομάδα.

Η μελέτη του συστήματος παραγωγής για το πρώτο μοντέλο ολοκληρώθηκε θεωρούμε ότι η παραγωγική διαδικασία έχει τα χαρακτηριστικά που περιγράψαμε παραπάνω και επομένως δεν θα χρειαστεί να προτείνουμε πιθανούς τρόπους για τη βελτίωση της. Τώρα η προσοχή μας στρέφεται στις πωλήσεις του προϊόντος και στο τρόπο με τον οποίο γίνονται οι παραγγελίες από τους εμπόρους λιανικής προς το εργοστάσιο. Στη παρακάτω εικόνα εμφανίζονται όλες οι μεταβλητές που εντοπίζονται σε αυτό το υποσύστημα.



Σχήμα 2-21 Αναπαράσταση τρόπου εκτέλεσης παραγγελίας

Ο έμπορος λιανικής έχει ως στόχο ανά πάσα χρονική στιγμή να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες των πελατών του για αυτό το λόγο το μαγαζί του θα πρέπει να έχει πάντα αποθέματα για το συγκεκριμένο προϊόν και προφανώς υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι για να το πετύχει αυτό. Θα μπορούσε για παράδειγμα μόλις πουλάει κάποιο προϊόν να ζητάει από το εργοστάσιο να του αντικαθιστά όμως κάτι τέτοιο είναι αδύνατο. Συνήθως αυτό που γίνεται είναι ο έμπορος λιανικής να πραγματοποιεί παραγγελίες σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές υπολογίζοντας κατά προσέγγιση ποιες θα είναι οι ανάγκες του στο μέλλον, από την εμπειρία του γνωρίζει κατά μέσο όρο που θα κινηθεί το

προϊόν. Πιο συγκεκριμένα στο μοντέλο μας θεωρούμε το εξής: μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που εκφράζεται μέσω της τιμής της σταθεράς TIME TO AVERAGE SALES (στο παράδειγμα μας το χρονικό αυτό διάστημα είναι 1 εβδομάδα) πραγματοποιείται ένας μέσος αριθμός πωλήσεων, βεβαίως είναι πιθανό κάποιες φορές ο αριθμός των πωλήσεων να παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις σε σχέση με το μέσο όρο. Στην εξίσωση 1 του κώδικα διαπιστώνουμε ότι η τιμή της μεταβλητής average retail sales εκφράζεται μέσω της συνάρτησης SMOOTH(retail sales, TIME TO AVERAGE SALES), αυτό σημαίνει ότι η μεταβλητή προκύπτει λαμβάνοντας τον αριθμό των πωλήσεων κατά το χρονικό διάστημα TIME TO AVERAGE SALES. Είχαμε αναφέρει και στην αρχή ότι οι έμποροι υπολογίζουν κατά προσέγγιση πως θα κινηθούν οι πωλήσεις έτσι λοιπόν και στο μοντέλο μας λαμβάνουμε υπόψη μας και αυτή τη παράμετρο. Αυτό που λέμε είναι ότι μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα οι πραγματικές πωλήσεις θα ταυτιστούν με το μέσο όρο των πωλήσεων κατά το ίδιο χρονικό διάστημα.

Test Input

Η μεταβλητή “retail sales” δεν έχει εξεταστεί ακόμα καθώς παρουσιάζει κάποιες ιδιαιτερότητες. Η τιμή της μεταβλητής “retail sales” όπως φαίνεται και στην εξίσωση 8 ισούται με τη τιμή της μεταβλητής TEST input. Στη πραγματικότητα ο αριθμός των πωλήσεων –“retail sales” – βρίσκεται κοντά σε μια μέση τιμή παρουσιάζοντας ορισμένες φορές κάποιες μικρές διακυμάνσεις. Υπάρχει όμως και η πιθανότητα να παρατηρηθεί μια παροδικά μεγαλύτερη απόκλιση από το μέσο όρο, για παράδειγμα οι πωλήσεις για κάποιο χρονικό διάστημα να αυξηθούν για κάποιο απροσδιόριστο λόγο. Για να μπορεί το μοντέλο μας σαν είναι αξιόπιστο θα πρέπει προφανώς να μπορέσουμε να μοντελοποιήσουμε με ακρίβεια τη πορεία που μπορεί να έχουν οι πωλήσεις (είτε αυτή βρίσκεται κοντά σε μια μέση τιμή, είτε αποκλίνει σημαντικά από αυτή).

Η συνάρτηση test input μας παρέχει τη δυνατότητα να δηλώσουμε εναλλακτικούς όρους αλλάζοντας τις εξισώσεις των μεταβλητών του μοντέλου [name :TEST INPUT: variable = expr]. Η τιμή της μεταβλητής θα υπολογίζεται με τη βοήθεια της βηματικής συνάρτησης STEP [STEP(height,step time) STEP test input]. Αρχικά , η μεταβλητή θα έχει μια τιμή που θα παραμένει σταθερή για κάποιο χρονικό διάστημα και εν συνεχεία ακαριαία η τιμή της μεταβλητής θα μεταβάλλεται και θα παραμένει σταθερή για κάποιο άλλο χρονικό διάστημα κ.ο.κ. Η εξίσωση 12 περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει

αυτό που περιγράψαμε προηγουμένως. Αρχικά η μεταβλητή έχει τη τιμή 100 μονάδες ανά εβδομάδα μέχρι τη δέκατη εβδομάδα και για το υπόλοιπο του χρόνου η τιμή της αυξάνεται κατά 20 μονάδες. Στο πραγματικό κόσμο είναι σχεδόν απίθανος οι πωλήσεις να παρουσιάζουν τέτοια συμπεριφορά, αλλά δεν μας ενδιαφέρει και πάρα πολύ να αποτυπώσουμε με ακρίβεια τη πορεία που θα έχουν οι πωλήσεις, άλλος είναι ο πρωταρχικός μας στόχος.

$$\text{STEP}(\text{height}, \text{step time}) = \begin{cases} 0, & \text{Time} < \text{step time} \\ \text{height}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ο λόγος για τον οποίο προσπαθούμε να μοντελοποιήσουμε αυτή τη διαδικασία είναι να βρούμε τρόπους για τη βελτιστοποίηση της. Μελετούμε διαφορετικούς τρόπους ικανοποίησης των παραγγελιών, εξετάζουμε το πώς επηρεάζουν ολόκληρο το σύστημα παραγωγής και διανομής του προϊόντος για να καταλήξουμε στο καλύτερο. Άρα λοιπόν προσομοιώνουμε τη πορεία των πωλήσεων με έναν απλό τρόπο που δεν απέχει και πάρα πολύ από τη πραγματικότητα.

Οι εξισώσεις 3 και 7 (αναφέρονται στις μεταβλητές Factory Order backlog και Retail Inventory) του κώδικα προκύπτουν εύκολα από τη δομή του stock and flow diagram (γνωρίζουμε από τις προηγούμενες ενότητες ότι συνήθως σε αυτές τις περιπτώσεις το ολοκλήρωμα τις διαφορές των ροών που εισέρχονται και εξέρχονται από τη μεταβλητή προσδιορίζουν τη τιμή της). Όσον αφορά τις αρχικές τιμές τις επιλέξαμε ώστε να κάνουμε το μοντέλο μας όσο γίνεται πιο ρεαλιστικό.

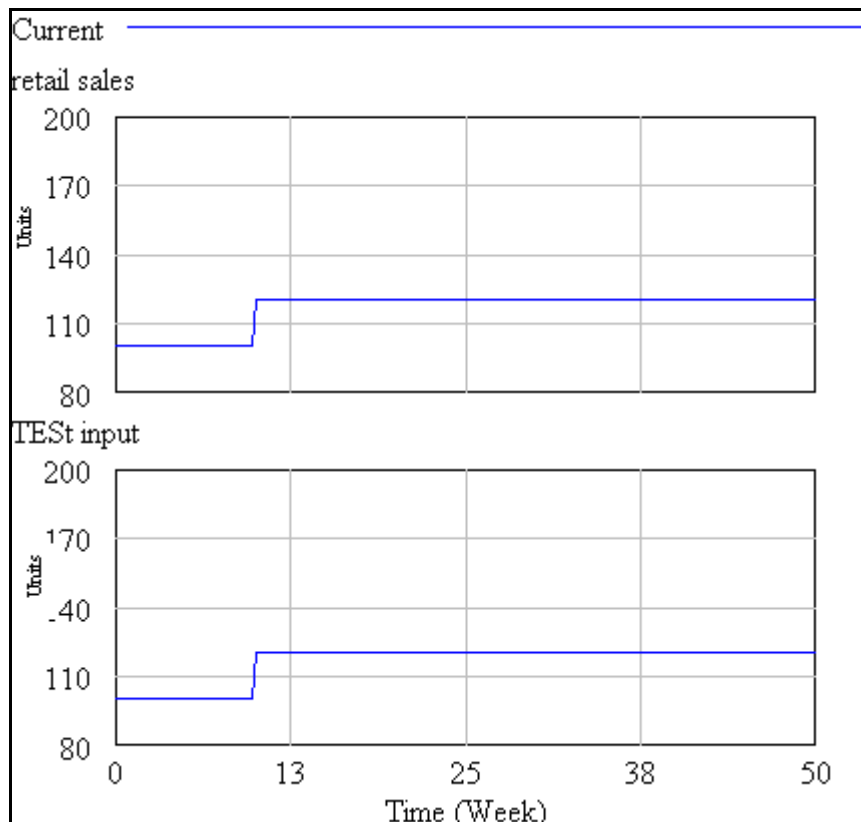
Η αρχική τιμή για τη μεταβλητή Factory Order backlog είναι 200 μονάδες και η τιμή της TARGET PRODUCTION DELAY είναι 2 εβδομάδες, έτσι λοιπόν από την εξίσωση 11 προκύπτει ότι “desired production”=200 μονάδες / 2 εβδομάδες=100 μονάδες / εβδομάδα. Αν δεν προστεθεί κάποια άλλη παραγγελία στο Factory Order backlog η παραγωγή του εργοστασίου – factory production- θα είναι ίδια ακριβώς με την desired production.

Όταν μια διαδικασία βρίσκεται σε μια κατάσταση όπως αυτή που περιγράψαμε παραπάνω κατά την οποία η τιμή πολλών μεταβλητών παραμένει σταθερή χωρίς να μεταβάλλεται στο πέρασμα του χρόνου τότε λέμε ότι η διαδικασία βρίσκεται σε σταθερή

κατάσταση – steady state-. Οι εξισώσεις 5, 6, 10 και 13 ουσιαστικά ρυθμίζουν τις βασικές παραμέτρους του μοντέλου μας. Για παράδειγμα οι εξισώσεις 5 και 6 μας λένε ότι η προσομοίωση μας θα καλύψει χρονικό διάστημα 50 εβδομάδων (περίπου ένας χρόνος).

Ερμηνεία αποτελεσμάτων προσομοίωσης

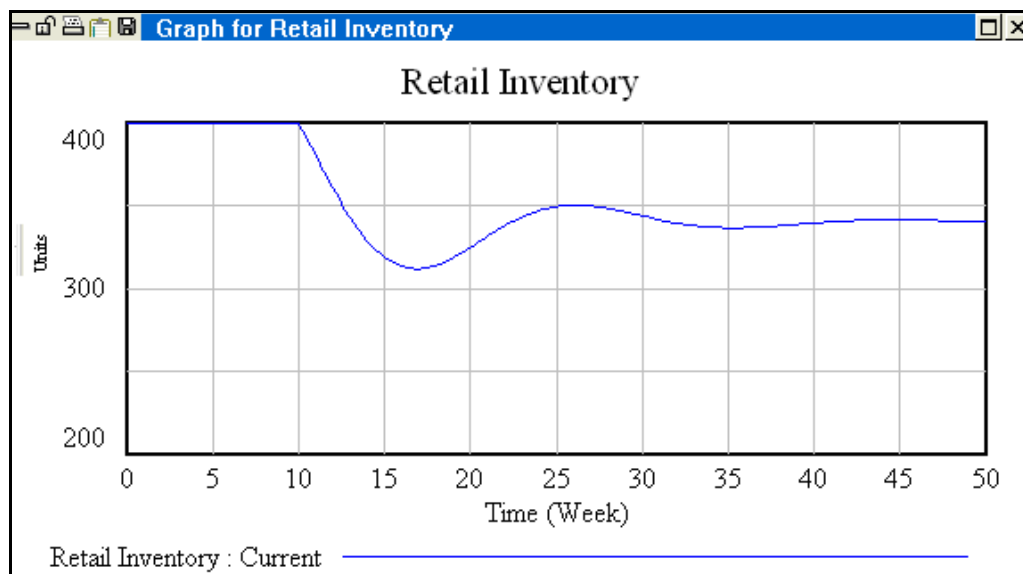
Το επόμενο βήμα μετά την κατανόηση και τη μοντελοποίηση της διαδικασίας είναι η μελέτη και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Στις παρακάτω εικόνες έχουμε τη δυνατότητα να δούμε σε μορφή γραφικών παραστάσεων τη πορεία των τιμών των μεταβλητών του μοντέλου που δημιουργήσαμε. Πιο συγκεκριμένα στις εικόνα: 5.2.γ1 η τιμή της μεταβλητής “retail sales “ είναι σταθερή στις 100 μονάδες / εβδομάδα μέχρι τη δέκατη εβδομάδα ενώ στη συνέχεια μέχρι το τέλος της προσομοίωσης η τιμή της αυξάνεται απότομα (ακαριαία θα μπορούσαμε να πούμε) στις 120 μονάδες ανά εβδομάδα (όπως ακριβώς είχε δηλωθεί και στο κώδικα). Επιπροσθέτως, διαπιστώνουμε ότι η πορεία της μεταβλητής TEST input είναι ταυτόσημη με αυτή της retail sales.



Σχήμα 2-22: Αποτελέσματα προσομοίωσης πρώτου μοντέλου.

Όσον αφορά τη μεταβλητή retailer orders η τιμή της παραμένει σταθερή στις 100 μονάδες / εβδομάδα αλλά στη συνέχεια αυξάνεται σταδιακά (από τη δέκατη μέχρι τη δέκατη τέταρτη εβδομάδα) στη τιμή 120 μονάδες / ανά εβδομάδα σε διάστημα τεσσάρων εβδομάδων. Αυτό συμβαίνει διότι στην αρχή της προσομοίωσης έχει οριστεί άλλος αριθμός πωλήσεων σαν μέσος όρος για τις παραγγελίες των εμπόρων. Από τη στιγμή που η χρονική περίοδος ώστε να ομαλοποιηθεί η τιμή της συγκεκριμένης μεταβλητής είναι μόλις μια εβδομάδα (TIME TO AVERAGE SALES) η επιθυμητή αύξηση επιτυγχάνεται γρήγορα, αλλά όχι σε διάστημα μιας εβδομάδας όπως θα ήταν το αναμενόμενο και αυτό.

Τέλος, μελετούμε τη συμπεριφορά της μεταβλητής Retail Inventory. Αρχικά μέχρι τη δέκατη εβδομάδα η τιμή της παραμένει σταθερή στις 400 μονάδες και στη συνέχεια αρχίζει να μειώνεται τη δέκατη έβδομη εβδομάδα φτάνει στην ελάχιστη τιμή της (310 μονάδες). Ακολουθεί μια μικρή αύξηση και την 25η εβδομάδα παίρνει τη τιμή 350 μονάδες προτού πέσει σταδιακά πάλι στις 340 μονάδες.



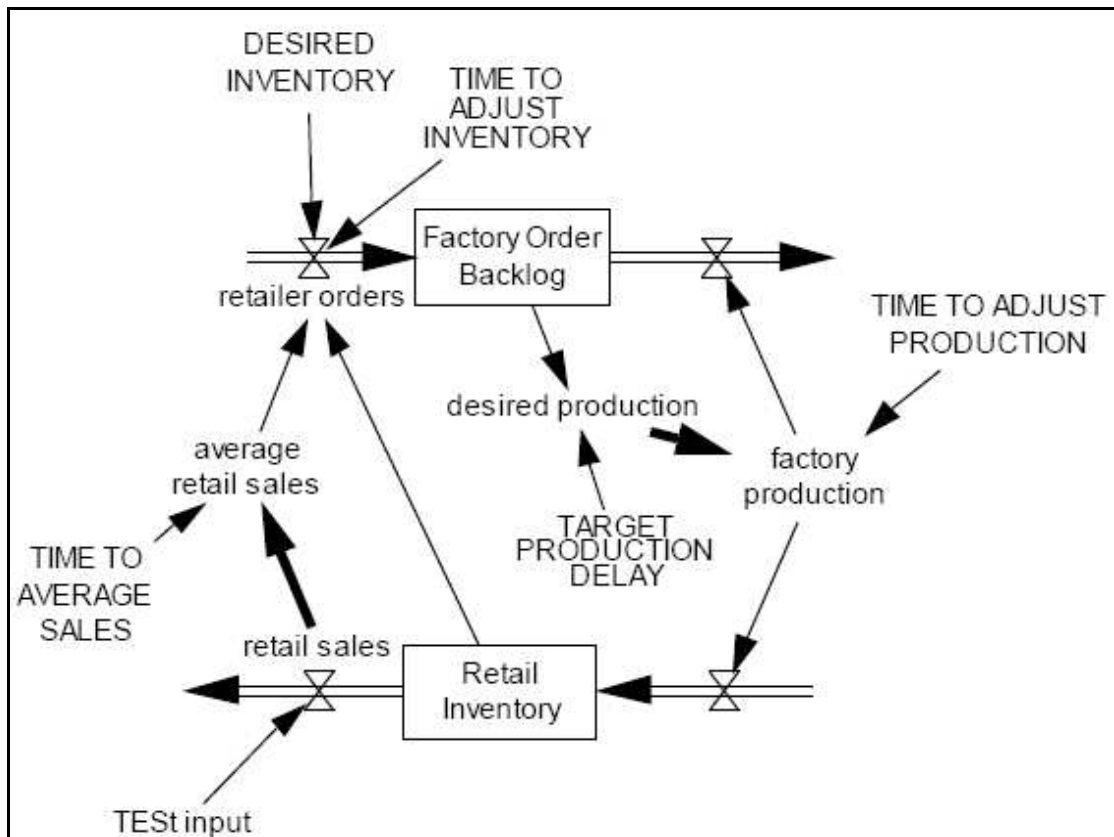
Σχήμα 2-23: Αποτελέσματα προσομοίωσης πρώτου μοντέλου.

Η πορεία της μεταβλητής αυτής μας θυμίζει λίγο ένα πρότυπο συμπεριφοράς που είχαμε μελετήσει στη δεύτερη ενότητα αυτού του κεφαλαίου, για την ακρίβεια μας θυμίζει τη γραφική παράσταση της oscillation (η απόδοση στα ελληνικά είναι ταλάντωση). Από τη στιγμή κιόλας που η διακύμανση στη τιμή της συγκεκριμένης μεταβλητής δεν είναι πολύ

έντονη δημιουργεί πολλά ερωτήματα στο διευθυντή παραγωγής. Για παράδειγμα όταν οι απαιτήσεις για τη παραγωγή βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα μήπως θα πρέπει να αποδεσμεύσει κάποια άτομα από το προσωπικό της εταιρία; Επίσης, τίθεται το ερώτημα αν το διαθέσιμο απόθεμα που έχουν οι πωλητές –Retail Inventory- αρκεί για να καλύψει τις ανάγκες τους. Στη πραγματικότητα η μείωση στα αποθέματα οφείλεται στην αύξηση των πωλήσεων και δεδομένου ότι ο μέσος αριθμός πωλήσεων –average retail sales- είναι μικρότερος από τον αριθμό των πωλήσεων την κάθε χρονική στιγμή υπάρχει η πιθανότητα οι πωλητές να μην προλαβαίνουν να αναπληρώσουν τις ποσότητες που πωλούν σε επιθυμητό χρονικό διάστημα. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα θα ήταν οι παραγγελίες να γίνονται σε πιο σύντομα χρονικά διαστήματα.

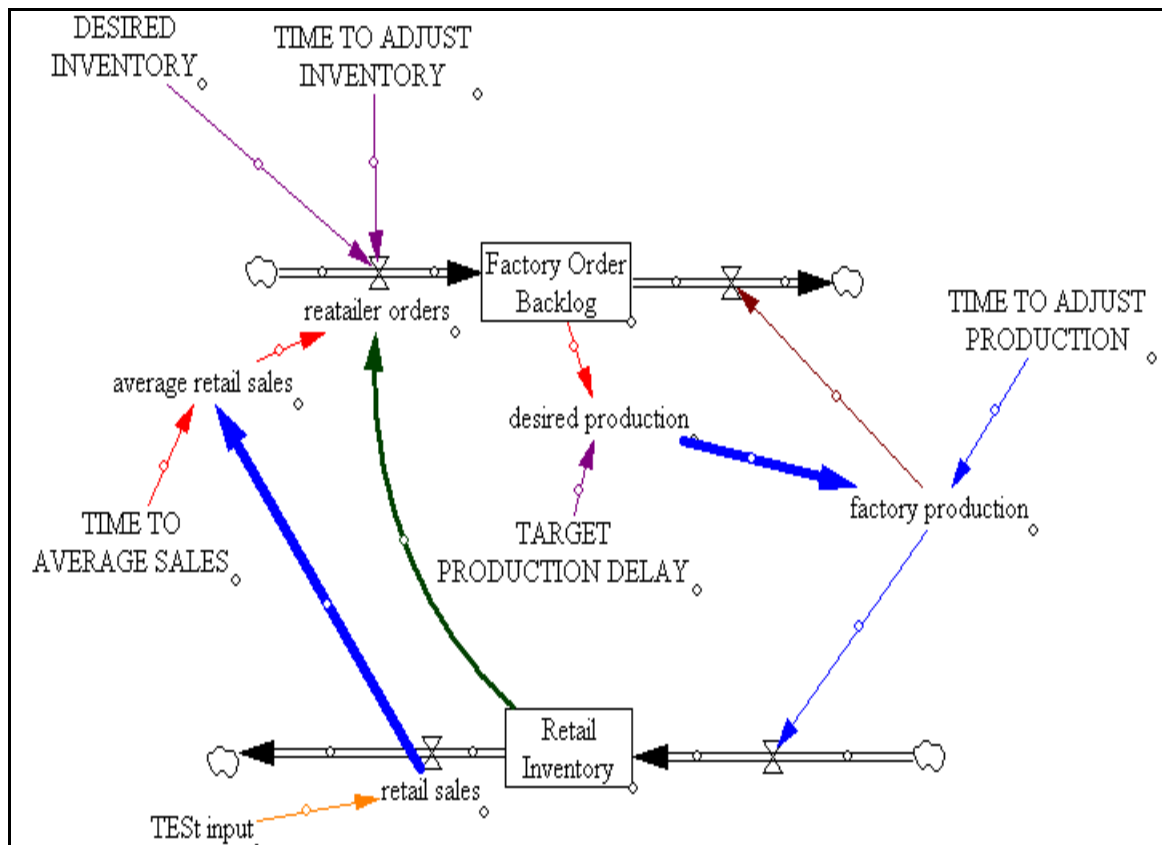
2.10.2 Δεύτερο μοντέλο

Είναι προφανές ότι το διαθέσιμο απόθεμα που έχουν οι πωλητές - Retail Inventory- επηρεάζει άμεσα το ρυθμό με τον οποίο γίνονται οι παραγγελίες -retail orders- στο εργοστάσιο, η παρακολούθηση του αποθέματος πρέπει να γίνεται προσεκτικά ώστε να μπορούν πάντα να καλυφθούν χωρίς προβλήματα οι απαιτήσεις των πελατών. Το stock and flow diagram της εικόνας 20 προτείνει ένα αποδοτικό τρόπο ώστε οι παραγγελίες να γίνονται ανεπηρέαστα και οι πελάτες να αγοράζουν το προϊόν χωρίς τη παραμικρή καθυστέρηση. Το διάγραμμα αυτό με μια πρώτη ματιά διαπιστώνουμε ότι παρουσιάζει μερικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με το αντίστοιχο διάγραμμα του πρώτου μοντέλου. Οι διαφοροποιήσεις αυτές έγκειται στα εξής: αρχικά, εντοπίζουμε την ύπαρξη συσχέτισης ανάμεσα στις μεταβλητές Retail Inventory και retail orders για να γίνει σαφές ότι η ποσότητα και ο ρυθμός με τον οποίο γίνονται οι παραγγελίες εξαρτώνται άμεσα από τη ποσότητα του αποθέματος. Επίσης, υπάρχουν δύο βοηθητικές μεταβλητές με τις ονομασίες DESIRED INVENTORY και TIME TO ADJUST INVENTORY οι οποίες συσχετίζονται και αυτές με τη μεταβλητή retail orders. Το υπόλοιπο διάγραμμα παραμένει ίδιο.



Σχήμα 2-24: Stock Flow diagram για το δεύτερο μοντέλο.

Οι βοηθητικές μεταβλητές προστέθηκαν καθώς στο συγκεκριμένο μοντέλο θεωρούμε ότι αλλάζει ο τρόπος με τον οποίο γίνονται οι παραγγελίες. Έτσι λοιπόν υπάρχει μια επιθυμητή ποσότητα κάτω από την οποία δεν πρέπει να πέσει το απόθεμα του πωλητή για να είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες των πελατών του ανά πάσα χρονική στιγμή. Αυτή την επιθυμητή ποσότητα αντιπροσωπεύει η μεταβλητή **DESIRED INVENTORY** και οι παραγγελίες του πωλητή γίνονται με σκοπό το απόθεμα του να βρίσκεται κοντά σε αυτή τη τιμή. Προφανώς δεν επιθυμούμε κάθε φορά που μειώνεται το απόθεμα ο πωλητής να κάνει παραγγελία στο εργοστάσιο (αυτό συνεπάγεται οικονομική επιβάρυνση και για τον ίδιο αλλά και για το εργοστάσιο) για να καλύψει το κενό που υπάρχει. Για μεγαλύτερη διευκόλυνση θα ήταν καλύτερο ο πωλητής να περιμένει για ένα μικρό χρονικό διάστημα έως ότου προβεί σε νέα παραγγελία, μέχρι τότε θα έχουν γίνει και άλλες πωλήσεις το απόθεμα θα έχει περιοριστεί και άλλο με αποτέλεσμα να κάνει μια μεγαλύτερη παραγγελία στο εργοστάσιο. Ο χρόνος που απαιτείται ώστε η τιμή της μεταβλητής **Retail Inventory** γίνει ίδια με αυτή της **DESIRED INVENTORY** αντιπροσωπεύεται στο μοντέλο μέσω της μεταβλητής **TIME TO ADJUST INVENTORY**.



Σχήμα 2-25: Stock Flow διάγραμμα για το δεύτερο μοντέλο.

Η παρακάτω εξίσωση ουσιαστικά περιγράφει αυτό που αναφέραμε παραπάνω. Εάν όλα παραμείνουν ίδια τότε η διαφορά ανάμεσα στις μεταβλητές DESIRED INVENTORY ΚΑΙ Retail Inventory θα εξαλειφθεί μέσα σε χρονικό διάστημα – TIME TO ADJUST INVENTORY. Αν όμως η τιμή της μεταβλητής DESIRED INVENTORY είναι μεγαλύτερη από αυτή της Retail Inventory τότε οι παραγγελίες που θα γίνουν από πλευρά πωλητή θα είναι μεγαλύτερες σε αντίθετη περίπτωση θα είναι περιορισμένες.

$$\frac{\text{DESIRED INVENTORY} - \text{Retail Inventory}}{\text{TIME TO ADJUST INVENTORY}}$$

Στο Σχήμα 2-25 παρουσιάζονται οι εξισώσεις για τη δημιουργία του δεύτερου μοντέλου. Οι εξισώσεις είναι ακριβώς ίδιες με αυτές του πρώτου μοντέλου, διαφοροποιήσεις παρατηρούνται μόνο για τις καινούριες σταθερές (DESIRED INVENTORY, TIME TO ADJUST INVENTORY) που προστέθηκαν καθώς και για τη flow μεταβλητή retail

orders. Πιο συγκεκριμένα, η σταθερά DESIRED INVENTORY έχει πάρει τη τιμή 400 μονάδες (εξίσωση 2) και η μεταβλητή TIME TO ADJUST INVENTORY (εξίσωση 15) έχει πάρει τη τιμή 2 εβδομάδες. Η εξίσωση της μεταβλητής retailer orders (εξίσωση 10) έχει προσαρμοστεί στα νέα δεδομένα όπως αυτά επισημανθήκαν στη προηγούμενη παράγραφο.

```
(01) average retail sales = SMOOTH(retail sales, TIME TO AVERAGE SALES)
(02) DESIRED INVENTORY = 400
(03) desired production = Factory Order Backlog / TARGET PRODUCTION DELAY
(04) Factory Order Backlog
      = INTEG(retailer orders - factory production, 200)
(05) factory production
      = SMOOTH(desired production, TIME TO ADJUST PRODUCTION)
(06) FINAL TIME = 50
(07) INITIAL TIME = 0
(08) Retail Inventory = INTEG(factory production - retail sales, 400)
(09) retail sales = TEST input
(10) retailer orders = average retail sales
      + (DESIRED INVENTORY - Retail Inventory) / TIME TO ADJUST INVENTORY
(11) SAVEPER = TIME STEP
(12) TARGET PRODUCTION DELAY = 2
(13) TEST input = 100 + STEP(20,10)
(14) TIME STEP = 0.25
(15) TIME TO ADJUST INVENTORY = 2
(16) TIME TO ADJUST PRODUCTION = 4
(17) TIME TO AVERAGE SALES = 1
```

Σχήμα 2-26: Εξισώσεις Vensim Ple για το δεύτερο μοντέλο.

Παρατηρήσεις

- Από την εξίσωση που μας δίνεται για τη μεταβλητή retail orders προκύπτει ότι μπορεί να πάρει αρνητική τιμή (στη περίπτωση που $DESIRED INVENTORY < Retail Inventory$). Ουσιαστικά αυτό εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο γίνονται οι παραγγελίες, σε ένα απόλυτα ρεαλιστικό μοντέλο μας θα έπρεπε να θεωρούμε ότι είναι δυνατό να ακυρωθούν κάποιες από τις παραγγελίες που έχουν γίνει έτσι ώστε να μην έχουν οι πωλητές μεγαλύτερα από το επιθυμητό απόθεμα.

- Επίσης, διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει κανένας περιορισμός για τις τιμές των μεταβλητών Factory Order Backlog και Retail Inventory παρόλο που και οι δύο αυτές μεταβλητές μπορούν να πάρουν αρνητική τιμή όπως φαίνεται και από την μορφή των εξισώσεων τους. Υπενθυμίζουμε ότι δεν μας ενδιαφέρει στο μοντέλο μας να λαμβάνουμε υπόψη μας τόσες πολλές λεπτομέρειες καθώς εμείς ασχολούμαστε σε ερευνητικό επίπεδο, προφανώς μια πραγματική επιχείρηση θα πρόσεχε και τη παραμικρή λεπτομέρεια.
- Παραπάνω αναφέραμε τις διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στα δύο μοντέλα το ίδιο όμως το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει από μόνο του τις διαφορές που υπάρχουν στις εξισώσεις δύο ή περισσότερων μοντέλων. Από το βασικό μενού επιλέγοντας Model→Compare to→και εντοπίζοντας το μοντέλο με το οποίο θέλουμε να γίνει η σύγκριση (εμείς επιλέξαμε το μοντέλο του πρώτου παραδείγματος) προκύπτει το εξής αποτέλεσμα:

```

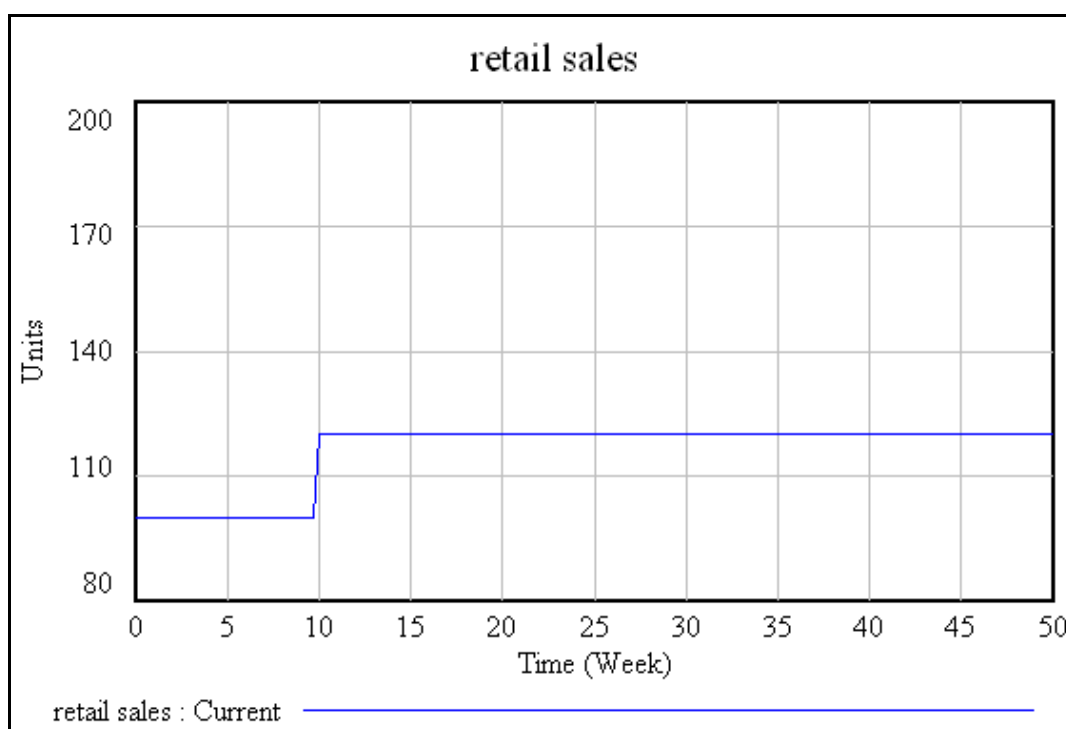
Model changes relative to D:\2010\examples\example 7\7a\Example 7a.mdl
*****
The following variables are not in D:\2010\examples\example 7\7a\Example 7a.mdl
*****
> DESIRED INVENTORY
> TIME TO ADJUST INVENTORY
*****
Equation changes from (<) D:\2010\examples\example 7\7a\Example 7a.mdl to (>) current model
*****
< retailer orders=average retail sales
> retailer orders=average retail sales+(DESIRED INVENTORY-Retail Inventory
> )/TIME TO ADJUST INVENTORY

```

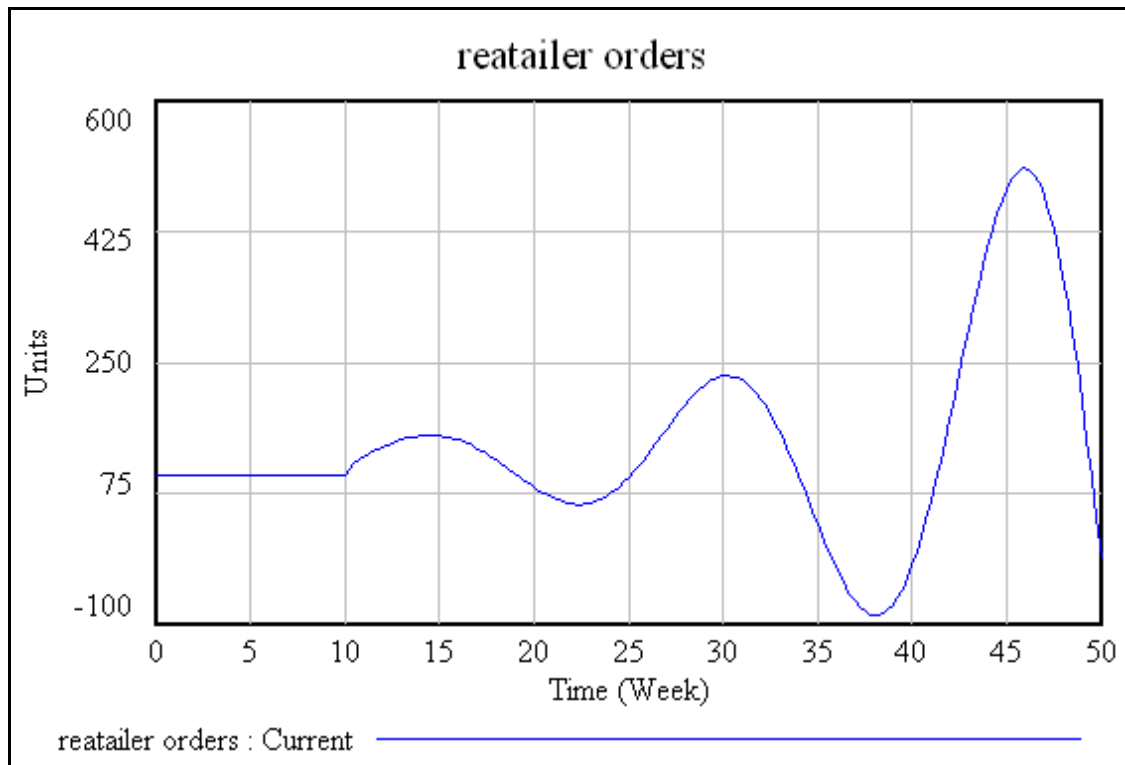
Σχήμα 2-27 Διαφορές μεταξύ των μοντέλων

Στο δεύτερο μοντέλο άλλαξε κάπως ο τρόπος με τον οποίο γίνονται οι παραγγελίες από τους πωλητές και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα μας δείξουν αν τελικά οι αλλαγές αυτές είχαν θετικό ή αρνητικό αντίκτυπο στην λειτουργία της επιχείρησης. Για να είμαστε ακριβείς στις συγκρίσεις μας θα εξετάσουμε τη πορεία που έχουν οι τιμές των μεταβλητών που εξετάσαμε και στο πρώτο μοντέλο. Ξεκινώντας από τη μεταβλητή retail sales 23 διαπιστώνουμε ότι η τιμές δεν έχουν υποστεί τη παραμικρή μεταβολή γεγονός αναμενόμενο. Η εξίσωση που της χαρακτηρίζει παρέμεινε σταθερή, όπως αμετάβλητη

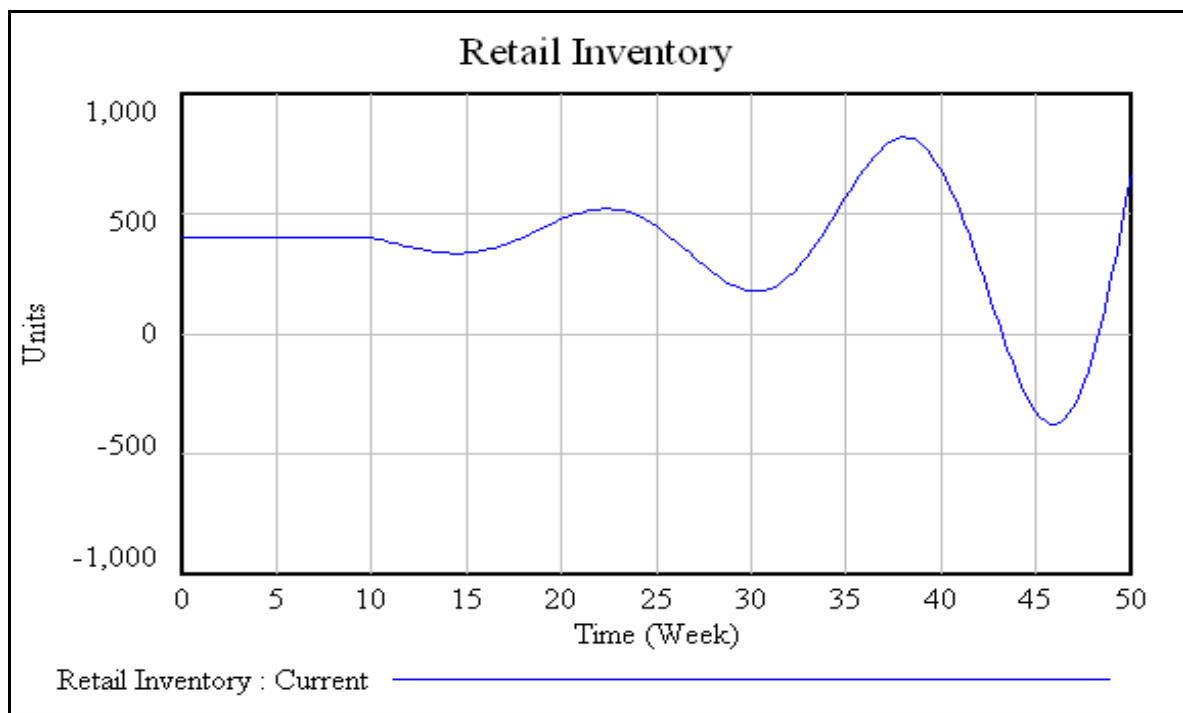
είναι και η τιμή της μεταβλητής από την οποία εξαρτάται (TEST input). Όσον αφορά τώρα τη μεταβλητή retailer orders (Σχήμα 2-28) διαπιστώνουμε ότι οι τιμές τις παρουσιάζουν μια αρκετά έντονη διακύμανση κάτι που δεν ίσχυε στο προηγούμενο μοντέλο, επιπροσθέτως αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ορισμένες από τις τιμές της είναι αρνητικές κάτι που κανονικά δεν θα έπρεπε να συμβαίνει (αυτές οι τιμές προφανώς δεν μπορεί να είναι αποδεκτές καθώς δεν έχουν φυσική ερμηνεία). Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για την μεταβλητή Retail Inventory (Σχήμα 2-29) αν και στο πρώτο μοντέλο υπάρχει διακύμανση στις τιμές (oscillation) στο δεύτερο το εύρος της διακύμανσης αυξάνεται αισθητά, γεγονός μη επιθυμητό. Έτσι, λοιπόν καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι αλλαγές στο τρόπο εκτέλεσης των παραγγελιών οδήγησαν σε χειρότερα αποτελέσματα. Τέλος, για να γίνουν πιο κατανοητά τα συγκριτικά στοιχεία μέσω του Vensim Ple σε κοινές γραφικές παραστάσεις θα αντιπαραθέσουμε τη πορεία της κάθε μεταβλητής και στα δύο μοντέλα (σχήμα 2-31 και 2-32).



Σχήμα 2-28: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το δεύτερο.

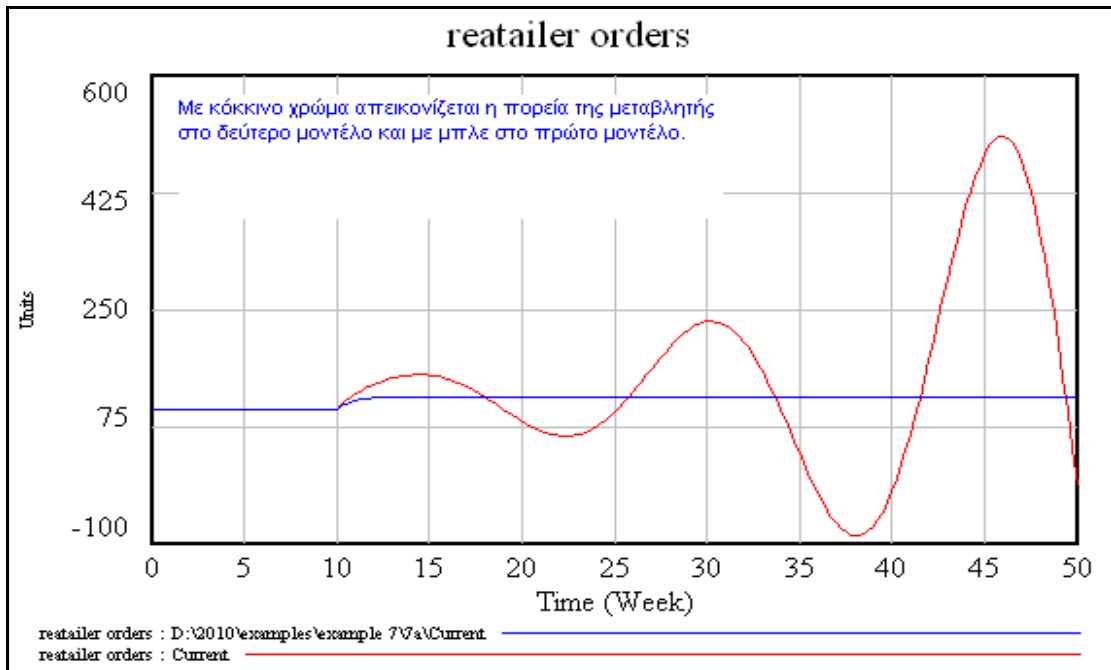


Σχήμα 2-29: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το δεύτερο μοντέλο.



Σχήμα 2-30: Αποτελέσματα προσομοίωσης για το δεύτερο μοντέλο.

Συμβουλή: Κατά τη προσομοίωση από τη βασική γραμμή εργαλείο επιλέγουμε *Control Panel*, στο παράθυρο που ανοίγει κάνουμε κλικ *dataset tab* και ζητάμε από το πρόγραμμα να φορτώσει τα δεδομένα του προηγούμενου μοντέλου προσφέροντας έτσι στο χρήστη μια καλύτερη εικόνα για τη σύγκριση των δύο μοντέλων.



Σχήμα 2-31: Σύγκριση πρώτου και δεύτερου μοντέλου.

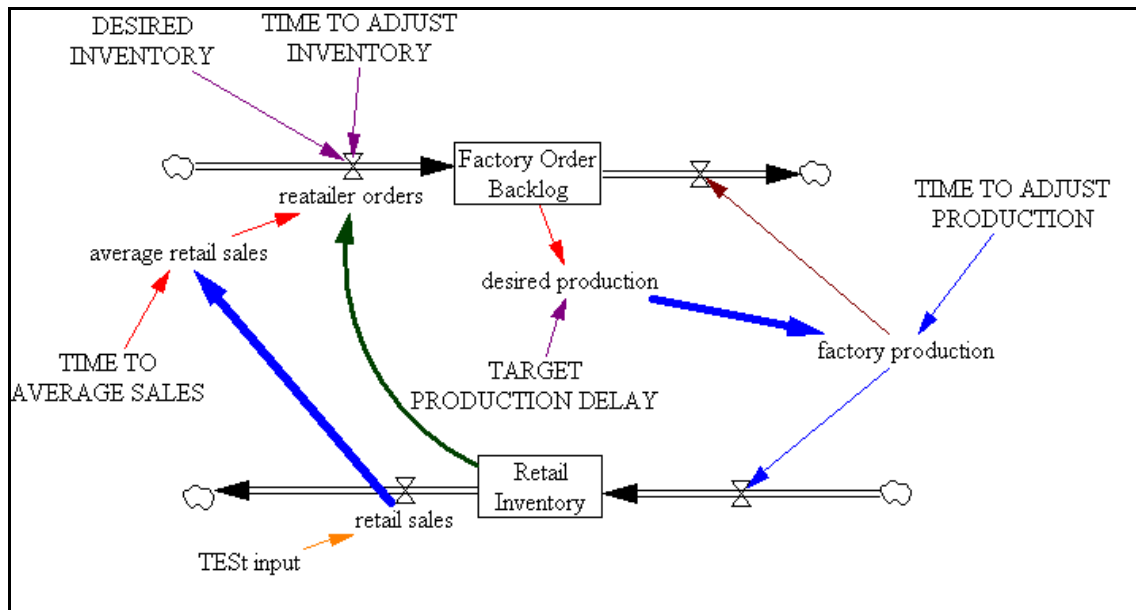


Σχήμα 2-32: Σύγκριση πρώτου και δεύτερου μοντέλου.

Η απλή σύγκριση των δύο μοντέλων δεν μας αρκεί καθώς θα πρέπει να υποδείξουμε και τους λόγους που οδήγησαν σε αρνητικά αποτελέσματα. Στο δεύτερο μοντέλο καταγράφεται καθυστέρηση στη παραγωγή της ποσότητας των προϊόντων που έχει παραγγελθεί από τους πωλητές. Απαιτείται αρκετός χρόνος ώστε οι παραγγελίες να φύγουν από το Factory Order Backlog και να παραχθούν μέχρι να φτάσουν στους πωλητές (Retail Inventory) και όσο αυτή η καθυστέρηση συνεχίζεται οι παραγγελίες των πωλητών παραμένουν σε υψηλά επίπεδα καθώς προσπαθούν να καλύψουν τα κενά που έχουν στα αποθέματα τους. Στη συνέχεια, με το πέρασμα του χρόνου οι ποσότητες που έχουν παραγγείλει φτάνουν αυξάνοντας έτσι τα διαθέσιμα αποθέματα.

2.10.3 Τρίτο Μοντέλο

Υποπευόμαστε ότι το πρόβλημα που εμφανίζεται στο δεύτερο μοντέλο και αποτυπώνεται στις γραφικές παραστάσεις των Σχημάτων 27, 28 και 29 οφείλεται στο γεγονός ότι όταν οι πωλητές κάνουν παραγγελίες – retail orders – λαμβάνουν υπόψη τους και τη πορεία που έχουν ή θα έχουν στο άμεσο μέλλον οι πωλήσεις –retail orders-. Υποθέτουμε ότι θα ήταν καλύτερο όταν παραγγέλνουν οι πωλητές προϊόντα από το εργοστάσιο να επικεντρώνονται αποκλειστικά στο ύψος του αποθέματος που διαθέτουν φροντίζοντας μέσω των παραγγελιών να καλύψουν τα κενά που έχουν. Αυτή η λύση παρουσιάζεται στο Stock flow diagram του σχήματος 2-33 η διαφορά που εντοπίζεται σε σχέση με το αντίστοιχο διάγραμμα του δευτέρου μοντέλου είναι ότι όλες οι μεταβλητές και σταθερές (average retail sales, TIME TO AVERAGE SALES) που δεν σχετίζονται με τα αποθέματα των πωλητών και επηρεάζουν τη μεταβλητή retail orders έχουν διαγραφεί.



Σχήμα 2-33: Stock Flow diagram τρίτου μοντέλου.

Στο Σχήμα 2-33 παρουσιάζονται οι εξισώσεις που πρέπει να περαστούν στο πακέτο Vensim Ple προκειμένου να προσομοιωθεί το μοντέλο.

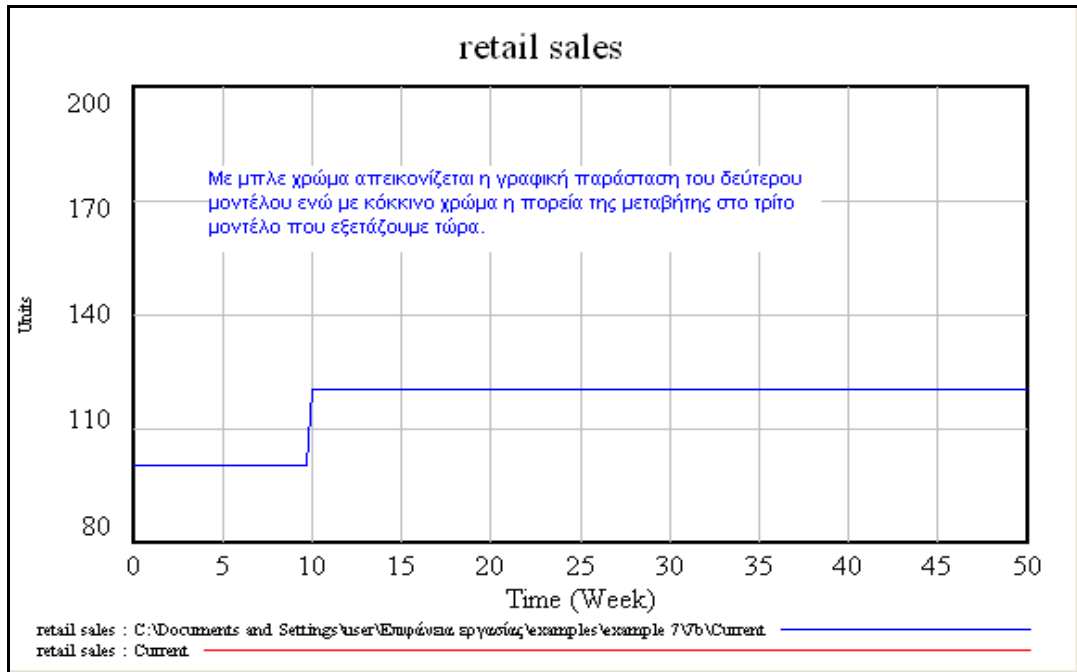
```

(01) DESIRED INVENTORY = 400
(02) desired production
      = Factory Order Backlog / TARGET PRODUCTION DELAY
(03) Factory Order Backlog
      = INTEG(retailer orders - factory production, 200)
(04) factory production
      = SMOOTH(desired production, TIME TO ADJUST PRODUCTION)
(05) FINAL TIME = 50
(06) INITIAL TIME = 0
(07) Retail Inventory = INTEG(factory production - retail sales, 400)
(08) retail sales = TEST input
(09) retailer orders
      = (DESIRED INVENTORY - Retail Inventory)
        / TIME TO ADJUST INVENTORY
(10) SAVEPER = TIME STEP
(11) TARGET PRODUCTION DELAY = 2
(12) TEST input = 100 + STEP(20, 10)
(13) TIME STEP = 0.25
(14) TIME TO ADJUST INVENTORY = 2
(15) TIME TO ADJUST PRODUCTION = 4

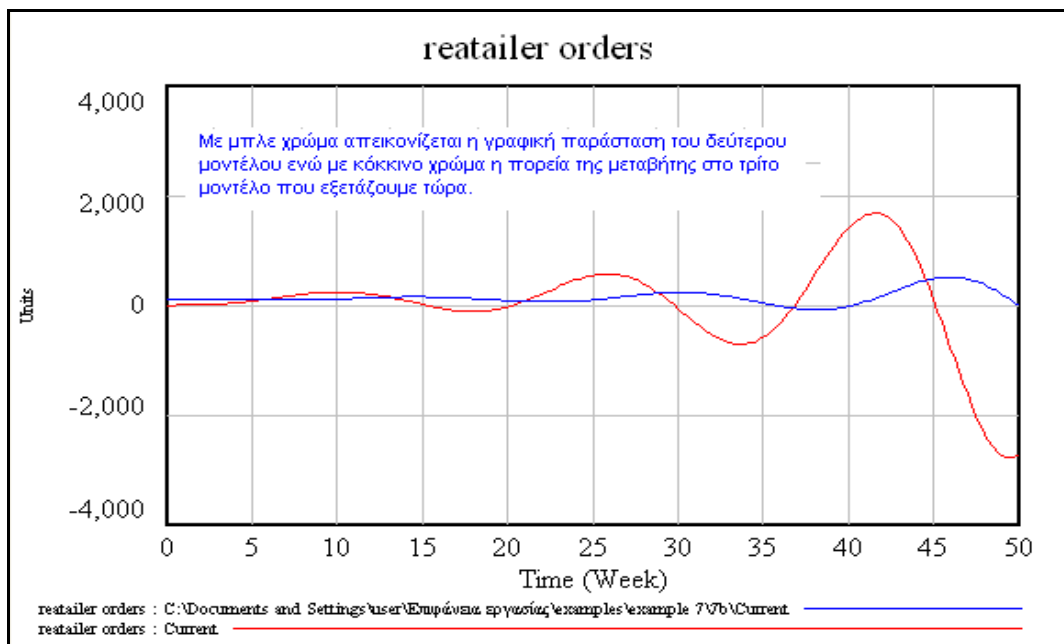
```

Σχήμα 2-34: Εξισώσεις στο Vensim Ple για το τρίτο μοντέλο.

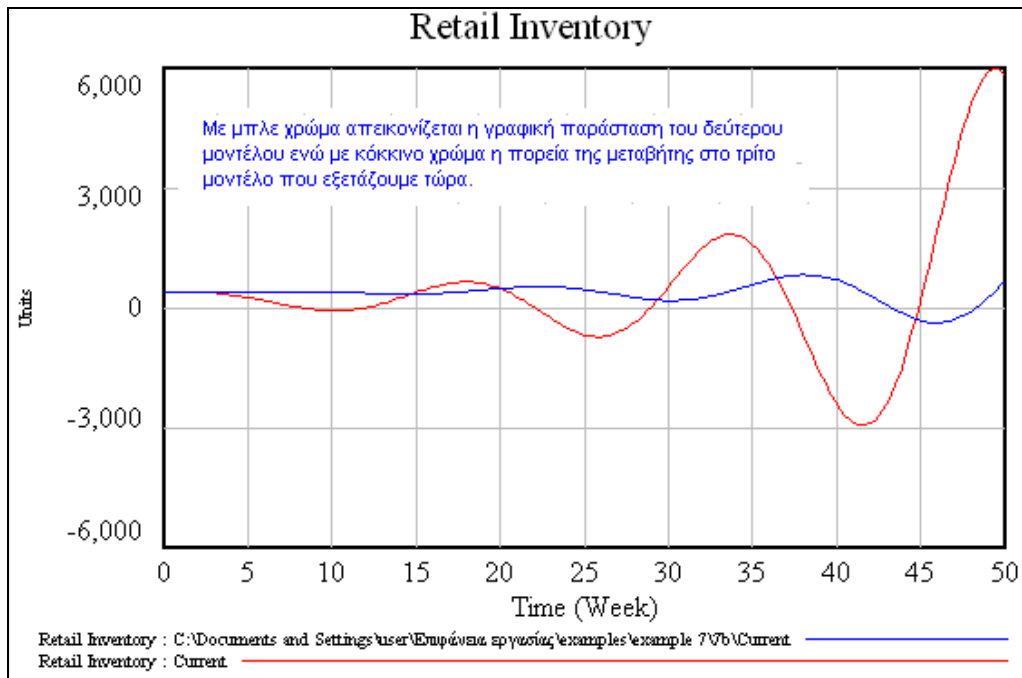
Εν συνεχεία εξετάζουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Και σε αυτή τη περίπτωση εξετάζουμε τις τρεις συγκεκριμένες μεταβλητές που μας ενδιαφέρουν και αμέσως τις συγκρίνουμε με τα αποτελέσματα για το δεύτερο μοντέλο.



Σχήμα 2-35: Πορεία μεταβλητής retail sales για το τρίτο μοντέλο (εν σύγκριση με το δεύτερο).



Σχήμα 2-36: Πορεία μεταβλητής retailer orders για το τρίτο μοντέλο (εν σύγκριση με το δεύτερο).



Σχήμα 2-37: Πορεία μεταβλητής Retail Inventory για το τρίτο μοντέλο (ενσύγκριση με το δεύτερο).

Και για τι τρεις μεταβλητές το συμπέρασμα είναι κοινό και προφανές, η αλλαγή που προτείνεται οδηγεί σε χειρότερα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα η πορεία των τιμών των μεταβλητών retail orders και Retail Inventory παρουσιάζει πιο έντονες διακυμάνσεις, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις οι τιμές που παίρνουν είναι αρνητικές γεγονός μη αποδεκτό.

Τέλος, στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στο δεύτερο και το τρίτο μοντέλο όπως αυτά προκύπτουν από τη σύγκριση που κάνει μόνο του το Vensim Ple.

```

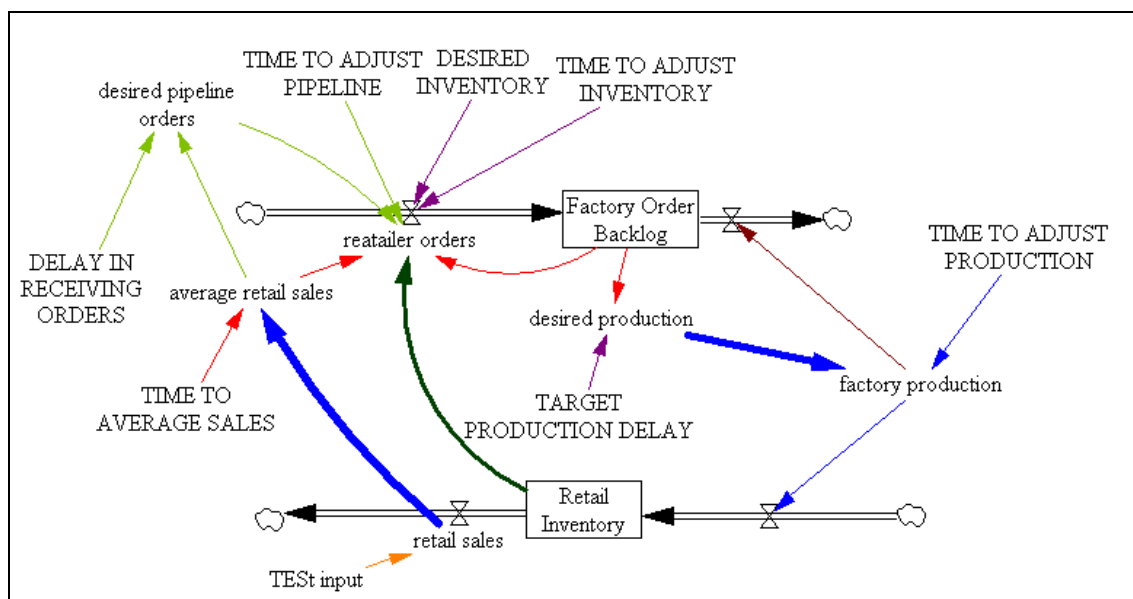
*****
The following variables in C:\Documents and Settings\user\Επιφάνεια εργασίας\examples\example 7
*****
< average retail sales
< TIME TO AVERAGE SALES
*****
Equation changes from (<) C:\Documents and Settings\user\Επιφάνεια εργασίας\examples\example
*****
< reatailer orders=average retail sales+(DESIRED INVENTORY-Retail Inventory
  )/TIME TO ADJUST INVENTORY
> reatailer orders=(DESIRED INVENTORY-Retail Inventory)/TIME TO ADJUST INVENTORY

```

Σχήμα 2-38: Εντοπισμός διαφορών ανάμεσα στο δεύτερο και το τρίτο μοντέλο.

2.10.4 Τέταρτο Μοντέλο

Επιστρέφοντας στο δεύτερο μοντέλο αναφέρουμε ότι είχαμε διαπιστώσει ότι οι τιμές ορισμένων μεταβλητών παρουσίαζαν έντονες διακυμάνσεις που πιθανότατα οφείλονται στη καθυστερημένη παραλαβή των προϊόντων που είχαν παραγγείλει οι πωλητές. Αυτό το φαινόμενο ορισμένες φορές ονομάζεται “pipeline effect” κατά το οποίο παραγγέλνουμε μια ποσότητα και λόγω καθυστερημένης παραλαβής των προϊόντων στην επόμενη παραγγελία δεν λαμβάνουμε υπόψη τι είχαμε παραγγείλει στο παρελθόν γεγονός που οδηγεί σε έντονες διακυμάνσεις των τιμών των μεταβλητών. Στο Σχήμα 2-39 παρουσιάζεται το Stock Flow diagram ενός μοντέλου στο οποίο προτείνεται ένας τρόπος έτσι ώστε οι παραγγελίες που γίνονται να σχετίζονται με τις προηγούμενες παραγγελίες. Το διάγραμμα αυτό προκύπτει κάνοντας ορισμένες αλλαγές στο αντίστοιχο διάγραμμα του δεύτερου μοντέλου.



Σχήμα 2-40: Stock Flow diagram τέταρτου μοντέλου.

Οι διαφορές ανάμεσα στα δύο διαγράμματα είναι οι εξής:

```

The following variables are not in C:\Documents and Settings\user\Επιφάνεια εργασίας\examples\ex
*****
> DELAY IN RECEIVING ORDERS
> desired pipeline orders
> TIME TO ADJUST PIPELINE
*****
Equation changes from (<) C:\Documents and Settings\user\Επιφάνεια εργασίας\examples\example
*****
< reatailer orders=average retail sales+(DESIRED INVENTORY-Retail Inventory
  )/TIME TO ADJUST INVENTORY
<
> reatailer orders=average retail sales+(DESIRED INVENTORY-Retail Inventory
  )/TIME TO ADJUST INVENTORY+(desired pipeline orders-
  Factory Order Backlog)/TIME TO ADJUST PIPELINE
>

```

Σχήμα 2-41: Εντοπισμός διαφορών ανάμεσα στο τέταρτο και το δεύτερο μοντέλο.

Τι αλλάξαμε σε αυτό το μοντέλο; Πλέον η Stock μεταβλητή Factory Order Backlog συσχετίζεται με τη flow μεταβλητή retailer orders, αυτό υποδηλώνει σαφώς ότι πλέον λαμβάνονται υπόψη οι παραγγελίες του παρελθόντος. Επιπροσθέτως, προστέθηκαν μια βοηθητική μεταβλητή με την ονομασία “desired pipeline orders” καθώς και δύο σταθερές οι DELAY IN RECEIVING ORDERS και TIME TO ADJUST PIPELINE. Η μεταβλητή “desired pipeline orders” εκφράζει τη ποσότητα που θέλουμε να παραγγέλνουμε τη κάθε χρονική στιγμή και αυτή εξαρτάται από τη μεταβλητή “average retail sales” και από τη σταθερά DELAY IN RECEIVING ORDERS.

$$\text{desired pipeline orders} = \text{average retail sales} * \text{DELAY IN RECEIVING ORDERS}$$

Η σταθερά TIME TO ADJUST PIPELINE διαδραματίζει παρόμοιο ρόλο με τη σταθερά TIME TO ADJUST INVENTORY. Στο Σχήμα 2-42 παρουσιάζονται αναλυτικά οι εξισώσεις όλων των μεταβλητών του μοντέλου.

Η τιμή της μεταβλητής DELAY IN RECEIVING ORDERS είναι ίδια με τη τιμή της μεταβλητής TARGET PRODUCTION DELAY.

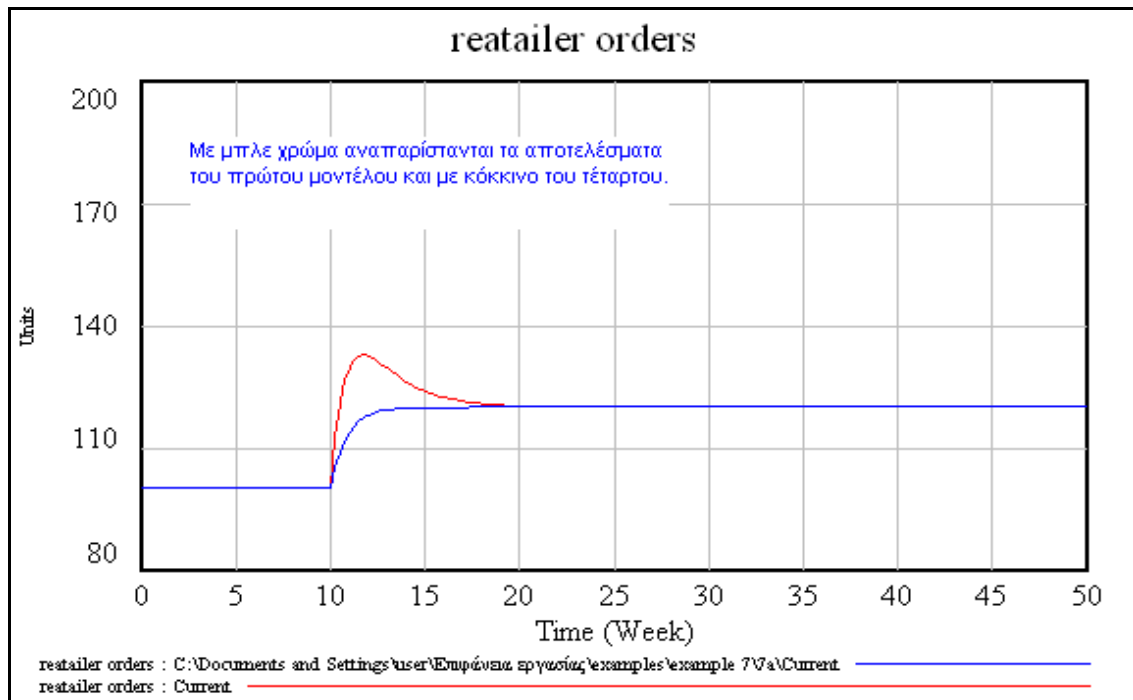
```

(01) average retail sales = SMOOTH(retail sales, TIME TO AVERAGE SALES)
(02) DELAY IN RECEIVING ORDERS = 2
(03) DESIRED INVENTORY = 400
(04) desired pipeline orders
      = DELAY IN RECEIVING ORDERS * average retail sales
(05) desired production = Factory Order Backlog / TARGET PRODUCTION DELAY
(06) Factory Order Backlog
      = INTEG(retailer orders - factory production, 200)
(07) factory production
      = SMOOTH(desired production, TIME TO ADJUST PRODUCTION)
(08) FINAL TIME = 50
(09) INITIAL TIME = 0
(10) Retail Inventory = INTEG(factory production - retail sales, 400)
(11) retail sales = TEST input
(12) retailer orders = average retail sales
      + (DESIRED INVENTORY - Retail Inventory) / TIME TO ADJUST INVENTORY
      + (desired pipeline orders - Factory Order Backlog)
        / TIME TO ADJUST PIPELINE
(13) SAVEPER = TIME STEP
(14) TARGET PRODUCTION DELAY = 2
(15) TEST input = 100 + STEP(20,10)
(16) TIME STEP = 0.25
(17) TIME TO ADJUST INVENTORY = 2
(18) TIME TO ADJUST PIPELINE = 2
(19) TIME TO ADJUST PRODUCTION = 4
(20) TIME TO AVERAGE SALES = 1

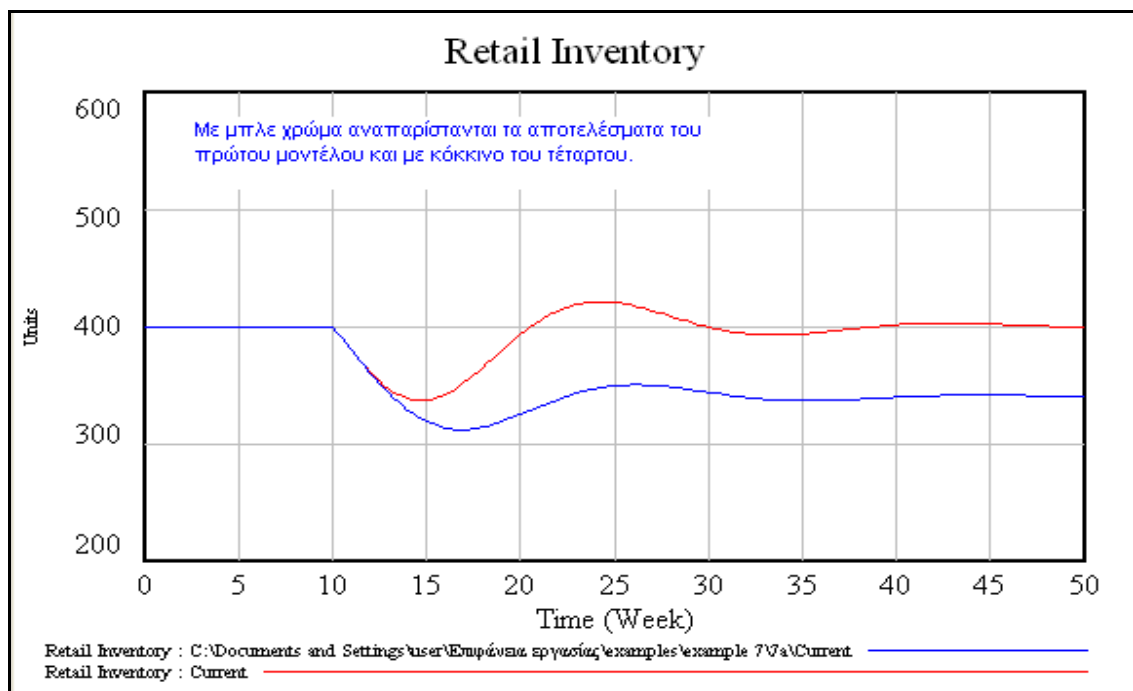
```

Σχήμα 2-43: Εξισώσεις μεταβλητών τέταρτου μοντέλου.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπως παρουσιάζονται στις επόμενες γραφικές παραστάσεις παρουσιάζουν βελτίωση σε σχέση με τα αποτελέσματα των της προσομοίωσης των προηγούμενων μοντέλων.



Σχήμα 2-44: Σύγκριση τιμών μεταβλητής retail orders στο πρώτο και τέταρτο μοντέλο.



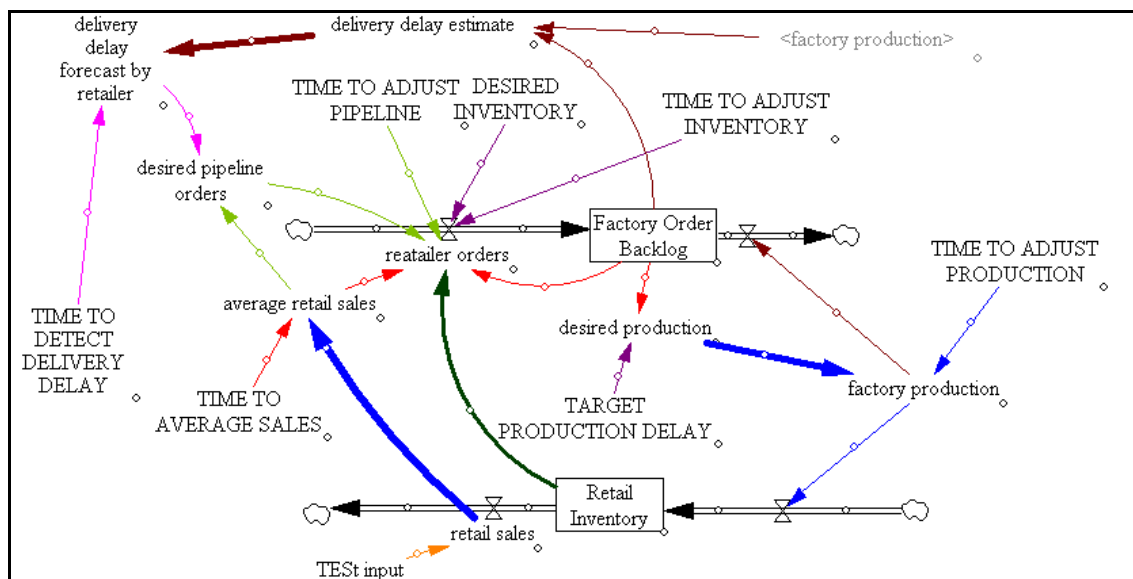
Σχήμα 2-45: Σύγκριση τιμών μεταβλητής Retail Inventory στο πρώτο και τέταρτο μοντέλο.

Μέχρι στιγμής τα καλύτερα αποτελέσματα είχαν προκύψει από τη προσομοίωση του πρώτου μοντέλου για αυτό το λόγο η σύγκριση γίνεται με το πρώτο μοντέλο και όχι με κάποιο άλλο. Όσον αφορά τη μεταβλητή retailer orders η πορεία της μεταβλητής είναι

παρόμοια και στα δύο μοντέλα εάν εξαιρέσουμε ένα μικρό χρονικό διάστημα από τη δέκατη έως τη δέκατη όγδοη εβδομάδα όπου η διακύμανση των τιμών της μεταβλητής είναι μεγαλύτερη στο τέταρτο μοντέλο. Οπότε υπερέχει λίγο το πρώτο μοντέλο. Επίσης, πάλι στο ίδιο χρονικό (10^{11} έως 18^{11}) η τιμή της μεταβλητής retailer orders είναι λίγο μεγαλύτερη σε σχέση με τη μεταβλητή retail sales σύντομα όμως η πορεία τους ταυτίζεται χωρίς να παρατηρούνται απότομες μεταβολές όπως γινόταν στο δεύτερο και τρίτο μοντέλο.

2.10.5 Πέμπτο Μοντέλο

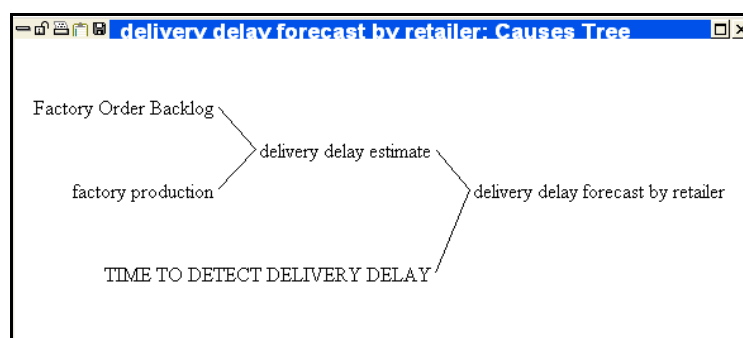
Προφανώς υπάρχουν ακόμα μερικά περιθώρια βελτίωσης για το τέταρτο μοντέλο στο οποίο υπάρχει σταθερά για να εκφράσει το ζήτημα της καθυστερημένης παραλαβής των προϊόντων (DELAY IN RECEIVING ORDERS). Αν η τιμή αυτή δεν ήταν σταθερά αλλά ήταν αποτέλεσμα πρόβλεψης πιθανόν (η πρόβλεψη για το πότε θα έρθουν τα προϊόντα) γίνεται από τον πωλητή να οδηγούμαστε σε καλύτερα αποτελέσματα. Στην εικόνα 39 εμφανίζεται ένα Stock Flow diagram το οποίο ενέχει το στοιχείο της πρόβλεψης για το ζήτημα που αναφέραμε προηγουμένως .



Σχήμα 2-46: Stock Flow diagram πέμπτου μοντέλου.

Αξιοσημείωτος είναι ο συμβολισμός που χρησιμοποιείται για τη μεταβλητή <factory production> που μέχρι τώρα δεν τον έχουμε ξαναδεί. Πρόκειται για μια shadow variable που ουσιαστικά αποτελεί αντίγραφο της μεταβλητής factory production. Αυτού του είδους οι μεταβλητές χρησιμοποιούνται για να κάνουν το διάγραμμα πιο απλό χωρίς να υπάρχουν μεγάλα και περιπλεγμένα βέλη που μπερδεύουν τον αναγνώστη. Έτσι λοιπόν

το αντίγραφο μιας μεταβλητής ονομάζεται shadow or ghost variable. Η αρχική και η shadow μεταβλητή χαρακτηρίζονται από την ίδια εξίσωση.



Σχήμα 2-47 Causes tree για τη μεταβλητή “delivery delay forecast by retailer”

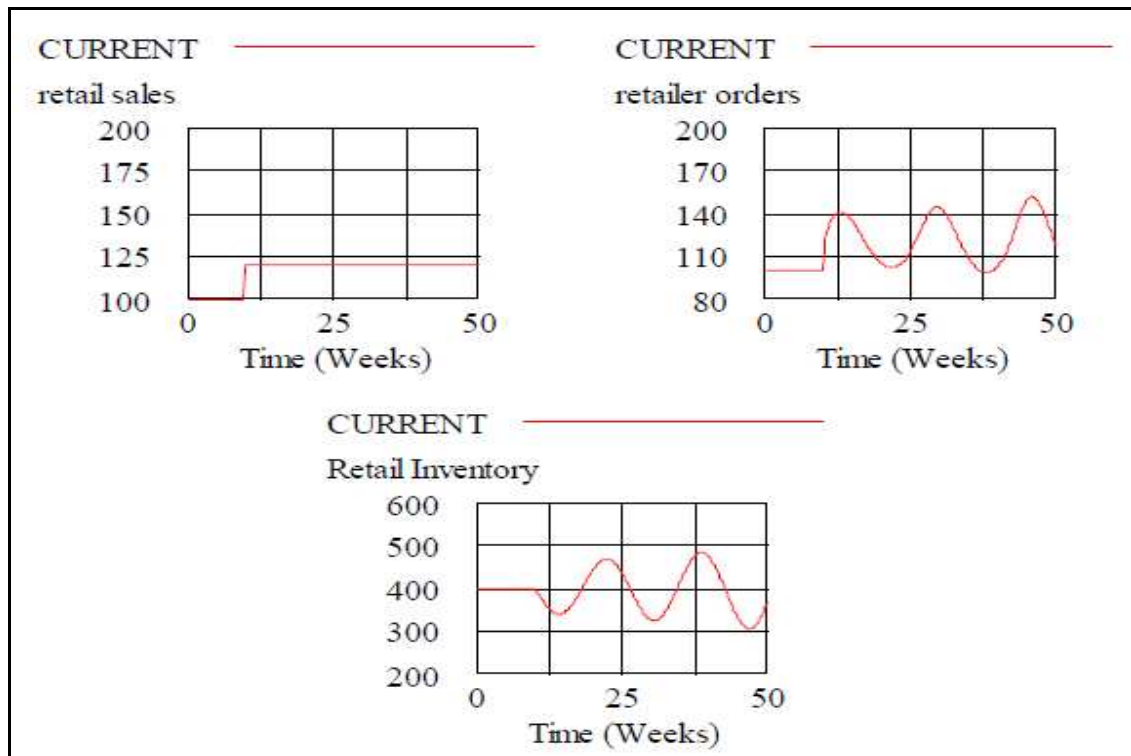
Επιπροσθέτως, όπως βλέπουμε η σταθερά DELAY IN RECEIVING ORDERS έχει αντικατασταθεί από τη βοηθητική μεταβλητή “delivery delay forecast by retailer”. Η πρόβλεψη εξαρτάται από τη σταθερά TIME TO DETECT DELIVERY και από τη βοηθητική μεταβλητή “delivery delay estimate” (και αυτή με τη σειρά της εξαρτάται από τις μεταβλητές Factory Order Backlog και factory production) όπως φαίνεται και στο Causes Tree για τη μεταβλητή “delivery delay forecast by retailer”.

Στο μοντέλο αυτό προσπαθούμε να μοντελοποιήσουμε τις προσπάθειες που κάνει ένα πραγματικός πωλητής προκειμένου να μαντέψει τη πορεία που θα έχουν τα αποθέματα του. Υποθέτουμε ότι γνωρίζει περίπου πόσες παραγγελίες έχουν φτάσει στο εργοστάσιο (Factory Order Backlog) και το ρυθμό παραγωγής (factory production).

$$\text{Delivery delay estimate} = \text{Factory Order Backlog (με μονάδα μέτρησης μονάδες)} / \text{factory production (με μονάδα μέτρησης μονάδες ανά εβδομάδα)}$$

Το αποτέλεσμα που προκύπτει έχει ως μονάδα μέτρησης τις εβδομάδες.

Μετά τη προσομοίωση του μοντέλου προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.



Σχήμα 2-48: Αποτελέσματα προσομοίωσης πέμπτου μοντέλου.

Τα αποτελέσματα αυτή τη φορά είναι χειρότερα παρόλο που οι αλλαγές που κάναμε περιμέναμε να βελτιώσουν τη κατάσταση. Οι διακυμάνσεις των τιμών των μεταβλητών retail orders και Retail Inventory γίνονται πιο έντονες σε σχέση με αυτές του τέταρτου μοντέλου. Από ότι φαίνεται οι προβλέψεις δεν βοηθούν πάντα στην απόδοση του συστήματος.

Τέλος, στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι εξισώσεις που χαρακτηρίζουν τις σταθερές και τις μεταβλητές του μοντέλου μας.


```

(01) average retail sales = SMOOTH(retail sales, TIME TO AVERAGE SALES)
(02) delivery delay estimate = Factory Order Backlog / factory production
(03) delivery delay forecast by retailer
      = SMOOTH(delivery delay estimate, TIME TO DETECT DELIVERY DELAY)
(04) DESIRED INVENTORY = 400
(05) desired pipeline orders
      = delivery delay forecast by retailer * average retail sales
(06) desired production = Factory Order Backlog / TARGET PRODUCTION DELAY
(07) Factory Order Backlog
      = INTEG(retailer orders - factory production, 200)
(08) factory production
      = SMOOTH(desired production, TIME TO ADJUST PRODUCTION)
(09) FINAL TIME = 50
(10) INITIAL TIME = 0
(11) Retail Inventory = INTEG(factory production - retail sales, 400)
(12) retail sales = TEST input
(13) retailer orders = average retail sales
      + (DESIRED INVENTORY - Retail Inventory) / TIME TO ADJUST INVENTORY
      + (desired pipeline orders - Factory Order Backlog)
        / TIME TO ADJUST PIPELINE
(14) SAVEPER = TIME STEP
(15) TARGET PRODUCTION DELAY = 2
(16) TEST input = 100 + STEP(20,10)
(17) TIME STEP = 0.25
(18) TIME TO ADJUST INVENTORY = 2
(19) TIME TO ADJUST PIPELINE = 2
(20) TIME TO ADJUST PRODUCTION = 4
(21) TIME TO AVERAGE SALES = 1
(22) TIME TO DETECT DELIVERY DELAY = 2

```

Σχήμα 2-49: Κώδικας Vensim Ple για το πέμπτο μοντέλο.

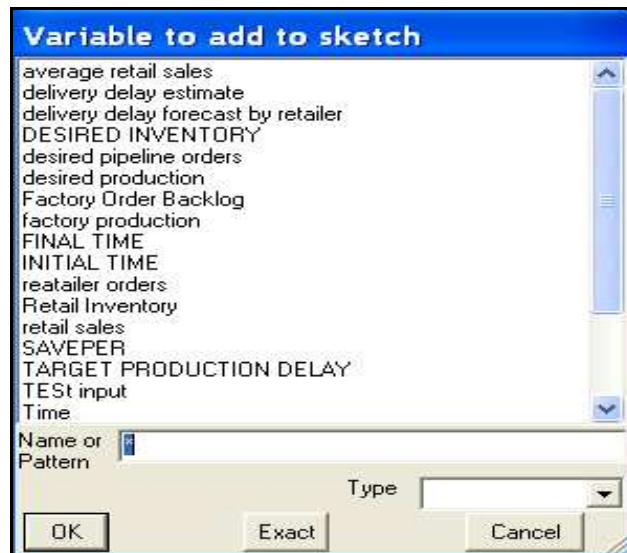
Τεχνική συμβουλή: Πως δημιουργώ μια Shadow ή Ghost μεταβλητή

Από τα Sketch Tools επιλέγω το χαρακτηριστικό εικονίδιο που παραπέμπει στην εισαγωγή της Shadow μεταβλητής (βρίσκεται εντός του κόκκινου πλαισίου της παρακάτω εικόνας).



Σχήμα 2-50 Sketch Tools

Εν συνεχεία, κάνοντας αριστερό κλικ στο παράθυρο εργασίας (Build Window) εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο.

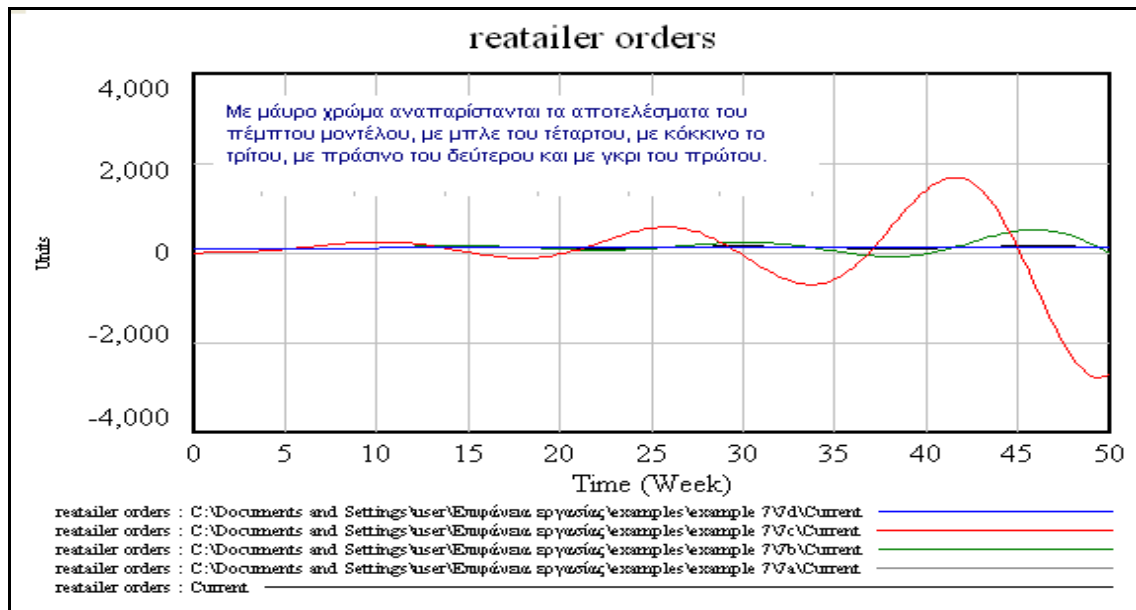


Σχήμα 2-51 Παράθυρο επιλογής shadow μεταβλητής

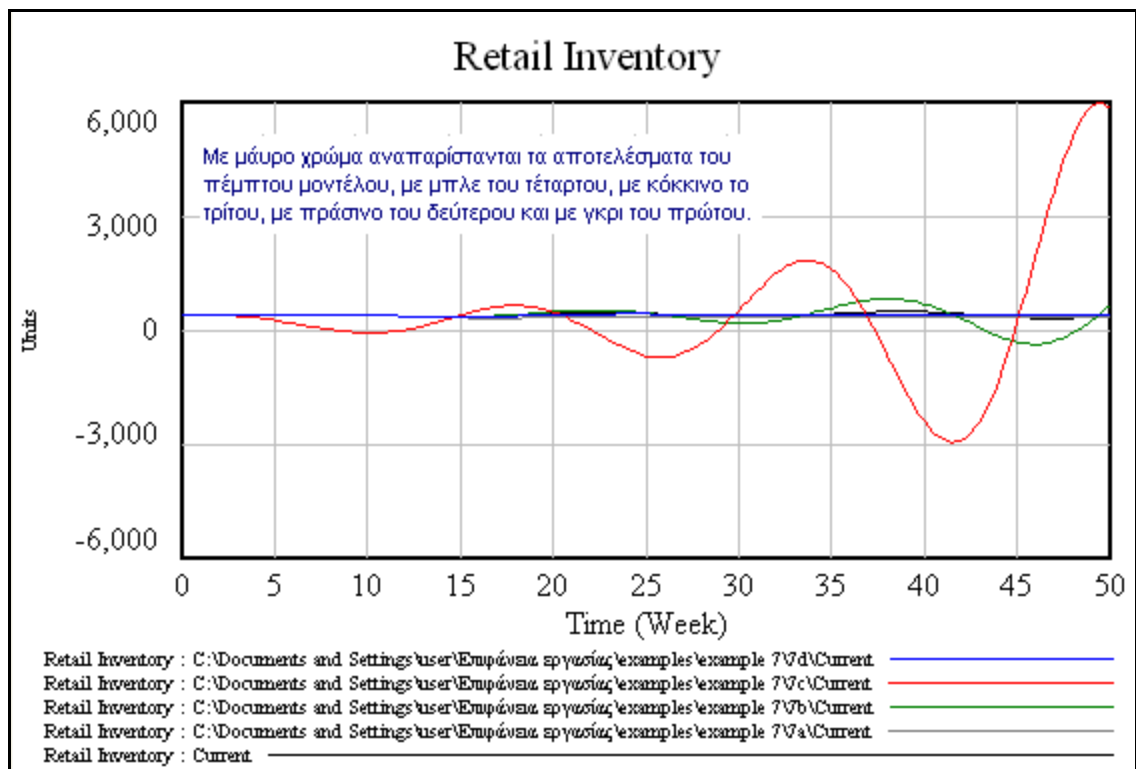
Ουσιαστικά σε αυτό το παράθυρο μας παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία του μοντέλου μας (Stock, Flow, auxiliary μεταβλητές, σταθερές κτ) και εμείς καλούμαστε να επιλέξουμε για ποιο από αυτά τα στοιχεία θέλουμε να δημιουργήσουμε αντίγραφο. Πατώντας οκ επιστρέφουμε στο παράθυρο εργασίας όπου παρατηρούμε ότι έχει δημιουργηθεί το αντίγραφο και για να ξεχωρίζει από το αρχικό η ονομασία του γράφεται με γκρι γραμματοσειρά.

Συμπέρασμα

Στη προσπάθεια μας να βρούμε το καλύτερο τρόπο με τον οποίο πρέπει να γίνονται οι παραγγελίες από τους πωλητές δημιουργήσαμε πέντε διαφορετικά μοντέλα που το κάθε ένα από αυτό προτείνει ένα διαφορετικό τρόπο. Ουσιαστικά αυτός είναι και ο λόγος που μια επιχείρηση πρέπει να χρησιμοποιεί το Vensim Ple και τη System Dynamics. Αξιοποιώντας σωστά το Vensim Ple προσομοιώνουμε τα μοντέλα και έχουμε τη δυνατότητα να μελετήσουμε τη συμπεριφορά καθώς επίσης και να διαπιστώσουμε τις επιπτώσεις που θα έχουν οι αλλαγές που θέλουμε να επιφέρουμε σε ένα σύστημα ή μια διαδικασία.



Σχήμα 2-52 Σύγκριση πορεία μεταβλητής “retailer orders” και στα πέντε μοντέλα



Σχήμα 2-53 Σύγκριση πορεία μεταβλητής “Retail Inventory” και στα πέντε μοντέλα

Στα διαγράμματα των παραπάνω έχουμε τη δυνατότητα να συγκρίνουμε τη πορεία των τιμών δύνων μεταβλητών (και στα πέντε μοντέλα) που μας απασχόλησαν στις προηγούμενες ενότητες. Εμάς στη περίπτωση μας, μας ενδιαφέρει να μην υπάρχουν

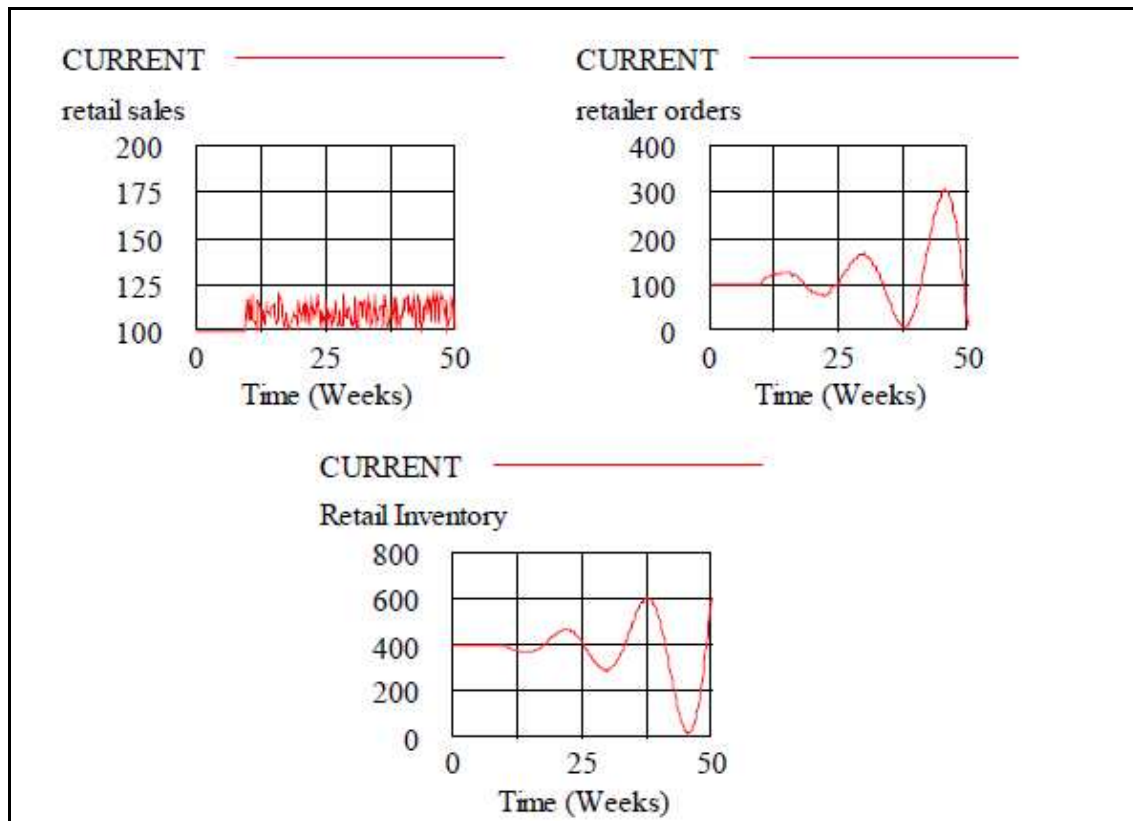
έντονες διακυμάνσεις και μεταβολές στις τιμές, να μην υπάρχουν αρνητικές τιμές και βεβαίως, τα κριτήρια αυτά μεταβάλλονται ανάλογα με το παράδειγμα που εξετάζουμε. Τα καλύτερα αποτελέσματα προέκυψαν στο πρώτο μοντέλο και εν συνεχεία ακολουθούν τα αποτελέσματα του τέταρτου μοντέλου.

Τα μοντέλα που μελετήσαμε μέχρι τώρα ήταν σχετικά απλά, υπάρχει η άποψη ότι ενδεχομένως να μην ανταποκρίνονται στη πολυπλοκότητα διαδικασιών και συστημάτων του πραγματικού κόσμου. Προκειμένου να δούμε αν κάτι τέτοιο ισχύει θα προσπαθήσουμε να αυξήσουμε τη πολυπλοκότητα σε κάποιο από τα παραπάνω μοντέλα κάνοντας το έτσι πιο ρεαλιστικό.

Τυχαία επιλέξαμε το δεύτερο μοντέλο στο οποίο θα τροποποιήσουμε την εξίσωση που προσδιορίζει τη συμπεριφορά των πωλήσεων -retail sales-. Αυτό που θα κάνουμε είναι με τη χρήση κατάλληλης εξίσωσης να προσθέσουμε το στοιχείο της αβεβαιότητας στη πορεία των πωλήσεων. Δηλαδή, οι πωλήσεις δεν θα υπακούουν σε κάποια συγκεκριμένη εξίσωση αλλά θα είναι τυχαίες. Αυτό θα γίνει χρησιμοποιώντας την εξίσωση RANDOM UNIFORM (m,x,s).

TEST input=100+ STEP (20, 10)*RANDOM UNIFORM (0.1.0)
--

Η RANDOM UNIFORM (m, x ,s) παράγει τυχαίους αριθμούς μεταξύ του m και x .



Σχήμα 2-54: Αποτελέσματα προσομοίωσης όταν η πορεία των πωλήσεων είναι τυχαία.

Από τα αποτελέσματα βλέπουμε ότι η μόνη μεταβλητή που παρουσιάζει διαφορά σε σχέση με προηγουμένως είναι οι πωλήσεις – retail sales – για τις υπόλοιπες μεταβλητές ισχύει περίπου το ίδιο με πριν δηλαδή, διακυμάνσεις που το εύρος τους στο πέρασμα του χρόνου μεταβάλλεται. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με αυτό που είχαμε αναφέρει σε προηγούμενες ενότητες μιλώντας για τη μεταβλητή TEST input όπου θεωρήσαμε ότι δίνει τιμές που δεν απέχουν πολύ από τη πραγματικότητα. Τέλος, επιβεβαιώνεται με το τελευταίο πείραμα ότι η πορεία των μεταβλητών, οι διακυμάνσεις στις τιμές κ.α δεν επηρεάζονται από τα εξωτερικά χαρακτηριστικά της διαδικασίας (π.χ πωλήσεις) αλλά από τα εσωτερικά όπως για παράδειγμα ο ρυθμός με τον οποίο παραγγέλνουν οι πωλητές – retailer orders. [9]

2.11 Delays, Smoothing and Averaging

Καθυστερήσεις παρατηρούνται στη πλειοψηφία των διαδικασιών που μελετούμε. Απαιτείται χρόνος προκειμένου να παραχθεί και να διανεμηθεί ένα προϊόν, απαιτείται χρόνος για να προσληφθούν εργάτες κ.ο.κ . Σε αυτή την ενότητα θα μελετήσουμε τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να μοντελοποιήσουμε αυτές τις καθυστερήσεις.

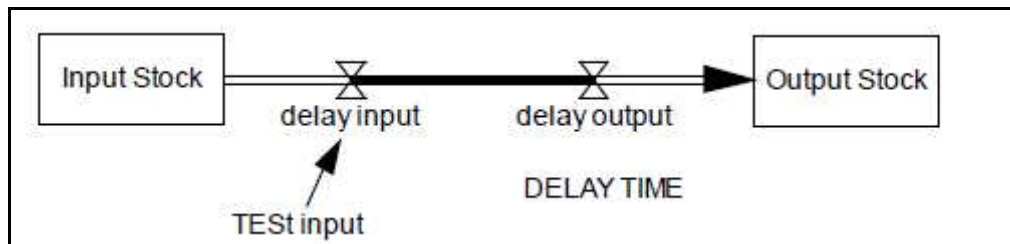
2.11.1 Pipeline Material Flow Delays

Το πιο απλό είδος καθυστέρησης είναι αυτό που ονομάζεται “pipeline delay”. Είδαμε και στα Stock Flow diagrams που έχουμε εξετάσει μέχρι τώρα ότι εκτός από τις μεταβλητές και τις σταθερές που υπάρχουν μοντελοποιούμε και τις «ροές» που υπάρχουν μέσα σε ένα σύστημα ή διαδικασία. Τι εννοούμε με τον όρο «ροή» (flow) όμως; Με αυτό τον όρο εκφράζουμε τη μεταφορά υλικών μεταξύ των διαφόρων στοιχείων της διαδικασίας. Για παράδειγμα προϊόντα που έχουν παρασκευαστεί πρέπει να μεταφερθούν από το εργοστάσιο στους εμπόρους αυτό στο Stock Flow diagram μοντελοποιείται σαν μια «ροή», η μεταφορά όμως δεν γίνεται αμέσως χρειάζεται λίγος χρόνος έως ότου ολοκληρωθεί. Τα περισσότερα πακέτα προσομοίωσης περιέχουν πολλές διαφορετικές συναρτήσεις για την υλοποίηση της “pipeline delay” το Vensim Ple μας παρέχει τις συναρτήσεις DELAY FIXED και DELAY MATERIAL.

Το διάγραμμα της εικόνας 43 παρουσιάζει ένα παράδειγμα στο οποίο εμφανίζεται το φαινόμενο της “pipeline delay”. Υπάρχει καθυστέρηση στη ροή που συνδέει τις δύο Stock μεταβλητές (Input stock , Output stock). Παρακάτω εμφανίζεται ο τρόπος σύνταξης της DELAY FIXED. Όπως βλέπουμε έχει τρία ορίσματα , το πρώτο εκφράζει την είσοδο της ροής στην οποία υπάρχει καθυστέρηση, το δεύτερο είναι ο χρόνος της καθυστέρησης .

DELAY FIXED (input, delay time, initial value)

Η μονάδα μέτρησης για το input και την initial value πρέπει να είναι κοινή, ενώ η μονάδα μέτρησης του delay time πρέπει να είναι ίδια με το TIME STEP του μοντέλου.



Σχήμα 2-55: Stock Flow diagram.

```
(01) delay input = TEST input
(02) delay output
    = DELAY FIXED(delay input, DELAY TIME, delay input)
(03) DELAY TIME = 10
(04) FINAL TIME = 40
(05) INITIAL TIME = 0
(06) Input Stock = INTEG(delay input, 10000)
(07) Output Stock = INTEG(delay output, 0)
(08) SAVEPER = TIME STEP
(09) TEST input = 100 + STEP(20, 10)
(10) TIME STEP = 0.5
```

Σχήμα 2-56: Αποτελέσματα προσομοίωσης για Pipeline Material Flow Delays.

2.11.2 Third Order Exponential Delays

Πέραν της παραπάνω περίπτωσης υπάρχει η πιθανότητα ο χρόνος καθυστέρησης να μην είναι σταθερός αλλά να μεταβάλλεται. Στο Vensim Ple παρέχεται η συνάρτηση DELAY3 για να μοντελοποιήσει αυτό που αναφέραμε προηγουμένως δηλαδή τη μεταβαλλόμενη καθυστέρηση. Παρακάτω εμφανίζεται η δήλωση της:

DELAY3 (input, delay time)

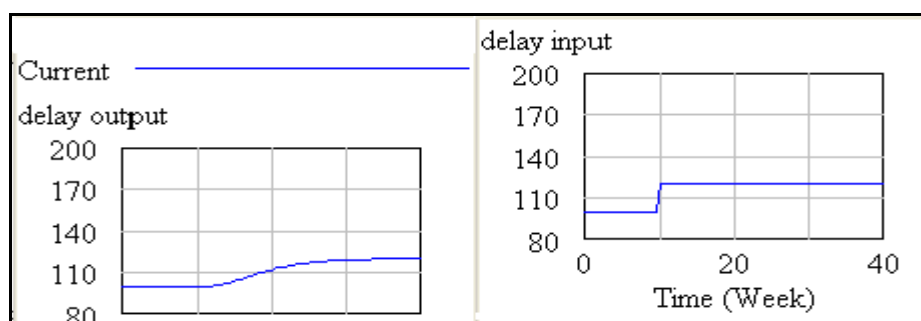
Η συνάρτηση αυτή δέχεται δύο ορίσματα. Το πρώτο όρισμα αντιστοιχεί στη μεταβλητή που υπόκειται τη καθυστέρηση και το δεύτερο εκφράζει το τη διάρκεια της καθυστέρησης.

Κάνοντας μια μικρή αλλαγή στο προηγούμενο παράδειγμα μπορούμε να διαπιστώσουμε τις επιδράσεις της συνάρτησης DELAY3 μοντέλο.

Η εξίσωση που χαρακτηρίζει τη μεταβλητή delay out αλλάζει και γίνεται:

Delay output= DELAY3 (delay input, DELAY TIME)

και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έχουν ως εξής:



Σχήμα 2-57 Γραφική απεικόνιση Third order delay

Στο παραπάνω Σχήμα βλέπουμε τη πορεία που έχουν οι τιμές των μεταβλητών delay input και output. Η γραφική παράσταση της delay input μοιάζει με τη βηματική συνάρτηση μέχρι τις πρώτες δέκα εβδομάδες η τιμή της παραμένει σταθερή (100), ενώ τη δέκατη εβδομάδα η τιμή μεταβάλλεται ακαριαία και αυξάνεται κατά 20 μονάδες (έχει πλέον τη τιμή 120), για τη μεταβλητή delay output η αλλαγή στη τιμή γίνεται με διαφορετικό τρόπο. Δεν έχουμε ακαριαία μεταβολή αλλά αντιθέτως η αύξηση γίνεται σταδιακά και μετά από ένα διάστημα 20 εβδομάδων περίπου αποκτά τη τιμή 120.

2.11.3 Information Averaging & Exponential Smoothing

Η διαδικασία εντοπισμού των βασικών αλλαγών που συμβαίνουν στα δεδομένα ενός μοντέλου που έχουμε δημιουργήσει αγνοώντας το στοιχείο της τυχαιότητας ή τις παροδικές διακυμάνσεις ονομάζεται averaging ή smoothing . Αυτή η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους που απαλλάσσουν το μοντέλο από φαινόμενα που δεν θέλουμε να υπάρχουν, είτε μπορούν απλώς να παραβλεφθούν χωρίς να απαιτείται να γίνει κάποια συγκεκριμένη ενέργεια. Είναι πολύ χρήσιμο σε ένα μοντέλο να μπορέσουμε να μοντελοποιήσουμε τη διαδικασία averaging. Είναι προφανές ότι όταν παίρνουμε αποφάσεις και λαμβάνουμε υπόψη μας το μέσο όρο και όχι τα τρέχοντα δεδομένα αναπόφευκτα θα οδηγηθούμε σε καθυστερημένη λήψη αποφάσεων. Για παράδειγμα σε ένα μοντέλο που προσομοιώνει τον τρόπο παραγγελίας ενός προϊόντος από το εργοστάσιο μπορούμε να βασιστούμε στο μέσο όρο (των τελευταίων μηνών) των πωλήσεων (οι παραγγελίες είναι ανάλογες των πωλήσεων , όσες περισσότερες οι πωλήσεις τόσο περισσότερες είναι και οι παραγγελίες προς το

εργοστάσιο) , παρά στις πωλήσεις του τρέχοντα μήνα αυτό έχει όμως ως αποτέλεσμα οι αποφάσεις που λαμβάνονται να μην βασίζονται σε updated δεδομένα (καθώς ο μέσος όρος των πωλήσεων προκύπτει από τους προηγούμενες μήνες χωρίς να υπολογίζονται ο τρέχων μήνας). Αυτές οι καθυστερήσεις φέρονται να έχουν συχνά επιδράσεις στην αποδοτικότητα μιας διαδικασίας. Η πιο γνωστή διαδικασία averaging είναι η moving average. Ο υπολογισμός του μέσου όρου σε αυτή τη διαδικασία είναι ιδιαίτερα απλός. Στο παράδειγμα που αναφέραμε προηγουμένως (παράδειγμα με τις παραγγελίες και τις πωλήσεις) ο μέσος όρος προκύπτει προσθέτοντας το πλήθος των πωλήσεων για κάθε μήνα που αποκτούμε τα δεδομένα, το άθροισμα αυτό στη συνέχεια το διαιρούμε με το πλήθος των μηνών για τα οποίους έχουμε συλλέξει δεδομένα. Κάθε φορά εισάγουμε στο μοντέλο στοιχεία για το τελευταίο μήνα ο μέσος όρος υπολογίζεται εκ νέου. Αυτή η διαδικασία είναι απλή, κατανοητή και εύχρηστη αλλά έχει ένα βασικό μειονέκτημα όλοι οι μήνες θεωρητικά έχουν την ίδια βαρύτητα στον υπολογισμό του μέσου όρου. Κάτι τέτοιο δεν είναι αποδεκτό καθώς αν διαθέτουμε στοιχεία για 100 μήνες είναι λογικό να μας ενδιαφέρουν περισσότερο οι πιο πρόσφατοι μήνες, καθώς οι τάσεις της αγοράς μεταβάλλονται συνεχώς στο πέρασμα του χρόνου. Το πώς κινήθηκαν οι πωλήσεις 90 μήνες πριν είναι ενδιαφέρον αλλά δεν πρέπει να διαδραματίζει βασικό ρόλο στη λήψη αποφάσεων 90 μήνες μετά. Επομένως, τα στοιχεία που συλλέγονται θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από μια βαρύτητα που ουσιαστικά θα χαρακτηρίζει τη σπουδαιότητα τους όσον αφορά τη λήψη αποφάσεων.

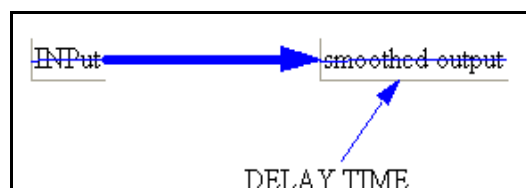
Μια διαδικασία υπολογισμού του μέσου όρου που δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στα πιο πρόσφατα δεδομένα ονομάζεται exponential smoothing. Σε αυτή τη διαδικασία κάθε δεδομένο που συλλέγεται έχει και μια αντίστοιχη βαρύτητα που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του μέσου όρου. Όσο πιο παλιά τα δεδομένα τόσο μικρότερη η βαρύτητα τους, ενώ τα πιο πρόσφατα συμβάλλουν περισσότερο στο μέσο όρο και καθώς ο χρόνος περνά η βαρύτητα των παλιών δεδομένων γίνεται ολοένα και μικρότερη. Το Vensim Ple χρησιμοποιεί τις συναρτήσεις SMOOTH και SMOOTHI για την υλοποίηση του exponential smoothing .

SMOOTH (input, averaging constant)

Η συνάρτηση SMOOTH όπως φαίνεται έχει δύο ορίσματα, το πρώτο όρισμα αντιπροσωπεύει την είσοδο που εξομαλύνεται και το δεύτερο εκφράζει το λόγο που έχουν μεταξύ τους οι βαρύτητες των διαδοχικών δεδομένων.

Αν για παράδειγμα έχουμε δεδομένα για δύο μήνες και γνωρίζουμε ότι ο λόγος βαρύτητας δύο διαδοχικών μηνών είναι 0.8 τότε έχουμε ότι: Για το πιο πρόσφατο μήνα τα δεδομένα έχουν βαρύτητα X για το προηγούμενο από αυτό το μήνα τα δεδομένα έχουν βαρύτητα Y οπότε $X/Y=0.8$. Μόλις προκύψουν δεδομένα για το καινούριο μήνα (τα δεδομένα του έχουν βαρύτητα Z) τότε αυτομάτως θα ισχύει ότι $Z/X=0.8$ και $Z/Y=0.64$.

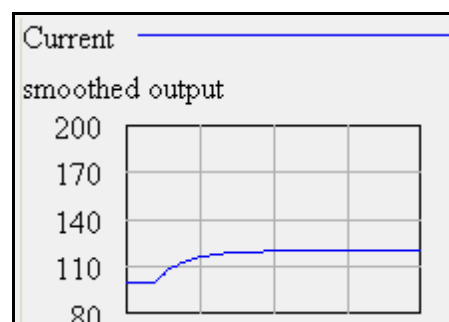
Παράδειγμα αυτής της διαδικασίας παρουσιάζεται στο παρακάτω Stock Flow diagram (σχήμα 2-58) , ενώ στο σχήμα 2-59 παρουσιάζονται οι εξισώσεις που χαρακτηρίζουν τα στοιχεία του διαγράμματος στο Vensim Ple.[10]



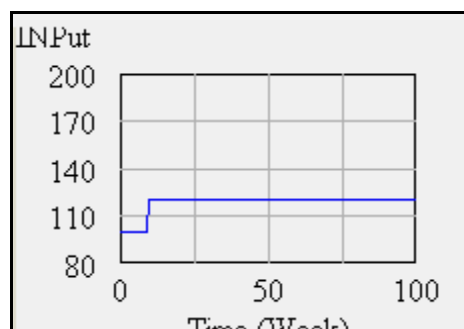
Σχήμα 2-58 Stock Flow diagram υλοποίησης Smooth συνάρτησης

```
(1) DELAY TIME = 10
(2) FINAL TIME = 100
(3) INITIAL TIME = 0
(4) INPut = 100 + STEP(20, 10)
(5) SAVEPER = TIME STEP
(6) smoothed output = SMOOTH(INPut, DELAY TIME)
(7) TIME STEP = 1
```

Σχήμα 2-59 Εξισώσεις στο Vensim Ple υλοποίησης Smooth συνάρτησης



Σχήμα 2-60 Γραφική απεικόνιση εξόδου της συνάρτησης Smooth



Σχήμα 2-61 Γραφική απεικόνιση εισόδου της συνάρτησης Smooth

2.12 Nonlinearities

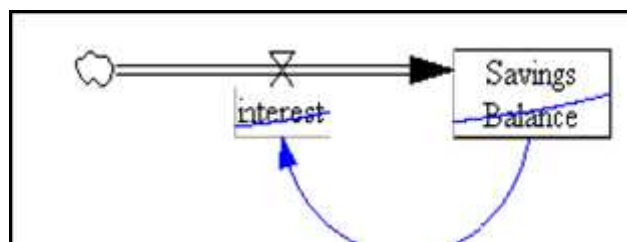
Μια διαδικασία χαρακτηρίζεται ως linear (η ελληνική απόδοση είναι γραμμική) όταν η απόκριση (response) της διαδικασίας είναι ανάλογη της αλλαγής (stimulus) που επιφέραμε. Για παράδειγμα αν διπλασιάσουμε τα κεφάλαια (stimulus) που έχουμε στη τράπεζα τότε θα διπλασιαστεί και το επιτόκιο (response). Αντίστοιχα, αν αυξήσουμε τις εργατοώρες μας κατά 10% τότε ελπίζουμε να αυξηθεί και η παραγωγή κατά 10%. Αυτές οι καταστάσεις χαρακτηρίζονται ως γραμμικές αποκρίσεις (linear responses). Μοντέλα που θεωρούν ότι η διαδικασία που αναπαριστούν είναι γραμμική μπορούν να μελετηθούν πολύ εύκολα καθώς οι μαθηματικές εξισώσεις και συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται είναι απλές και κατανοητές και μπορούν να επιλυθούν χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή όπως θα δούμε και στα επόμενα παραδείγματα. Επίσης, τέτοιου είδους μοντέλα μπορούν να αναπαραστήσουν πολλές διαδικασίες που έχουν εφαρμογή στο πραγματικό κόσμο ανεξαρτήτως των συνθηκών που επικρατούν. Οι παραπάνω λόγοι συντέλεσαν ουσιαστικά στη ευρεία διάδοση των γραμμικών μοντέλων.

Βέβαια πολλές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε επιχειρήσεις είναι μη-γραμμικές (non linear) ιδιαίτερα όταν οι συνθήκες ή τα δεδομένα που υπάρχουν επικρατούν ξεπερνούν κάποια όρια. Για παράδειγμα είναι όντως πιθανόν αν αυξήσουμε τις εργατοώρες κατά 10% να αυξηθεί και η παραγωγή κατά 10%, είναι το ίδιο πιθανόν όμως αν αυξήσουμε τις εργατοώρες κατά 50% να έχει την αντίστοιχη ανταπόκριση η παραγωγή; Αν προσπαθήσουμε να το κάνουμε αυτό (να διπλασιάσουμε τις εργατοώρες) το πιο πιθανό είναι να κουραστούν οι εργάτες και σταδιακά αντί να αυξηθεί η παραγωγή θα μειωθεί. Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μη γραμμικής απόκρισης (non linear response). Σε άλλες περιπτώσεις όμως όπως για παράδειγμα η φορολογία του

εισοδήματος, ή το επιτόκιο της αγοράς για τους τραπεζικούς λογαριασμούς οι μη γραμμικές αποκρίσεις σκόπιμα περιέχονται και σχεδιάζονται στο μοντέλο του συστήματος που ανήκουν. Ο φόρος του εισοδήματος παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση σε σχέση με την αύξηση του εισοδήματος, όπως αντίστοιχα και το επιτόκιο αυξάνεται πιο αργά σε σχέση με την αύξηση των καταθέσεων. Στις επόμενες υπό ενότητες θα παρουσιαστεί μέθοδο προσομοίωσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαχειριστεί τις μη γραμμικές αποκρίσεις που εμφανίζονται σε ένα σύστημα.

2.12.1 Μη γραμμικές αποκρίσεις (Nonlinear Responses)

Στο παράδειγμα της εικόνας περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο γίνονται τοκίζονται τα χρήματα μας στη τράπεζα. Το επιτόκιο είναι σταθερό στα 5% και έχοντας ένα αρχικό κεφάλαιο της τάξης των 900ευρο τα χρήματα μας σταδιακά αυξάνονται, με αποτέλεσμα μετά από 20 χρόνια οι καταθέσεις μας να είναι λίγο πάνω από τα 2400ευρο όπως φαίνεται και στη γραφική παράσταση της εικόνας (για την ακρίβεια 2438.85 ευρο). Η απόκριση σε αυτό το παράδειγμα είναι ο τόκος που παίρνουμε από τη τράπεζα σχετίζεται γραμμικά (αυτό φαίνεται και από την ομοιότητα που παρουσιάζουν στη γραφική τους παράσταση) με το αρχικό ποσό που είχαμε στον λογαριασμό μας.



Σχήμα 2-62: Stock Flow diagram παράδειγμα τοκισμό χρημάτων στη τράπεζα.

```
(1) FINAL TIME = 20
(2) INITIAL TIME = 0
(3) interest = 0.05 * Savings Balance
(4) SAVEPER = TIME STEP
(5) Savings Balance= INTEG (interest, 900)
(6) TIME STEP = 0.125
```

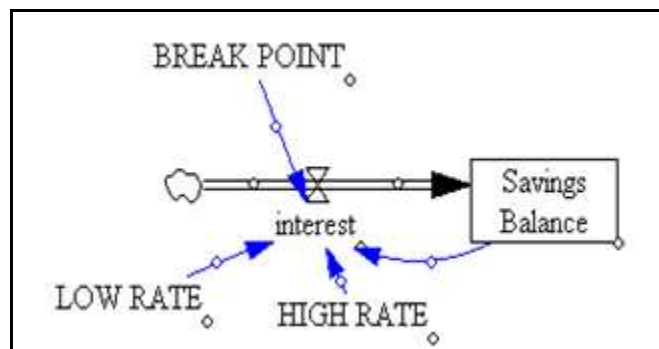
Σχήμα 2-63: Εξισώσεις στο Vensim ple παράδειγμα τοκισμό χρημάτων στη τράπεζα.

Στο παραπάνω παράδειγμα θεωρήσαμε ότι το επιτόκιο παραμένει σταθερό στο πέρασμα του χρόνου. Γνωρίζουμε ότι κάτι τέτοιο στη πραγματικότητα κάτι τέτοιο δεν ισχύει καθώς το επιτόκιο μεταβάλλεται ανάλογα με το ύψος των καταθέσεων. Υψηλότερες καταθέσεις οδηγούν σε υψηλότερο επιτόκιο και το αντίστροφο. Πάμε να δούμε πως μια τέτοια περίπτωση μοντελοποιείται στο Vensim Ple.

Υποθέτουμε ότι το επιτόκιο είναι 5% για καταθέσεις κάτω των πρώτα 1000 euro και αυξάνεται στο 10% για κάθε euro πάνω 1000euro (αυτές είναι οι συνθήκες που χαρακτηρίζουν το επιτόκιο). Επομένως, το επιτόκιο προκύπτει από τη παρακάτω σχέση.

$$\text{interest} = \begin{cases} 0.05 \times \text{Savings Balance}, & \text{Savings Balance} < \$1,000 \\ 0.05 \times 1,000 \\ +0.10 \times (\text{Savings Balance} - 1,000), & \text{otherwise} \end{cases}$$

Στο Stock Flow diagram του σχήματος 2-64 βλέπουμε πως μοντελοποιείται η διαδικασία τοκισμού του κεφαλαίου.



Σχήμα 2-64: Ανατοκισμός χρημάτων όταν το επιτόκιο μεταβάλλεται.

Η μεταβλητή LOW RATE αντιστοιχεί στο επιτόκιο του 5%, ενώ η μεταβλητή HIGH RATE αντιστοιχεί στο επιτόκιο του 10%. Το BREAK POINT αποτελεί το όριο των 1000 euro με βάση το οποίο μεταβάλλεται το επιτόκιο. Τέλος, όσον αφορά το επιτόκιο – interest- βλέπουμε ότι η εξίσωση της χαρακτηρίζεται από τη συνάρτηση IF THEN ELSE που δεν έχουμε δει μέχρι τώρα και χρησιμοποιείται για να περιγράψει τέτοιου είδους συνθήκες.

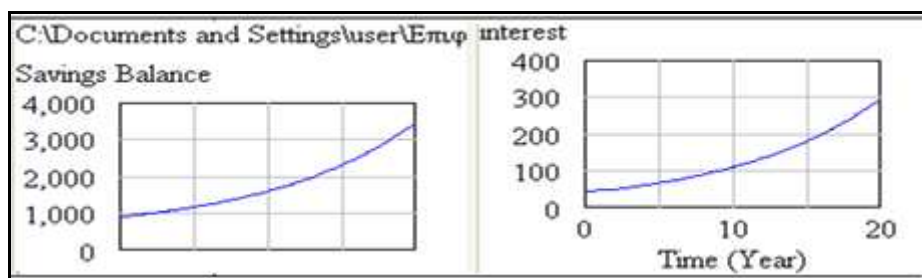
```
(1) FINAL TIME = 20
(2) INITIAL TIME = 0
(3) interest = 0.05 * Savings Balance
(4) SAVEPER = TIME STEP
(5) Savings Balance = INTEG (interest, 900)
(6) TIME STEP = 0.125
```

Σχήμα 2-65: Εξισώσεις Vensim ple ανατοκισμός χρημάτων όταν το επιτόκιο μεταβάλλεται.

IF THEN ELSE (cond, tval, fval)

Αυτός είναι ο τρόπος δήλωσης της συγκεκριμένης συνάρτησης. Δέχεται τρία ορίσματα στο πρώτο όρισμα βάζουμε τη συνθήκη η οποία αν ισχύει μας επιστρέφει true αλλιώς μας επιστρέφει false. Στο δεύτερο όρισμα προσδιορίζουμε τη τιμή που θα πάρει η μεταβλητή (που χαρακτηρίζει η συνάρτηση IF THEN ELSE) αν η συνθήκη είναι true και στο τρίτο όρισμα προσδιορίζουμε τη τιμή που θα πάρει η μεταβλητή αν η συνθήκη είναι false. Όλες οι υπόλοιπες εξισώσεις προκύπτουν εύκολα από τη δομή του μοντέλου.

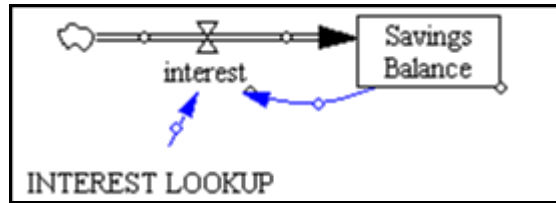
Στο παρακάτω Σχήμα εμφανίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.



Σχήμα 2-66: Αποτελέσματα προσομοίωσης για μεταβαλλόμενο επιτόκιο.

Από τις γραφικές παραστάσεις προκύπτει ότι μετά από 20 χρόνια το κεφάλαιο θα ανέρχεται στις 3.400euro ποσό μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό που προέκυψε όταν το επιτόκιο ήταν σταθερό στο 5%. Με μια πιο προσεκτική ματιά διαπιστώνουμε ότι οι καταθέσεις ξεπερνούν το όριο των 1000 euro το δεύτερο έτος.

Εκτός από την συνάρτηση IF THEN ELSE υπάρχει και η συνάρτηση Look up που χρησιμοποιείται και αυτή με τη σειρά της για να μοντελοποιήσει μη γραμμικές αποκρίσεις. Στη παρακάτω εικόνα χρησιμοποιούμε το ίδιο με πριν παράδειγμα με τη μόνη διαφορά ότι τη μη γραμμική απόκριση που υπάρχει την μοντελοποιούμε με τη συνάρτηση look up και όχι με την IF THEN ELSE (τη συνάρτηση αυτή την υλοποιούμε εισάγοντας μερικά ζευγάρια σημείων). Το πρόγραμμα προσομοίωσης δημιουργεί μια καμπύλη που διέρχεται από τα ζεύγη σημείων. Η καμπύλη αυτή χρησιμοποιείται για να επιλεγθούν οι κατάλληλες τιμές για να τρέξει η προσομοίωση.



Σχήμα 2-67: Μεταβαλλόμενο επιτόκιο Look up function.

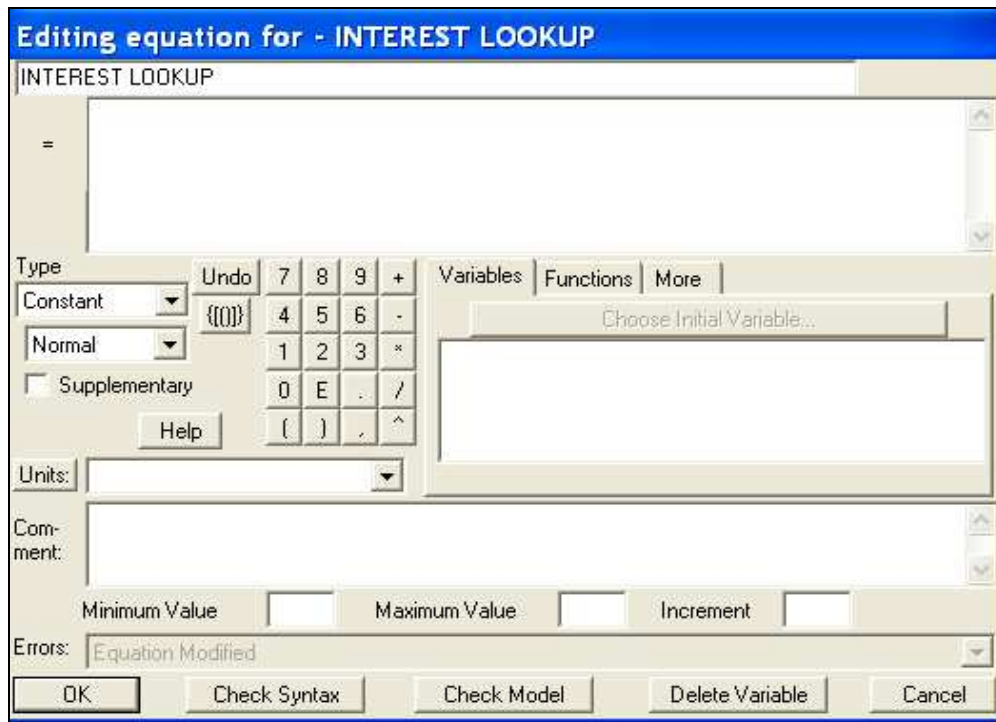
Στο σχήμα 2-67 βλέπουμε το Stock Flow diagram του παραδείγματος που μελετάμε μέχρι τώρα, η διαφορά με πριν είναι ότι εδώ χρησιμοποιούμε μια συνάρτηση Look up που τη δημιουργούμε εμείς οι ίδιοι τον τρόπο θα τον δούμε παρακάτω.

Ο εξισώσεις που χρησιμοποιούμε για τις υπόλοιπες μεταβλητές είναι ίδιες με προηγουμένως εμείς θα δείξουμε προσοχή τώρα στο πως κατασκευάζουμε μια Look Up συνάρτηση.

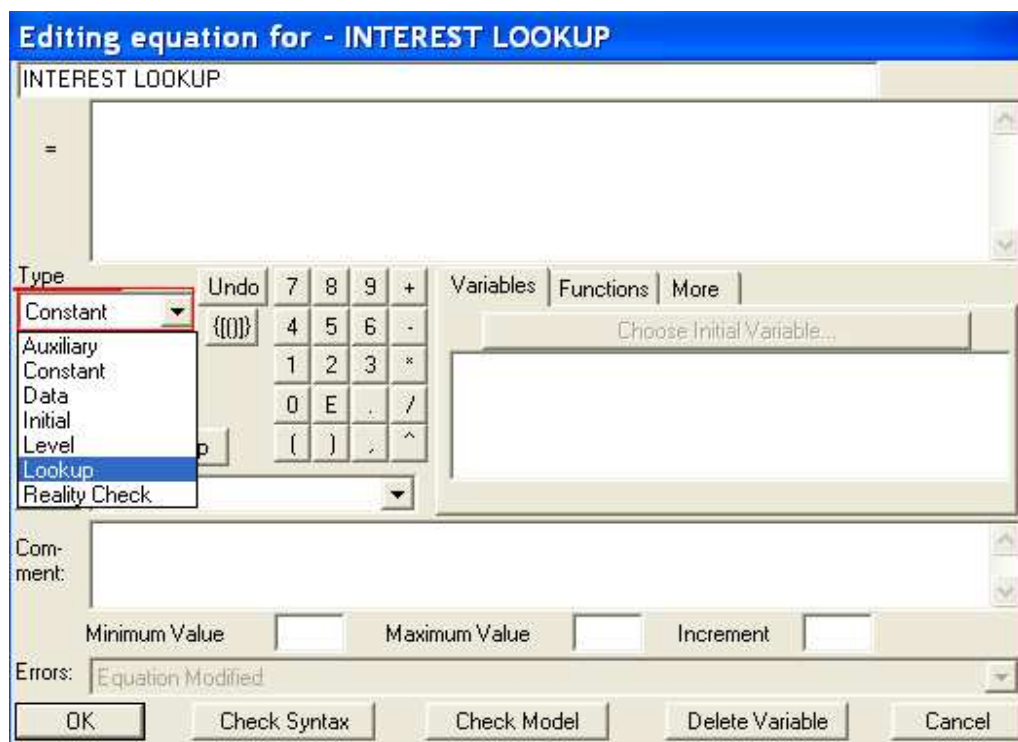
Τεχνική Συμβουλή: Δημιουργία Look Up συνάρτησης

Αρχικά, δημιουργούμε τη μεταβλητή με το όνομα INTEREST LOOKUP στο παράθυρο εργασίας. Εν συνεχεία, όταν έρθει η στιγμή να εισάγουμε τις εξισώσεις των στοιχείων του stock flow diagram κάνουμε αριστερό κλικ πάνω στο όνομα της συνάρτησης και ανοίγει μπροστά το παρακάτω παράθυρο (Σχήμα 2-68).

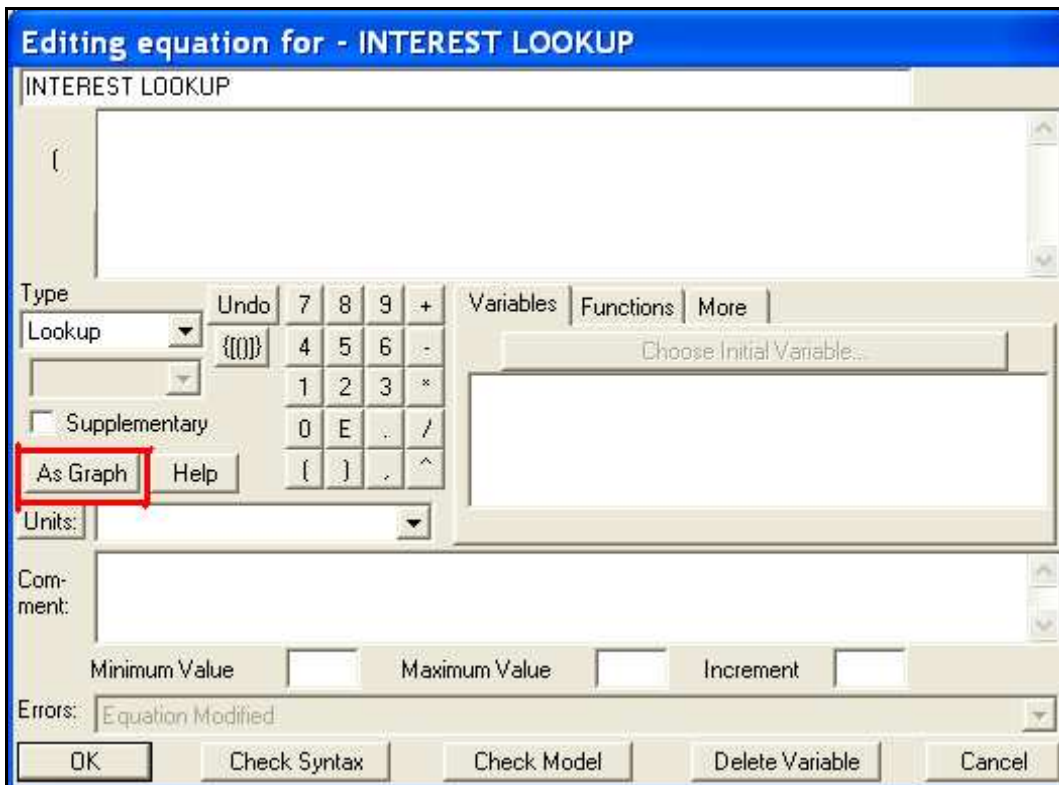
Εν συνεχεία, ορίζουμε το είδος της εξίσωσης που χαρακτηρίζει αυτή τη μεταβλητή είναι Lookup . Πως γίνεται αυτό; Επιλέγουμε από το μενού που βρίσκεται στο κόκκινο πλαίσιο (σχήμα-2.69) το τύπο look up. Κάνοντας κλικ στην επιλογή As Graph (σχήμα-2.70) εμφανίζεται στην οθόνη μας το παράθυρο της εικόνας IV. Στο κόκκινο πλαίσιο εισάγουμε τις συντεταγμένες των σημείων που θέλουμε, στο μωβ πλαίσιο εμφανίζονται τα ζεύγη που έχουμε εισάγει , ενώ στο μπλε πλαίσιο εμφανίζεται η γραφική παράσταση όπως προκύπτει από τα δεδομένα που έχουμε εισάγει. Ολοκληρώνοντας την εισαγωγή σημείων πατάμε OK.



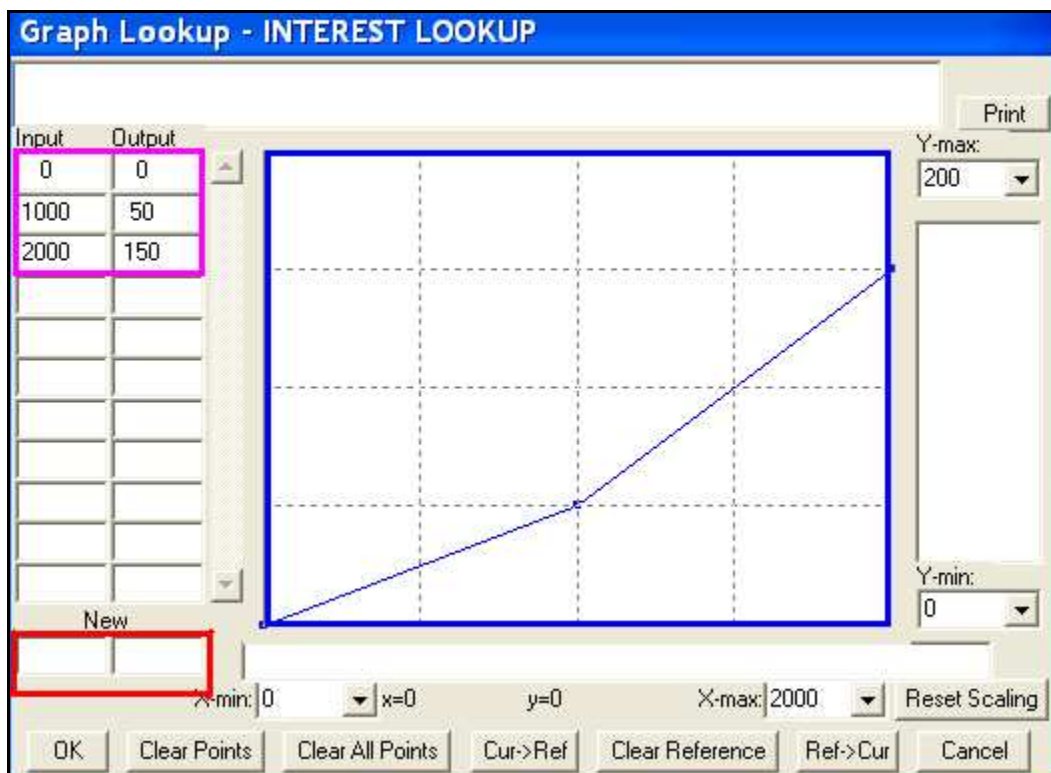
Σχήμα 2-68: Παράθυρο εισαγωγής εξίσωσης για την INTEREST.



Σχήμα 2-69: Προσδιορισμός τύπου συνάρτησης.

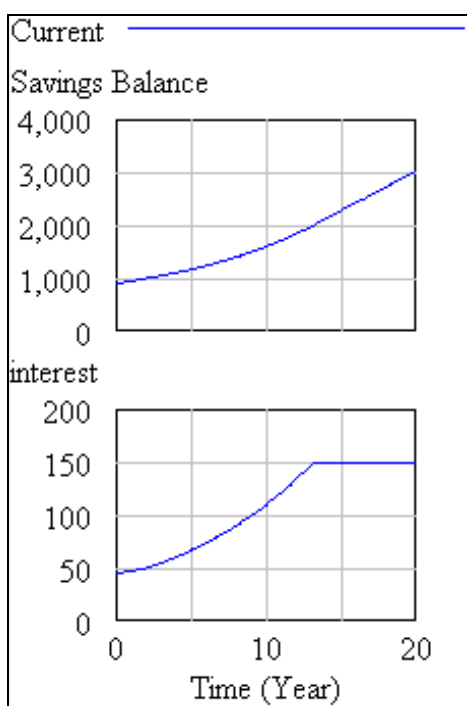


Σχήμα 2-70: Επιλογή As Graph για την εισαγωγή των ζευγών σημείων.

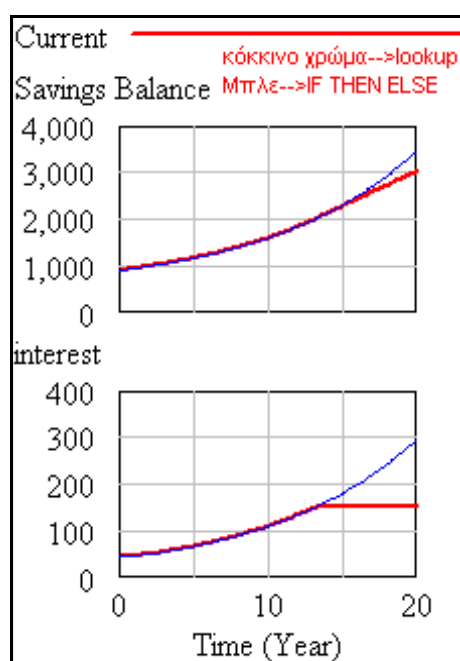


Σχήμα 2-71: Εισαγωγή σημείων και γραφική παράσταση συνάρτησης look up.

Όπως είδαμε η συνάρτηση INTEREST LOOKUP καθορίζεται από τρία ζεύγη συντεταγμένων (οι συντεταγμένες αυτές έχουν φυσική ερμηνεία που θα την αναλύσουμε αμέσως μετά). Τα ζεύγη αυτά εκφράζουν το επιτόκιο σε χρήματα ανάλογα με το ύψος των καταθέσεων πιο συγκεκριμένα αν οι καταθέσεις είναι 0ευρο τότε το επιτόκιο που παίρνουμε αντιστοιχεί σε 0ευρο, αν οι καταθέσεις που έχουμε ανέρχονται στα 1000 ευρο τότε το επιτόκιο που παίρνουμε αντιστοιχεί στα 50 ευρο, ενώ αν οι καταθέσεις μας είναι 2000 ευρο τότε παίρνουμε σαν επιτόκιο 150 ευρο.



Σχήμα 2-72: Εισαγωγή σημείων και γραφική παράσταση συνάρτησης look up.



Σχήμα 2-73: Εισαγωγή σημείων και γραφική παράσταση συνάρτησης look up.

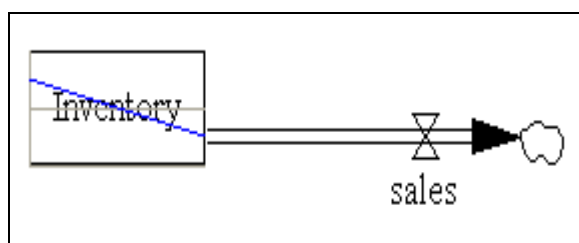
Στην εικόνα βλέπουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του μοντέλου που δημιουργήσαμε. Θα περίμενε κανείς ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που προκύπτουν στις δύο περιπτώσεις που μελετήσαμε (IF THEN ELSE, LOOK UP FUNCTION) ότι θα ήταν ακριβώς τα ίδια αλλά κάτι τέτοιο όπως φαίνεται και στο σχήμα 2-72 κάτι τέτοιο δεν ισχύει γεγονός που δηλώνει ότι χρησιμοποιώντας της Lookup συναρτήσεις εντοπίζονται κάποια προβλήματα. Για την ακρίβεια αυτό το οποίο διαπιστώνουμε στο παράδειγμα μας είναι ότι το χρηματικό ποσό που αντιστοιχεί στο επιτόκιο από ένα σημείο και μετά παραμένει σταθερό. Οι καταθέσεις ξεπερνούν το όριο των 2000 ευρο το 13ο χρόνο, όμως από το σημείο αυτό και μετά το επιτόκιο παραμένει

αμετάβλητο κάτι που κανονικά δεν θα έπρεπε να ισχύει. Το επιτόκιο παραμένει σταθερό καθώς όταν δημιουργήσαμε τη συνάρτηση INTEREST LOOKUP προσδιορίσαμε τη συμπεριφορά της για κεφάλαια μέχρι 2000euro και όχι παραπάνω, αν θυμόμαστε καλά το εύρος τιμών που είχαμε δώσει είναι από (0,0) έως (2000,150). Αν θέλουμε να είμαστε πιο ακριβής θα πρέπει να διευρύνουμε το εύρος τιμών.

Οι συναρτήσεις IF THEN ELSE και lookup έχουν ξεχωριστά τα δικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Όπως είδαμε και στα παραδείγματα που μελετήσαμε σε μια συνάρτηση IF THEN ELSE μπορούμε να συμπεριλάβουμε και σταθερές με αποτέλεσμα η ανάλυση ευαισθησίας να μπορεί να γίνει ξεχωριστά για κάθε μια από τις σταθερές BREAKPOINT, LOW RATE και HIGH RATE χρησιμοποιώντας τις αυτοματοποιημένες διαδικασίες του Vensim Ple. Από την άλλη οι look up συναρτήσεις μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν (σε αντίθεση με τις IF THEN ELSE που σε αυτές τις περιπτώσεις οδηγούν σε πιο πολύπλοκα μοντέλα) που έχουμε περισσότερα από ένα breakpoint, για παράδειγμα στο μοντέλο που κατασκευάσαμε το επιτόκιο να αλλάζε σε περισσότερες από δύο περιπτώσεις (επιπλέον να ίσχυε ότι αν το κεφάλαιο υπερέβαινε τις 5000euro το επιτόκιο να γινόταν 7,5%).

2.13 Περιορισμός Πόρων

Ένας ακόμα λόγος για τον οποίο υπάρχουν μη γραμμικές αποκρίσεις σε διαδικασίες του πραγματικού κόσμου είναι οι περιορισμοί στους διαθέσιμους πόρους (δεν έχουμε απεριόριστα κεφάλαια στη διάθεση μας, το πλήθος των εργατών που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στο τομέα παραγωγής είναι περιορισμένος κ.α).



Σχήμα 2-74 Stock Flow diagram παραδείγματος πωλήσεων προϊόντος (Περιορισμός πόρων).

```
(1) FINAL TIME = 20
(2) INITIAL TIME = 0
(3) Inventory = INTEG (-sales, 100000)
(4) sales = 10000
(5) SAVEPER = TIME STEP
(6) TIME STEP = 0.125
```

Σχήμα 2-75: Εξισώσεις στο Vensim Ple παραδείγματος πωλήσεων προϊόντος (Περιορισμός πόρων)

Στο σχήμα 2-74 μοντελοποιούμε την απλή διαδικασία πώλησης ενός προϊόντος. Θεωρούμε ότι έχουμε σαν απόθεμα 100.000 διαθέσιμες μονάδες από αυτό το προϊόν και ότι οι πωλήσεις έχουν σταθερό ρυθμό 10.000/εβδομάδα.

Προσομοιώνοντας το μοντέλο και εξετάζοντας τα αποτελέσματα διαπιστώνουμε τη ύπαρξη ενός πολύ σοβαρού προβλήματος, το διαθέσιμο απόθεμα που υπάρχει όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες που θα προκύψουν (το απόθεμα συνεχώς μειώνεται ενώ οι πωλήσεις παραμένουν σταθερές στις 10000/εβδομάδα). Με λίγα λόγια μετά την δέκατη εβδομάδα δεν θα υπάρχουν προϊόντα για πώληση. Στο διάγραμμα της παρακάτω εικόνας με κόκκινη γραμμή σημειώνεται την ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει η μεταβλητή Inventory (Απόθεμα). Οι αρνητικές τιμές που παίρνει στη συγκεκριμένη τιμή δεν έχουν φυσική ερμηνεία.

Η περίπτωση αυτή αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα ύπαρξης περιορισμού σε κάποιο από τους διαθέσιμους πόρους. Σημασία έχει τώρα από εδώ και πέρα να μπορέσουμε να μοντελοποιήσουμε αυτούς τους περιορισμούς.

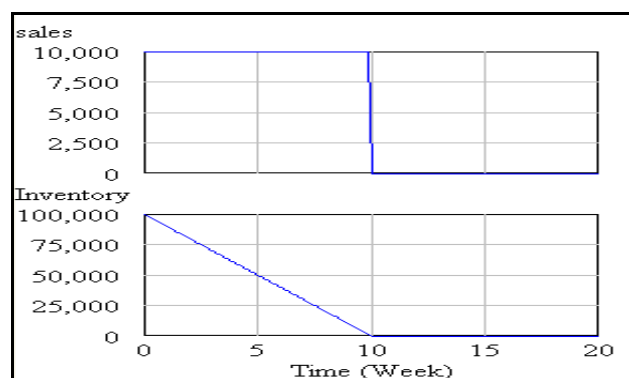


Σχήμα 2-76: Πορεία αποθέματος στο πέρασμα του χρόνου.

Αλλάζοντας την εξίσωση (04) (που προσδιορίζει τη συμπεριφορά των πωλήσεων) ως εξής:

$$\text{Sales} = \text{IF THEN ELSE} (\text{Inventory} > 0, 10000, 0)$$

Μοντελοποιούμε το περιορισμό που έχουμε, δηλαδή αν το απόθεμα γίνει ίσο με μηδέν αυτομάτως μηδενίζονται και οι πωλήσεις, με αυτό τον τρόπο αποφεύγουμε τις αρνητικές τιμές στο μοντέλο μας, αυτό αποτυπώνεται και στις γραφικές παραστάσεις που θα προκύψουν. Τέλος, για να εκτελεστεί σωστά η παραπάνω εξίσωση θα πρέπει να συσχετίσουμε το απόθεμα με τις πωλήσεις.[7]

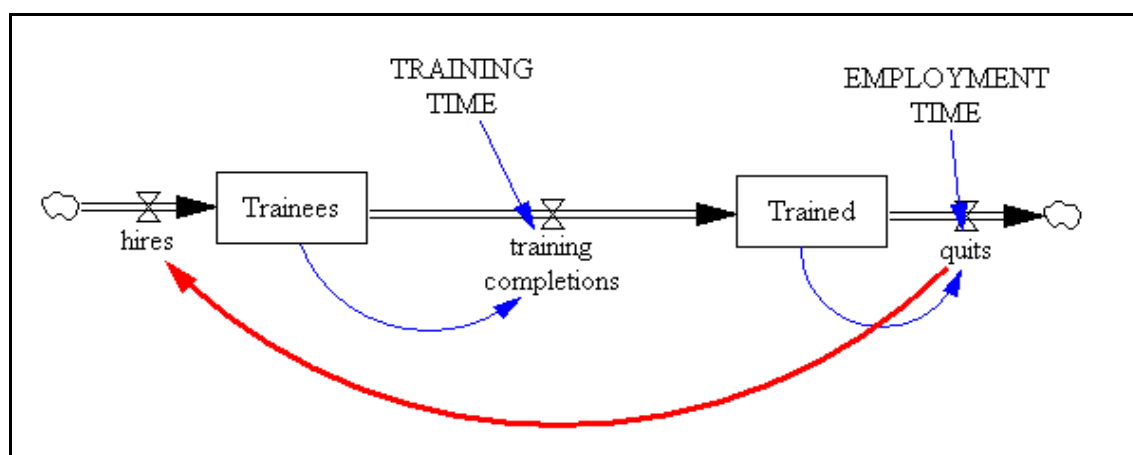


Σχήμα 2-77: Αποτέλεσμα προσομοίωσης.

2.14 Αρχικοποιώντας ένα μοντέλο σε ισορροπία

Για κάθε stock μεταβλητή θα πρέπει να δώσουμε μια αρχική τιμή, εν συνεχεία το Vensim Ple υπολογίζει τη πορεία που θα έχει αυτή η μεταβλητή στο πέρασμα του χρόνου. Τις περισσότερες φορές η επιλογή της αρχικής τιμής που θα δώσουμε σε μια stock μεταβλητή είναι εύκολη υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που απαιτείται αρκετή προσπάθεια. Εμείς σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουμε δύο παραδείγματα που η επιλογή των αρχικών τιμών δεν είναι προφανείς και απλές.

Πολλά μοντέλα περιέχουν διαδικασίες που βρίσκονται σε ισορροπία (equilibrium) , αυτό σημαίνει ότι οι τιμές των μεταβλητών δεν αλλάζουν. Συχνά το μοντέλο μιας διαδικασίας κατασκευάζεται προκειμένου να μελετήσουμε τις επιπτώσεις που θα προκύψουν από αλλαγές που θέλουμε να επιφέρουμε είτε στη δομή είτε στο τρόπο εκτέλεσης της διαδικασίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις το πρώτο πράγμα που κάνουμε είναι να δημιουργήσουμε το μοντέλο που περιγράφει τη διαδικασία. Αυτό απαιτεί το μοντέλο να βρίσκεται σε ισορροπία.

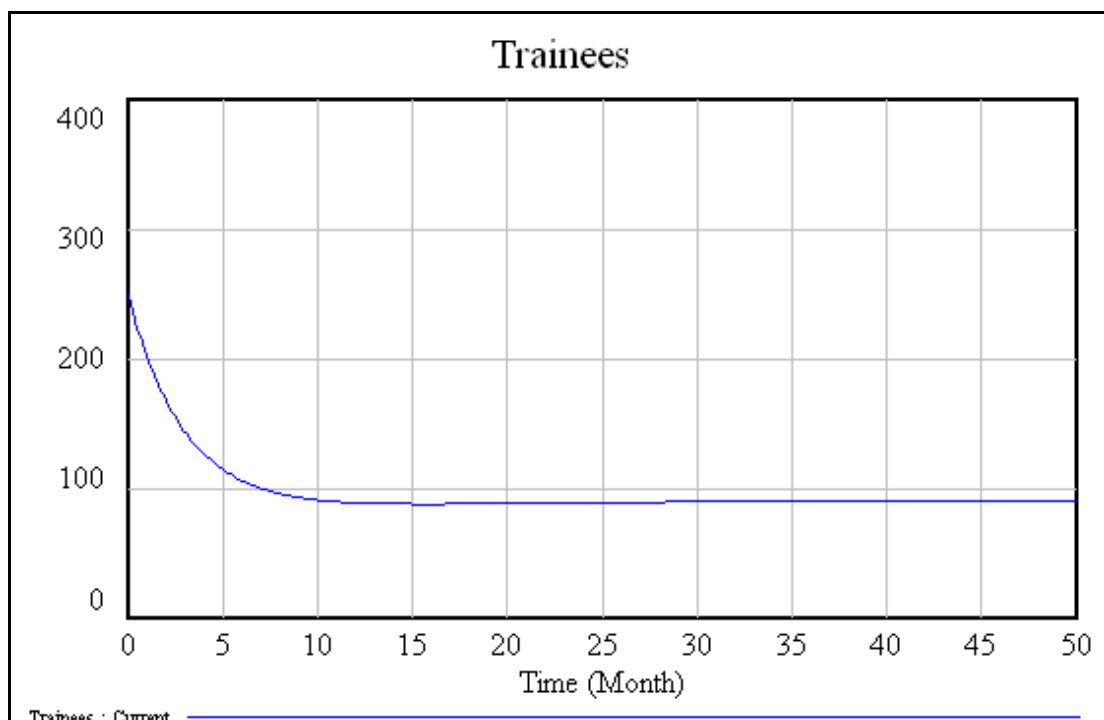


Σχήμα 2-78: Stock Flow diagram – Διαδικασία εκπαίδευσης προσωπικού.

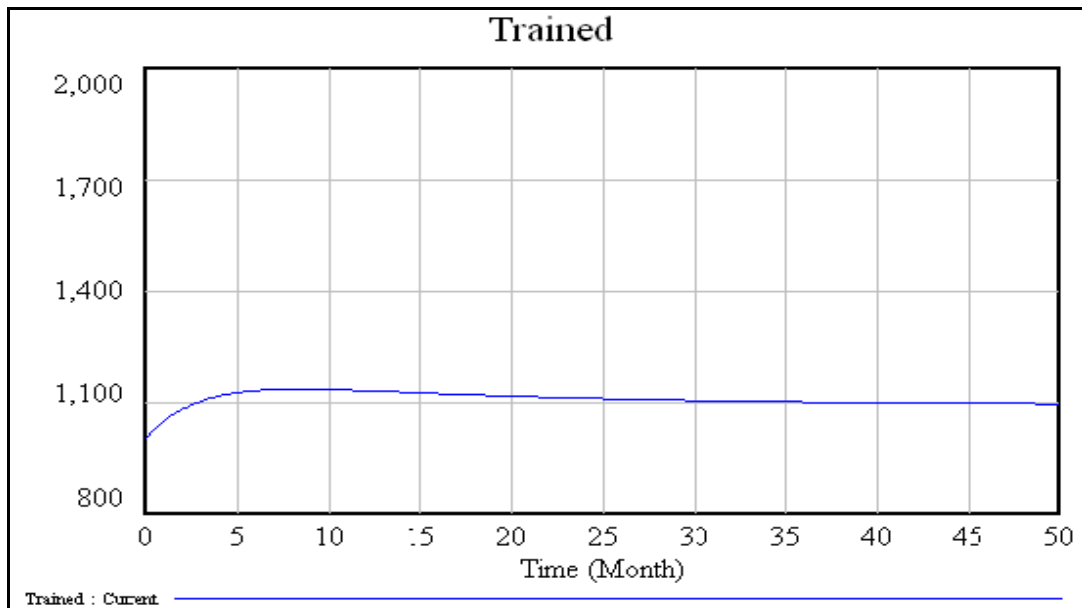
Το Stock Flow diagram της παραπάνω εικόνας περιγράφει τη διαδικασία εκπαίδευσης του προσωπικού μιας εταιρίας (από τη μια έχουμε τους εκπαιδευόμενους υπαλλήλους – Trainees – και από την άλλη αυτούς που έχουν εκπαιδευτεί – Trained). Οι εκπαιδευόμενοι εκπαιδεύονται για ένα διάστημα τριών μηνών περίπου και εν συνεχεία απασχολούνται για περίπου 36 μήνες κατά μέσο όρο έως ότου ολοκληρωθεί πλήρως οι εκπαίδευσή τους. Οι προσλήψεις (hires) γίνονται για να καλυφθούν τα άτομα που μετά

την εκπαίδευση τους φεύγουν από την εταιρία. Το πλήθος των ατόμων που προσλαμβάνονται προκύπτει από διαδικασία exponential averaging του πλήθους των ατόμων που φεύγουν (quits) τους τελευταίους 6 μήνες (περίπου 26 εβδομάδες). Θεωρούμε ότι όταν δημιουργούμε το μοντέλο υπάρχουν 1000 υπάλληλοι που έχουν περάσει το βασικό στάδιο εκπαίδευσης (trained) και 250 άτομα που εκπαιδεύονται (trainees).

Δημιουργώντας το μοντέλο και εισάγοντας τα δεδομένα που αναφέραμε παραπάνω παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα:



Σχήμα 2-79: Πορεία μεταβλητής Trainees.



Σχήμα 2-80: Πορεία μεταβλητής Trained.

Διαπιστώνουμε ότι οι τιμές των δύο αυτών μεταβλητών μεταβάλλονται στο πέρασμα του χρόνου κάτι που δεν πρέπει να συμβαίνει σε ένα σύστημα που βρίσκεται σε ισορροπία. Για να βρίσκεται το σύστημα σε ισορροπία καμία από τις μεταβλητές δεν πρέπει να μεταβάλλεται και αυτό σημαίνει ότι the inflows and outflows for each stock must be equal. Για το παράδειγμα μας αυτό συνεπάγεται ότι οι προσλήψεις –hires- θα πρέπει να είναι ίσος με τον αριθμό των ατόμων που έχουν ολοκληρώσει τη βασική εκπαίδευση (training completions) και αντίστοιχα τα άτομα που έχουν ολοκληρώσει τη βασική εκπαίδευση τους εκπαίδευση (training completions) πρέπει να είναι ίδια με τα άτομα που φεύγουν από την επιχείρηση (quits). Βλέπουμε όμως στην παρακάτω εικόνα στις εξισώσεις 5 και 10 ότι κάτι τέτοιο δεν ισχύει.

```

(01) EMPLOYMENT PERIOD = 36
(02) FINAL TIME = 50
(03) hires = SMOOTH(quits, 26)
(04) INITIAL TIME = 0
(05) quits = Trained / EMPLOYMENT PERIOD
(06) SAVEPER = TIME STEP
(07) TIME STEP = 0.125
(08) Trained = INTEG (+training completions-quits, 1000)
(09) Trainees = INTEG (hires-training completions, 250)
(10) training completions = Trainees / TRAINING PERIOD
(11) TRAINING PERIOD = 3

```

Σχήμα 2-81: Εξισώσεις Vensim Ple Παράδειγμα: Εκπαίδευση υπαλλήλων.

Επίσης, για να ισχύει η ισότητα μεταξύ των ροών “training completion” και “quits” θα πρέπει να:

$$\text{Trainees/TRAINING TIME} = \text{Trained} / \text{EMPLOYMENT TIME}$$

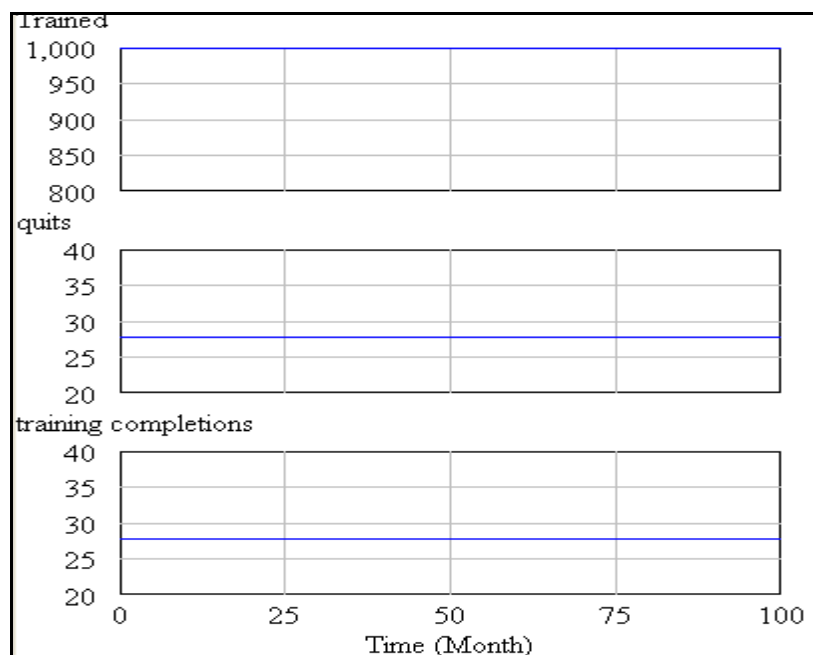
Και με βάση τα δεδομένα που έχουμε εισάγει στο πρόγραμμα θα έπρεπε να αληθεύει ότι η Stock μεταβλητή Trainees=1000 *(3/36)=83,3 μια αρχική τιμή που διαφέρει κατά πολύ σε σχέση με αυτή που εμείς δώσαμε (250).

Για να ισχύει η αρχική συνθήκη που αναφέραμε παραπάνω θα πρέπει να τροποποιήσουμε την εξίσωση (09) με τον εξής τρόπο

$$\text{Trainees} = \text{INTEG} (\text{hires- training completions}, \text{Trained} * (\text{TRAINING PERIOD} / \text{EMPLOYMENT PERIOD}))$$

με μπλε γράμματα αναγράφεται η αρχική τιμή της μεταβλητής Trainees. Από εδώ και πέρα το μοντέλο βρίσκεται σε ισορροπία.

Όσον αφορά τη ροή “hires” που η τιμή της προσδιορίζεται από τη συνάρτηση SMOOTH παρατηρούμε ότι η αρχική της τιμή είναι ίδια με αυτή της ροής “quits”. Το γεγονός ότι η διαδικασία βρίσκεται σε ισορροπία επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπως αυτά εμφανίζονται στην παρακάτω.



Σχήμα 2-82: Αποτελέσματα προσομοίωσης όταν το μοντέλο βρίσκεται σε ισορροπία.

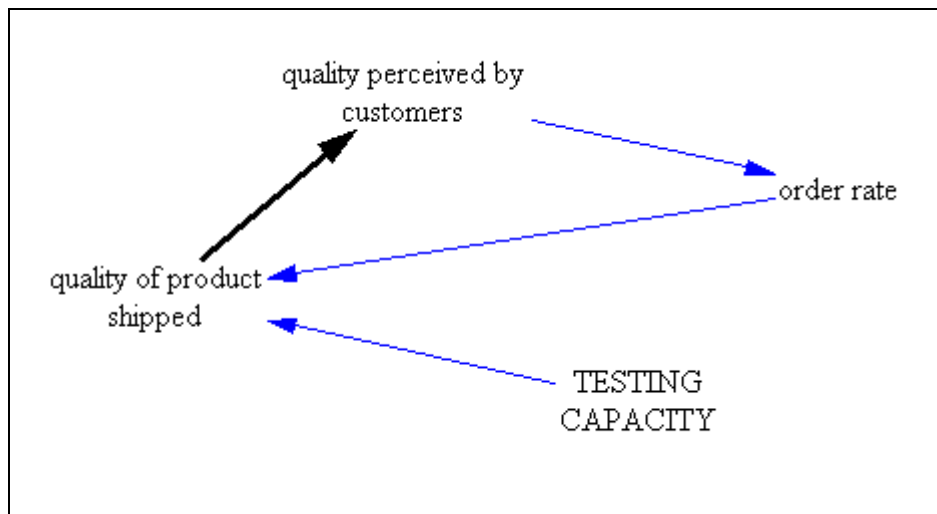
2.15 Simultaneous Initial Conditions

Ένα άλλο είδος προβλήματος που μπορεί να προκύψει κατά τον προσδιορισμό των αρχικών συνθηκών των μεταβλητών είναι η ύπαρξη «ταυτόχρονων εξισώσεων» ή simultaneous equations (στα μαθηματικά αυτός ο όρος εκφράζει την ύπαρξη ενός συνόλου εξισώσεων που περιλαμβάνουν περισσότερες από μία μεταβλητή. Επιλύοντας το σύστημα όπως γνωρίζουμε από τα μαθηματικά προκύπτει η τιμή των μεταβλητών. Το Vensim Ple όπως και τα υπόλοιπα προγράμματα προσομοίωσης δεν μπορούν να λύσουν αυτού του είδους τις εξισώσεις με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε στα μοντέλα μας. Οι simultaneous equations υπάρχουν συνήθως σε causal loop που περιέχουν αποκλειστικά βοηθητικές (auxiliary) μεταβλητές. Στη εικόνα 8.2.α βλέπουμε ένα τέτοιο παράδειγμα το οποίο αναπαριστά τον τρόπο με τον οποίο αξιολογείται η ποιότητα ενός προϊόντος.

Όπως βλέπουμε η ποιότητα του προϊόντος (quality of product shipped) εξαρτάται από τους ελέγχους ποιότητας (TESTING CAPACITY) που γίνονται στο προϊόν, ενώ ο ρυθμός των παραγγελιών (order rate) επηρεάζεται από τη γνώμη που διατυπώνουν οι πελάτες που το αγοράζουν (quality perceived by customers). Όταν η τιμή της μεταβλητής quality perceived by customers ισούται με ένα (η τιμή αυτή αντιστοιχεί στη καλύτερη ποιότητα που μπορεί να έχει το προϊόν με βάση μια κλίμακα που έχουμε φτιάξει για την αξιολόγηση του προϊόντος) τότε ο ρυθμός των παραγγελιών (order rate) κυμαίνεται στις 10000 μονάδες ανά μήνα. Προκειμένου το προϊόν που παρέχεται να έχει τη βέλτιστη ποιότητα θα πρέπει να περνά από τον απαραίτητο έλεγχο (TESTING CAPACITY) που στη προκειμένη περίπτωση αντιστοιχεί στις 10000 ώρες ανά μήνα. Επιπροσθέτως, η ποιότητα που αντιλαμβάνονται οι πελάτες είναι Exponential smoothing (με delay time 6 μήνες) της μεταβλητής quality of product shipped. Αυτός είναι ο λόγος που η μεταβλητή perception of product quality μεταβάλλεται πιο αργά σε σχέση με τη μεταβλητή product quality shipped.

Όλα φαίνονται σωστά στο μοντέλο, όπως φαίνεται και στην εικόνα 59 που αναγράφονται οι εξισώσεις των μεταβλητών δεν υπάρχει κάτι το αξιοπρόσεκτο, το μοντέλο θεωρητικά βρίσκεται σε ισορροπία (equilibrium). Όταν όμως πάμε να τρέξουμε τη προσομοίωση εμφανίζεται το παράθυρο του σχήματος 2-85 που περιέχει το ακόλουθο μήνυμα “Model

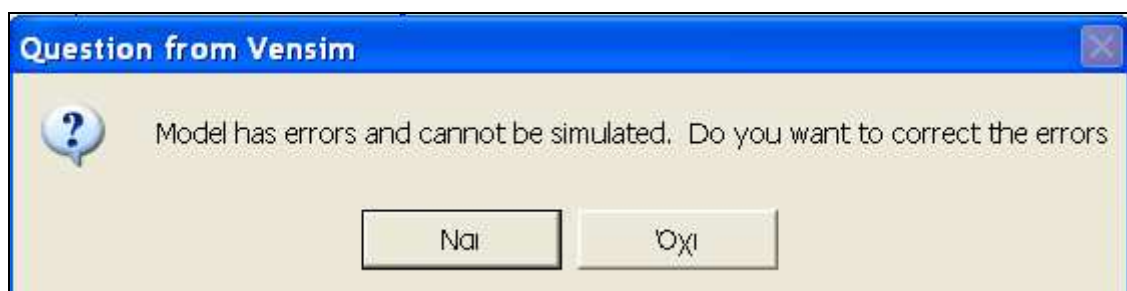
has errors and can not be simulated. Do you want to correct the errors?”. Αν επιλέξουμε Yes, τότε εμφανίζεται το παράθυρο του σχήματος 2-86.



Σχήμα 2-83: Stock Flow diagrams (simultaneous conditions).

```
(01) EMPLOYMENT PERIOD = 36
(02) FINAL TIME = 50
(03) hires = SMOOTH(quits, 26)
(04) INITIAL TIME = 0
(05) quits = Trained / EMPLOYMENT PERIOD
(06) SAVEPER = TIME STEP
(07) TIME STEP = 0.125
(08) Trained = INTEG (+training completions-quits, 1000)
(09) Trainees = INTEG (hires-training completions, 250)
(10) training completions = Trainees / TRAINING PERIOD
(11) TRAINING PERIOD = 3
```

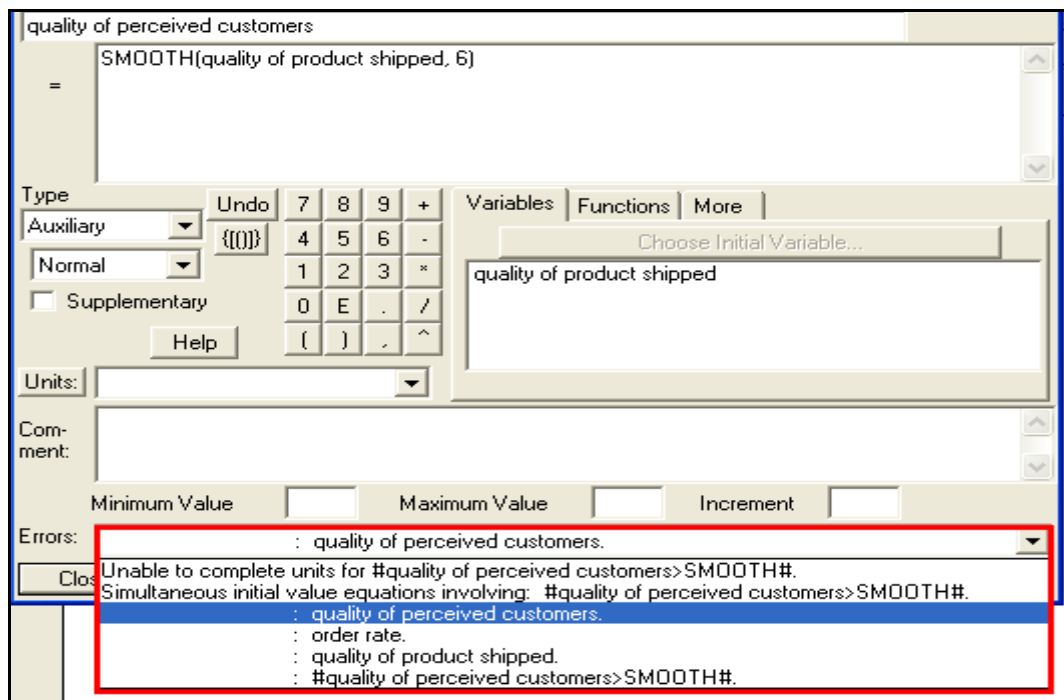
Σχήμα 2-84: Εξισώσεις Vensim Ple για το παράδειγμα (simultaneous conditions).



Σχήμα 2-85: Εμφάνιση μηνύματος σφάλματος.

Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι όταν το πρόγραμμα αδυνατεί προσπαθεί να επιλύσει το σύστημα που περιέχει τις μεταβλητές “quality perceived orders”, “order rate”,

“quality of product shipped”, παρόλο που γνωρίζουμε ότι οι εξισώσεις (σχήμα:2-84) που έχουμε εισάγει είναι έγκυρες.



Σχήμα 2-86: Εμφάνιση Παραθύρου για τη διόρθωση του σφάλματος.

Για να ξεπεράσουμε αυτά τα προβλήματα θα χρησιμοποιήσουμε τη συνάρτηση SMOOTH I που μας παρέχει το Vensim Ple. Πρόκειται για μια συνάρτηση που έχει την ίδια λειτουργικότητα με τη συνάρτηση SMOOTH με τη διαφορά όμως ότι σου δίνει τη δυνατότητα να καθορίσεις μια αρχική τιμή για την έξοδο της συνάρτησης (στη συνάρτηση SMOOTH η αρχική τιμή της εξόδου είναι ίδια με την αρχική τιμή της εισόδου). Έτσι λοιπόν αλλάζοντας της εξίσωση (05) ως εξής:

$$\text{Quality perceived by customers} = \text{SMOOTH I}(\text{quality of product shipped}, 6, 1)$$

Δηλώνουμε ότι η αρχική έξοδος της συνάρτησης SMOOTH είναι 1.[14]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Παραδείγματα Εφαρμογής Systems Dynamics

Στο τρίτο κεφάλαιο επιλέξαμε να μελετήσουμε παραδείγματα που περιλαμβάνουν ζητήματα που παρουσιάσαμε στα προηγούμενα κεφαλαία. Θα δούμε σε πραγματικές καταστάσεις πως η μέθοδος Systems Dynamics μπορεί να αξιοποιηθεί από μια επιχείρηση για την ανάλυση μιας διαδικασίας της προκειμένου να βρεθεί ο βέλτιστος τρόπος εκτέλεσης της. Η γνώση που έχουμε αποκτήσει μέχρι τώρα είναι απαραίτητη για την κατανόηση πιο σύνθετων και πολύπλοκων παραδειγμάτων.

3.1 Πρώτο Παράδειγμα: Future Electronics Company

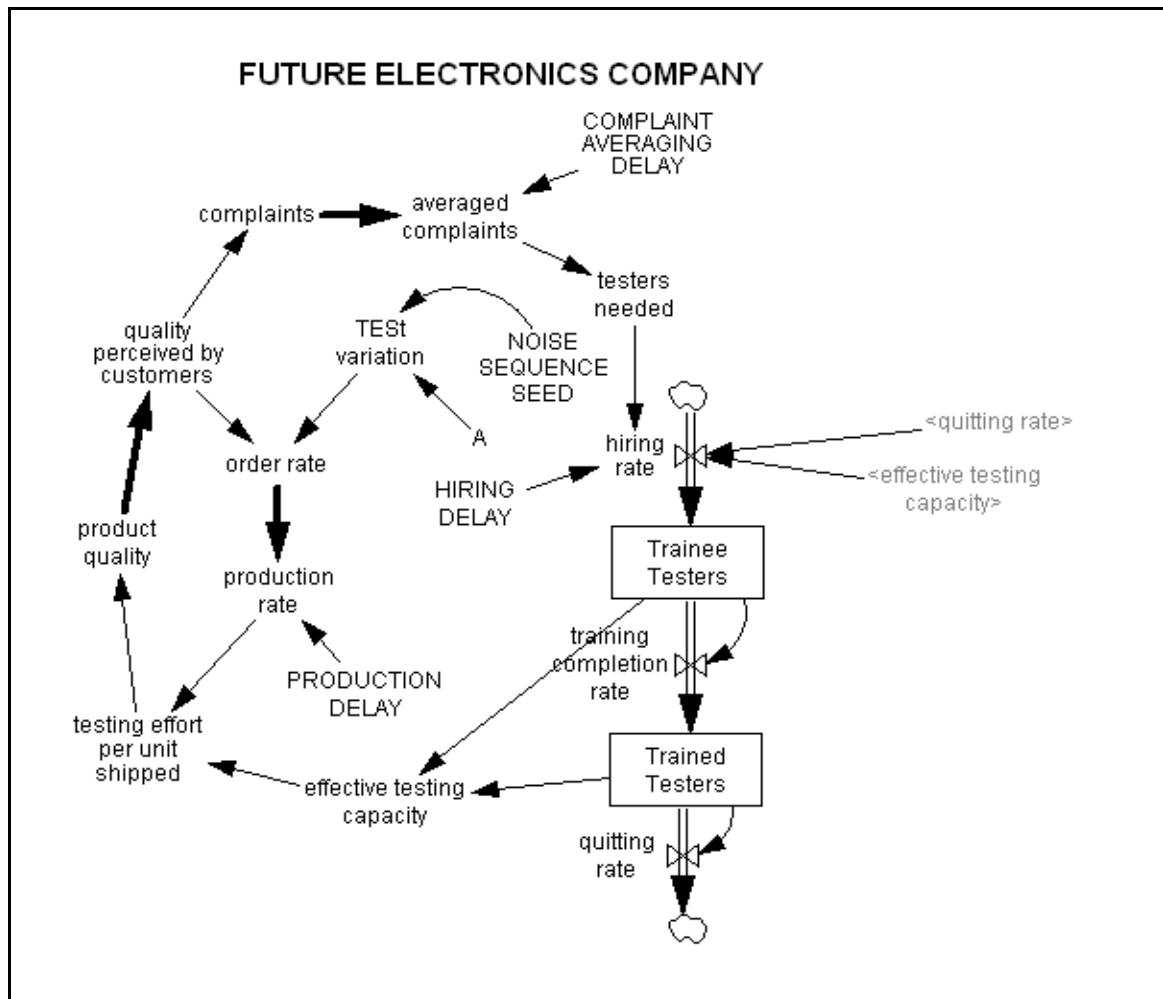
Η “Future Electronics Company” είναι μια μεσαίου μεγέθους εταιρία που κατασκευάζει ολοκληρωμένα κυκλώματα. Η διαδικασία παραγωγής αυτών των κυκλωμάτων είναι ιδιαίτερα δύσκολη και απαιτητική καθώς από το συνολικό πλήθος κυκλωμάτων που παράγονται μόνο το 30% με 50% μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτό ακριβώς λόγο όλα τα παραγόμενα προϊόντα υπόκεινται συστηματικό έλεγχο.

Τα στελέχη της εταιρίας ανησυχούν αρκετές φορές για την «εικόνα» που έχει η εταιρία στου πελάτες κυρίως για ζητήματα που αφορούν την αξιοπιστία της και τη ποιότητα των προϊόντων της. Ανά διαστήματα ζητούν από τους πελάτες τους να αξιολογήσουν την εταιρία τους προκειμένα να εντοπίσουν τα σημεία στα οποία υστερούν. Συχνά τα σχόλια των πελατών είναι ιδιαίτερα θετικά για θέματα που αφορούν την ποιότητα των κυκλωμάτων τους δεν συμβαίνει όμως το ίδιο για τη ταχύτητα και τον τρόπο παράδοσης των παραγγελιών. Οι πελάτες που συνήθως είναι κατασκευαστές προϊόντων υψηλής τεχνολογίας και δραστηριοποιούνται σε ένα έντονα ανταγωνιστικό περιβάλλον, όπου η ταχεία παραγωγή διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο, απαιτούν να παραλαμβάνουν τις πρώτες ύλες τους έγκαιρα χωρίς καθυστερήσεις και όταν η “Future Electronics Company” καθυστερεί να τους εξυπηρετήσει στρέφονται σε άλλους προμηθευτές (παρόλο που τα προϊόντα τους είναι υποδεεστέρα) για να καλύψουν τις ανάγκες τους. Επίσης, έχει διαπιστωθεί ότι ορισμένοι πελάτες της “Future Electronics Company” κατά καιρούς επιστρέφουν πίσω πολλά προϊόντα ως ελαττωματικά, ενώ σε άλλες περιόδους επιστρέφουν πολύ λιγότερα..

Η διοίκηση της “Future Electronics Company” ενδιαφέρεται πλέον πάρα πολύ για την εικόνα της από τη στιγμή που υπάρχουν παράπονα για καθυστερήσεις και επιστροφές ελαττωματικών προϊόντων. Για αυτό το λόγο προσλαμβάνουν προσωπικό έτσι ώστε οι ποιοτικοί έλεγχοι των προϊόντων να γίνουν ακόμα πιο σχολαστικοί. Η απόφαση για τη πρόσληψη προσωπικού που θα ασχοληθεί με τους ποιοτικούς ελέγχους καθορίζεται από δύο βασικούς παράγοντες: πρώτα από το πλήθος των παραπόνων που διατυπώνονται από τους πελάτες και δεύτερον από τον αριθμό των εργαζόμενων τη κάθε χρονική στιγμή.

Το προσωπικό που προσλαμβάνεται για τη διεξαγωγή των ελέγχων θα πρέπει πρώτα να εκπαιδευτεί για ένα διάστημα μερικών μηνών προτού κατανοήσει πλήρως τις πολύπλοκες διαδικασίες της εταιρίας. Οι ελεγκτές (testers) που εκπαιδεύονται δεν ελέγχουν αμέσως προϊόντα που είναι έτοιμα για αποστολή στους πελάτες καθώς σε αυτή τη περίπτωση η πιθανότητα να συμβεί κάποιο λάθος είναι αυξημένη. Οι νέοι ελεγκτές εκπαιδεύονται από έμπειρο προσωπικό. Η εκπαίδευση ενός υπαλλήλου είναι μια αρκετά χρονοβόρα διαδικασία καθώς ένας έμπειρος υπάλληλος που έχει αρκετά μεγάλο φόρτο εργασίας θα πρέπει να αφιερώσει περίπου το 50% του χρόνου για να εκπαιδεύσει σωστά κάποιον άλλον. Η πολιτική της εταιρίας είναι ενάντια στην απόλυση των ατόμων που διεξάγουν τους ελέγχους σταδιακά όμως το πλήθος των ελεγκτών μειώνεται. Μετά την ολοκλήρωση της εκπαίδευσης τους οι ελεγκτές παραμένουν στην εταιρία για ένα μέσο χρονικό διάστημα τριών χρόνων.

Το πλήθος των ελεγκτών που απασχολεί η εταιρία εξαρτάται άμεσα από τη παραγωγή της, όσο μεγαλύτερη η παραγωγή τόσο περισσότεροι ελεγκτές θα πρέπει να εργάζονται. Επίσης, και ο χρόνος για έλεγχο που αφιερώνεται σε κάθε προϊόν εξαρτάται από τα επίπεδα της παραγωγής σε κάθε χρονική περίοδο. Η μονάδα μέτρησης χρόνου είναι οι μήνες. Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το Stock Flow diagram που μοντελοποιεί τον τρόπο λειτουργίας της εταιρίας, ενώ στην εικόνα παρουσιάζονται οι εξισώσεις που χαρακτηρίζουν τις μεταβλητές του μοντέλου.



Σχήμα 3-1: Stock Flow diagram – Παράδειγμα Future Electronics Company.

```

(01) A = 0
(02) averaged complaints
      = SMOOTH(complaints, COMPLAINT AVERAGING DELAY)
(03) COMPLAINT AVERAGING DELAY = 2
(04) complaints = (3 / quality perceived by customers) - 2
(05) effective testing capacity = Trained Testers
      - 0.5 * Trainee Testers
(06) FINAL TIME = 120
(07) HIRING DELAY = 2
(08) hiring rate
      = MAX(0, quitting rate
      + (testers needed - effective testing capacity) / HIRING DELAY)
(09) INITIAL TIME = 0
(10) NOISE SEQUENCE SEED = 1013
(11) order rate = 10000 * quality perceived by customers
      * (1 + TEST variation)
(12) product quality
      = IF THEN ELSE(testing effort per unit shipped < 0.01,
      100 * testing effort per unit shipped,
      1 + 10 * (testing effort per unit shipped - 0.01))
(13) PRODUCTION DELAY = 3
(14) production rate
      = DELAY FIXED(order rate, PRODUCTION DELAY, order rate)
(15) quality perceived by customers
      = SMOOTHI(product quality, 6, 1)
(16) quitting rate = Trained Testers / 36
(17) SAVEPER = TIME STEP
(18) TEST variation = STEP(0.2, 5) * ((1 - A) + A
      * RANDOM UNIFORM(-0.5, 0.5, NOISE SEQUENCE SEED))
(19) testers needed = IF THEN ELSE(averaged complaints < 0.5,
      0, 200 * (averaged complaints - 0.5))
(20) testing effort per unit shipped
      = effective testing capacity / production rate
(21) TIME STEP = 0.125
(22) Trained Testers
      = INTEG(+training completion rate - quitting rate,
      100 * 24 / 23)
(23) Trainee Testers
      = INTEG(hiring rate - training completion rate,
      (3/36) * (100 * 24 / 23))
(24) training completion rate = Trainee Testers / 3

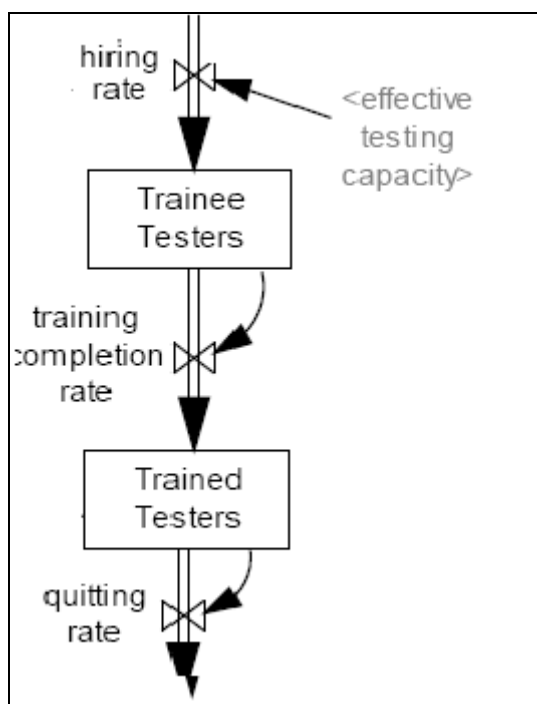
```

Σχήμα 3-2: Εξισώσεις στο Vensim Ple για τη παραμετροποίηση του μοντέλου (Future Electronics Company) .

Ανάλυση Εξισώσεων

Στο σημείο αυτό θα προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε τον τρόπο με τον οποίο επιλέχθηκαν οι παραπάνω εξισώσεις καθώς και τη λειτουργικότητα που εξυπηρετούν για τη σωστή προσομοίωση της διαδικασίας.

Πρώτα από όλα διαπιστώνουμε ότι στο Stock Flow diagram υπάρχουν μόνο δύο Stock μεταβλητές (Trainee Testers, Trained Testers) , ενώ όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές είτε είναι σταθερές (οι ονομασίες τους γράφονται με κεφαλαία γράμματα) είτε είναι βοηθητικές μεταβλητές (auxiliary). Η προσομοίωση θα ξεκινήσει τη χρονική στιγμή μηδέν και θα ολοκληρωθεί μετά από 120 μήνες (εξίσωση 09 και 06). Οι μεταβλητές Trainee Testers και Trained Testers αποτελούν τα συστατικά στοιχεία μιας υπό - διαδικασίας που υπάρχει στο μοντέλο μας. Η διαδικασία αυτή είναι η εκπαίδευση των εργαζομένων που θα εξεταστεί αμέσως τώρα.



Σχήμα 3-3 Αναπαράσταση διαδικασία εκπαίδευσης ελεγκτών.

Γνωρίζουμε ότι μια διαδικασία βρίσκεται σε ισορροπία όταν οι μεταβλητές που την αποτελούν δεν μεταβάλλονται στο πέρασμα του χρόνου και παραμένουν σταθερές . Στη

περίπτωση μας από τη μια πλευρά έχουμε τους νέους ελεγκτές (Trainee Testers) που εκπαιδεύονται για ένα διάστημα περίπου τριών μηνών (η διαδικασία εκπαίδευση τους εκφράζεται μέσω της μεταβλητής training completion rate) και από την άλλη έχουμε τους ελεγκτές που έχουν περάσει το στάδιο της βασικής εκπαίδευσης (Trained Testers), σταδιακά η εμπειρία τους αυξάνεται και παραμένουν στην εταιρία για ένα χρονικό διάστημα που κατά μέσο όρο αγγίζει τα τρία έτη (36 μήνες). Οι εταιρία κατά διαστήματα προσλαμβάνει νέο προσωπικό (η flow μεταβλητή hiring rate χρησιμοποιείται για να εκφράσει το πλήθος των προσλήψεων που πραγματοποιεί η εταιρία) είτε για να καλύψει τα κενά που δημιουργούνται από την αποχώρηση υπαλλήλων (quitting rate) είτε επειδή η παραγωγή έχει αυξηθεί αρκετά με αποτέλεσμα να απαιτούνται περισσότεροι ελεγκτές ώστε ο έλεγχος των προϊόντων να γίνεται χωρίς πολλές καθυστερήσεις. Για να είναι λοιπόν η διαδικασία σε ισορροπία –equilibrium- θα πρέπει οι μεταβλητές Trainee Testers και Trained Testers να μην μεταβάλλονται για αυτό το λόγο θα πρέπει να δείξουμε μεγάλη προσοχή στις αρχικές τους τιμές. Επιπροσθέτως, η διασφάλιση της σταθερότητας των τιμών των δύο αυτών μεταβλητών απορρέει από το κανόνα που είχαμε διατυπώσει στο δεύτερο κεφάλαιο ενότητα 8.1 “the inflows and outflows for each stock must be equal”, στο μοντέλο μας αυτό σημαίνει ότι η flow μεταβλητή “hires” πρέπει να είναι ίση με τη flow μεταβλητή “training completion rate” και αντίστοιχα η flow μεταβλητή “training completion rate” πρέπει να είναι ίση με τη flow μεταβλητή “quitting rate” σημειώνουμε δε ότι η μονάδα μέτρησης για όλες αυτές τις μεταβλητές είναι κοινή (αριθμός υπαλλήλων). Όλα αυτά που περιγράψαμε παραπάνω αποτυπώνονται συνοπτικά στις εξισώσεις της εικόνας . Η εξίσωση (24) εκφράζει τη τιμή της μεταβλητής training completion rate που ισούται με τη Trainee Testers/3, η μεταβλητή αυτή όπως βλέπουμε αντιπροσωπεύει το ρυθμό με τον οποίο ολοκληρώνεται η εκπαίδευση των ελεγκτών (η εκπαίδευση τους διαρκεί περίπου τρεις μήνες από εκεί προκύπτει και ο παρανομαστής του κλάσματος της εξίσωσης (24). Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει με τη μεταβλητή “quitting rate” εξίσωση (16) που εκφράζει το ρυθμό που αποχωρούν οι υπάλληλοι από την εταιρία μετά από ένα διάστημα 36 μηνών περίπου, η εξίσωση που υπάρχει σε αυτό το σημείο είναι εύκολα κατανοητή και δεν απαιτείται περαιτέρω επεξήγηση. Οι δύο αυτές εξισώσεις θα πρέπει να αξιοποιηθούν ώστε να εξασφαλιστεί η σταθερότητα του μοντέλου. Προηγουμένως είχαμε αναφέρει ότι training completion= quitting rate («συνθήκη ισορροπίας» για τη μεταβλητή Trainee Testers) αυτό σημαίνει ότι Trainees testers /3=Trained testers /36 από την επίλυση αυτού του συστήματος προκύπτει η αρχική

τιμή για τη stock μεταβλητή Trainee Testers. Για να μην χρειάζεται να κάνουμε τόσο πολύπλοκους υπολογισμούς με το χέρι χρησιμοποιούμε την εξίσωση (22).

$$(22) \text{ Trained Testers} = \text{INTEG}(\text{+training completion rate} - \text{quitting rate}, 100 * 24 / 23)$$

Σχήμα 3-4 Εξίσωση μεταβλητής Trained Testers.

Το ολοκλήρωμα έχουμε εξηγήσει πως προκύπτει, το μόνο που θα πρέπει να σημειώσουμε είναι ότι η παράσταση $(100 * 24 / 23)$ εκφράζει την αρχική τιμή της μεταβλητής Trained Testers. Έχοντας καθορίσει τη τιμή της μεταβλητής Trained Testers εύκολα προκύπτει η εξίσωση για την Trainee Testers.

Συνεχίζουμε μελετώντας και τις υπόλοιπες μεταβλητές του μοντέλου

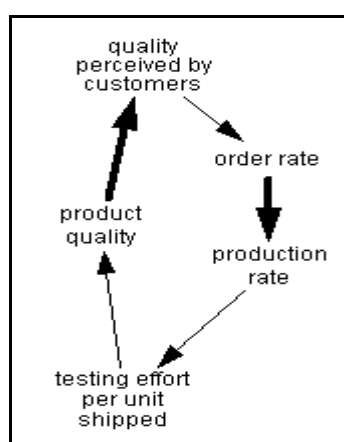
Η βοηθητική μεταβλητή effective testing capacity εκφράζει το πραγματικό πλήθος των ελεγκτών που ασχολούνται με τον έλεγχο των προϊόντων που παράγονται. Είχαμε αναφέρει στη συνοπτική παρουσίαση του project ότι ένας έμπειρος ελεγκτής θα πρέπει να αφιερώσει το 50% του εργασιακού του χρόνου για την εκπαίδευση ενός νέου ελεγκτή, γεγονός που έχει ως συνέπεια τη μείωση του αριθμού των εργαζομένων που ασχολούνται με τη διεξαγωγή των ελέγχων. Η εξίσωση (05) περιγράφει αυτό ακριβώς που περιγράψαμε, αρχικά υπάρχει ένας αριθμός ελεγκτών που εργάζεται στη παραγωγή και κάποιοι από αυτούς (το πλήθος αυτό είναι ίσο με το πλήθος των ελεγκτών που εκπαιδεύονται) θα πρέπει να αφιερώσουν το 50% του χρόνου τους για την εκπαίδευση των νέων υπαλλήλων, κατ' αυτό τον τρόπο προκύπτει εξίσωση. Η σταθερά PRODUCTION DELAY (εξίσωση 13) εκφράζει τη καθυστέρηση που υπάρχει για τη παραγωγή των προϊόντων που έχουν παραγγείλει οι πελάτες στο εργοστάσιο. Ενώ η σταθερά HIRING DELAY (εξίσωση 07) εκφράζει το χρόνο που απαιτείται για τη πρόσληψη νέων υπαλλήλων από τη στιγμή που διαπιστωθεί ότι αυτοί χρειάζονται).

Η flow μεταβλητή hiring rate μοντελοποιεί τα τρόπο με τον οποίο γίνονται οι προσλήψεις από την εταιρία. Η τιμή της μεταβλητής είναι απόρροια συνισταμένης δράσης δύο παραγόντων: του πλήθους των ελεγκτών που φεύγουν από την εταιρία και δεύτερο από τις απαιτήσεις που προκύπτουν από τη παραγωγή. Υπάρχει βεβαίως η πιθανότητα να μην απαιτείται καμία πρόσληψη. Για αυτό το λόγο στην εξίσωση (08) χρησιμοποιείται η συνάρτηση MAX που ουσιαστικά συγκρίνει τα δύο ορίσματα της συνάρτησης. Με αυτό

τον τρόπο αποφεύγονται και οι αρνητικές τιμές που πιθανό μπορεί να πάρει η μεταβλητή στη περίπτωση που οι διαθέσιμοι ελεγκτές είναι περισσότεροι από αυτούς που πραγματικά χρειάζονται τη δεδομένη χρονική στιγμή.

Στην εξίσωση (20) βλέπουμε την εξίσωση που απεικονίζει τη τιμή της μεταβλητής testing effort per unit shipped που αντιστοιχεί στο χρόνο (για έλεγχο) που αφιερώνεται ξεχωριστά για κάθε μονάδα προϊόντος που παράγεται από το εργοστάσιο). Αυτό εξαρτάται από το ρυθμό της παραγωγής και από το πλήθος των ελεγκτών που μπορούν να ασχοληθούν με τον έλεγχο των προϊόντων.

Όσοι περισσότεροι χρόνος αφιερώνεται για τον έλεγχο των παραγόμενων προϊόντων τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα να εντοπιστεί κάποιο λάθος στη παραγωγή. Η ποιότητα των κυκλωμάτων που θα παραλάβουν οι πελάτες εξαρτάται αποκλειστικά από το πόσο εντατικοί και προσεκτικοί είναι οι έλεγχοι. Αυτό το γεγονός αποτυπώνεται εύστοχα στην εξίσωση (12) που εκφράζει τη ποιότητα του προϊόντος. Η μεταβλητή product quality ουσιαστικά αποτελεί μια κλίμακα αξιολόγησης των προϊόντων που έχει ως μοναδικό κριτήριο το επίπεδο των ελέγχων που πραγματοποιούνται. Η συνάρτηση IF THEN ELSE χρησιμοποιείται ουσιαστικά για να υλοποιήσει τη κλίμακα με βάση την οποία βαθμολογείται η ποιότητα του τελικού προϊόντος. Αν ο έλεγχος που διεξάγεται είναι ικανοποιητικός τότε προκύπτει μια βαθμολογία μεγαλύτερη της μονάδας αλλιώς η βαθμολογία είναι μικρότερη του ένα . Αυτή η μέθοδος είναι συνηθισμένη σε μεγάλες επιχειρήσεις, δημιουργούν από μόνες τους κλίμακες αξιολογήσεις χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα κριτήρια έτσι ώστε τα αποτελέσματα που προκύπτουν να είναι εύκολα διαχειρίσιμα.



Σχήμα 3-5 Μεταβλητές που προσδιορίζουν τη γνώμη του πελάτη.

Στην εξίσωση (15) εμφανίζεται η εξίσωση της μεταβλητής *quality perceived by customers* που στη πραγματικότητα εκφράζει τη γνώμη που έχουν οι πελάτες για τη ποιότητα του προϊόντος που παραλαμβάνουν. Όταν η μεταβλητή *quality perceived by customers* παίρνει τη τιμή ένα αυτό σημαίνει ότι φτάνει μόνο ένα παράπονο στην Future Electronics Company το μήνα. Στην εικόνα αυτή βλέπουμε από ποιους παράγοντες επηρεάζεται αυτή η μεταβλητή. Διαπιστώνουμε την ύπαρξη ενός loop με αποτέλεσμα μακροπρόθεσμα η μεταβλητή αυτή να επηρεάζει η ίδια τον εαυτό της. Μας θυμίζει λίγο το παράδειγμα της ενότητας (Simultaneous Initial Conditions). Και σε αυτή τη περίπτωση έχουμε να κάνουμε με μια κλίμακα αξιολόγησης μόνο που εδώ αυτός που βαθμολογεί είναι ο πελάτης. Όσο καλύτερη είναι η γνώμη του πελάτη για τη ποιότητα τόσες μεγαλύτερες θα είναι και οι παραγγελίες που θα κάνει στο εργοστάσιο. Εξαιτίας αυτού του loop που υπάρχει είναι αδύνατος ο προσδιορισμός των αρχικών τιμών των μεταβλητών που εμπλέκονται και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση SMOOTH I που μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε μια αρχική τιμή για την έξοδο της συνάρτησης. Με την εξίσωση (05) καθορίζουμε ότι η αρχική έξοδος για την SMOOTH συνάρτηση ισούται με 1 στη συνέχεια το Vensim Ple μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτή τη τιμή έτσι ώστε “*quality perceived by customers*” να ισούται με ένα. Από εκεί και πέρα οι τιμές για τις υπόλοιπες μεταβλητές θα υπολογιστούν εύκολα.

Η μεταβλητή *complaints* (εξίσωση 04) αποτελεί ένα δείκτη για το πλήθος των παραπόνων που έχουν οι πελάτες. Χρησιμοποιούμε τη λέξη δείκτης διότι είναι αδύνατο να ποσοτικοποιήσουμε τα παράπονα που ένας πελάτης μπορεί να έχει. Αυτό όμως που μπορούμε να κάνουμε είναι να χρησιμοποιήσουμε τα στοιχεία που διαθέτουμε και να δημιουργήσουμε κλίμακες αξιολόγησης όπως κάναμε προηγουμένως. Αυτό θα μας βοηθήσει πάρα πολύ στη δημιουργία ενός μοντέλου μεγάλης ακρίβειας, ενώ παράλληλα οι βαθμολογίες αυτές είναι εύκολα κατανοητές και εύκολα διαχειρίσιμες. Επίσης, η σταθερά COMPLAINT AVERAGING DELAY (εξίσωση 03) εκφράζει το διάστημα που μεσολαβεί από τη παραλαβή των προϊόντων έως ότου διατυπωθούν τα πρώτα παράπονα από τους πελάτες.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και ο τρόπος με τον οποίο μοντελοποιούνται οι παραγγελίες – *order rate*. Αυτές εξαρτώνται από δύο παράγοντες, πρώτα από όλα από τη γνώμη και το πόσο ικανοποιημένοι είναι οι πελάτες από την εταιρία γεγονός που αποτυπώνεται στην άποψη που έχουν για την ποιότητα των προϊόντων που παραλαμβάνουν. Δεύτερον για να

γίνει το μοντέλο ακόμα πιο ρεαλιστικό έχουμε εισάγει και το στοιχείο της τύχης. Η πορεία που ακολουθούν οι πωλήσεις δεν είναι σταθερή αλλά μπορεί να καθορίζεται και από τυχαία γεγονότα που δεν μπορούμε να τα λάβουμε εκ των προτέρων υπόψη μας, για αυτό ακριβώς το λόγο στην εξίσωση (18) χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση RANDOM UNIFORM (συνάρτηση που παράγει τυχαίους αριθμούς η σταθερά SEQUENCE NOISE SEED χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση της γεννήτριας συνάρτησης που παράγει τους τυχαίους αριθμούς) . Παράλληλα εντοπίζουμε την ύπαρξη της σταθεράς “A” που χρησιμοποιείται για το προσδιορισμό της τιμής που θα πάρουν οι παραγγελίες. Όταν η σταθερά A έχει τη τιμή μηδέν τότε η τιμή της μεταβλητής TEST variation ακολουθούν τη πορεία που έχει μια βηματική όπου μετά από 5 μήνες ακαριαία η τιμή τη τιμή 0.2. Όταν A=1 τότε η TEST variation παίρνει τυχαίες τιμές από -0.1 έως +0.1. Τέλος σε αυτό το σημείο σημειώνουμε ότι αν η παραγγελίες είναι σταθερές τότε και όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές του μοντέλου μας θα παραμείνουν σταθερές.

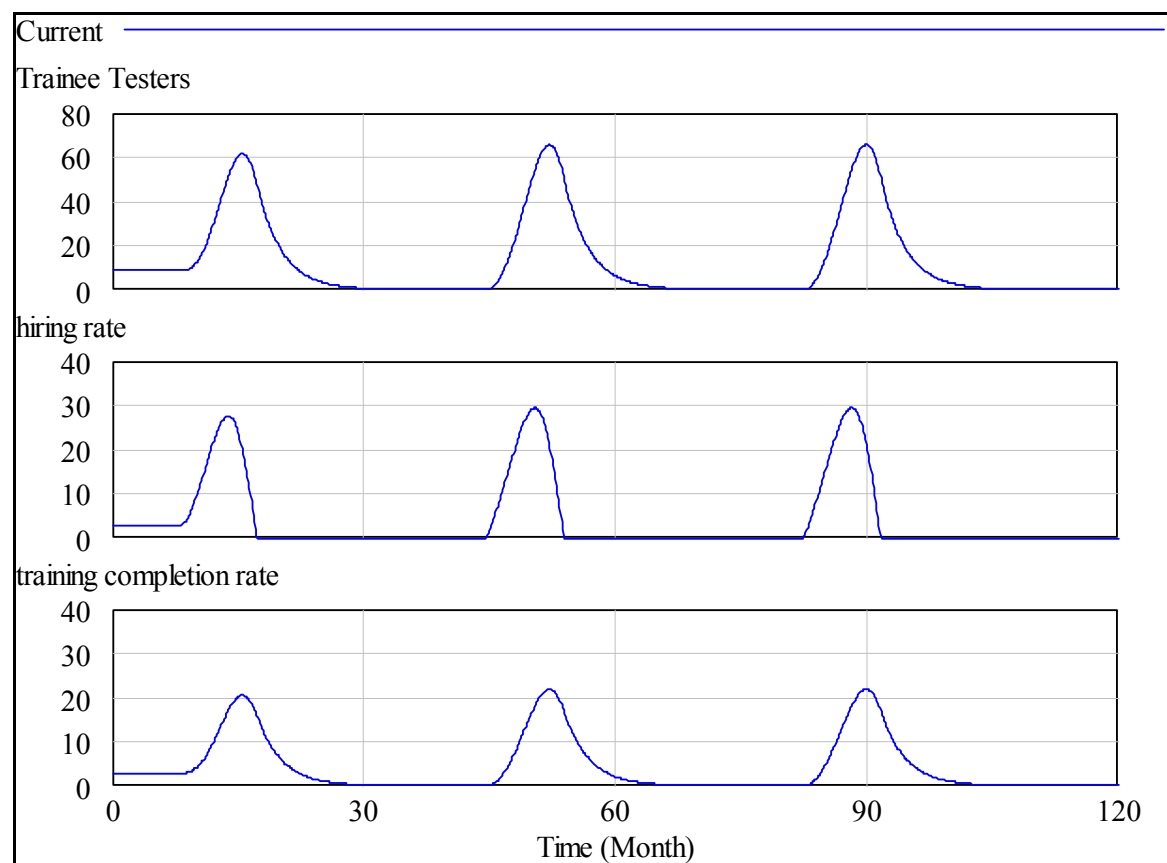
Ο ρυθμός παραγωγής του εργοστασίου - production rate – εξαρτάται από δύο παράγοντες, από τις πωλήσεις (order rate) και από τη καθυστέρηση που υπάρχει πάντα για τη προσαρμογή της γραμμής παραγωγής σύμφωνα με τις ανάγκες που υπάρχουν (η παραγωγή μεταβάλλεται ανάλογα με τις ανάγκες αν ξαφνικά προκύψουν πολλές και μεγάλες παραγγελίες τότε το εργοστάσιο θα πρέπει να προμηθευτεί τις κατάλληλες πρώτες ύλες, να αγοράσει επιπρόσθετο προσωπικό κ.α προφανώς για να γίνουν όλα αυτά απαιτείται κάποιο χρονικό διάστημα). Το εργοστάσιο παράγει τις ποσότητες που ζητούν οι πελάτες και για αυτό ακριβώς το λόγο χρησιμοποιείται η συνάρτηση DELAY FIXED για να υποδηλώσει ότι οι ποσότητες προϊόντος που παράγονται στο εργοστάσιο είναι ίδιες με αυτές που ζητούν κατά καιρούς οι πελάτες με τη διαφορά ότι η παραγωγή χρειάζονται τρεις εβδομάδες για τη προετοιμασία των παραγγελιών.

Για ακόμα καλύτερη κατανόηση του μοντέλου θα ήταν χρήσιμο ο αναγνώστης της εργασίας να δει τα παραρτήματα που υπάρχουν στο τέλος της ανάλυσης του παραδείγματος.

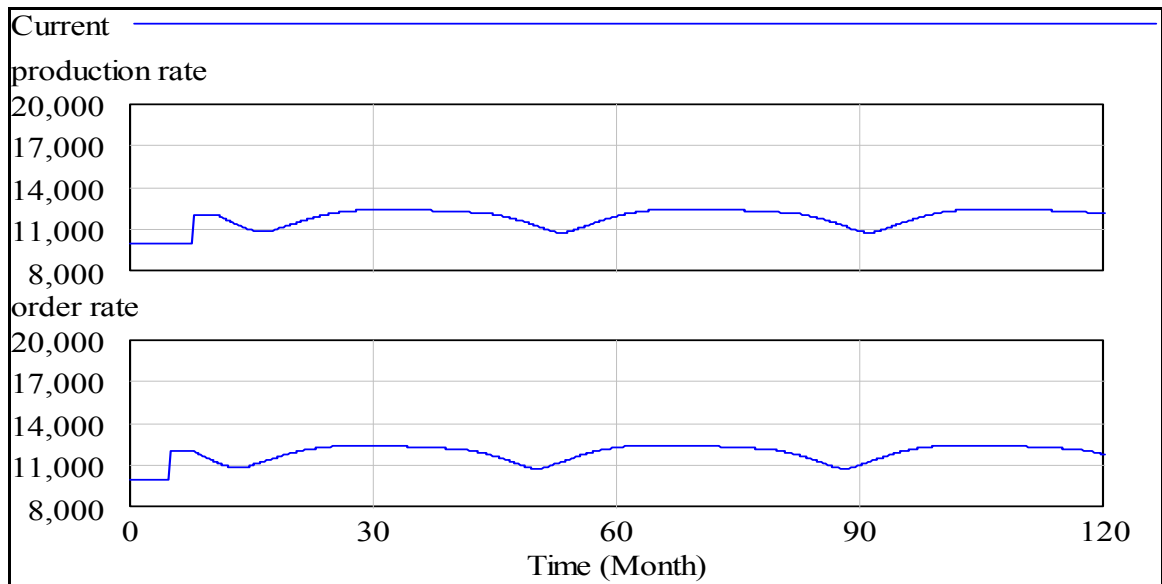
Αποτελέσματα προσομοίωσης

Έχοντας ολοκληρώσει και την ανάλυση των εξισώσεων είμαστε έτοιμοι να προσομοιώσουμε το μοντέλο που δημιουργήσαμε. Παρακάτω εμφανίζουμε τις γραφικές παραστάσεις για μεταβλητές που θεωρούμε σημαντικές.

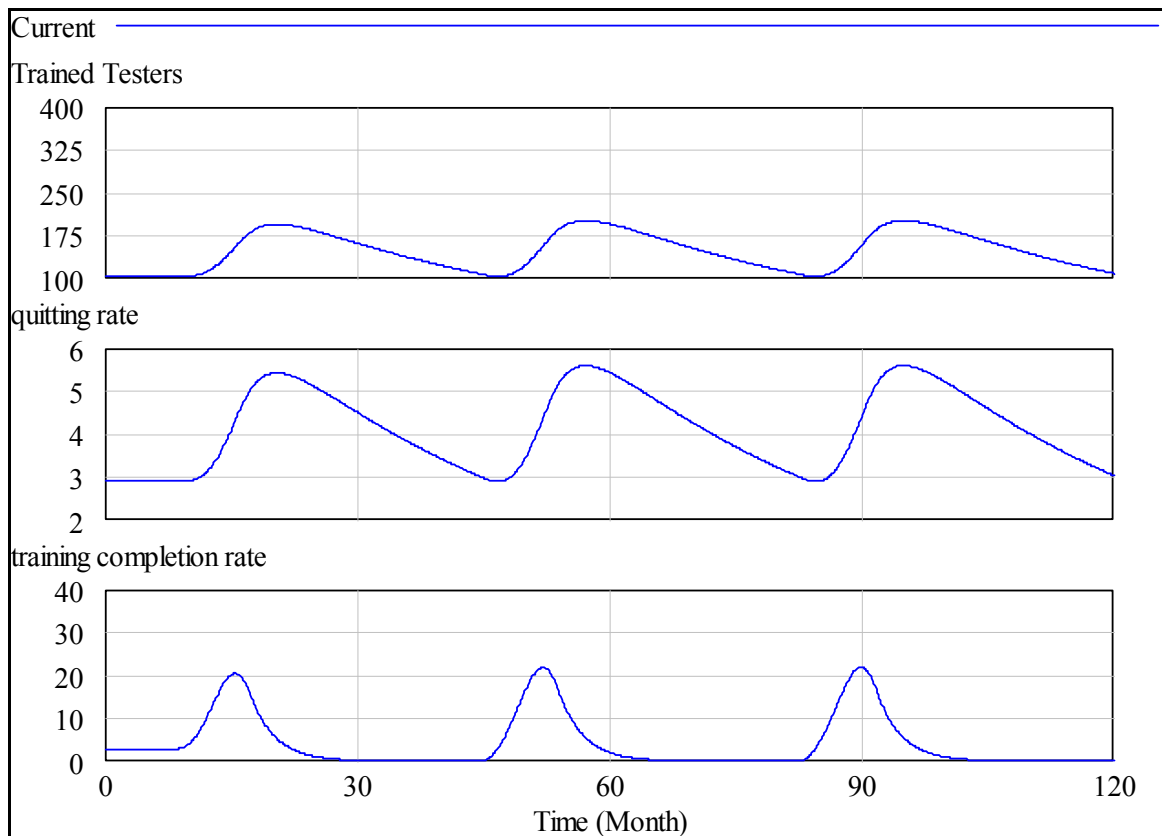
Ενδιαφέρον παρουσιάζεται στο σχήμα 3-7 όπου επιβεβαιώνεται και γραφικά αυτό που είχαμε προβλέψει εκ των προτέρων. Η πορεία των παραγγελιών και της παραγωγής είναι ακριβώς η ίδια με τη μόνη διαφορά ότι όσον αφορά τη παραγωγή (production rate) υπάρχει μια μικρή καθυστέρηση. Στις υπόλοιπες γραφικές παραστάσεις καταγράφονται οι πορείες των τιμών των μεταβλητών. Όλα αυτά τα στοιχεία είναι ιδιαίτερα σημαντικά και το γεγονός ότι απεικονίζονται και γραφικά τα καθιστούν απαραίτητα. Αξιοποιώντας τα σωστά μπορούν να αποτελέσουν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο που μπορεί να συμβάλει τα μέγιστα στη σωστή λήψη αποφάσεων.



Σχήμα 3-6: Αποτελέσματα προσομοίωσης για τις μεταβλητές Trainee Testers, hiring rate , training completion rate (μονάδα μέτρησης και για τις τρεις μεταβλητές είναι αριθμός υπαλλήλων) - Future electronics Company.



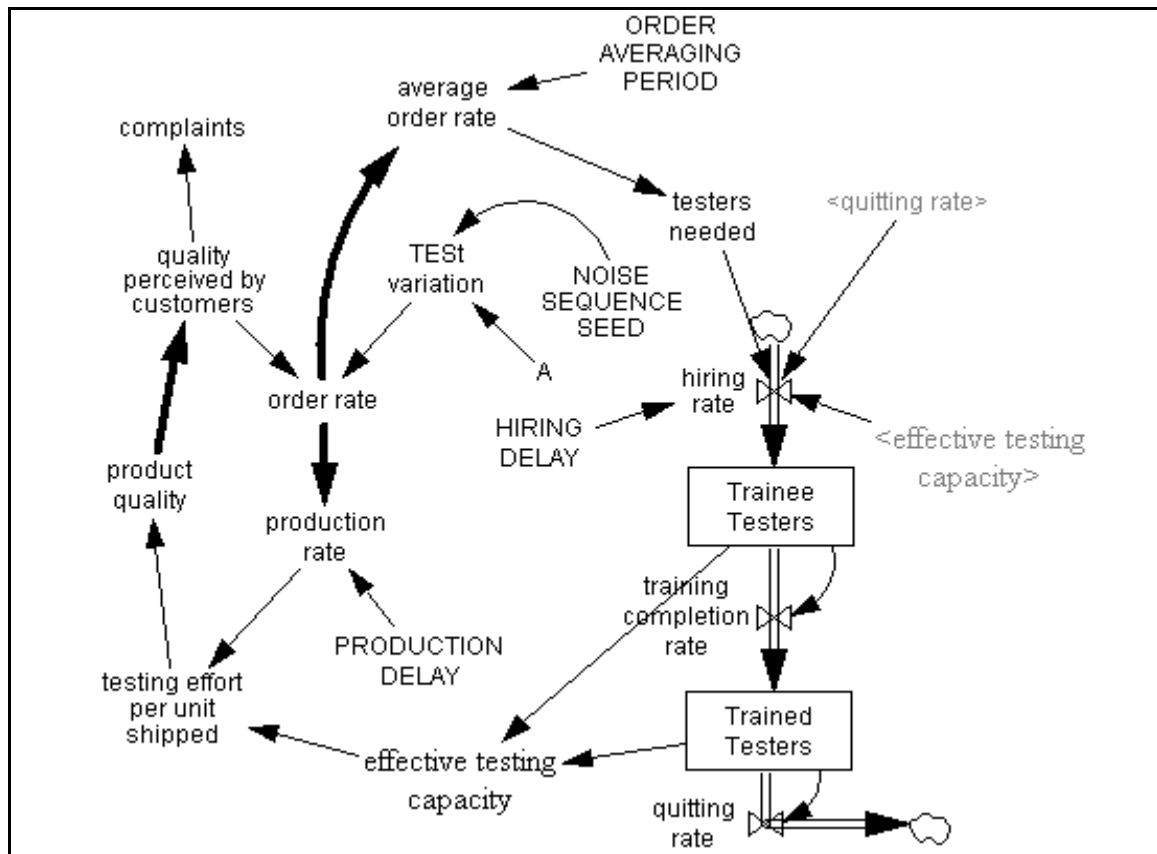
Σχήμα 3-7: Αποτελέσματα προσομοίωσης για τις μεταβλητές production rate και order rate (μονάδα μέτρησης και για τις τρεις μεταβλητές είναι αριθμός μονάδες προϊόντος) - Future electronics Company.



Σχήμα 3-8: Αποτελέσματα προσομοίωσης για τις μεταβλητές Trained Testers, quitting rate , training completion rate (μονάδα μέτρησης και για τις τρεις μεταβλητές είναι αριθμός υπαλλήλων) - Future electronics Company.

Προτάσεις για βελτίωση απόδοσης μοντέλου

Η μεθοδολογία Systems Dynamics σε ένα πρώτο επίπεδο μας δίνει τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο που περιγράφει μια διαδικασία, εν συνεχεία μπορούμε να τροποποιήσουμε το μοντέλο και να δίνουμε τις επιπτώσεις που τυχόν προκαλούν οι αλλαγές που επιφέραμε. Έτσι λοιπόν και σε αυτό το μοντέλο προσπαθούμε να βρούμε τρόπους που θα βελτιώσουν την απόδοση του συστήματος μας. Οι αλλαγές που θα κάνουμε αποσκοπούν στο να μειωθούν τα άτομα που προσλαμβάνονται, να μειωθούν τα παράπονα από τους πελάτες και κατόπιν να αυξηθούν οι πωλήσεις κα. Ένας τρόπος είναι να μειώσουμε τις καθυστερήσεις (delays) που υπάρχουν στο αρχικό μοντέλο. Συγκεκριμένα αναφερόμαστε στις σταθερές “HIRING DELAY”, “PRODUCTION DELAY”, “COMPLAINT AVERAGING DELAY”. Για να περιοριστούν όμως οι καθυστερήσεις θα πρέπει να γίνουν αλλαγές σε ολόκληρη τη διαδικασία. Ένας άλλος τρόπος είναι αλλάξουμε τη πολιτική πρόσληψης των ελεγκτών. Στη λύση που προτείνουμε έχουμε επιλέξει τη δεύτερη λύση – αλλαγή στο τρόπο πρόσληψης των ελεγκτών.



Σχήμα 3-9: Stock Flow diagram βελτιωμένο μοντέλο για τη Future Electronics Company.

Στο αρχικό μοντέλο το πλήθος των νέων ελεγκτών που χρειαζόταν να προσληφθεί προσδιορίζονταν με τη βοήθεια μιας IF THEN ELSE συνάρτησης που οι συνθήκες της καθορίζονταν από το πλήθος των παραπόνων –average complaints- που διατύπωναν οι πελάτες . Αντιθέτως, σε αυτό το μοντέλο εξαρτάται αποκλειστικά από τη πορεία που θα έχουν οι παραγγελίες –averaging order rate, αυτό αποτυπώνεται σαφώς στην εξίσωση (19). Δίνεται λοιπόν μεγαλύτερη βαρύτητα στην ταχύτητα παραγωγής ενώ παράλληλα απλοποιείται η διαδικασία πρόσληψης των εργαζομένων και οι δύο συνιστώσες αποσκοπούν στη βελτίωση της απόδοσης εταιρίας.

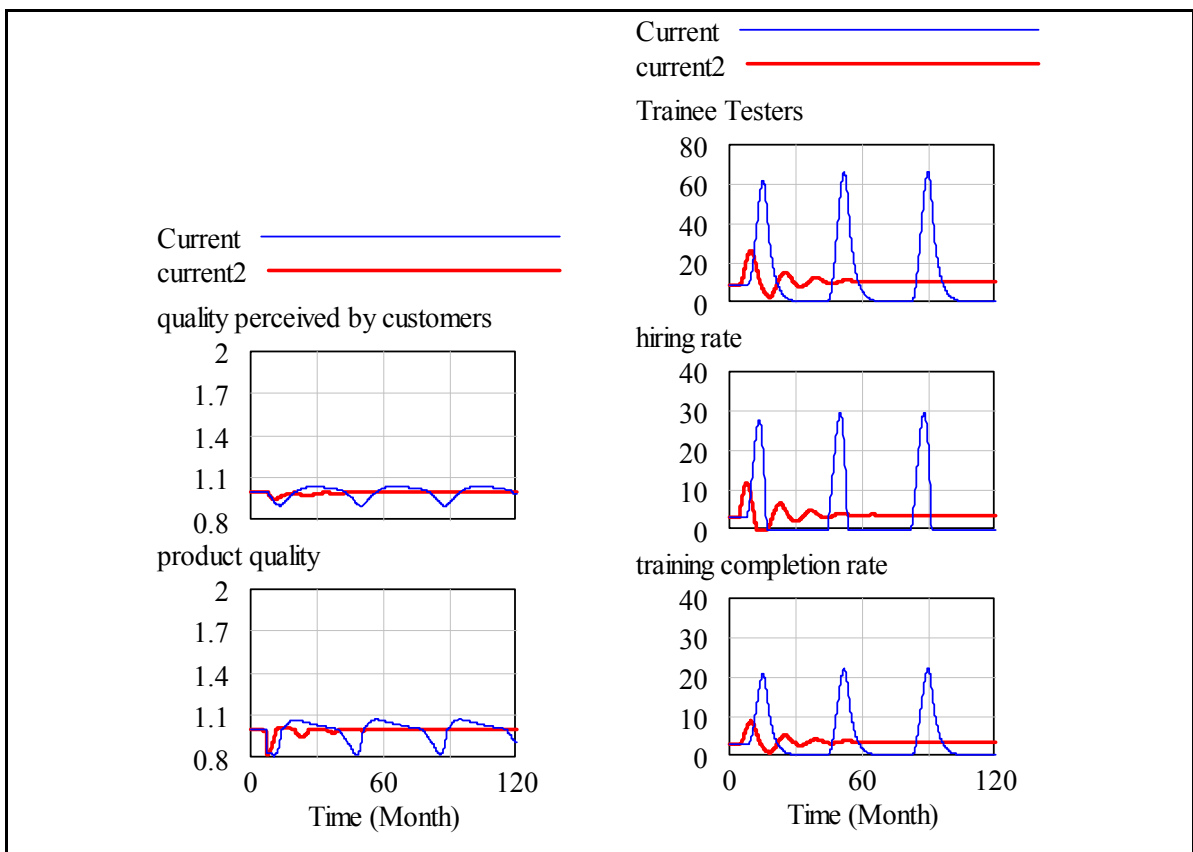
```

(01) A = 0
(02) average order rate = SMOOTH(order rate, ORDER AVERAGING PERIOD)
(03) complaints = (3 / quality perceived by customers) - 2
(04) effective testing capacity
      = Trained Testers - 0.5 * Trainee Testers
(05) FINAL TIME = 120
(06) HIRING DELAY = 2
(07) hiring rate = MAX(0, quitting rate
      + (testers needed - effective testing capacity) / HIRING DELAY)
(08) INITIAL TIME = 0
(09) NOISE SEQUENCE SEED = 1013
(10) ORDER AVERAGING PERIOD = 2
(11) order rate = 10000 * quality perceived by customers
      * (1 + TEST variation)
(12) product quality
      = IF THEN ELSE(testing effort per unit shipped < 0.01,
        100 * testing effort per unit shipped,
        1 + 10 * (testing effort per unit shipped - 0.01))
(13) PRODUCTION DELAY = 3
(14) production rate
      = DELAY FIXED(order rate, PRODUCTION DELAY, order rate)
(15) quality perceived by customers
      = SMOOTHI(product quality, 6, 1)
(16) quitting rate = Trained Testers / 36
(17) SAVEPER = TIME STEP
(18) TEST variation = STEP(0.2, 5) * ((1 - A) + A
      * (RANDOM UNIFORM(-0.5, 0.5, NOISE SEQUENCE SEED)))
(19) testers needed = 0.01 * average order rate
(20) testing effort per unit shipped
      = effective testing capacity / production rate
(21) TIME STEP = 0.125
(22) Trained Testers
      = INTEG(+training completion rate-quitting rate,
        100 * 24 / 23)
(23) Trainee Testers
      = INTEG(hiring rate-training completion rate,
        (3/36) * (100 * 24 / 23))
(24) training completion rate = Trainee Testers / 3

```

Σχήμα 3-10: Εξισώσεις Vensim Ple βελτιωμένο μοντέλο – για τη Future Electronics Company.

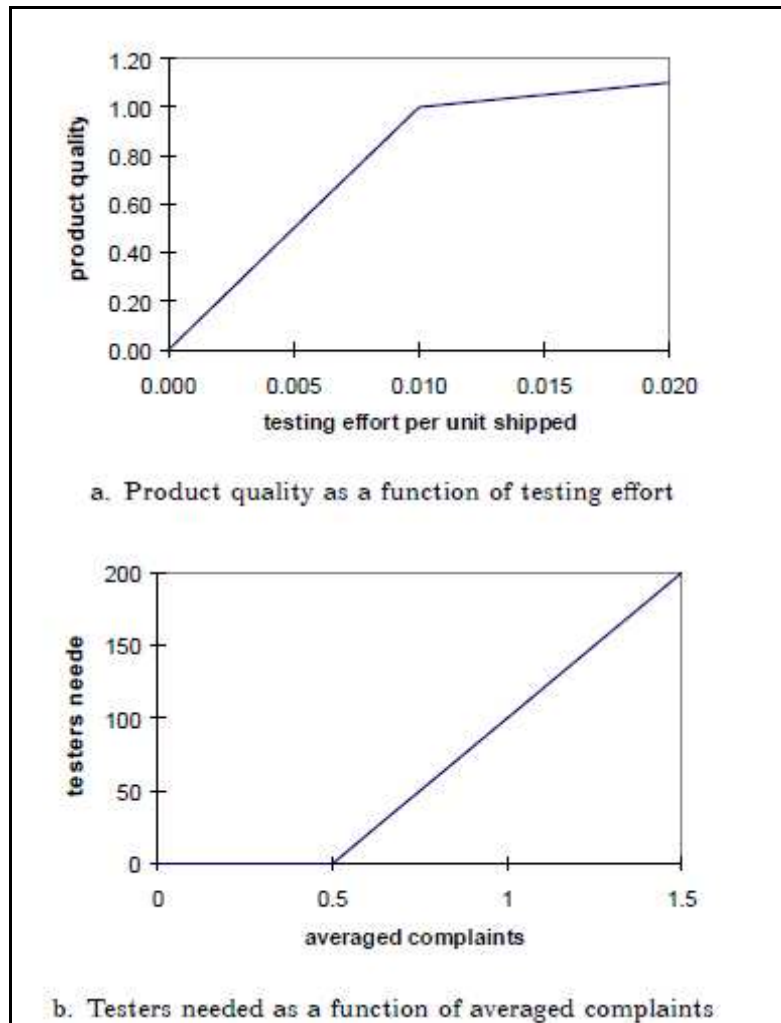
Όταν παρουσιάζαμε το πρόβλημα είχαμε αναφέρει ότι η αξιοπιστία της εταιρίας βρίσκεται σε πολύ υψηλά επίπεδα, το πρόβλημα εντοπίζεται στο χρόνο παράδοσης των παραγγελιών που είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τους ανταγωνιστές της Future Electronics Company. Οι πελάτες δεν έχουν πρόβλημα να επιλέξουν λιγότερο αξιόπιστους προμηθευτές κυκλωμάτων αρκεί βεβαίως οι παραγγελίες τους να εκτελούνται όσο γίνεται πιο γρήγορα. Σε αυτή τη κατεύθυνση θα πρέπει να κινηθεί η Future Electronics Company. Προφανώς θα πρέπει να διασφαλίσει την αξιοπιστία, σίγουρα η ασφάλεια των προϊόντων της προσδίδει έναν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα όμως να δώσει από εδώ και πέρα βαρύτητα στη ταχύτητα παραγωγής. Βλέπουμε λοιπόν πως με μια τόσο μικρή αλλαγή στο μοντέλο ουσιαστικά διαμορφώνουμε μια νέα πολιτική. Για να εξετάσουμε τις συνέπειες των αλλαγών μας αρκεί να τρέξουμε το μοντέλο και να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν με τα αρχικά.



Σχήμα 3-11: Συγκριτικά αποτελέσματα των δύο μοντέλων (με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι πορείες των μεταβλητών του αρχικού μοντέλου ενώ με μπλε απεικονίζονται οι πορείες των μεταβλητών του τροποποιημένου μοντέλου).

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν διαπιστώνουμε ότι οι αλλαγές που κάναμε βοήθησαν προς το καλύτερο. Ο αριθμός των ελεγκτών που πρέπει να προσληφθεί είναι αισθητά μικρότερος, η ποιότητα των προϊόντων βρίσκεται σταθερά σε υψηλά επίπεδα, το ίδιο ακριβώς συμβαίνει με τη γνώμη που έχουν οι πελάτες για την εταιρία.

Παρατήρηση - IF THEN ELSE FUNCTIONS - Future Electronics Company



Σχήμα 3-12: Γραφική αναπαράσταση των IF THEN ELSE συναρτήσεων που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο.

Όπως είδαμε IF THEN ELSE συναρτήσεις χρησιμοποιήσαμε σε δύο περιπτώσεις. Αρχικά για να κατηγοριοποιήσουμε τη ποιότητα του τελικού προϊόντος (product quality) συναρτήσει της εντατικότητας του ελέγχου που αφιερώνεται ξεχωριστά σε κάθε μονάδα (

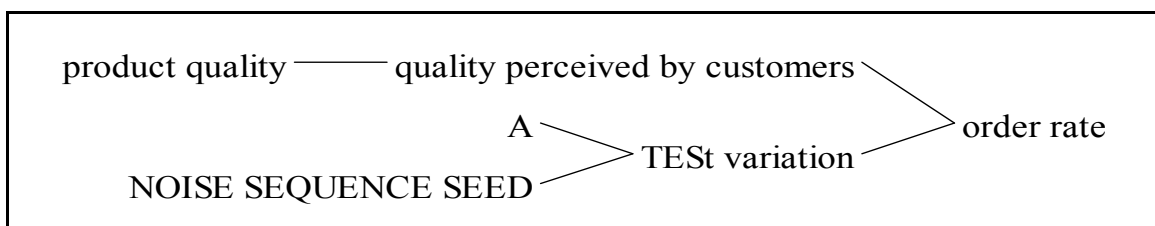
συνεχεία για να συσχετίσουμε των αριθμών των ελεγκτών που πρέπει να προσλάβει η εταιρία με βάση το πλήθος των παραπόνων που διατυπώνουν οι πελάτες της (διάγραμμα b εικόνα:). Στο πρώτο διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι όσο πιο πολύ ώρα αφιερώνουμε για τον έλεγχο του κάθε προϊόντος τόσο βελτιώνεται και η ποιότητα του τελικού προϊόντος (η αύξηση δεν γίνεται πάντα με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, από ένα σημείο και μετά παρόλο που αφιερώνουμε αρκετό χρόνο για το ποιοτικό έλεγχο της κάθε μονάδας χωριστά αυτό δεν συνεπάγεται και μεγάλη βελτίωση στη συνολική ποιότητα). Στο δεύτερο διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι όσο μεγαλύτερο είναι ο δείκτης που αντιπροσωπεύει το πλήθος των παραπόνων που διατυπώνονται από τους πελάτες τόσο περισσότεροι νέοι ελεγκτές χρειάζονται. Βεβαίως, υπάρχει ένα όριο αν τα παράπονα που γίνονται είναι περιορισμένα η Future Electronics Company δεν είναι υποχρεωμένη να προσλάβει νέο προσωπικό, ούτως η άλλως η αύξηση του εργατικού δυναμικού δεν αποτελεί λύση για όλα τα προβλήματα, ατέλειες στη παραγωγή πάντα θα υπάρχουν. Παράλληλα, πρόσληψη προσωπικού συνεπάγεται και αύξηση των εξόδων και ενδεχομένως για το επιπρόσθετο κόστος που θα προκύψει να μην μπορεί να γίνει απόσβεση.

Παρατήρηση – πως επηρεάζει η σταθερά A τη μεταβλητή TEST Variation

Η εξίσωση που διέπει τη μεταβλητή TEST Variation είναι η εξής:

$$\begin{aligned} \text{TEST Variation} &= \\ &= \text{STEP}(0.2,5) * ((1-A)+A*\text{RANDOM UNIFORM}((-0.5,0.5, \text{NOISE SEQUENCE})) \end{aligned}$$

Η τιμή που μπορεί να πάρει η σταθερά τιμή A είναι είτε μηδέν είτε ένα προφανώς η τιμή που θα πάρει η σταθερά A καθορίζει και τη μορφή που θα έχει η μεταβλητή TEST Variation που επηρεάζει άμεσα και το ρυθμό παραγγελιών. Είχαμε αναφέρει ότι οι παραγγελίες που γίνονται στο εργοστάσιο εξαρτώνται από τη γνώμη που έχουν οι πελάτες για την εταιρία και από τυχαία γεγονότα (το παρακάτω Uses Tree επιβεβαιώνει αυτό που μόλις αναφέραμε) που πιθανόν εμείς δεν μπορούμε να τα προβλέψουμε και αυτό ακριβώς κάνει η μεταβλητή TEST Variation εισάγει δηλαδή το στοιχείο της τύχης στις παραγγελίες. Με αυτό τον τρόπο το μοντέλο μας γίνεται ακόμα πιο ρεαλιστικό.

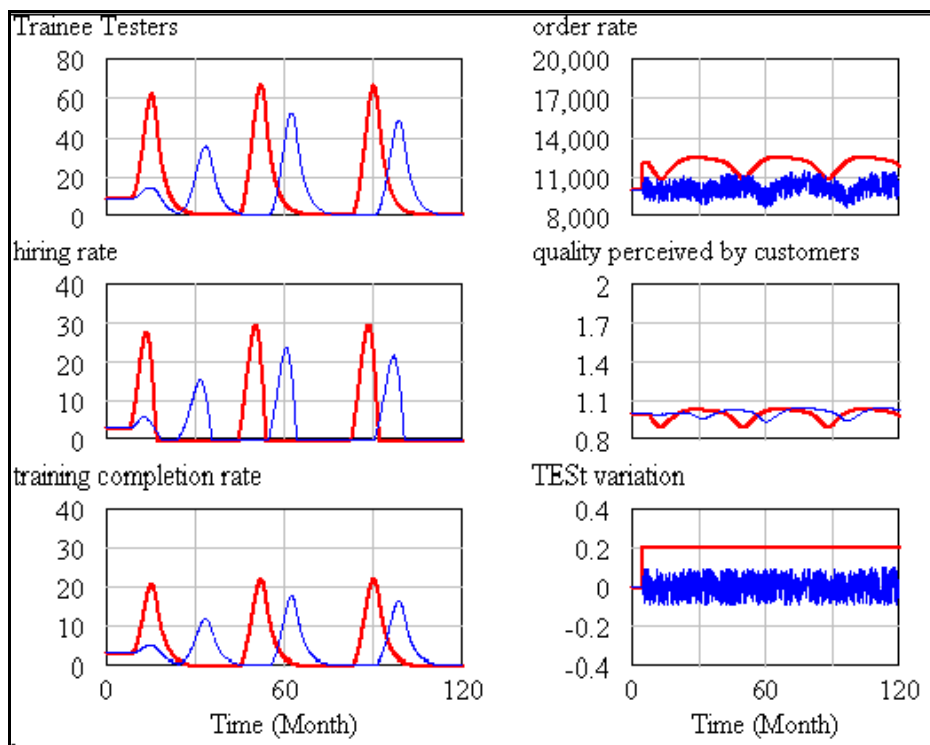


Σχήμα 3-13 Causes Tree για τη μεταβλητή “order rate”.

Αν $A=0$ τότε η μεταβλητή TEST Variation ακολουθεί τη πορεία που έχει μια βηματική συνάρτηση, για την ακρίβεια μετά από πέντε μήνες η τιμή της αυξάνεται ακαριαία από τη τιμή μηδέν στη τιμή 0.2.

Αν $A=1$ τότε η μεταβλητή TEST Variation ακολουθεί μια τυχαία και απρόβλεπτη για εμάς πορεία (αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της RANDOM UNIFORM, to NOISE SEQUENCE χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση της γεννήτριας συνάρτησης που παράγει τους τυχαίους αριθμούς).

Στα παρακάτω διαγράμματα παρατηρούμε τις αλλαγές που προκύπτουν από την αλλαγή στη τιμή της σταθεράς A . Παρεμπιπτόντως, διαπιστώνουμε ότι όταν $A=1$ προκύπτουν καλύτερα αποτελέσματα καθώς και οι νέοι ελεγκτές που πρέπει να προσληφθούν είναι λιγότεροι (testers needed) και οι πελάτες είναι περισσότερο ικανοποιημένοι για τη ποιότητα των προϊόντων που παραλαμβάνουν (quality perceived by customers).

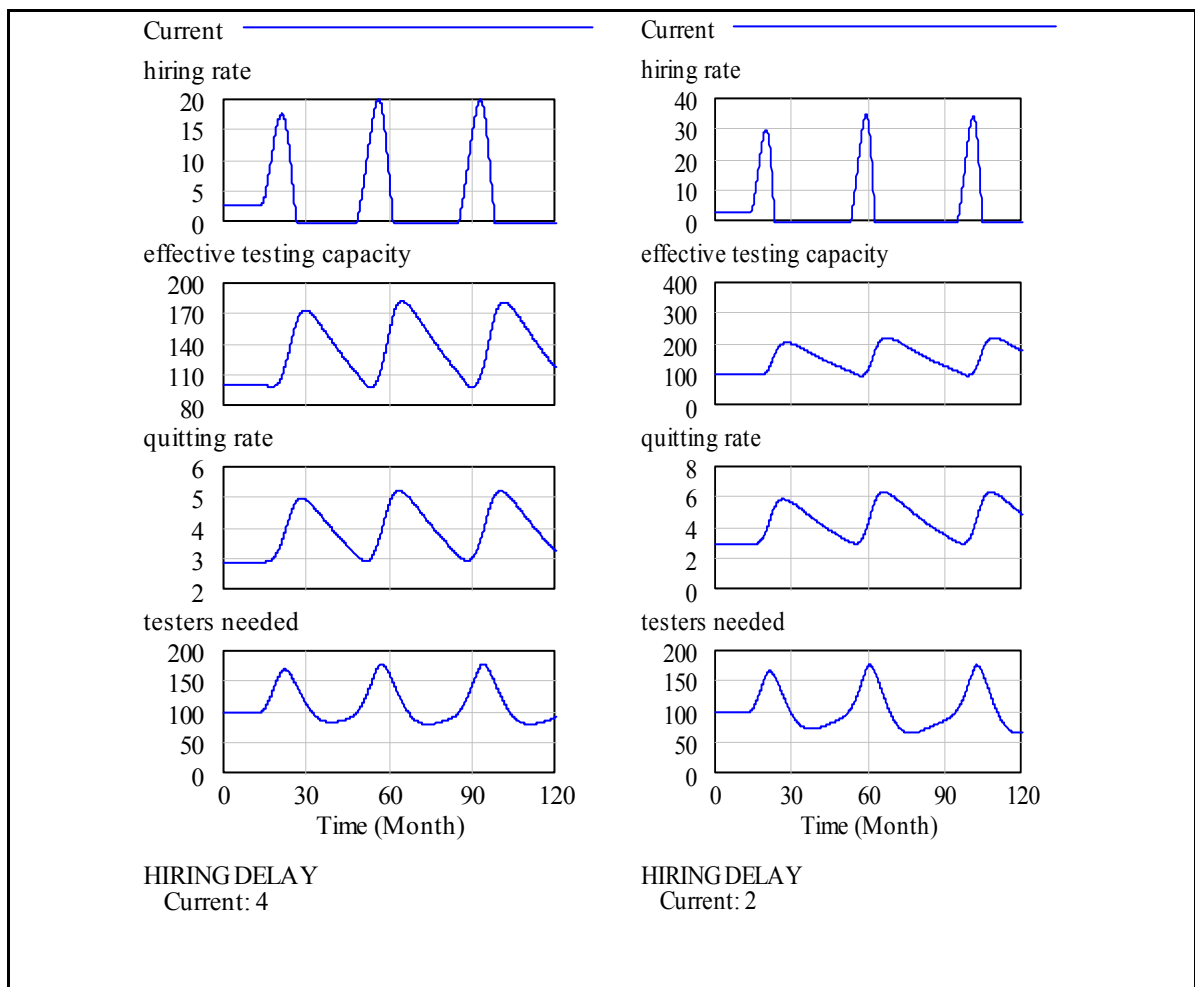


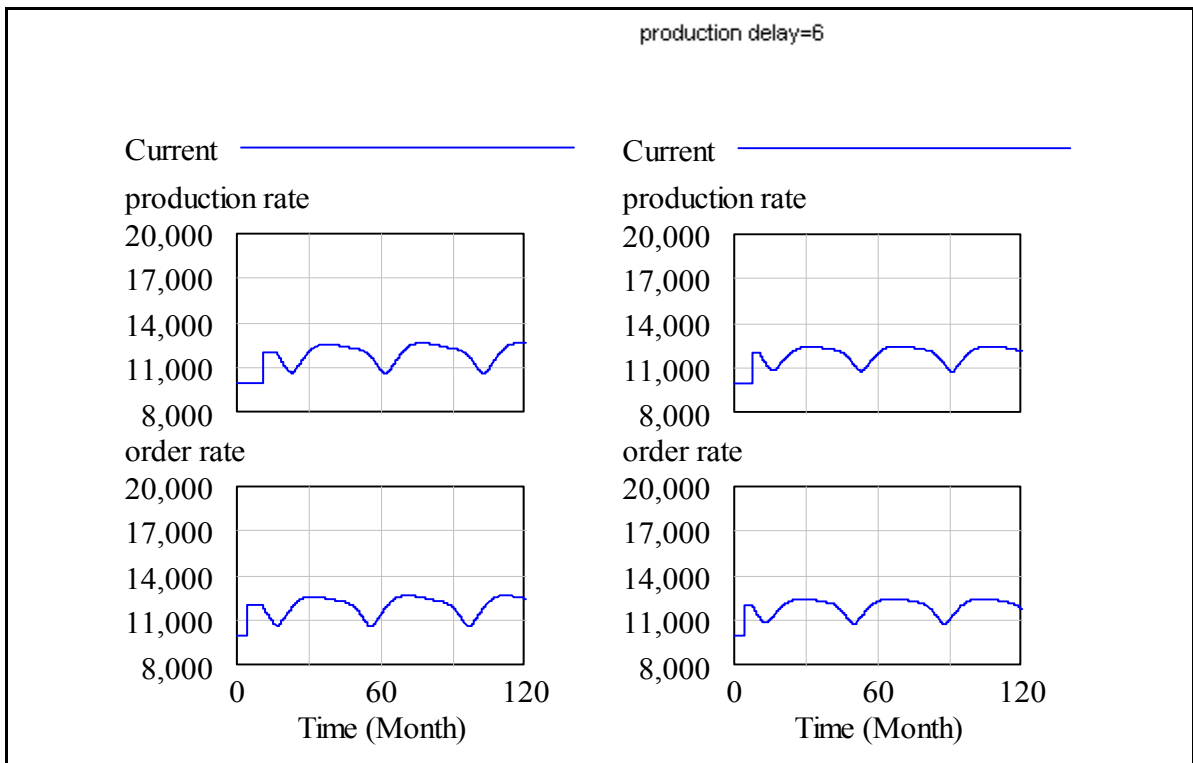
Σχήμα 3-14: Διαφορές που προκύπτουν ανάλογα με τη τιμή που μπορεί να πάρει το A (με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όταν $A=0$ και με μπλε όταν $A=1$).

Παρατήρηση- Βελτίωση των καθυστερήσεων

Το Vensim Ple μας δίνει τη δυνατότητα να πειραματιστούμε αρκετά με το μοντέλο που έχουμε δημιουργήσει προκειμένου να βρούμε λύσεις που θα μας βοηθήσουν να βελτιώσουν την απόδοση της διαδικασίας που μοντελοποιήσαμε. Οι δοκιμές και οι αλλαγές που μπορούμε να επιφέρουμε στο παράδειγμα μας είναι πάρα πολλές εμείς σε αυτό το παράρτημα επιλέξαμε να εξετάσουμε τι θα συμβεί αν μειώσουμε χρονικά τις καθυστερήσεις που υπάρχουν στο σύστημα, ουσιαστικά αναφερόμαστε στις σταθερές “HIRING DELAY”, “PRODUCTION DELAY”, “COMPLAINT AVERAGING DELAY”. Με τη βοήθεια των γραφικών απεικονίσεων θα έχουμε τη δυνατότητα να δούμε αν οι αλλαγές που θα κάνουμε θα έχουν θετικό ή αρνητικό αντίκτυπο.

Στα διαγράμματα της παρακάτω εικόνας βλέπουμε τις αλλαγές που προκύπτουν αν μεταβάλουμε λίγο τις σταθερές “HIRING DELAY”, “PRODUCTION DELAY”, ο κάθε χρήστης ξεχωριστά μπορεί να δοκιμάσει οποιαδήποτε τροποποίηση επιθυμεί.[11]





Σχήμα 3-15 Αποτελέσματα προσομοίωσης Future Electronics Company.

3.2 Δεύτερο Παράδειγμα : Commodity Cycles

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα ασχοληθούμε με μια κατηγορία προϊόντων που παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον , συγκεκριμένα αναφερόμαστε στα Commodity (σύμφωνα με τη διεθνή τους ονομασία) προϊόντα που στο παγκόσμιο οικονομικό χάρτη διαδραματίζουν πρωταρχικό ρόλο. Τι είναι όμως τα Commodities; Με αυτό τον όρο αναφερόμαστε στα αγαθά για τα οποία υπάρχει ζήτηση αλλά στην αγορά διατίθενται χωρίς ποσοτικές διακυμάνσεις. Τέτοιου είδους προϊόντας είναι το πετρέλαιο, το χαρτί, ο χαλκός, το γάλα κα. Η τιμή του χαλκού είναι η ίδια σε όλο τον κόσμο και μεταβάλλεται καθημερινά με βάση της παγκόσμια ζήτηση και προσφορά. Αντίθετα, η τιμή ενός αμαξιού υπόκειται σε διαφορετικούς αγοραστικούς κανόνες, η τιμή ενός αυτοκινήτου διαφοροποιείται ανάλογα με το κατασκευαστή, τη κατάσταση του αυτοκινήτου, το κυβισμό κα με το χαλκό όμως δεν συμβαίνει τίποτα τέτοιο. Επίσης, όσο πιο χρήσιμο ή πιο λειτουργικό είναι αμάξι τόσο πιο ακριβό είναι. Παρακάτω αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά των Commodities:

Η τιμή ενός Commodity εξαρτάται αποκλειστικά από τα αποθέματα και από τη ζήτηση που υπάρχει. Κανείς από τους παραγωγούς του εν λόγω προϊόντος δε μπορεί να αυξήσει τη τιμή του είτε διαφημίζοντας το περισσότερο είτε προωθώντας το με άλλους τρόπους. Το κόστος παραγωγής αυτών των προϊόντων μπορεί να θεωρηθεί μικρό σε σχέση με το κόστος επεξεργασίας τους.

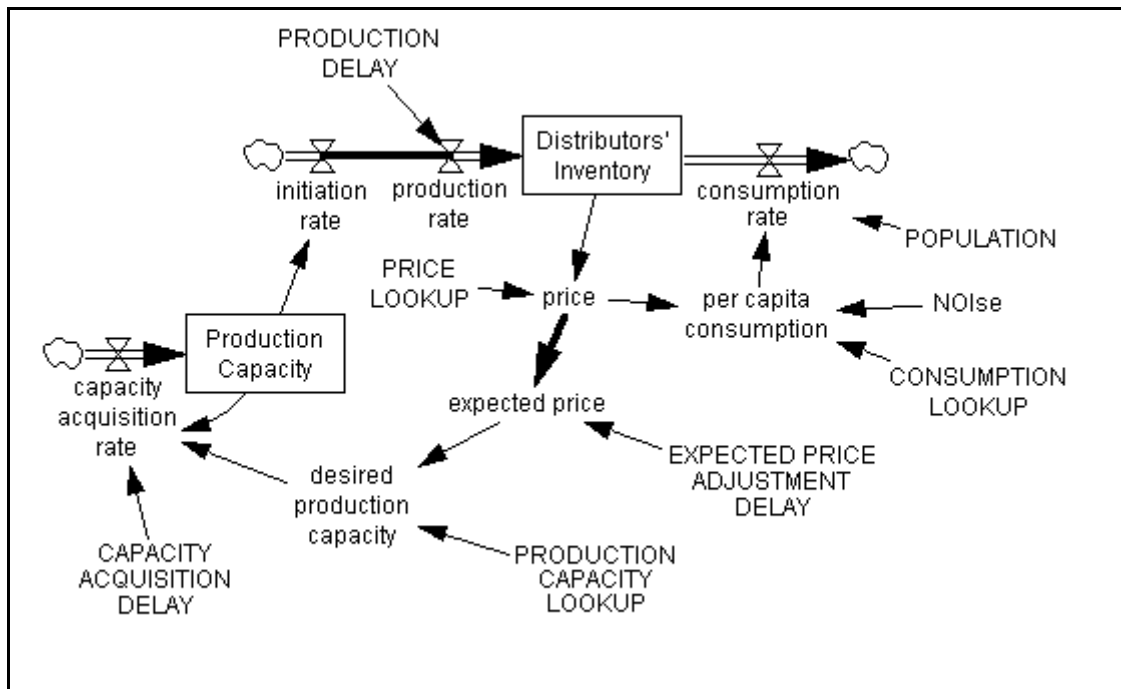
Για αυτούς που χρησιμοποιούν τα commodities προφανώς επειδή παράγουν παράγωγα προϊόντα τα χρήματα που ξοδεύουν για την αγορά τους επηρεάζουν τη τιμή των προϊόντων που πουλούν.

Υπάρχουν πάνω από 20 commodities προϊόντα αυτή τη στιγμή στη παγκόσμια αγορά (ζάχαρη , κακάο, λάδι , κασσίτερος κα) . Η τιμή αλλά και η ποσότητα παραγωγής των commodities παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις (μπορεί να υπάρχει διαφορά στη τιμή από 5% έως 20%).

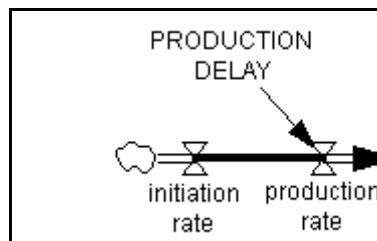
Το παρακάτω Stock Flow diagram προτείνει ένα τρόπο μοντελοποίησης του συστήματος που καθορίζει τη τιμή και τη παραγωγή ενός commodity αγαθού.

Θεωρούμε ότι έχουμε πλέον αποκτήσει την απαραίτητη εμπειρία για να κατανοούμε τις βασικές αρχές που διέπουν αυτά τα μοντέλα, εμείς θα εξηγήσουμε τα σημεία εκείνα που δεν είναι ευκολα κατανοητά οπότε απαιτείται περαιτέρω επεξήγηση.

Το μοντέλο αυτό βασίζεται στην αλληλεπίδραση των τριών βασικότερων παραγόντων της αγοράς: παραγωγή, διανομή και κατανάλωση. Η τιμή των προϊόντων καθορίζεται από αυτούς τους τρεις παράγοντες. Οι παραγωγοί προσπαθούν να προσαρμόσουν τη παραγωγή τους ώστε να τα πουλήσουν στη καλύτερη δυνατή τιμή. Οι διανομείς – έμποροι διαμορφώνουν τις τιμές ώστε να μπορούν να διατηρήσουν ένα ικανοποιητικό απόθεμα και οι καταναλωτές ανταποκρίνονται ανάλογα με τη τιμή καθώς θέλουν να αυξήσουν τη χρησιμότητα τους.



Σχήμα 3-16: Stock Flow diagram – Commodity products.



Σχήμα 3-17 Αναπαράσταση Pipeline Delay.

Αρχικά, διαπιστώνουμε ότι όταν ξεκινάμε να κάνουμε κάποια αλλαγή στο ρυθμό (initiation rate) παραγωγής, η αλλαγή αυτή δε γίνεται αμέσως (οι αλλαγές που θέλουμε να κάνουμε έχουν αντίκτυπο στο πραγματικό ρυθμό παραγωγής production rate) αλλά υπάρχει μια μικρή καθυστέρηση (αυτό το φαινόμενο ονομάζεται pipeline delay). Αυτή η καθυστέρηση επηρεάζεται άμεσα από τη σταθερά PRODUCTION DELAY.

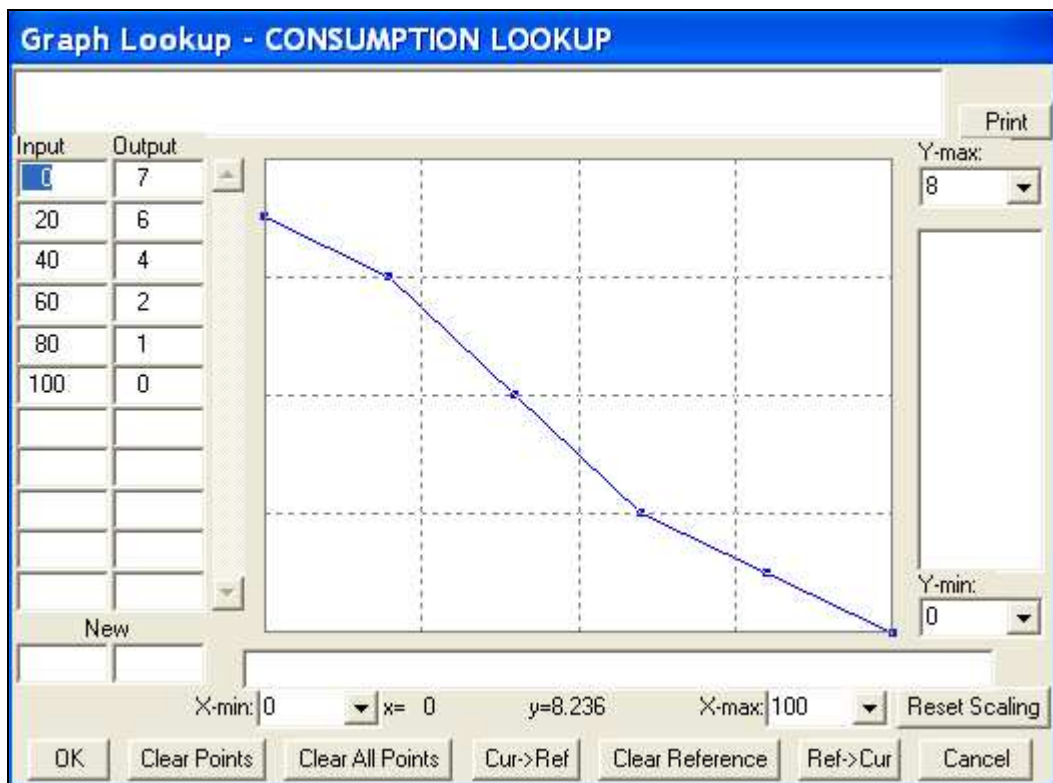
Η συσχέτιση ανάμεσα στη stock μεταβλητή Distributors Inventory (εκφράζει το απόθεμα που έχουν οι διανομείς του αγαθού) και τη τιμή -price- καθορίζεται από τη lookup συνάρτηση της παρακάτω εικόνας [διαπιστώνουμε ότι όσο αυξάνεται το διαθέσιμο απόθεμα τόσο μειώνεται η τιμή του προϊόντος]. Αντίστοιχη συσχέτιση υπάρχει ανάμεσα στις μεταβλητές per capita consumption και price (παρακάτω εμφανίζεται η συνάρτηση που προσδιορίζει αυτή τη συσχέτιση, CONSUMPTION LOOKUP). Το ίδιο ακριβώς

συμβαίνει με τις μεταβλητές desired production capacity και expected price (PRODUCTION CAPACITY LOOKUP).

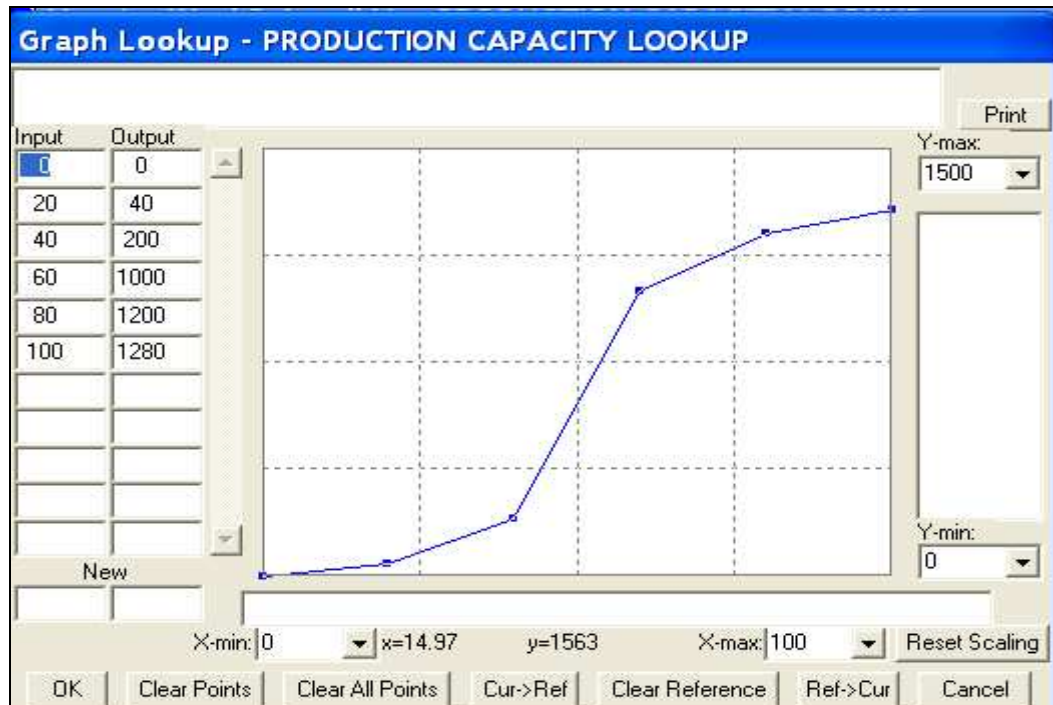
Επιπροσθέτως, η μεταβλητή expected price είναι exponentially smoothed average της μεταβλητής price.



Σχήμα 3-18: Lookup συνάρτηση που συσχετίζει τις μεταβλητές Distributors Inventory, price.



Σχήμα 3-19: Γραφική παράσταση CONSUMPTION LOOKUP.



Σχήμα 3-20: Γραφική παράσταση PRODUCTION CAPACITY LOOKUP.

Τα υπόλοιπα στοιχεία που πρέπει να γνωρίζουμε για να ολοκληρώσουμε το μοντέλο μας είναι:

- Η προσομοίωση θα γίνει για τους πρώτους 240 μήνες (20 χρόνια), με $\text{TIME STEP}=0.5$.
- $\text{POPULATION}=200$.
- $\text{Consumption rate}=\text{POPULATION} * \text{per capita consumption}$.
- Η flow μεταβλητή initiation rate = Production capacity.
- $\text{Capacity acquisition rate}=(\text{desired production capacity} - \text{Production Capacity}) / \text{CAPACITY ACQUISITION DELAY}$.
- Η αρχική δυνατότητα παραγωγής (Initial Production Capacity) είναι 600 μονάδες ανά μήνα ενώ το αρχικό απόθεμα των διανομέων (Distributors Inventory) είναι 6000 μονάδες.
- $\text{EXPECTED PRICE ADJUSTMENT DELAY}=5$ μήνες.
- $\text{PRODUCTION DELAY}=12$ μήνες.[12]

3.3 Τρίτο Παράδειγμα – Αναπτυσσόμενη αγορά – Προσαρμογή παραγωγής

Κατά την είσοδο ενός νέου μοντέλου ή υπηρεσίας στην αγορά οι πωλήσεις του παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις. Υπάρχουν περίοδοι όπου οι πωλήσεις βρίσκονται σε πολύ υψηλά επίπεδα, αλλά και χρονικά διαστήματα όπου οι πωλήσεις περιορίζονται σημαντικά. Στη μεθοδολογία Systems Dynamics μεγάλη αύξηση των πωλήσεων συνεπάγεται την ύπαρξη κάποιου positive feedback loop (θετικού βρόγχου ανάδρασης) που οδηγεί σταδιακά σε εκθετική αύξηση (exponential growth), ενώ μείωση στις πωλήσεις αντιστοιχεί στην παρουσία negative feedback loop with delay (αρνητικού βρόγχου ανάδρασης με καθυστέρηση) που και αυτό με τη σειρά προκαλεί έντονες διακυμάνσεις (oscillations). Οι πωλήσεις καταγράφουν ανοδική πορεία παρόλο που κατά διαστήματα (οι πωλήσεις) βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Στην ενότητα αυτή θα μελετήσουμε μια τέτοια συμπεριφορά σε μια αγορά που οι καθυστερήσεις στη παράδοση των προϊόντων ή στη παροχή της υπηρεσίας επηρεάζει σημαντικά τη πορεία των πωλήσεων. Αυτό βέβαια συμβαίνει σε πολλές κατηγορίες προϊόντων, ο ανταγωνισμός πλέον είναι πολύ έντονος, οι τιμές είναι πολύ χαμηλές, ενώ οι διαφορές μεταξύ των ανταγωνιστικών προϊόντων που υπάρχουν στην αγορά είναι

πολύ μικρές. Μέσα σε αυτό το περιβάλλον είναι δύσκολο κάποια εταιρία ή επιχείρηση να αποκτήσει κάποιο σαφές ανταγωνιστικό πλεονέκτημα που θα την διαφοροποιήσει από τους ανταγωνιστές της, άρα το βάρος δίνεται στην άμεση εξυπηρέτηση του πελάτη. Για παράδειγμα ένας πελάτης που παραγγέλνει μια τηλεόραση θέλει να την παραλάβει μέσα σε 1-2 μέρες το πολύ, άρα οι εταιρίες θα πρέπει να είναι σε θέση να ικανοποιήσουν αυτή την απαίτηση του καταναλωτή.

Το ίδιο ακριβώς ισχύει και στη περίπτωση που ο πελάτης δεν είναι ένας απλός καταναλωτής αλλά μια μεγάλη εταιρία ή κάποιο εργοστάσιο. Για παράδειγμα κάποια εταιρία που κατασκευάζει προσωπικούς υπολογιστές θέλει από τους προμηθευτές της να της ετοιμάζουν άμεσα τις παραγγελίες, πιθανή καθυστέρηση στη παραλαβή των πρώτων υλών προκαλεί καθυστέρηση στη παραγωγή της με ότι αυτό συνεπάγεται και για τις πωλήσεις της. Στο παρακάτω Stock Flow diagram περιγράφεται μια τέτοια περίπτωση, μια εταιρία δραστηριοποιείται σε μια αναπτυσσόμενη αγορά και προσπαθεί να καλύψει όσο γίνεται πιο γρήγορα και αποτελεσματικά τις απαιτήσεις των πελατών της. Πιο συγκεκριμένα η εταιρία της οποίας οι διαδικασίες μοντελοποιούνται προμηθεύει με κάποιο προϊόν κατασκευαστές προσωπικών υπολογιστών.

Στο μοντέλο αυτό όπως θα διαπιστώσουμε και παρακάτω εμπλέκονται τρεις διαφορετικοί τομείς. Στο πάνω αριστερό μέρος του διαγράμματος αναπαρίσταται ο τομέας των πωλήσεων. Μελετώντας τις εξισώσεις των μεταβλητών που ανήκουν σε αυτό το τομέα προκύπτουν πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Αρχικά, εντοπίζουμε τη Stock μεταβλητή Sales Force (Δυναμικό Πωλήσεων) που αντιπροσωπεύει το πλήθος των υπαλλήλων που εργάζονται στο συγκεκριμένο τομέα. Ο αριθμός των υπαλλήλων εξαρτάται στο τομέα των πωλήσεων εξαρτάται από τις παραγγελίες (bookings) που γίνονται αλλά και από τα χρήματα που δαπανά η επιχείρηση για το συγκεκριμένο τομέα.

Από τη πώληση του κάθε προϊόντος η επιχείρηση έχει κάποιο κέρδος (REVENUE PER UNIT SOLD), αν πολλαπλασιαστεί αυτό το κέρδος με το πλήθος των προϊόντων (bookings) που πουλάει τότε προκύπτουν τα συνολικά έσοδα. Κάποιο μέρος (FRACTION OF REVENUE ALLOCATED TO SALES) από τα συνολικά έσοδα (revenue) επενδύονται στο τομέα των πωλήσεων (revenue allocated to sales). Προφανώς, ο κάθε υπάλληλος έχει κάποιο προκαθορισμένο μισθό που στο σύστημα εκφράζεται μέσω της σταθεράς SALES FORCE COMPENSATION. Για να γίνουν αλλαγές στο

προσωπικό της επιχείρησης απαιτείται κάποιο χρονικό διάστημα (HIRING AND LAYOFF DELAY) δεν μπορεί άμεσα ούτε να απολυθούν υπάλληλοι άλλα ούτε και να προσληφθούν. Έχοντας επεξηγήσει τον τρόπο λειτουργίας του τομέα πωλήσεων είμαστε σε θέση να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο προέκυψαν οι εξισώσεις που διέπουν τις μεταβλητές που αναφέραμε σε αυτή τη παράγραφο. Οι εξισώσεις αυτές προκύπτουν εύκολα και δεν είναι καθόλου πολύπλοκες. Μέχρις στιγμής δεν αναφερθήκαμε στη σταθερά INITIAL SALES FORCE που εκφράζει τον αριθμό των εργαζομένων όταν εμείς ξεκινάμε τη προσομοίωση. Τέλος, πρέπει να επισημάνουμε ότι η συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των μεταβλητών SALES FORCE και bookings υποδηλώνει την αλληλεπίδραση που υπάρχει μεταξύ του τομέα των Πωλήσεων και του τομέα Παραγωγής (συγκεκριμένα οι πωλήσεις “bookings” επηρεάζουν τα έσοδα που με τη σειρά τους επηρεάζουν τη μεταβλητή SALES FORCE διαδοχικά η μεταβλητή SALES FORCE επηρεάζει τη flow μεταβλητή bookings).

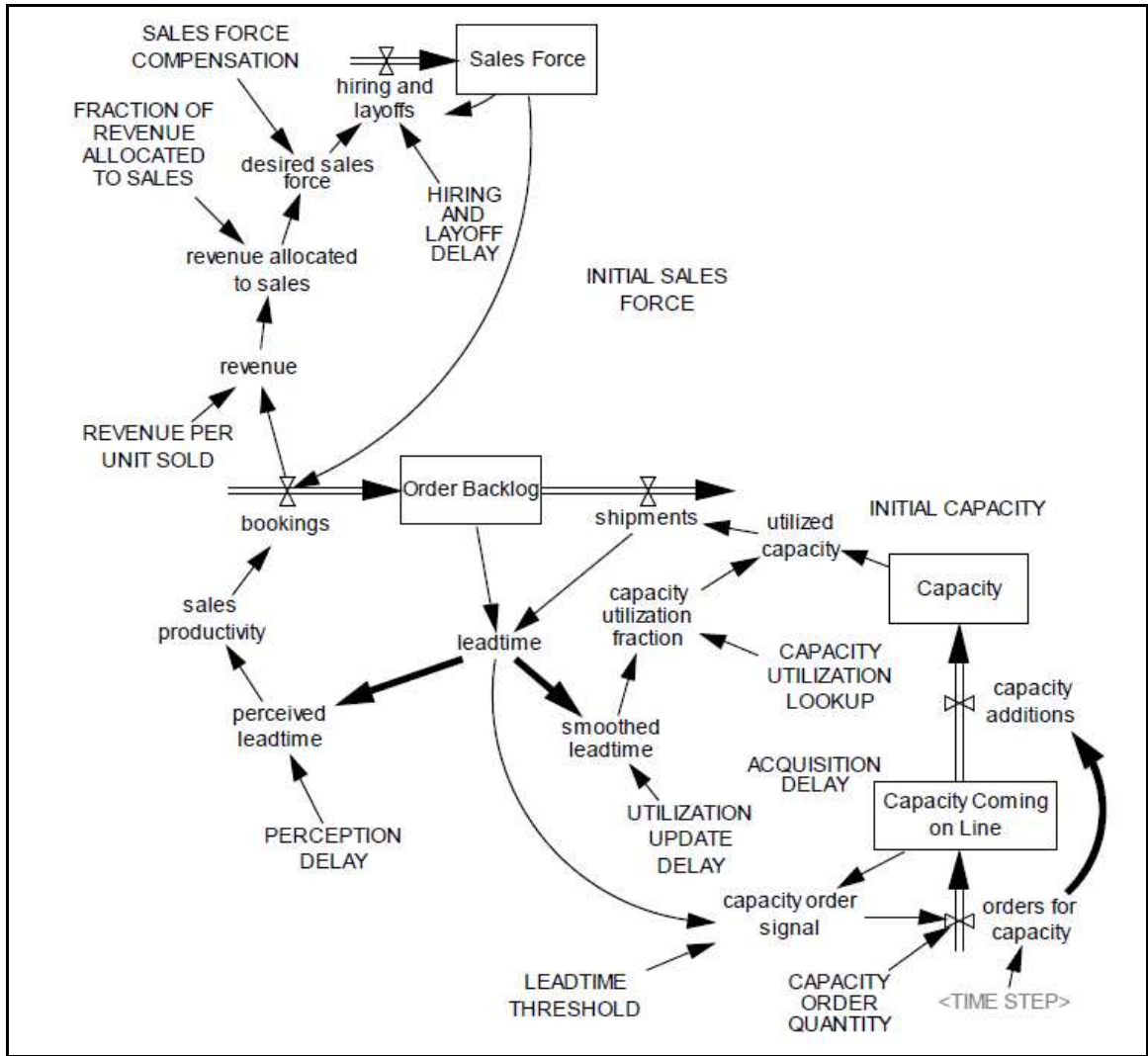
Επίσης, η τιμή της flow μεταβλητής bookings επηρεάζεται από τη τιμή της μεταβλητής “perceived lead time”, στις εξισώσεις 2 και 29 βλέπουμε με ποιο ακριβώς τρόπο επηρεάζει η μια μεταβλητή την άλλη. Η flow μεταβλητή Shipments εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο αποστέλλονται τα προϊόντα στους πελάτες, ενώ η μεταβλητή lead time είναι η χρονική περίοδος που μεσολαβεί από τη στιγμή της έναρξης μιας διαδικασίας στο τομέα παραγωγής μέχρι τη στιγμή της ολοκλήρωσης της. Στο παράδειγμα μας αυτή η διαδικασία είναι η αποστολή της παραγγελίας. Βέβαια ο πελάτης αντιλαμβάνεται με διαφορετικό τρόπο το χρόνο ολοκλήρωσης μιας διαδικασίας, εν προκειμένω το εργοστάσιο μπορεί να έχει ετοιμάσει και στείλει τη παραγγελία ο πελάτης όμως δεν την παραλαμβάνει ακόμα, δυστυχώς μεσολαβεί κάποιο μικρό χρονικό διάστημα (perceived lead time). Διαπιστώνουμε επίσης ότι όσο μεγαλύτερη η τιμή τόσο μειώνεται η παραγωγικότητα των πωλήσεων (sales productivity) γεγονός που επηρεάζει αρνητικά και τις παραγγελίες (bookings).

Με τον όρο Utilization Capacity αναφερόμαστε στο λόγο ανάμεσα στη παραγωγή που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα μέσα (εξοπλισμός, κεφάλαια, ανθρώπινο δυναμικό) και τη παραγωγή που θα επιτυγχανόταν αν αξιοποιόταν πλήρως (σε ποσοστό 100%) οι διαθέσιμοι πόροι, στο παράδειγμα μας αυτό εκφράζεται μέσω της μεταβλητής capacity utilization fraction. Ο όρος Capacity εκφράζει τη παραγωγική ικανότητα της επιχείρησης. Η μεταβλητή lead time επηρεάζει άμεσα τη τιμή της μεταβλητή Utilization

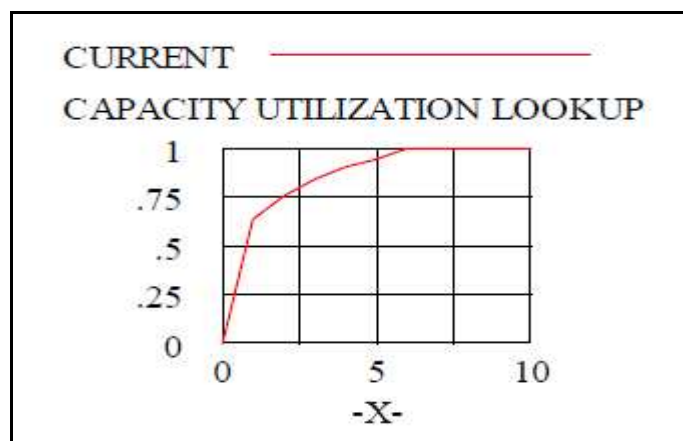
Capacity (αύξηση στη τιμή της lead time συνεπάγεται αύξηση στη τιμή της Utilization Capacity. Η μεταβλητή utilize capacity εκφράζει το επίπεδο λειτουργίας του τομέα παραγωγής, δηλαδή η τιμή της μας υποδηλώνει σε πιο επίπεδο βρίσκεται η παραγωγή της.

Εκτός από το τομέα πωλήσεων και παραγωγής εξετάζουμε και το τομέα που είναι γνωστός με την ονομασία Capacity Acquisition. Και σε αυτό το τομέα η τιμή της μεταβλητής lead time διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Συγκεκριμένα επηρεάζει τη τιμή της μεταβλητής capacity order signal (εξίσωση 7). Αυτή η μεταβλητή υπάρχει για τη περίπτωση όπου όταν υπάρχουν παραγγελίες και ο χρόνος που απαιτείται για να ετοιμαστούν είναι μεγάλες τότε προφανώς απαιτείται να αυξηθεί η παραγωγή. Έτσι λοιπόν όταν capacity order signal=1 τότε αυξάνεται η παραγωγή. Η αύξηση της παραγωγής δεν γίνεται τυχαία αντιθέτως ο ρυθμός αύξησης γίνεται με συγκεκριμένο τρόπο, η σταθερά CAPACITY ORDER QUANTITY καθορίζει το ρυθμό αύξησης της παραγωγής. Επιπλέον, η σταθερά LEAD TIME THRESHOLD εκφράζει το χρονικό όριο που δεν πρέπει να υπερβαίνει το εργοστάσιο για την διεκπαιρέωση μιας παραγγελίας. Αν η επιχείρηση καθυστερήσει αρκετά τότε προφανώς οι πελάτες θα είναι δυσαρεστημένοι. Όσον αφορά το προσδιορισμό των αρχικών τιμών το πακέτο Vensim Ple είναι σε θέση να υπολογίσει τις αρχικές τιμές για τις περισσότερες μεταβλητές του μοντέλου μας. Όμως υπάρχουν και περιπτώσεις που αυτό δεν μπορεί να γίνει. Συγκεκριμένα για τις μεταβλητές shipments, lead time, smoothed lead time, capacity utilization fraction και utilize capacity δεν μπορεί το Vensim Ple να υπολογίσει τις αρχικές του τιμές καθώς θα πρέπει να λύσει ένα μεγάλο σύστημα διαφόρων εξισώσεων, λειτουργία που δεν περιέχεται στο συγκεκριμένο πακέτο.

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα δίνεται στην εξίσωση 32 χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση SMOOTH I μπορούμε να προσδιορίσουμε την αρχική τιμή της εξόδου της συνάρτησης SMOOTH. Δίνοντας με αυτό τον τρόπο αρχική τιμή για τη μεταβλητή lead time γίνεται πολύ εύκολο να προσδιοριστούν οι αρχικές τιμές και για τις υπόλοιπες μεταβλητές. Το φαινόμενο αυτό το είχαμε μελετήσει και στο προηγούμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 3-21: Stock flow diagram Αναπτυσσόμενη αγορά – Προσαρμογή παραγωγής.



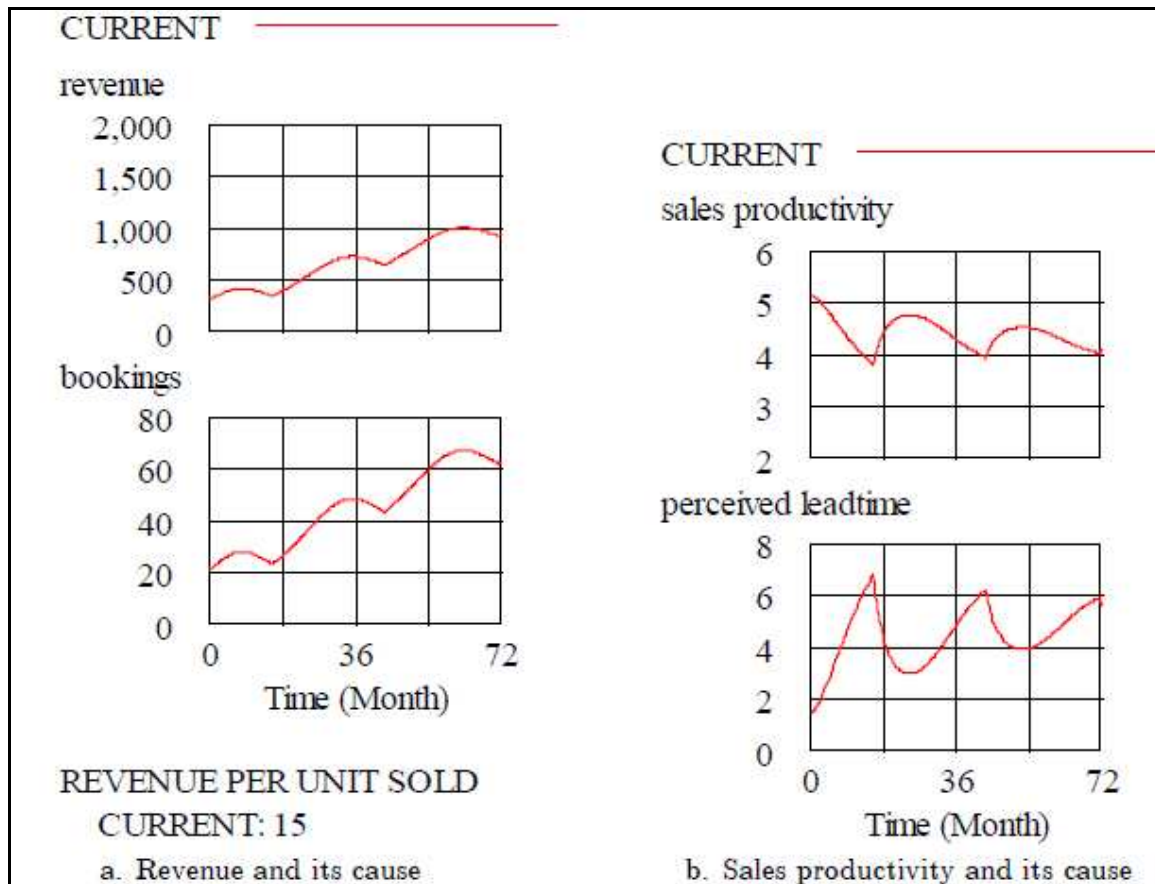
Σχήμα 3-22 Υλοποίηση LookUp συνάρτησης.


```

(01) ACQUISITION DELAY = 6
(02) bookings = Sales Force * sales productivity
(03) Capacity = INTEG(capacity additions, INITIAL CAPACITY)
(04) capacity additions
    = DELAY FIXED(orders for capacity, ACQUISITION DELAY, 0)
(05) Capacity Coming on Line
    = INTEG(+orders for capacity - capacity additions, 0)
(06) CAPACITY ORDER QUANTITY = 20
(07) capacity order signal
    = IF THEN ELSE(leadtime > LEADTIME THRESHOLD
                  :AND: Capacity Coming on Line = 0, 1, 0)
(08) capacity utilization fraction
    = CAPACITY UTILIZATION LOOKUP(smoothed leadtime)
(09) CAPACITY UTILIZATION LOOKUP (([(0,0)-(10,10)],(0,0),(1,0.63),
    (2,0.75),(3,0.83),(4,0.9),(5,0.945),(6,0.99),(7,0.99),
    (8,0.99),(9,0.99),(10,0.99) )
(10) desired sales force
    = revenue allocated to sales / SALES FORCE COMPENSATION
(11) FINAL TIME = 72
(12) FRACTION OF REVENUE ALLOCATED TO SALES = 0.4
(13) HIRING AND LAYOFF DELAY = 3
(14) hiring and layoffs
    = (desired sales force - Sales Force) / HIRING AND LAYOFF DELAY
(15) INITIAL CAPACITY = 20
(16) INITIAL SALES FORCE = 4
(17) INITIAL TIME = 0
(18) leadtime = Order Backlog / shipments
(19) LEADTIME THRESHOLD = 5.5
(20) Order Backlog
    = INTEG(bookings - shipments, 5 * INITIAL SALES FORCE)
(21) orders for capacity
    = capacity order signal * CAPACITY ORDER QUANTITY / TIME STEP
(22) perceived leadtime = SMOOTH(leadtime, PERCEPTION DELAY)
(23) PERCEPTION DELAY = 2
(24) revenue = bookings * REVENUE PER UNIT SOLD
(25) revenue allocated to sales
    = revenue * FRACTION OF REVENUE ALLOCATED TO SALES
(26) REVENUE PER UNIT SOLD = 15
(27) Sales Force = INTEG(hiring and layoffs, INITIAL SALES FORCE)
(28) SALES FORCE COMPENSATION = 25
(29) sales productivity = 5 - 0.25 * (perceived leadtime - 2)
(30) SAVEPER = TIME STEP
(31) shipments = utilized capacity
(32) smoothed leadtime
    = SMOOTHI(leadtime, UTILIZATION UPDATE DELAY, 1.4)
(33) TIME STEP = 0.25
(34) UTILIZATION UPDATE DELAY = 1
(35) utilized capacity = Capacity * capacity utilization fraction

```

Σχήμα 3-23: Εξισώσεις στο Vensim Ple
 Αναπτυσσόμενη αγορά – Προσαρμογή παραγωγής.



Σχήμα 3-24: Αποτελέσματα προσομοίωσης /Sales – Marketing model output.

Το επόμενο βήμα που ακολουθεί είναι η προσομοίωση του μοντέλου και η μελέτη των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Στην εικόνα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Συγκεκριμένα στην εικόνα .a παρουσιάζονται οι πορείες των μεταβλητών revenue (έσοδα) και bookings (παραγγελίες). Παρατηρούμε και στις δυο περιπτώσεις οι τιμές τους παρουσιάζουν ανοδική πορεία η οποία κατά διαστήματα παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις (oscillations). Η προσομοίωση γίνεται σε χρονικό ορίζοντα 72 μηνών (6 χρόνια) ενώ οι διάφορες φάσεις αύξησης ή μείωσης διαρκούν μόνο ορισμένους μήνες. Γενικά και για τις δύο μεταβλητές ισχύει ότι η πορεία τους μέσα σε αυτό το διάστημα των 6 χρόνων είναι ανοδική (υπάρχει δηλαδή ένα καταγεγραμμένο πρότυπο συμπεριφοράς – long-term pattern), αυτό όμως δεν γίνεται αντιληπτό από τους εργαζόμενους στο τομέα των πωλήσεων. Όταν ξεκινάει μια περίοδος ύφεσης κανείς δεν γνωρίζει ποια θα είναι η διάρκεια και πότε θα ξεκινήσει η περίοδος ανάκαμψης. Βέβαια στο πραγματικό κόσμο η πορεία των πωλήσεων είναι τελείως απρόβλεπτη, επομένως είναι αδύνατο να καταφέρει κάποιος να κάνει εύκολα εκτιμήσεις για το μέλλον.

Είναι προφανές ότι σχεδόν πάντα προσπαθούμε να βρούμε τι προκάλεσε την ύφεση μιας μεταβλητής που μας ενδιαφέρει. Στην εικόνα .β βλέπουμε ότι οι μεταβλητές sales productivity και perceived lead time ακολουθούν αντίστροφη πορεία, συγκεκριμένα η μεταβλητή sales productivity ακολουθεί συνολικά καθοδική πορεία με διακυμάνσεις ενώ η μεταβλητή perceived lead time ακολουθεί ανοδική πορεία με μεγαλύτερες και πιο έντονες διακυμάνσεις (σε σχέση με τη προηγούμενη μεταβλητή). Επομένως, μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν αυτές οι δύο μεταβλητές. Όμως, στο πραγματικό κόσμο να μην γινόταν αντιληπτό ότι το lead time (ο συγκεκριμένος όρος αναλύθηκε στην αρχή του παραδείγματος) αυξάνεται. Ενδεχομένως το προσωπικό του τομέα των πωλήσεων να θέλει να προωθήσει το συγκεκριμένο προϊόν ή υπηρεσία αλλά να μην γνωρίζει ποιοι παράγοντες επηρεάζουν ακριβώς τις πωλήσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι πωλήσεις να κινούνται σε χαμηλά επίπεδα ενώ ταυτόχρονα να μην μπορεί να βρεθεί κάποιος αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης. Μια προφανής λύση για το συγκεκριμένο πρόβλημα θα ήταν να απολύσουμε το υπάρχον προσωπικό και να προσλάβουμε άτομα που θα έχουν καλύτερη αντίληψη και θα ξέρουν πώς να προωθήσουν καλύτερα το προϊόν. Η αντικατάσταση του προσωπικού απαιτεί κάποιο χρονικό διάστημα και σε αυτό το σημείο μπορεί να προκύψει κάτι πραγματικό ενδιαφέρον. Όπως είδαμε και στις γραφικές παραστάσεις οι πωλήσεις κατά διαστήματα αυξάνονται εάν η πρόσληψη των νέων υπαλλήλων γίνει τη περίοδο ανάκαμψης τότε η επιτυχία αυτή θα αποδοθεί λανθασμένα στην απόφαση μας να αντικαταστήσουμε το προσωπικό. [13]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - DATA MINING & ΙΑΤΡΙΚΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα προσπαθήσουμε να αποκτήσουμε το απαραίτητο γνωστικό υπόβαθρο για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε τη συμβολή της πληροφορικής και ειδικότερα των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στη διάγνωση μερικών σοβαρών ασθενειών. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει αλλάξει άρδην το σκηνικό σε παρά πολλούς επιστημονικούς τομείς, εξαίρεση δεν θα μπορούσε να αποτελέσει και ο τομέας της ιατρικής. Στη παρούσα εργασία θα δούμε πως κάποιοι αλγόριθμοι υποστήριξης αποφάσεων μπορούν να μας βοηθήσουν στον εντοπισμό τεσσάρων συχνών και ταυτόχρονα πολύ κρίσιμων καρδιακών προβλημάτων.

Γνωστικό υπόβαθρο

Αποκτώντας το απαραίτητο γνωστικό υπόβαθρο θα είμαστε πλέον σε θέση να κατανοήσουμε πλήρως το αντικείμενο και το στόχο της συγκεκριμένης εργασίας.

Χρήσιμοι Ορισμοί

- Εξόρυξη γνώσης (data and knowledge mining technology) είναι μια διαδικασία κατά την οποία ανακαλύπτεται υπονοούμενη γνώση (κρυμμένες σχέσεις, κρυμμένοι συσχετισμοί, κρυμμένα πρότυπα και τάσεις σε δεδομένα, σχέσεις των δεδομένων που υπάρχουν μεν αλλά δεν είναι εμφανή) μέσα από μεγάλες βάσεις δεδομένων. (Han και Fu 1999; Hirota και Pedrycz 1999) (Kao και Chang και Lin 2003) .
- Καρδιακή στηθοσκοπήση (Heart auscultation): ορίζεται ως η διαδικασία ακρόασης και ερμηνείας του ήχου που παράγεται από τη καρδιά, αποτελεί μια από τις σημαντικότερες μεθόδους διάγνωσης καρδιακών νοσημάτων εδώ και πάρα πολλά χρόνια καθώς οι δυσλειτουργίες που προκαλούνται από καρδιακές βλάβες επηρεάζουν άμεσα το χτύπο της καρδιάς. Είναι ο πιο διαδεδομένος , γρήγορος και φτηνός τρόπος για την εξέταση της καρδιάς , ενώ ταυτόχρονα μπορεί ένας έμπειρος γιατρός να εξάγει πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Βεβαίως, η τεχνολογία έχει αλλάξει τα δεδομένα και σε αυτό το χώρο καθώς έχουμε προχωρήσει στη χρήση νέων ψηφιακών στηθοσκοπίων που έχουν τη δυνατότητα να ηχογραφούν από μόνα τους το καρδιακό χτύπο και

παράλληλα να τον επεξεργάζονται, προσφέροντας παράλληλα στον επιστήμονα τη δυνατότητα να μελετήσει με πολύ μεγάλη ακρίβεια τους χτύπους της καρδιάς.

- **Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων: Decision Support System (DSS)** - Τα συστήματα υποστήριξης της απόφασης είναι αλληλεπιδραστικά συστήματα, βασισμένα σε Η/Υ, που σκοπεύουν στην υποβοήθηση των αποφασίζόντων να αξιοποιήσουν δεδομένα και μοντέλα, προκειμένου να αναγνωρίσουν και να λύσουν προβλήματα και να λάβουν αποφάσεις. "Το σύστημα πρέπει να βοηθά έναν αποφασίζοντα στην επίλυση απρογραμμάτιστων, μη-δομημένων (ή ημιδομημένων) προβλημάτων. (□) Το σύστημα οφείλει να παρέχει τη δυνατότητα αντιμετώπισης ερωτημάτων, αλληλεπιδραστικά, με τέτοια έκφραση-γλώσσα, που να είναι εύκολο για οποιονδήποτε να το μάθει και να το χρησιμοποιεί (Bonczek, Holsapple & Whinston, 1981, σελ.19)." Τα Σ.Υ.Α. βοηθούν τους υπεύθυνους / αποφασίζοντες να χρησιμοποιούν και να χειρίζονται πληροφορίες, να εφαρμόζουν λίστες ελέγχου (checklists) και ευρετικά προγράμματα (heuristics) και να κτίζουν και χρησιμοποιούν μαθηματικά μοντέλα. Σύμφωνα με τον Turban (1990), ένα Σ.Υ.Α. έχει τέσσερα κύρια χαρακτηριστικά:

1. Εμπεριέχει μοντέλα και δεδομένα.
2. Είναι σχεδιασμένο για να υποστηρίζει διαδικασίες λήψης απόφασης σε ημιδομημένα ή μη-δομημένα προβλήματα.
3. Υποστηρίζει παρά αντικαθιστά την διοικητική κρίση.
4. Στόχος του είναι η βελτίωση της αποτελεσματικότητας των αποφάσεων και όχι της ικανότητας με την οποία λαμβάνονται οι αποφάσεις.[17]

4.1 Στόχοι & Αντικείμενο εργασίας

Σε αυτό το κομμάτι της εργασίας ασχοληθήκαμε κυρίως με τη εφαρμογή αλγορίθμων υποστήριξης αποφάσεων σε πραγματικά δεδομένα, εξετάσαμε τη συμπεριφορά τους, τους συγκρίναμε και καταλήξαμε στους πιο αποδοτικούς. Συγκεκριμένα τώρα θα παρουσιάσουμε συνοπτικά το πραγματικό πρόβλημα με το οποίο ασχοληθήκαμε:

Όλη γνωρίζουμε ότι τα καρδιακά προβλήματα αποτελούν τη πρώτη αιτία θανάτου στο κόσμο σύμφωνα με τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας επομένως καταλαβαίνουμε ότι είναι μείζονος σημασίας η έγκαιρη και σωστή διάγνωση ασθενειών που σχετίζονται με τη καρδιά. Σε ένα πρώτο επίπεδο το στηθοσκόπιο αποτελεί το βασικό εργαλείο για την

εξέταση ενός ασθενή που εισάγεται σε ένα νοσοκομείο με προβλήματα στη καρδιά. Ο χτύπος της καρδιάς συχνά υποδηλώνει την ύπαρξη κάποιου προβλήματος. Στη περίπτωση μας αξιοποιήσαμε ιατρικά δεδομένα (συγκεκριμένα σήματα που αναπαριστούν τους καρδιακούς χτύπους ασθενών που είχαν επισκεφτεί κάποιο κέντρο υγείας)που είχε συλλέξει η επιστημονική ομάδα των κυρίων Η.Μαγκλογιάννη , Ε.Λουκή , Η.Ζαφειρόπουλου και Α.Στάση και προερχόταν από ψηφιακό στηθοσκόπιο. Εκτός από τα υγιεί δείγματα υπήρχαν και περιπτώσεις όπου οι ασθενείς παρουσίασαν κάποιες σοβαρές επιπλοκές, εμείς αυτό που κάναμε ήταν στα δείγματα αυτό με τη βοήθεια του εργαλείου WEKA να εφαρμόσουμε κάποιου αλγόριθμους υποστήριξης αποφάσεων και να δούμε ποιος από αυτούς είναι πιο αποτελεσματικός (δηλαδή ποιος κάνει τη καλύτερη κατηγοριοποίηση).

4.2 Ασθένειες που εξετάστηκαν

Τα τέσσερα καρδιακά προβλήματα που μελετήσαμε ήταν τα εξής:

- Στένωση Αορτής (AS – Aortic Stenosis)
- Ανεπάρκεια μιτροειδούς βαλβίδας (MR- Mitral Regurgitation)
- Ανεπάρκεια αορτικής βαλβίδας (AR- Aortic Regurgitation)
- Στένωση Μιτροειδούς βαλβίδας (MS- Mitral Stenosis)

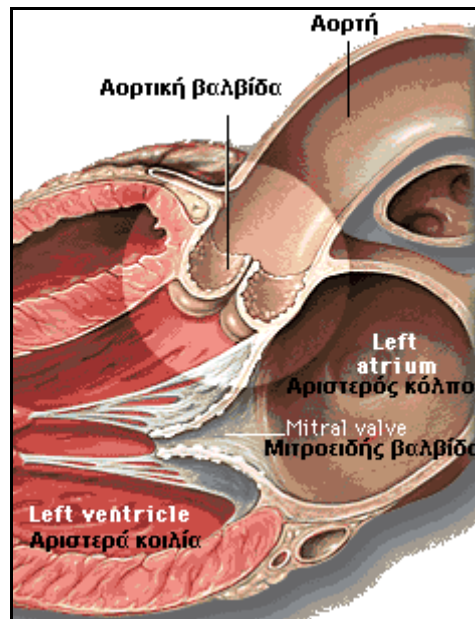
Παρακάτω παραθέτουμε ορισμένες χρήσιμες πληροφορίες για αυτές τις ασθένειες.

4.2.1 Στένωση Αορτής ή στένωση αορτικής βαλβίδας

Η αορτική βαλβίδα βρίσκεται μεταξύ αριστεράς κοιλιάς και αορτής, και αποτελείται από τρεις πτυχές. Στην συστολή της καρδιάς ανοίγει και στην διαστολή κλείνει. Φυσιολογικά το άνοιγμα της βαλβίδας είναι 3-4 τετραγωνικά εκατοστά. Εάν από κάποια αιτία το στόμιο της βαλβίδας γίνει μικρότερο η κατάσταση αυτή ονομάζεται στένωση της αορτικής βαλβίδας.

Η μείωση του όγκου παλμού συμβαίνει όταν το στόμιο της αορτικής βαλβίδας φθάσει στο μισό του φυσιολογικού και τα συμπτώματα σε ακόμα μικρότερη στένωση του στομίου.

Λόγω του εμποδίου στην εξώθηση του αίματος, αυξάνεται η πίεση στην αριστερή κοιλία και δημιουργείται διαφορά πίεσης μεταξύ αριστερής κοιλιάς και αορτής.



Σχήμα 4-1 Αναπαράσταση αορτικής βαλβίδας.

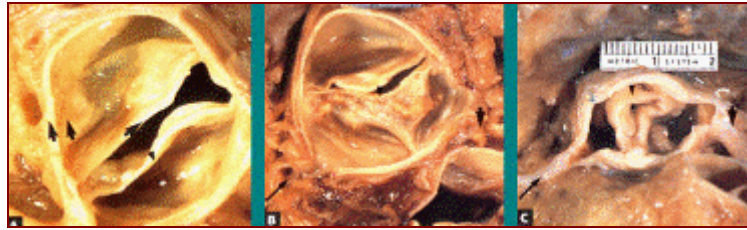
Η φόρτιση της αριστερής κοιλίας προκαλεί συγκεντρική υπερτροφία που οδηγεί σε μείωση της ενδοτικότητας αυτής και αύξησης της διαστολικής της πίεσης. Γίνεται αντιληπτό ότι η συμβολή της κολπικής συστολής είναι σημαντικής σημασίας στην διατήρηση του όγκου παλμού και η απώλεια της προκαλεί σημαντική πτώση της καρδιακής παροχής και σημεία καρδιακής ανεπάρκειας. Σε προχωρημένα στάδια η αριστερή κοιλία διατείνεται και προκαλείται καρδιακή ανεπάρκεια.

Ποια τα αίτια της στένωσης της αορτικής βαλβίδας;

- **Συγγενής στένωση**

Πρόκειται για ασβέσωση συγγενούς δίπτυχης αορτικής βαλβίδας, (η αορτική βαλβίδα αποτελείται από δυο πτυχές και όχι τρεις όπως είναι το φυσιολογικό). Εδώ η στένωση παρουσιάζεται σε ηλικία 30-60 ετών περίπου. Σπάνια η βαλβίδα αποτελείται από μια πτυχή (μονόπτυχη αορτική βαλβίδα) και η στένωση εμφανίζεται σε μικρή ηλικία.

Εμφανίζεται σε άτομα μικρότερα των 30 ετών και οφείλεται σε παρουσία μονόπτυχης ή δίπτυχης αορτικής βαλβίδας. Γενικότερα η συγγενής στένωση μπορεί να εμφανίζεται σε ηλικίες από 30-70 ετών.



Σχήμα 4-2 Βλάβες αορτικής βαλβίδας.

- **Ρευματική στένωση**

Συμβαίνει ή λόγω εκτεταμένης συγκόλλησης ή λόγω δευτερογενούς εναπόθεσης αλάτων ασβεστίου λόγω ρευματικού πυρετού.

- **Εκφυλιστική στένωση**

Σε μεγάλη ηλικία συγκεντρώνεται ασβέστιο και προκαλείται στένωση της τρίπτυχης αορτικής βαλβίδας. Εμφανίζεται σε άτομα ηλικίας μεγαλύτερης των 70 ετών. Το ποσοστό ασβέστωσης τρίπτυχης αορτικής βαλβίδας σε άτομα πάνω από 85 ετών φθάνει το 30%.

Ποια τα συμπτώματα;

Η στένωση αορτής εμφανίζεται με την χαρακτηριστική τριάδα συμπτωμάτων:

- **Δύσπνοια και εύκολη κόπωση**
- **Στηθάγχη**
- **Συγκοπτικά επεισόδια.**

Δύσπνοια: Οφείλεται σε αριστερή καρδιακή ανεπάρκεια. Στην αρχή παρουσιάζεται στην κόπωση, και μετά στην ηρεμία. Όταν είναι σοβαρή η δύσπνοια μπορεί να εκδηλωθεί σαν οξύ πνευμονικό οίδημα. Η εμφάνιση της μειώνει το προσδόκιμο επιβίωσης στα 2 έτη.

Στηθάγχη: Η στηθάγχη είναι το συχνότερο σύμπτωμα και η εμφάνιση της μειώνει την επιβίωση στα 5 έτη. Οφείλεται σε:

- Μείωση της διαστολικής περιόδου λόγω αύξησης της περιόδου εξώθησης
- Σημαντική αύξηση της ενδομυοκαρδιακής πίεσης, που μειώνει την στεφανιαία ροή
- Υπερτροφία της αριστερής κοιλίας
- Συνυπάρχουσα στεφανιαία νόσος

Συγκοπτικά επεισόδια ή ζάλη στην προσπάθεια: Οι συγκοπτικές κρίσεις εμφανίζονται κατά ή μετά την προσπάθεια και οφείλονται σε πτώση της καρδιακής παροχής ή διαταραχές του καρδιακού ρυθμού.

Η εμφάνιση της μειώνει την επιβίωση σε 3-4 έτη.

Μπορεί επίσης να εμφανισθεί εύκολη κόπωση.

Πως γίνεται η διάγνωση;

Από το ιστορικό και τα συμπτώματα του ασθενούς.

Κατά την **ψηλάφηση** παρατηρούνται:

- Μικρός σφυγμός με βραδεία άνοδο και κάθοδο
- Συστολικός ροίζος στην εστία ακρόασης της αορτής και στον τραχήλο
- Παρατεταμένη ώση της υπερτροφικής αριστερής κοιλίας

Κατά την **ακρόαση** διαπιστώνονται τα εξής (που αποτελεί και το αντικείμενο της εργασίας μας):

- Ακούγεται ένα ειδικό φύσημα στην διάρκεια της συστολής, και οφείλεται στο θόρυβο που παράγει το αίμα καθώς περνά από τη στενωμένη αορτική βαλβίδα. Ακούγεται καλύτερα στην εστία ακρόασης της αορτής με επέκταση στα αγγεία του τραχήλου, αρχίζει μετά τον 1ο τόνο και τελειώνει πριν τον 2ο και έχει σχήμα ρομβοειδές.
- Συστολικός ήχος εξώθησης (ακούγεται μόνο στη παιδική ηλικία)
- Μείωση της έντασης του αορτικού στοιχείου του 2ου τόνου σε σοβαρή στένωση, λόγω μειωμένης κινητικότητας της βαλβίδας.
- Τέταρτος καρδιακός τόνος σε σοβαρή στένωση λόγω ισχυρής κολπικής συστολής

Στο **ηλεκτροκαρδιογράφημα** μπορούν να παρατηρηθούν:

Σε ήπια αορτική στένωση είναι συνήθως φυσιολογικό.

Σε σοβαρή στένωση παρατηρούνται:

- Βαθιά S στις δεξιές προκάρδιες και ψηλά R στις αριστερές προκάρδιες λόγω υπερτροφίας της αριστερής κοιλίας
- Πτώση του ST και αναστροφή του T

Στην **ακτινογραφία θώρακα** μπορούν να παρατηρηθούν:

- Αποστρογγύλωση του κάτω αριστερού καρδιακού τόξου, μεταστενωτική διάταση ανιούσης αορτής, ασβέστωση αορτικής βαλβίδας, διάταση αριστερού κόλπου.

Στο **υπερηχοκαρδιογράφημα** μπορούν να παρατηρηθούν:

- Πάχυνση-ασβέστωση αορτικών πτυχών, περιορισμός και θολωτή διάνοιξη της αορτικής βαλβίδας, συγκεντρική υπερτροφία αριστερής κοιλίας
- Με τη Doppler εξέταση μπορεί να μετρηθεί η συστολική κλίση πίεσης εκατέρωθεν της αορτικής βαλβίδας και να γίνει η ακριβής εκτίμηση της σοβαρότητας αυτής

Καθετηριασμός:

Τις περισσότερες φορές χρειάζεται, ιδιαίτερα σε καταστάσεις που υπάρχει υποψία στεφανιαίας νόσου.

Ποια η θεραπεία της στένωσης της αορτικής βαλβίδας;

Φαρμακευτική θεραπεία: Σε όλες τις περιπτώσεις προληπτική προφύλαξη για ενδοκαρδίτιδα με την χορήγηση αντιβιοτικών, όταν υπάρχει τραυματισμός, οδοντιατρική ή χειρουργική επέμβαση. Σε δύσπνοια χορηγούνται διουρητικά.

Χειρουργική θεραπεία: Όταν η στένωση της αορτικής βαλβίδας είναι σοβαρή γίνεται αντικατάσταση της βαλβίδας με βιολογική ή μεταλλική βαλβίδα. Σε ειδικές περιπτώσεις που η χειρουργική θεραπεία αντενδείκνυται μπορεί να γίνει διάνοιξη της βαλβίδας με μπαλόνι, χωρίς ικανοποιητικά αποτελέσματα. Τα κριτήρια για αντικατάσταση της αορτικής βαλβίδας καταγράφονται πιο κάτω στο πίνακα. Το 1/3 των ασθενών που πάσχουν από στένωση της αορτικής βαλβίδας δεν μπορούν να υποβληθούν σε καρδιοχειρουργική επέμβαση. Οι παράγοντες που κάνουν σχεδόν αδύνατη τη χειρουργική επέμβαση για την αντικατάσταση της στενωμένης βαλβίδας είναι η μεγάλη ηλικία (άνω των 75 ετών), η συνύπαρξη χρόνιας νεφρικής ανεπάρκειας, το βαρύ βρογχικό άσθμα και ο καρκίνος.



Σχήμα 4-3: Μεταλλική βαλβίδα στη θέση της αορτής.

Διαδερμική αντικατάσταση της αορτικής βαλβίδας: Μία νέα μέθοδος αντικατάστασης της αορτικής βαλβίδας με καθετήρα, χωρίς εγχείρηση έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια.

Η τοποθέτηση του καθετήρα γίνεται με τοπική αναισθησία, αναίμακτα με μια επέμβαση που μοιάζει με αυτή της στεφανιογραφίας ή της αγγειοπλαστικής και διαρκεί μόνο μισή ώρα. Η μέθοδος αυτή, που σήμερα εφαρμόζεται μόνο σε ασθενείς που έχουν υψηλό κίνδυνο για επιπλοκές με τη χειρουργική θεραπεία αντικατάστασης της βαλβίδας, αναμένεται να γίνει μελλοντικά επέμβαση ρουτίνας και να αντικαταστήσει τις πολύωρες χειρουργικές επεμβάσεις. Σήμερα, σε ασθενείς που ανήκουν στη κατηγορία αυτή, μπορεί να αντικατασταθεί η βαλβίδα με προώθηση της τεχνητής βαλβίδας με καθετήρα από τη μηριαία αρτηρία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία κινητοποίηση του ασθενούς και την ελάττωση του χρόνου νοσηλείας. Η βελτίωση της ποιότητας των υλικών που χρησιμοποιούνται θα οδηγήσει στο μέλλον η αντικατάσταση της αορτικής βαλβίδας με καθετήρα να αποτελέσει μέθοδο ρουτίνας και η εγχείρηση ανοιχτής καρδιάς να είναι απαραίτητη σε περιορισμένο αριθμό ασθενών. [32]

4.2.2 Ανεπάρκεια μιτροειδούς βαλβίδας

Η μιτροειδής βαλβίδα όπως έχουμε αναφέρει, βρίσκεται μεταξύ αριστερού κόλπου και αριστερής κοιλίας. Στην συστολή της καρδιάς κλείνει και στην διαστολή ανοίγει. Φυσιολογικά κατά την διάρκεια της συστολής η βαλβίδα κλίνει στεγανά. Εάν από κάποια

αιτία το στόμιο της βαλβίδας δεν κλείσει στεγανά τότε αίμα παλινδρομεί από την αριστερά κοιλία στον αριστερό κόλπο και η κατάσταση αυτή ονομάζεται ανεπάρκεια μιτροειδούς.

Η παλινδρομούσα ποσότητα αίματος αυξάνει τις διαστάσεις του αριστερού κόλπου, ενώ στη διαστολή επιστρέφει στην αριστερά κοιλία επιβαρύνοντας το έργο της. Αντιδραστικά η αριστερή κοιλία διατείνεται και παρουσιάζει υπερτροφία. Εάν εκδηλωθεί αιφνίδια ονομάζεται οξεία, αλλιώς, χρόνια ανεπάρκεια μιτροειδούς.

Στη χρόνια ανεπάρκεια μιτροειδούς λόγω αυξημένης διατασιμότητας της αριστερής κοιλίας η μεγάλη αύξηση του όγκου της αριστερής κοιλίας συνδυάζεται με χαμηλή τελοδιαστολική πίεση. Αποτέλεσμα των μηχανισμών αντιρρόπισης είναι ότι σε χρόνια ανεπάρκεια μιτροειδούς με μεγάλο και διατατό κόλπο, για πολλά χρόνια διατηρείται φυσιολογική η καρδιακή παροχή και η αρτηριακή πίεση με πνευμονικές πιέσεις επίσης φυσιολογικές ή λίγο αυξημένες. Η βαριά πνευμονική υπέρταση απαντά πολύ σπάνια σε αυτή τη μορφή της ανεπάρκειας μιτροειδούς. Στο τελικό στάδιο της κατάστασης αυτής εμφανίζονται εκδηλώσεις χαμηλής καρδιακής παροχής και πολύ λιγότερο πνευμονικής συμφόρησης. Από την άλλη μεριά όταν ο αριστερός κόλπος είναι μικρός και με φυσιολογική ή μειωμένη διατασιμότητα όπως συμβαίνει στην οξεία ανεπάρκεια της μιτροειδούς η πίεση στον αριστερό κόλπο και ιδιαίτερα το κύμα V αυξάνονται πολύ. Το κλινικοπαθολογικό επακόλουθο της σοβαρής οξείας ανεπάρκειας μιτροειδούς είναι πνευμονική συμφόρηση και οξύ πνευμονικό οίδημα.

Ποια τα αίτια της ανεπάρκειας μιτροειδούς;

- **Οξεία**
Οφείλεται σε έμφραγμα του μυοκαρδίου, λοιμώδη ενδοκαρδίτιδα ή τραυματισμό.
- **Χρόνια**
Συνήθως οφείλεται σε ρευματικό πυρετό. Στην κατάσταση αυτή σε αρκετές περιπτώσεις συνυπάρχει ταυτόχρονα και στένωση της βαλβίδας.
- Άλλες αιτίες είναι η πρόπτωση της βαλβίδας, η λειτουργική ανεπάρκεια λόγω διεύρυνσης του δακτυλίου που στηρίζεται η βαλβίδα από διάταση της αριστεράς κοιλίας σε καταστάσεις όπως η καρδιακή ανεπάρκεια.

Ποια τα συμπτώματα της ανεπάρκειας μιτροειδούς;

- **Οξεία**

Εκδηλώνεται αιφνίδια με έντονη δύσπνοια (οξύ πνευμονικό οίδημα) και πτώση της αρτηριακής πίεσεως.

- **Χρόνια**

Δύσπνοια:

Στην αρχή στην κόπωση, και μετά στην ηρεμία. Όταν είναι σοβαρή η δύσπνοια μπορεί να εκδηλωθεί σαν οξύ πνευμονικό οίδημα.

Εύκολη κόπωση:

Αίσθημα προκαρδίων παλμών:

Οφείλεται σε αρρυθμία. Η πιο συχνή αρρυθμία είναι οι έκτακτες κολπικές και κοιλιακές συστολές και η κολπική μαρμαρυγή.

Πως γίνεται η διάγνωση της ανεπάρκειας μιτροειδούς;

Κατά την **ακρόαση** παρατηρούνται:

- Ολοσυστολικό φύσημα ακουστό σ' όλο το προκάρδιο, που επεκτείνεται προς τη μασχάλη
- Εξασθένηση του 1ου καρδιακού τόνου και παρουσία 3ου σε μεγάλη ανεπάρκεια
- Αύξηση του πνευμονικού στοιχείου του 2ου στοιχείου σε πνευμονική υπέρταση.

Ηλεκτροκαρδιογράφημα:

- Καταγράφεται η υπερτροφία του αριστερού κόλπου και της αριστεράς κοιλιάς.
- Επίσης οι συνυπάρχουσες αρρυθμίες συνήθως κολπική μαρμαρυγή

Ακτινογραφία θώρακος:

- διάταση του αριστερού κόλπου που συνήθως απουσιάζει στην οξεία μορφή.
- διάταση και υπερτροφία της αριστερής κοιλιάς. Η σκιά της καρδιάς είναι μεγαλύτερη από το φυσιολογικό και μερικές φορές καταλαμβάνει όλο το πλάτος του θώρακα και ονομάζεται τότε βόειος καρδιά
- ασβέστωση της βαλβίδας και του μιτροειδικού δακτυλίου

Υπερηχογράφημα καρδιάς:

Με την εξέταση αυτή επιβεβαιώνεται η διάγνωση και ελέγχεται η σοβαρότητα της ανεπάρκειας. Καταγράφονται:

- Αύξηση των διαστάσεων του αριστερού κόλπου και της αριστερής κοιλίας
- Μπορεί να αναζητηθεί η αιτία της ανεπάρκειας και να εκτιμηθεί το μέγεθος της.

Καθετηριασμός: Καθετηριασμός γίνεται όταν συνυπάρχει έμφραγμα του μυοκαρδίου ή στην χρόνια ανεπάρκεια υποψία στεφανιαίας νόσου.

Ποια η θεραπεία της ανεπάρκειας μιτροειδούς;

Σε όλες τις περιπτώσεις προληπτική προφύλαξη για ενδοκαρδίτιδα με την χορήγηση αντιβιοτικών, όταν υπάρχει τραυματισμός, ή γίνεται οδοντιατρική ή χειρουργική επέμβαση.

- **Φαρμακευτική θεραπεία:**

Σε δύσπνοια διουρητικά και σε αρρυθμία που οφείλεται σε κολπική μαρμαρυγή δακτυλίτιδα ή αλλά βραδυκαρδιακά φάρμακα. Τα αγγειοδιασταλτικά βελτιώνουν την ανεπάρκεια της μιτροειδούς, καθώς αυξάνουν το ποσοστό του όγκου παλμού που προωθείται συγκριτικά με εκείνο που παλινδρομεί.

- **Χειρουργική θεραπεία:**

Όταν η ανεπάρκεια της μιτροειδούς είναι σοβαρή γίνεται διόρθωση ή αντικατάσταση της βαλβίδας. Η ανεπάρκεια της μιτροειδούς πρέπει να διορθωθεί, πριν επέλθει αριστερή καρδιακή ανεπάρκεια.

Η διόρθωση μπορεί να γίνει με βαλβιδοπλαστική, ήτοι διόρθωση και αποκατάσταση αυτής με ειδική τεχνική ή με αντικατάσταση της βαλβίδας με βιολογικό μόσχευμα ή μεταλλική βαλβίδα.[33].

4.2.3 Ανεπάρκεια αορτικής βαλβίδας

Η αορτική βαλβίδα βρίσκεται μεταξύ αριστεράς κοιλίας και αορτής. Στην συστολή της καρδιάς ανοίγει και στην διαστολή κλείνει. Φυσιολογικά στην διάρκεια της διαστολής το στόμιο της βαλβίδας κλείνει ερμητικά, και δεν επιτρέπει την επικοινωνία της αορτής με την αριστερά κοιλία. Εάν από κάποια αιτία το στόμιο της βαλβίδας δεν στεγανοποιείται στην διαστολή, το αίμα παλινδρομεί από την αορτή στην αριστερά κοιλία και η κατάσταση αυτή ονομάζεται ανεπάρκεια της αορτικής βαλβίδας.

Εάν εκδηλωθεί αιφνίδια ονομάζεται οξεία, άλλως χρόνια αορτική ανεπάρκεια. Μπορεί να συνυπάρχει με ταυτόχρονη στένωση της βαλβίδας.

Κατά την διαστολή η αριστερή κοιλία δέχεται πέρα από τον κανονικό όγκο παλμού από τον κόλπο και τον όγκο αίματος που παλινδρομεί από την αορτή. Έτσι, στην αρχή της διαστολής η πίεση της αριστερής κοιλίας είναι χαμηλή, ενώ είναι υψηλή στο τέλος της, όχι τόσο από την κολπική συστολή (όπως στη στένωση αορτής) αλλά από το μεγάλο όγκο αίματος που έχει παλινδρομήσει. Έτσι, η συστολή γίνεται ισχυρότερη και εξωθεί προς τα εμπρός ακώλυτα τον αυξημένο όγκο παλμού. Για μακρό διάστημα η μέση κολπική πίεση με των πνευμονικών τριχοειδών πίσω της παραμένει φυσιολογική, ώσπου να επέλθει κάμψη της αριστερής κοιλίας.

Στην οξεία ανεπάρκεια αντίθετα η αριστερή κοιλία δεν προλαβαίνει να διαταθεί και παρατηρείται:

- Μεγάλη αύξηση της τελοδιαστολικής πίεσης της αριστερής κοιλίας
- Μείωση της καρδιακής παροχής
- Αύξηση των περιφερικών αντιστάσεων λόγω χαμηλής παροχής
- Αύξηση της πίεσης του αριστερού κόλπου και πνευμονικών τριχοειδών

Ποια τα αίτια της αορτικής ανεπάρκειας;

- **Οξεία ανεπάρκεια:**
Ενδοκαρδίτιδα, ανεύρυσμα της ανιούσας αορτής, τραυματισμός.
- **Χρόνια ανεπάρκεια:**
Η αιτία της ανεπάρκειας αορτής μπορεί να είναι η βλάβη της βαλβίδας ή της αορτικής ρίζας.

Η ανεπάρκεια αορτής συχνά οφείλεται σε βλάβη της βαλβίδας από ρευματικό πυρετό, λοιμώδη ενδοκαρδίτιδα και δίπτυχη αορτική βαλβίδα. Η τελευταία είναι συγγενής ανωμαλία και δεν έχει άμεσες αιμοδυναμικές συνέπειες. Μπορεί ωστόσο να συνοδεύεται από ανεπάρκεια της βαλβίδας. Αποκτά ιδιαίτερη σημασία, γιατί ασβεστώνεται εύκολα και τότε γίνεται στενωτική. Μπορεί επίσης να προσβληθεί από μικροβιακή ενδοκαρδίτιδα. Μερικές φορές, συνοδεύει άλλες ανωμαλίες όπως ισθμική στένωση της αορτής και πολυκυστικούς νεφρούς. Δίνει τυπική ηχκαρδιογραφική εικόνα.

Από τις συχνότερες παθήσεις που προκαλούν χρόνια ανεπάρκεια αορτής από βλάβη της αορτικής ρίζας ή του αορτικού δακτυλίου είναι οι παρακάτω:

- Συφιλιδική αορτίτιδα
- Κυστική νέκρωση μέσου χιτώνα
- Σύνδρομο Marfan
- Αγκυλοποιητική σπονδυλίτιδα
- Ιδιοπαθής διάταση ανιούσης αορτής

Τα αίτια της οξείας ανεπάρκειας αορτής είναι:

- Λοιμώδης ενδοκαρδίτιδα
- Διαχωριστικό ανεύρυσμα αορτής
- Τραυματική ρήξη αορτικής βαλβίδας
- Ρήξη κόλπου Valsalva
- Αυτόματη ρήξη επί συνδρόμου Marfan
- Ρευματικός πυρετός

Ποια τα συμπτώματα της στένωσης της αορτικής βαλβίδας;

Συμπτώματα εμφανίζονται σε σοβαρού βαθμού ανεπάρκεια αορτής ενώ σε μικρού ή μετρίου βαθμού οι ασθενείς είναι ασυμπτωματικοί. Σε σοβαρού βαθμού ανεπάρκεια αορτής (συνήθως περί την 4η με 5η δεκαετία της ζωής), εμφανίζονται:

- **Αίσθημα παλμών** λόγω αυξημένου όγκου παλμού
- **Στηθάγχη** που οφείλεται σε:
 - Χαμηλή διαστολική πίεση
 - Υπερτροφία αριστερής κοιλίας
 - Συνύπαρξη στεφανιαίας νόσου
 - Προσβολή στεφανιαίων στομίων (συφιλίδα)
- **Σημεία καρδιακής ανεπάρκειας** που είναι η κατάληξη των ασθενών με σοβαρή ανεπάρκεια αορτής, που αφήνονται χωρίς θεραπεία.

Πως γίνεται η διάγνωση;

Από την κλινική εξέταση:

Κατά την **ψηλάφηση** αποκαλύπτονται:

- Αλλόμενος σφυγμός (σφυγμός Corrigan που προκαλεί χορό καρωτίδων, κινήσεις της κεφαλής αντίστοιχες του σφυγμού (σημείο Mousset) και τριχοειδής σφυγμός στα χείλια και στην κοίτη των νυχιών
- Μεγάλη διαφορική πίεση
- Έκτοπη (προς τα κάτω και αριστερά), διάχυτη και υπερκινητική ώση αριστερής κοιλίας.

Στην **ακρόαση** ακούγεται ένα ειδικό φύσημα στην διάρκεια της διαστολής από το αίμα που παλινδρομεί στην αριστερή κοιλιά από την αορτή. Ειδικότερα

- Διαστολικό φύσημα αορτής, ατιώδες, υψηλής συχνότητας, προοδευτικά μειούμενης έντασης (descrescendo), μετά τον 2ο τόνο κατά το 2ο έως 4ο αριστερό μεσοπλεύριο διάστημα παραστερνικά
- Συστολικό φύσημα λειτουργικής στένωσης αορτής
- Διαστολικό φύσημα Austin Flint λόγω λειτουργικής στένωσης μιτροειδούς.

Ηλεκτροκαρδιογράφημα:

- Υπερτροφία της αριστεράς κοιλίας και αριστερού κόλπου, αρρυθμίες.

Στο **ηλεκτροκαρδιογράφημα** μπορούν να παρατηρηθούν:

- Υπερτροφία αριστεράς κοιλίας και αριστερού κόλπου,
- Οριζόντιος ηλεκτρικός άξων
- Αρρυθμίες

Στην **ακτινογραφία θώρακα** σε χρόνια ανεπάρκεια αορτής παρατηρούνται:

- Η σκιά της καρδιάς είναι μεγαλύτερη από το φυσιολογικό από μεγάλη διάταση της αριστερής κοιλίας
- Μετρίου βαθμού διάταση ανιούσης αορτής

Υπερηχοκαρδιογράφημα:

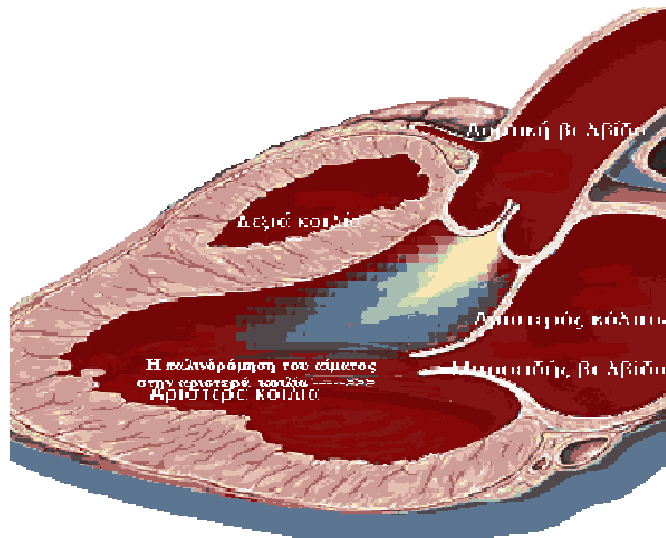
Επιβεβαιώνεται η διάγνωση και εκτιμάται η σοβαρότητα της αορτικής ανεπάρκειας.

Διαπιστώνεται:

Υπερτροφία και διάταση της αριστεράς κοιλίας, ανατομικές ανωμαλίες της βαλβίδας όπως ασβέστωση, εκτίμηση με το απλό και έγχρωμο Doppler της παλίνδρομης ροής και της βαρύτητας της ανεπάρκειας.

Καθετηριασμός:

Τις περισσότερες φορές χρειάζεται, ιδιαίτερα σε καταστάσεις που υπάρχει υποψία στεφανιαίας νόσου.



Σχήμα 4-4 Αναπαράσταση μιτροειδούς βαλβίδας.

Ποια η θεραπεία της;

Σε όλες τις περιπτώσεις χρειάζεται προληπτική προφύλαξη για ενδοκαρδίτιδα με την χορήγηση αντιβιοτικών, όταν υπάρχει τραυματισμός, οδοντιατρική ή χειρουργική επέμβαση. Όπως στη στένωση, έτσι και στην ανεπάρκεια της αορτής η πορεία της νόσου είναι μακρά ασυμπτωματική. Μόλις εμφανισθούν τα πρώτα συμπτώματα όμως η κατάσταση επιδεινώνεται ταχέως.

- **Φαρμακευτική θεραπεία:**

Σε δύσπνοια η κλασική θεραπεία της καρδιακής ανεπάρκειας.

Τα αγγειοδιασταλτικά βοηθούν σε ανεπάρκεια της αορτής, καθώς αυξάνουν το ποσοστό του διαστολικού όγκου της αορτής που προωθείται προς τα τριχοειδή συγκριτικά με εκείνο που παλινδρομεί στην αριστερή κοιλία.

- **Χειρουργική θεραπεία:**

Όταν η ανεπάρκεια της αορτικής βαλβίδας είναι σοβαρή γίνεται αντικατάσταση της βαλβίδας με βιολογική ή μεταλλική βαλβίδα. Εγχειρητική αντικατάσταση της βαλβίδας συνιστάται, όταν εμφανισθεί καρδιακή δυσλειτουργία, έστω και σε ασυμπτωματικό άρρωστο. Σημεία τέτοιας δυσλειτουργίας θεωρούνται μια τελοσυστολική διάμετρος της αριστερής κοιλίας στο υπερηχοκαρδιογράφημα μεγαλύτερης των 55 mm και η αδυναμία να αυξηθεί το κλάσμα εξώθησης της αριστερής κοιλίας στην άσκηση.[34]

4.2.4 Στένωση μιτροειδούς βαλβίδας

Η μιτροειδής βαλβίδα βρίσκεται μεταξύ αριστερού κόλπου και αριστεράς κοιλιάς. Στην συστολή της καρδιάς κλείνει και στην διαστολή ανοίγει. Φυσιολογικά το άνοιγμα της βαλβίδας είναι 4-6 τετραγωνικά εκατοστά. Εάν από κάποια αιτία το στόμιο της βαλβίδας γίνει μικρότερο η κατάσταση αυτή ονομάζεται στένωση μιτροειδούς βαλβίδας.

Φυσιολογικά η διαφορά πίεσης μεταξύ αριστερού κόλπου και αριστερής κοιλιάς είναι 1mmHg. Σε στένωση μιτροειδούς αυξάνεται η πίεση του αριστερού κόλπου. Σε επιφάνεια μιτροειδικού στομίου 1 εκατοστό η πίεση του αριστερού κόλπου κατά την ανάπαυση είναι 15-25 mmHg. Σε επιφάνεια στομίου 0,5 cm² η πίεση του αριστερού κόλπου σε ηρεμία είναι σταθερά 25 mmHg και αυξάνεται περισσότερο κατά την κόπωση. Επί αυξήσεως της πίεσης των πνευμονικών τριχοειδών μεγαλύτερη των 25mmHg εμφανίζεται εικόνα πνευμονικού οιδήματος. Για την διατήρηση κλίσης πίεσης στο επίπεδο των πνευμονικών τριχοειδών αυξάνεται η πίεση στην πνευμονική αρτηρία. Η αύξηση της πίεσης στα πνευμονικά τριχοειδή προκαλεί στην αρχή αγγειοσύσπαση και αργότερα οργανική στένωση των τριχοειδών. Σαν συνέπεια δημιουργείται υπερτροφία δεξιάς κοιλιάς και μετα διάταση με αύξηση των της διαστολικής πίεσης δεξιάς κοιλιάς και δεξιού κόλπου και εμφάνιση φλεβικής στάσης.

Ποια τα αίτια της στένωσης μιτροειδούς

Συνήθως οφείλεται σε ρευματικό πυρετό που προκαλεί συγκόλληση και ασβέστωση των πτυχών της βαλβίδας. Σπάνια μπορεί να είναι συγγενής σε συνδυασμό μάλιστα με μεσοκοιλιακή επικοινωνία (σύνδρομο Lutembacher) ή να οφείλεται σε όγκο ή θρόμβο.

Ποια τα συμπτώματα;

Στη στένωση μιτροειδούς τα συμπτώματα αρχίζουν πρώιμα και η έντασή τους είναι ανάλογη με το βαθμό της στένωσης, γιατί μεταξύ της πάσχουσας βαλβίδας και των πνευμόνων, που είναι η κύρια πηγή των συμπτωμάτων, δεν παρεμβάλλεται ένα ισχυρό μυοκάρδιο για να αντιρροπήσει τη στένωση. Από τη στιγμή που θα αρχίσουν τα συμπτώματα, η πορεία της νόσου είναι συνήθως μακρά, γιατί η κύρια πηγή ισχύος της καρδιάς, η αριστερή κοιλία, μένει αλώβητη. Ο ασθενής παραπονείται κυρίως για

καταβολή και δύσπνοια που αρχίζει στην κόπωση και εξελίσσεται σε παροξυσμική με καρδιακό άσθμα και πνευμονικό οίδημα.

- **Δύσπνοια:**

Στην αρχή στην κόπωση, και μετά στην ηρεμία. Όταν η δύσπνοια είναι σοβαρή μπορεί να εκδηλωθεί σαν οξύ πνευμονικό οίδημα.

- **Αίσθημα προκαρδιων παλμών:**

Οφείλεται σε αρρυθμία. Η πιο συχνή αρρυθμία είναι οι έκτακτες κολπικές συστολές και η κολπική μαρμαρυγή.

- **Περιφερικές αρτηριακές εμβολές:**

Θρόμβοι (πήγματα αίματος) αποσπώνται από τον αριστερό κόλπο και φράσσουν συνήθως αρτηρίες του εγκεφάλου και των ποδιών.

Σε βαρείες καταστάσεις εκδηλώνεται δεξιά καρδιακή ανεπάρκεια με αποτέλεσμα εύκολη κόπωση και οίδημα (πρήξιμο) των ποδιών.

Σπάνια συμπτώματα είναι η αιμόπτυση, το βρόγχος φωνής και ο βήχας.

Πως γίνεται η διάγνωση;

Από το ιστορικό και τα συμπτώματα του ασθενούς.

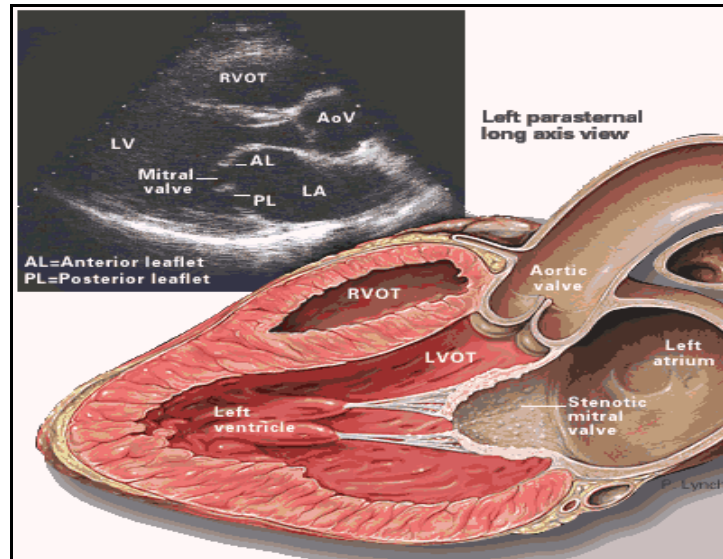
Ο ασθενής μπορεί να παρουσιάζει μιτροειδικό προσωπείο, ενώ από την επισκόπηση των σφαγίτιδων μπορεί να παρατηρηθεί αύξηση του κύματος V λόγω λειτουργικής ανεπάρκειας της τριγλώχινας.

Στην **ψηλάφηση** γίνεται αισθητός ο 1ος τόνος, μπορεί και το φύσημα σαν ροίζος.

Κατά την **ακρόαση**, υπάρχει επίταση του πρώτου τόνου, κλαγγή διάνοιξης και μεσοδιαστολικό φύσημα που αρχίζει μετά το δεύτερο τόνο με την κλαγγή, φθίνει και επιτείνεται στο τέλος της διαστολής με την κολπική συστολή καθώς και έντονος ή διχασμένος 2ος τόνος.

Η προσυστολική επίταση λείπει σε κολπική μαρμαρυγή.

Όσο πιο πρόωμη η κλαγγή διάνοιξης κι όσο μακρότερο το διαστολικό φύσημα, τόσο στενότερη είναι η βαλβίδα. Όταν ασβεστωθεί η βαλβίδα, εξασθενεί κάπως ο έντονος 1ος τόνος και παύει να ακούγεται η κλαγγή διάνοιξης. Το φύσημα ακούγεται στην κορυφή, σε αριστερή πλάγια θέση καλύτερα κατά την εκπνοή, χωρίς επεκτάσεις.



Σχήμα 4-5 Υπέρηχος καρδιάς.

Παρακλινικές εξετάσεις

Η **ακτινογραφία θώρακα** δείχνει τα τυπικά σημεία της στάσης στα πνευμονικά πεδία. Δείχνει επίσης τη διάταση του αριστερού κόλπου και της πνευμονικής αρτηρίας. Σε βαρείες καταστάσεις εικόνα αιμοσιδήρωσης.

Στην πλάγια ακτινογραφία ενδέχεται να φαίνεται η ασβεστωμένη μιτροειδής.

Στο **ηλεκτροκαρδιογράφημα** μπορούν να παρατηρηθούν:

- μιτροειδικό έπαρμα P λόγω διάτασης αριστερού κόλπου
- υπερτροφία δεξιάς κοιλίας και ενίοτε αποκλεισμός δεξιού σκέλους
- κολπική μαρμαρυγή.

Από το **υπερηχογράφημα** απεικονίζονται η πάχυνση των μιτροειδικών γλωχίνων και η μειωμένη διάνοιξη της μιτροειδούς βαλβίδος. Επίσης μπορούν να εκτιμηθούν οι διαστάσεις του αριστερού κόλπου και της δεξιάς κοιλίας καθώς επίσης να υπολογιστεί το στόμιο της στενωμένης μιτροειδούς βαλβίδας. Με το Doppler γίνεται μέτρηση της επιφάνειας του στομίου.

Επιπλοκές

Οι κυριότερες επιπλοκές είναι η μαρμαρυγή των κόλπων, οι περιφερικές εμβολές και οι βρογχοπνευμονικές λοιμώξεις.

Από όλες τις βαλβιδοπάθειες η στένωση μιτροειδούς συνοδεύεται συχνότερα από κολπική μαρμαρυγή. Αν το κολποκοιλιακό αγωγό σύστημα είναι άθικτο, η επέλευση της κολπικής μαρμαρυγής συνοδεύεται συνήθως από υψηλή κοιλιακή συχνότητα. Καθώς η βράχυνση του καρδιακού κύκλου σε ταχυκαρδία γίνεται σε βάρος της διαστολής, η

επέλευση της κολπικής μαρμαρυγής μπορεί να γίνει αφορμή για πνευμονικό οίδημα, επειδή η βραχεία διαστολή δε δίνει επαρκή χρόνο στον κόλπο να κενώσει το περιεχόμενό του στην κοιλία.

Καθετηριασμός: Σπάνια χρειάζεται, ίδια σε καταστάσεις που υπάρχει υποψία στεφανιαίας νόσου

Ποια η θεραπεία της στένωσης μιτροειδούς;

Σε όλες τις περιπτώσεις προληπτική προφύλαξη για ενδοκαρδίτιδα με την χορήγηση αντιβιοτικών, όταν υπάρχει τραυματισμός, οδοντιατρική ή χειρουργική επέμβαση.

• Φαρμακευτική θεραπεία:

Σε δύσπνοια διουρητικά και σε αρρυθμία που οφείλεται σε κολπική μαρμαρυγή δακτυλίτιδα ή αλλά βραδυκαρδιακά φάρμακα

• Χειρουργική θεραπεία:

Όταν η στένωση της μιτροειδούς είναι σοβαρή γίνεται αντικατάσταση της βαλβίδας με βιολογική ή μεταλλική βαλβίδα. Σε ειδικές περιπτώσεις που η βαλβίδα δεν είναι έντονα ασβεστωμένη μπορεί να γίνει διάνοιξη της βαλβίδας με μπαλόνι(διαδερμική βαλβιδοπλαστική της μιτροειδούς)

Η διαδερμική βαλβιδοπλαστική της μιτροειδούς αποτελεί, υπό προϋποθέσεις, ενδεδειγμένη μέθοδο αντιμετώπισης της στένωσης της μιτροειδούς. Κατά τη μέθοδο αυτή, λαμβάνει χώρα καθετηριασμός της καρδιάς (χωρίς δηλαδή χειρουργική τομή) και γίνεται διάνοιξη της στενωμένης βαλβίδας με διάταση ειδικού μπαλονιού (αρκετά μεγαλύτερο από το μπαλόνι που χρησιμοποιείται στην αγγειοπλαστική των στεφανιαίων). Το αποτέλεσμα είναι άμεσο, και αποτυπώνεται τόσο σε ειδικές εξετάσεις, αλλά κυρίως στην υποχώρηση των συμπτωμάτων του ασθενούς.

Από Έλληνες ερευνητές έχει αναπτυχθεί από την προηγούμενη δεκαετία μία εναλλακτική μέθοδος, η λεγόμενη «ανάδρομη» βαλβιδοπλαστική της μιτροειδούς, που εκτελείται με ειδικά καθοδηγούμενο καθετήρα. Το πλεονέκτημα είναι ότι με την συγκεκριμένη τεχνική διατηρείται ανέπαφο το μεσοκολπικό διάφραγμα, ένας σχηματισμός της καρδιάς που κατά την κλασική μέθοδο «τραυματίζεται» εκουσίως προκειμένου ο καθετήρας να φτάσει στη νοσούσα βαλβίδα.[35]

4.3 Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης:

Η μηχανική μάθηση έχει ως σκοπό τη δημιουργία μηχανών ικανών να μαθαίνουν, δηλαδή ικανών να βελτιώνουν την απόδοση τους αξιοποιώντας προγενέστερη γνώση και εμπειρία. Αν και απέχουμε πολύ από τη δυνατότητα δημιουργίας μηχανών ικανών να μαθαίνουν τόσο αποτελεσματικά όπως οι άνθρωποι, εντούτοις έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι που αποδίδουν πολύ ικανοποιητικά σε συγκεκριμένες περιοχές/εφαρμογές. Η εξόρυξη γνώσης είναι ένα άλλο ερευνητικό αντικείμενο που έχει συνδεθεί με την μηχανική μάθηση. Χωρίς την ύπαρξη και χρήση κατάλληλων μεθόδων μηχανικής μάθησης, ο αναλυτής αδυνατεί να εξάγει χρήσιμα συμπεράσματα από μεγάλα μεγέθη πληροφορίας (βάσεις δεδομένων). Ένας αρκετά γενικός ορισμός που θα μπορούσε να δοθεί για τη μηχανική μάθηση είναι: “Ένα πρόγραμμα υπολογιστή λέμε ότι μαθαίνει από την εμπειρία E ως προς κάποια κλάση εργασιών T και μέτρο απόδοσης P , αν η απόδοση του σε εργασίες από το T , όπως μετριέται από το P , βελτιώνεται μέσω της εμπειρίας E .” Πως ακριβώς μπορεί η μηχανική μάθηση να προβλέψει πράγματα που δεν ξέρουμε ή που θα συμβούν στο μέλλον; Η τεχνική που χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί αυτό λέγεται μοντελοποίηση. Την σκέψη της δημιουργίας μοντέλων την είχαν οι άνθρωποι εδώ και πολύ καιρό και σίγουρα πριν την έλευση των υπολογιστών και της τεχνολογίας της εξόρυξης γνώσης. Για παράδειγμα, αν αναζητούσαμε ένα βυθισμένο αρχαίο πλοίο που μετέφερε θησαυρό το πρώτο πράγμα που ίσως σκεφτόμασταν θα ήταν να ερευνήσουμε όλες τις περασμένες περιπτώσεις εύρεσης θησαυρών από άλλους. Ίσως λοιπόν να παρατηρούσαμε ότι υπήρχαν κάποιες συγκεκριμένες πορείες που ακολουθούσαν οι καπετάνιοι των πλοίων αυτών εκείνη την εποχή. Με αυτό το μοντέλο (υπόθεση) θα αρχίζαμε το ψάξιμο σε περιοχές που είναι πιθανό να υπήρξε μια παρόμοια περίπτωση στο παρελθόν. Αν το μοντέλο μας είναι καλό ο θησαυρός θα βρεθεί. Ο τρόπος της δημιουργίας των μοντέλων από τους υπολογιστές δεν διαφέρει πολύ από τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι δημιουργούν μοντέλα. Το ζητούμενο στην περίπτωση της μάθησης υπό επίβλεψη είναι η κατασκευή ενός μοντέλου (ή αλλιώς μιας υπόθεσης) που αναπαριστά τη γνώση που παρέχεται μέσω της εμπειρίας E και το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση νέων στιγμιότυπων. Κατά κανόνα, οι προβλέψεις του προκύπτοντος μοντέλου (οι τιμές της συνάρτησης που προσεγγίζει τη συνάρτηση-στόχο) θα επαληθεύονται (θα ισούνται με την τιμή της συνάρτησης-στόχου) για την πλειοψηφία από τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στην E , τα οποία λέγονται και στιγμιότυπα εκπαίδευσης. Μία θεμελιώδης υπόθεση στην οποία στηρίζονται οι

περισσότεροι αλγόριθμοι και η θεωρία μηχανικής μάθησης είναι πως η κατανομή των στιγμιότυπων εκπαίδευσης είναι αντιπροσωπευτική της γενικής κατανομής των στιγμιότυπων στον υπό μοντελοποίηση χώρο. Όπως είναι φυσικό, οι προβλέψεις ενός μοντέλου (ταξινομητή) για μελλοντικά (άγνωστα) στιγμιότυπα είναι περισσότερο αξιόπιστες αν τα στιγμιότυπα εκπαίδευσης ακολουθούν παρόμοια κατανομή με αυτή των μελλοντικών. Η διεργασία της ανακάλυψης γνώσης και της μηχανικής μάθησης είναι μία διαδικασία πολλαπλών σταδίων, η οποία περιλαμβάνει την προετοιμασία των δεδομένων, την αναζήτηση προτύπων και την αξιολόγηση της γνώσης που ανακτάται από τα δεδομένα. Πρέπει σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι στην περίπτωση της μηχανικής μάθησης τα δεδομένα είναι δομημένα και περιγράφονται από μία συγκεκριμένη ενιαία δομή όπου κάθε στιγμιότυπο ενός προβλήματος ορίζεται μέσω ενός συγκεκριμένου και σταθερού συνόλου χαρακτηριστικών (μεταβλητών). Ο βαθμός δυσκολίας ενός προβλήματος εξόρυξης γνώσης εξαρτάται στην μεταβλητότητα των τιμών των χαρακτηριστικών για στιγμιότυπα (αντικείμενα) της ίδιας κατηγορίας σε σχέση με τη διαφορά μεταξύ τιμών για στιγμιότυπα άλλων κατηγοριών. Γενικά, αν η απόδοση που λαμβάνεται από ένα δοθέν σύνολο χαρακτηριστικών είναι ανεπαρκής, τότε είναι λογικό να θεωρήσουμε ότι πρέπει να προσθέσουμε νέα χαρακτηριστικά. Ειδικά τέτοια χαρακτηριστικά που θα βοηθήσουν στο διαχωρισμό των στιγμιότυπων που ήταν δύσκολο να ταξινομηθούν σωστά.

Οι διάφοροι επιτηρούμενοι αλγόριθμοι μάθησης που έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα διαφέρουν ως προς την υποκείμενη αναπαράσταση του χώρου των δυνατών υποθέσεων, και κατά συνέπεια και του τρόπου που οργανώνουν την αναζήτηση σε αυτό το χώρο. Μερικά παραδείγματα αναπαραστάσεων είναι τα δέντρα αποφάσεων (decision trees), τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (artificial neural networks), τα δίκτυα Bayes και άλλα. Είναι πλέον αποδεκτό από όλη την επιστημονική κοινότητα ότι διαφορετικές τεχνικές επιτηρούμενης μηχανικής μάθησης είναι κατάλληλες για τη μάθηση διαφορετικών ειδών συναρτήσεων- στόχων και συνεπώς δεν είναι δυνατόν να κατασκευαστεί ένας αλγόριθμος που να υπερτερεί όλων των άλλων σε όλα τα πεδία εφαρμογών (Brazdil και άλλοι, 2003).[15]

4.4 Εφαρμογές μηχανικής μάθησης και εξόρυξης γνώσης:

Η μηχανική μάθηση χρησιμοποιείται σήμερα σε πολλά και διαφορετικά πεδία εφαρμογών όπως η αναγνώριση προτύπου (pattern recognition), ταυτοποίηση (identification), ταξινόμηση (classification) κ.λπ. Εν συνεχεία, αναφέρονται ενδεικτικά μερικές περιοχές εφαρμογών (Michalski και άλλοι, 1998):

- Αεροπορία: Υψηλής απόδοσης αυτόματοι πιλότοι αεροπλάνων, προσομοιωτές πτήσης, συστήματα αυτομάτου ελέγχου αεροπλάνων, συστήματα ανίχνευσης βλαβών.
- Αυτοκίνηση: Αυτοκινούμενα συστήματα αυτόματης πλοήγησης.
- Τραπεζικές εφαρμογές: Συστήματα αξιολόγησης αιτήσεων δανειοδότησης.
- Άμυνα: Ανίχνευση στόχων, σόναρ, ραντάρ, αναγνώριση σήματος / εικόνας.
- Ηλεκτρονική: Πρόβλεψη ακολουθίας κωδίκων, διάγνωση βλαβών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, μηχανική όραση.
- Οικονομία: Οικονομική ανάλυση, πρόβλεψη τιμών συναλλάγματος.
- Κοινωνική ασφάλιση: Αξιολόγηση εφαρμοζόμενης πολιτικής, βελτιστοποίηση παραγωγής.
- Βιομηχανία: Βιομηχανικός έλεγχος διεργασιών, συστήματα ποιοτικού ελέγχου, διάγνωση.
- Και άλλες πολλές.

'Κλασσικές' μέθοδοι data mining (κυρίως νευρωνικών δικτύων, και λιγότερο δένδρων απόφασης) έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, κυρίως στον χώρο της ιατρικής (για την διάγνωση ασθενειών από διάφορα σήματα που λαμβάνονται από τον ανθρώπινο οργανισμό) και στον χώρο της μηχανολογίας (για την διάγνωση βλαβών κρίσιμων μηχανημάτων από τα σήματα διαφόρων μετρητικών οργάνων) ([19] - [30]), όμως αντίθετα ελάχιστα έχουν χρησιμοποιηθεί προηγμένες μέθοδοι όπως είναι τα Random Forests.

Εμείς στην εργασία μας ασχοληθήκαμε με τους παρακάτω αλγορίθμους μηχανικής μάθησης:

- Random Forrest
- J48
- Naïve Bayes
- Neural Network
- K-NN (K- nearest neighbor algorithm)

- RBNF
- SMOS (Support Vector Machines)

Παρακάτω παρατίθενται επιστημονικά στοιχεία (περιγραφή – τρόπος λειτουργίας) για τους σημαντικότερους από αυτούς.

K-Nearest-Neighbors

Ο αλγόριθμος πρόγνωσης που χρησιμοποιήθηκε είναι ο k-nn algorithm (k- nearest-neighbors). Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιείται συχνά στην πρόγνωση που βασίζεται σε στατιστικά δείγματα / δεδομένα, και βασίζει την πρόβλεψη στα k δείγματα που βρίσκονται σε ανάλογες συνθήκες (βρίσκονται «πιο κοντά») με το στοιχείο που θέλουμε να προβλέψουμε. Συγκεκριμένα, διαθέτουμε κάποια στιγμιότυπα εκπαίδευσης, δηλαδή στοιχεία που θα χρησιμοποιήσουμε ως πηγή γνώσης για το σύστημα, στα οποία θα στηριχτεί αποκλειστικά η συνάρτηση που θα προβλέψει το τελικό στιγμιότυπο. Ο ορισμός της απόστασης, του «πιο κοντά», δίνεται από κάποια συνάρτηση, η οποία μπορεί να είναι είτε μία απλή, γραμμική συνάρτηση, είτε η συνάρτηση που δίνει την ευκλείδεια απόσταση, η οποία χρησιμοποιείται αρκετά συχνά σε αυτό τον αλγόριθμο:

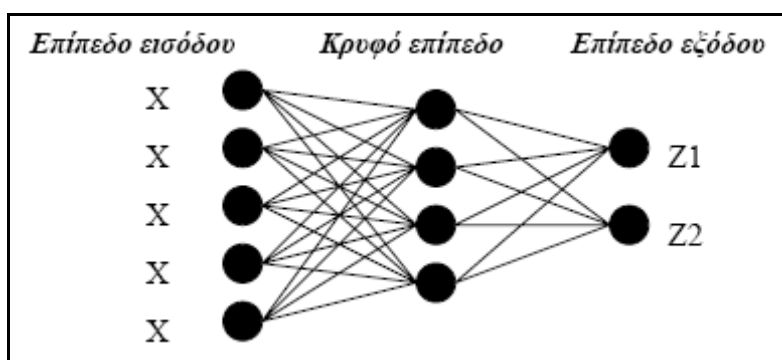
$$D(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \sqrt{\sum_i (a_i - b_i)^2}$$

Σε κάθε περίπτωση, η συνάρτηση που χρησιμοποιείται πρέπει, ανάλογα με το συγκεκριμένο πρόβλημα, να δίνει το βαθμό «ομοιότητας» μεταξύ των στιγμιότυπων. Συχνά, όπως συμβαίνει και στην περίπτωσή μας, πιθανόν να χρειάζεται να ληφθούν υπ' όψιν και τα διαφορετικά βάρη των στιγμιότυπων μας.

Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks)

Η δομή των νευρωνικών δικτύων είναι ανάλογη με αυτή της παρακάτω εικόνας . Η αρχιτεκτονική (τοπολογία) των νευρωνικών δικτύων χαρακτηρίζεται από ένα γράφημα (δίκτυο), του οποίου οι κόμβοι κατανέμονται σε: α) ένα επίπεδο εισόδου (input layer), β) ένα επίπεδο εξόδου (output layer) και γ) ένα ή περισσότερα ενδιάμεσα κρυμμένα επίπεδα (hidden layers). Οι Neocleous & Schizas (2002) προσφέρουν μια πρόσφατη σύντομη ανασκόπηση τη υπάρχουσας βιβλιογραφίας στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα.

Στο νευρωνικό δίκτυο, κάθε ένας από τους κόμβους εισόδου αναπαριστά και μια ανεξάρτητη μεταβλητή (μεταβλητή εισόδου). Εν συνεχεία, κάθε κόμβος εισόδου συνδέεται με όλους τους κόμβους στο πρώτο κρυμμένο επίπεδο. Οι κόμβοι του κρυμμένου επιπέδου συνδέονται με κόμβους ενός άλλου κρυμμένου επιπέδου ή με κόμβους στο επίπεδο εξόδου. Οι κόμβοι στο επίπεδο εξόδου αναπαριστούν μια ή περισσότερες εξαρτημένες μεταβλητές (μεταβλητές εξόδου) βάσει του προβλήματος.



Σχήμα 4-6 Αναπαράσταση νευρωνικών δικτύων.

Οι κόμβοι του νευρωνικού δικτύου ονομάζονται επίσης νευρώνες, ενώ οι δεσμοί ονομάζονται «συνάψεις». Σε κάθε σύναψη αντιστοιχεί ένα βάρος που ονομάζεται «συνοπτικό βάρος». Συνεπώς, η αρχιτεκτονική ή τοπολογία ενός νευρωνικού δικτύου προσδιορίζεται από τον αριθμό των κόμβων, τον αριθμό των κρυμμένων επιπέδων και τον τρόπο που οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους. Ο αριθμός των κρυμμένων επιπέδων και κόμβων και ενδεχομένως τα όρια μέσα στα οποία θα κυμαίνονται τα συνοπτικά βάρη είναι στοιχεία που προσδιορίζονται στη φάση σχεδιασμού του νευρωνικού δικτύου. Συνήθως δεν χρησιμοποιούνται σε ένα νευρωνικό δίκτυο παραπάνω από τρία επίπεδα (ένα κρυφό επίπεδο) καθώς έχει παρατηρηθεί ότι η χρήση παραπάνω επιπέδων αυξάνει κατά πολύ το χρόνο εκπαίδευσης χωρίς να συνοδεύεται από μια αντίστοιχη αύξηση της απόδοσης του δικτύου (Mitchell, 1997).

Όπως προείπαμε, κάθε κόμβος (νευρώνας) στο μεσαίο επίπεδο είναι πλήρως συνδεδεμένος με τις εισόδους, γεγονός που σημαίνει ότι το κρυφό πεδίο βασίζεται σε όλες τις εισόδους τις οποίες και συνδυάζει στις τιμές εξόδου. Ο συνδυασμός αυτός καλείται συνάρτηση ενεργοποίησης του κόμβου. Η συνάρτηση ενεργοποίησης έχει δύο

μέρη. Το πρώτο μέρος είναι η συνάρτηση σύνδεσης (combination function) η οποία συνδυάζει όλες τις εισόδους σε μία απλή τιμή. Πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε είσοδος έχει το δικό της βάρος. Η πιο κοινή συνάρτηση σύνδεσης είναι το άθροισμα όλων των εισόδων πολλαπλασιασμένων με το αντίστοιχο βάρος τους ($X_1*W_1 + X_2*W_2 + \dots + X_N*W_N$). Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι χρήσιμες άλλες συναρτήσεις και περιλαμβάνουν το μέγιστο των εισόδων πολλαπλασιασμένων με το βάρος τους, το ελάχιστο, ή το λογικό ΚΑΙ (AND) ή Η (OR) των τιμών. Ωστόσο, η συνάρτηση που βασίζεται στο άθροισμα των εισόδων πολλαπλασιασμένων με τα βάρη τους δουλεύει συνήθως καλύτερα στην πράξη. Το δεύτερο μέρος της συνάρτησης ενεργοποίησης είναι η συνάρτηση μεταφοράς (transfer function), η οποία μεταφέρει την τιμή της συνάρτησης σύνδεσης στην έξοδο. Υπάρχουν αρκετά είδη συναρτήσεων μεταφοράς: η σιγμοειδής, γραμμική και η συνάρτηση υπερβολικής εφαπτομένης (hyperbolic tangent) και άλλες. Η γραμμική συνάρτηση έχει περιορισμένη πρακτική σημασία αντίθετα με τις άλλες δύο (μη γραμμικές συναρτήσεις) οι οποίες παρουσιάζουν μη γραμμική συμπεριφορά. υπάρχουν ενδιάμεσα κρυμμένα επίπεδα, το νευρωνικό δίκτυο είναι ισοδύναμο με το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Παρόμοια, για συγκεκριμένους μη γραμμικούς τύπους συναρτήσεων ενεργοποίησης, τα νευρωνικά δίκτυα είναι ισοδύναμα με το μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι η μονόδρομη αρχιτεκτονική δικτύων επιτρέπει στα σήματα να κινούνται προς την μια κατεύθυνση, από τη είσοδο στην έξοδο. Δεν υπάρχουν αμφίδρομες καταστάσεις (loops), έτσι το αποτέλεσμα ενός επιπέδου δεν επηρεάζει το ίδιο το επίπεδο. Η μορφή αυτή των νευρωνικών δικτύων χρησιμοποιείται συχνότερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

5.1 Σύντομος Οδηγός Χρήσης για το WEKA

Σκοπός αυτού του παραρτήματος είναι να παρουσιαστεί το WEKA, ένα ανοιχτού κώδικα πακέτο λογισμικού για εξόρυξη γνώσης, γραμμένο εξ'ολοκλήρου στη γλώσσα προγραμματισμού Java, και υλοποιημένο στους κόλπους του πανεπιστημίου του Waikato στη Νέα Ζηλανδία (Witten & Frank, 2000). Το WEKA αποτελέσε το βασικό εργαλείο τόσο για πειράματα, όσο και για ενσωμάτωση μηχανισμών μηχανικής μάθησης στις εφαρμογές που κατασκευάσαμε. Πρόκειται για μια ολοκληρωμένη συλλογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Εκτός από τους δημοφιλέστερους αλγορίθμους ταξινόμησης, περιλαμβάνει διάφορους αλγορίθμους παλινδρόμησης, αλγόριθμους μετα-μάθησης (π.χ. σακούλιασμα, συσσωρευμένη γενίκευση κ.α.), μεθόδους ομαδοποίησης (clustering), καθώς και μια πληθώρα εργαλείων για την προεπεξεργασία των δεδομένων, όπως μεθόδους διακριτοποίησης και φιλτραρίσματος μεταβλητών.



Σχήμα 5-1 Εκκίνηση WEKA.

Το κάθε σύνολο δεδομένων (data set) πρέπει να είναι της μορφής αρχείου ARFF για να υποστηρίζεται από Weka. Η μορφή του αρχείου ARFF είναι η εξής:

```
@RELATION relation_name
@ATTRIBUTE attr1_name attribute_type
@ATTRIBUTE attr2_name attribute_type
@ATTRIBUTE attr3_name attribute_type
.....
```

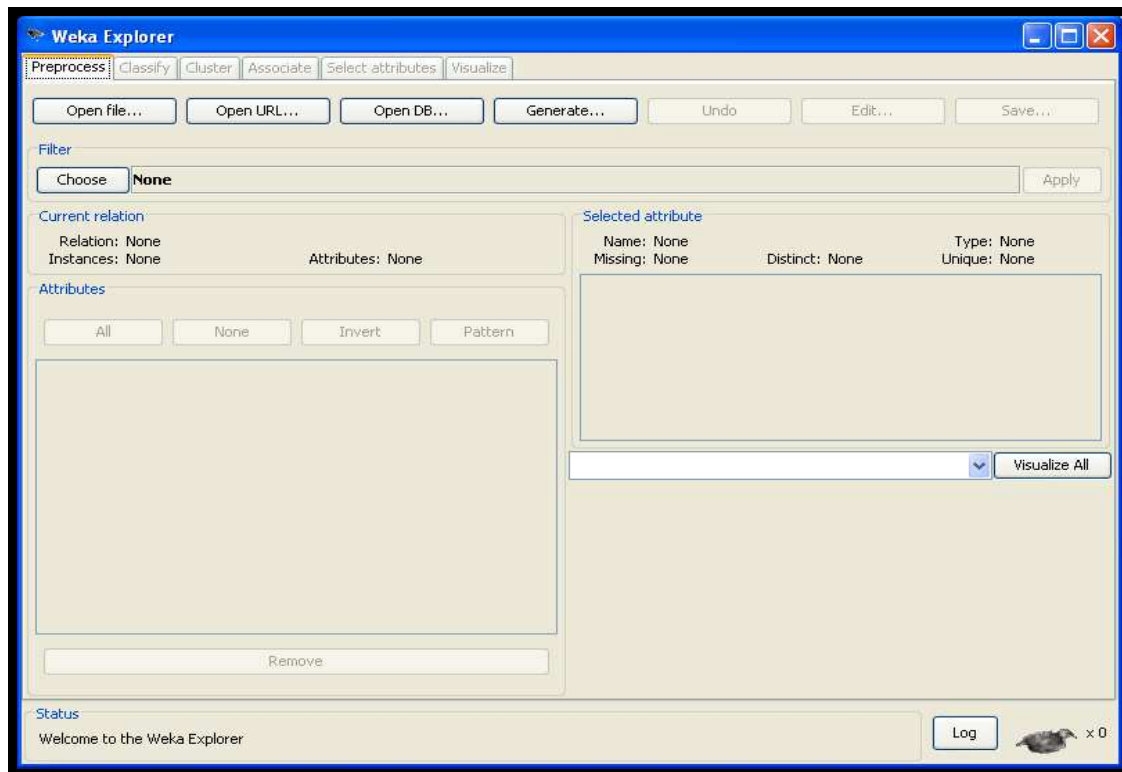
```
@ATTRIBUTE attrn_name attribute_type
@DATA
attr1_value,attr2_value,attr3_value,...,attrn_value
attr1_value,attr2_value,attr3_value,...,attrn_value
attr1_value,attr2_value,attr3_value,...,attrn_value
.....
attr1_value,attr2_value,attr3_value,...,attrn_value
```

Τρέχοντας το Weka, θα έχει ανοίξει ένα παράθυρο με τέσσερα κουμπιά με ονόματα :

- Simple CLI
- Explorer
- Experimenter
- KnowledgeFlow

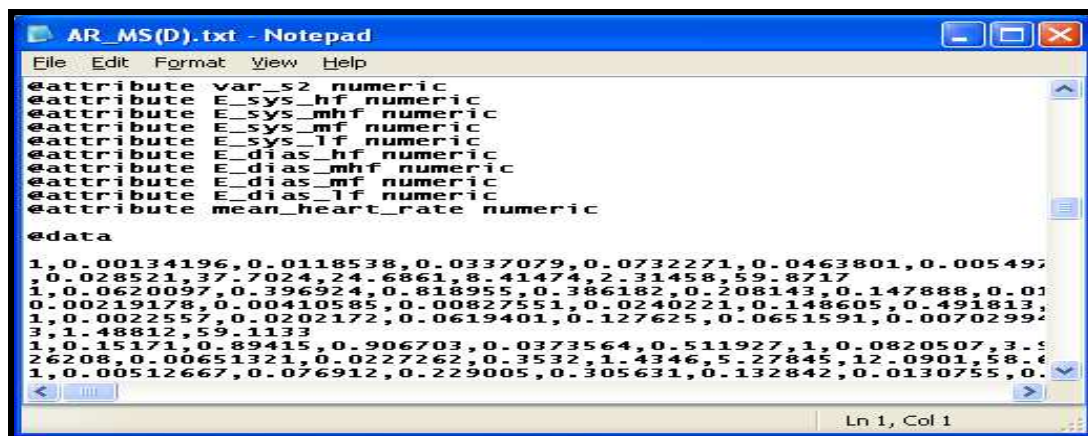
Κάθε ένα από αυτά τα κουμπιά αποτελεί συντόμευση για τα αντίστοιχα περιβάλλοντα χρήσης του Weka. Συνήθως χρησιμοποιούμε το περιβάλλον Explorer. Αν όλα πάνε σωστά, Θα εμφανιστεί μπροστά σας το γραφικό περιβάλλον Explorer του weka, το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 5-2.

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να γίνει προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε τους αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, είναι να τροφοδοτήσουμε το πρόγραμμα με ένα σετ δεδομένων. Αυτό γίνεται από την επιλογή "Open file..." στη στήλη "Preprocess" που φαίνεται στην προηγούμενη εικόνα. Αφού φορτώσουμε ένα σετ δεδομένων τότε ενεργοποιούνται και οι υπόλοιπες λειτουργίες του περιβάλλοντος (Classify, Cluster, Associate, Select Attributes και Visualize).

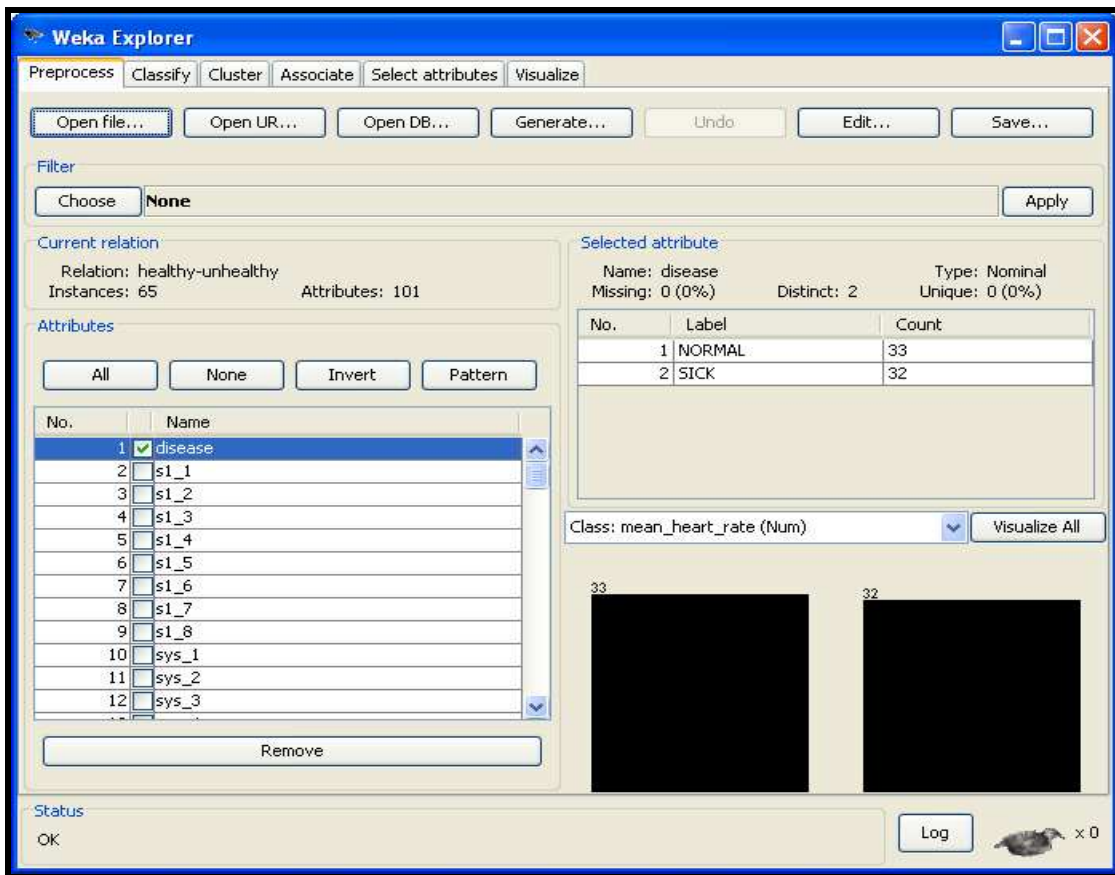


Σχήμα 5-2: Εικόνα του WEKA Explorer.

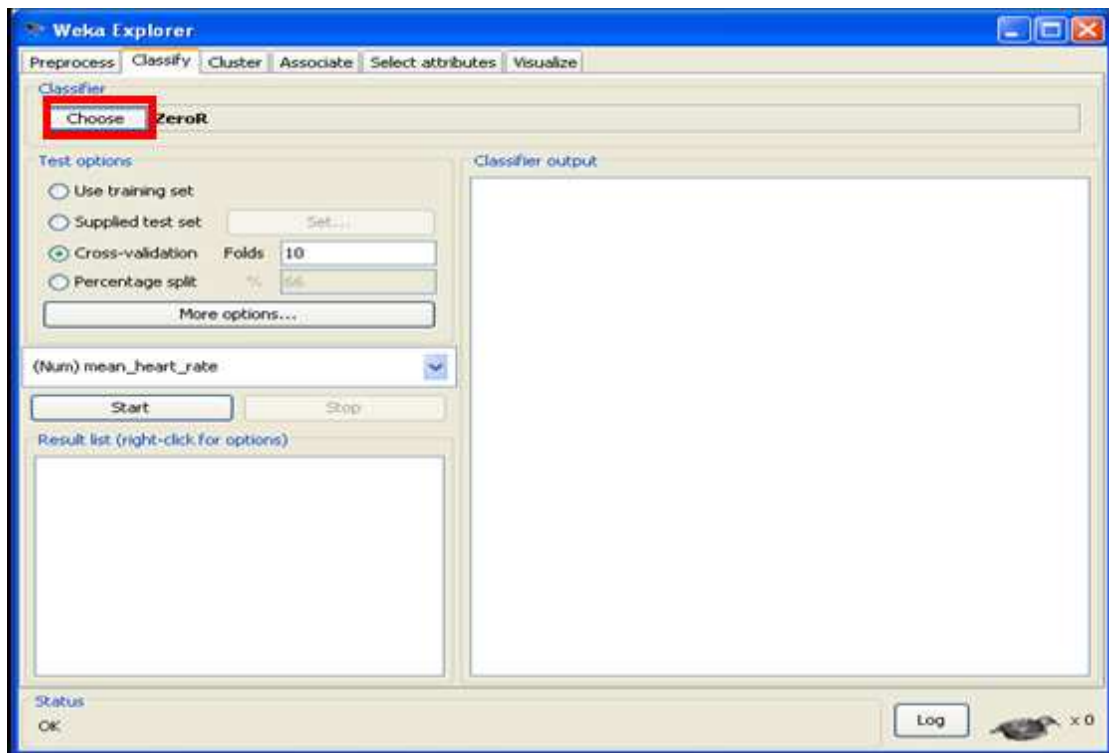
Φορτώνουμε το σετ δεδομένων πηγαίνουμε στην επόμενη στήλη του προγράμματος που λέγεται "Classify", όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Σχήμα 5-3: Δημιουργία αρχείου *.arff στα πλαίσια της εργασίας μας.



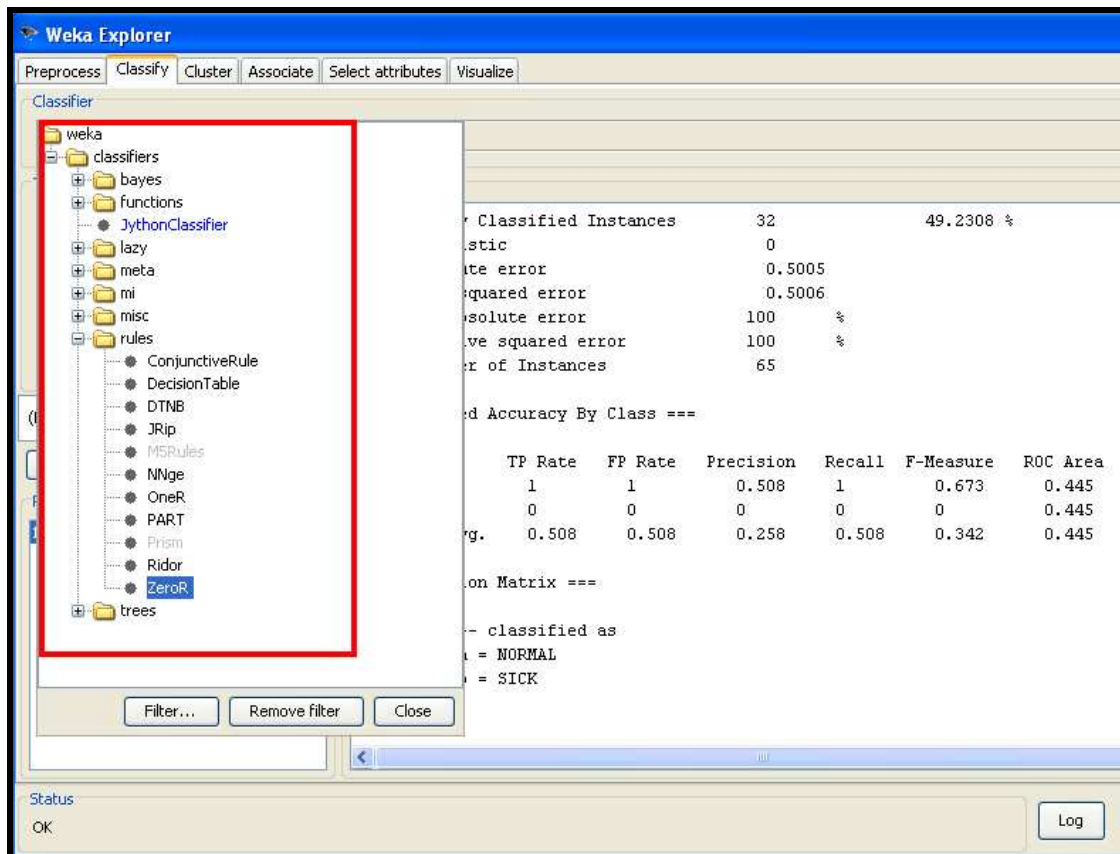
Σχήμα 5-4: Εικόνα του Weka explorer μετά τη φόρτωση του σετ δεδομένων.



Σχήμα 5-5: Εικόνα του Weka explorer μετά τη μετάβαση στη στήλη "Classify".

Τώρα μπορούμε να δούμε πώς λειτουργούν διάφοροι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούνται για το πρόβλημα της ταξινόμησης (classification).

Επιλέγοντας στο σημείο αυτό Choose (βλέπε παραπάνω εικόνα κόκκινο πλαίσιο) μας εμφανίζεται μια λίστα με όλους τους Classifiers που υποστηρίζει το WEKA και εμείς με τη σειρά μας επιλέγουμε αυτό που θέλουμε.



Σχήμα 5-6: Εικόνα του WEKA Explorer – λίστα διαθέσιμων Classifiers (κόκκινο πλαίσιο).



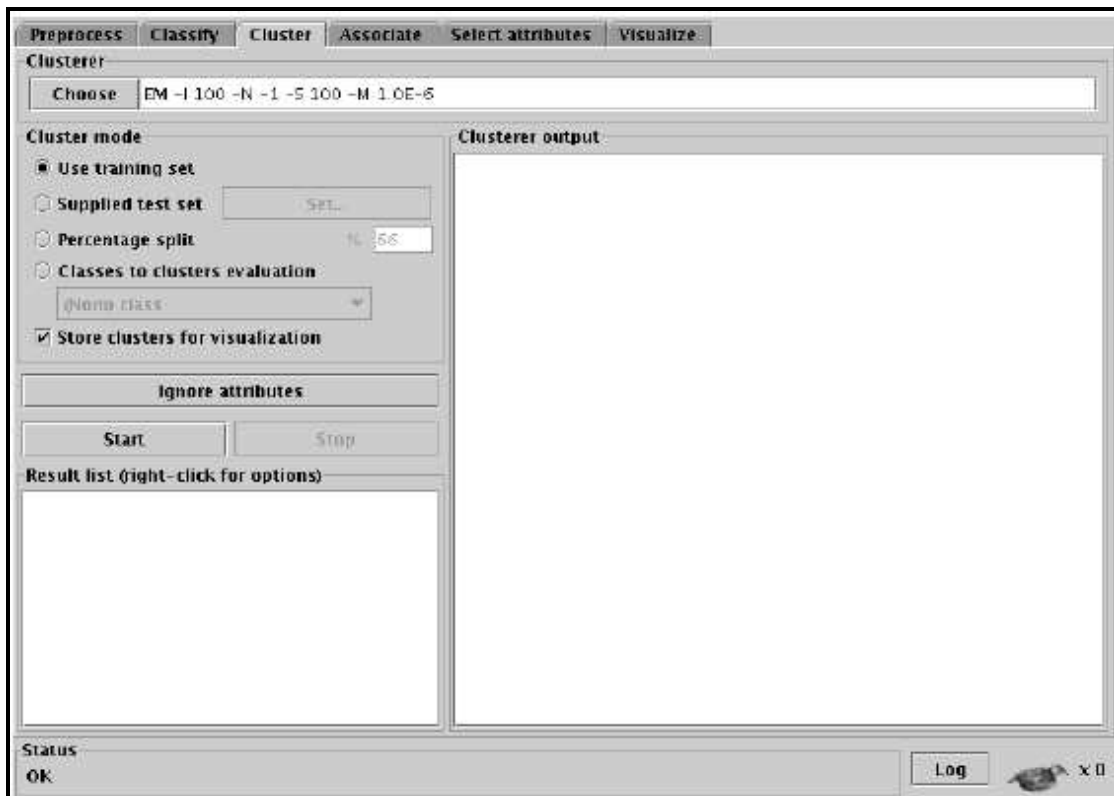
Σχήμα 5-7: Επιλογές πειράματος.

Στη συνέχεια παραμετροποιούμε τις επιλογές του πειράματος. Για παράδειγμα αν επιλέξουμε την μέθοδο “Cross- Validation” τότε: Αν τύχει το δείγμα που θα επιλεγεί για σύνολο εκπαίδευσης να είναι αρκετά αντιπροσωπευτικό του συνόλου ελέγχου, τα αποτελέσματα θα είναι υπερεκτιμημένα, ενώ το αντίθετο θα συμβεί αν δεν είναι αντιπροσωπευτικό. Μια μέθοδος που μειώνει το πρόβλημα είναι η διασταυρωμένη επικύρωση (cross-validation – CV). Σε αυτήν, η συλλογή χωρίζεται τυχαία σε k ξένα μεταξύ τους τμήματα ίσου (περίπου) μεγέθους (folds). Στην συνέχεια γίνονται k επαναλήψεις. Σε κάθε επανάληψη, ένα από τα τμήματα είναι το σύνολο ελέγχου και τα υπόλοιπα k-1 αποτελούν το σύνολο εκπαίδευσης. Αφού κληθεί ο αλγόριθμος μάθησης για κάθε τμήμα, η εκτιμώμενη τιμή του μέτρου είναι ο μέσος όρος του για όλα τα τμήματα. Με τον τρόπο αυτό, ακόμα κι αν σε κάποια τμήματα γίνεται υπερεκτίμηση, για μεγάλο k αναμένεται ισόποση σχεδόν υποεκτίμηση, με αποτέλεσμα ο μέσος όρος να είναι πιο κοντά στην πραγματική τιμή.

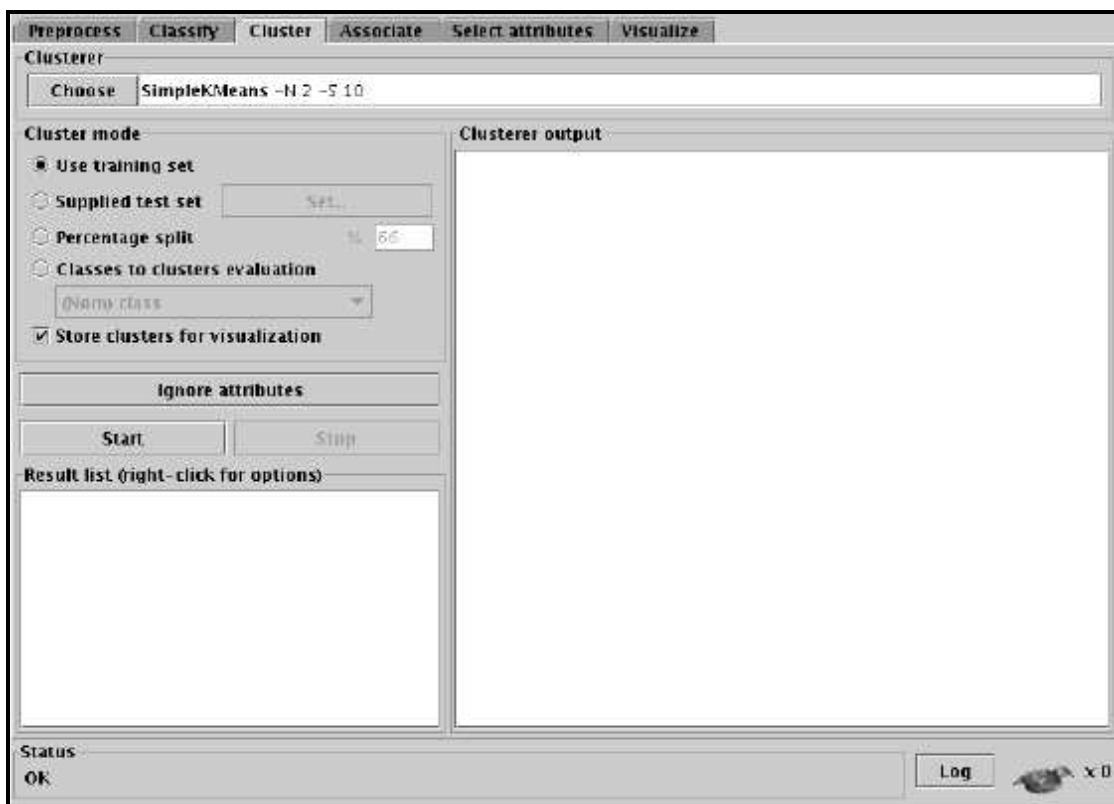
Αν επιλέξουμε όμως percentage split (η default τιμή είναι 66% και σαν Classifier τον J48) τότε αυτό σημαίνει ότι ο αλγόριθμος J48 που επιλέξαμε προηγουμένως θα χρησιμοποιηθεί στο 66% των δεδομένων, προκειμένου να κατασκευαστεί το δέντρο απόφασης το οποίο θα αξιολογηθεί ως προς την ορθότητα των αποφάσεων του στο υπόλοιπο 34% του σετ δεδομένων.

Πηγαίνουμε στην στήλη του προγράμματος που λέγεται "Cluster", όπως φαίνεται στο Σχήμα 5-8.

Με την επιλογή "Choose" επιλέγουμε τον αλγόριθμο ομαδοποίησης (clustering) και με αριστερό κλικ ακριβώς δίπλα επιλέγουμε τις παραμέτρους που επηρεάζουν την λειτουργία του κάθε αλγορίθμου. Ορίζουμε το "Cluster mode" σε "use training set", και επιλέξτε τον αλγόριθμο `weka.clusterers.SimpleKMeans` (πλήκτρο "Choose"), όπως φαίνεται στην εικόνα



Σχήμα 5-8: Άποψη της στήλης “Cluster” του WEKA Explorer.



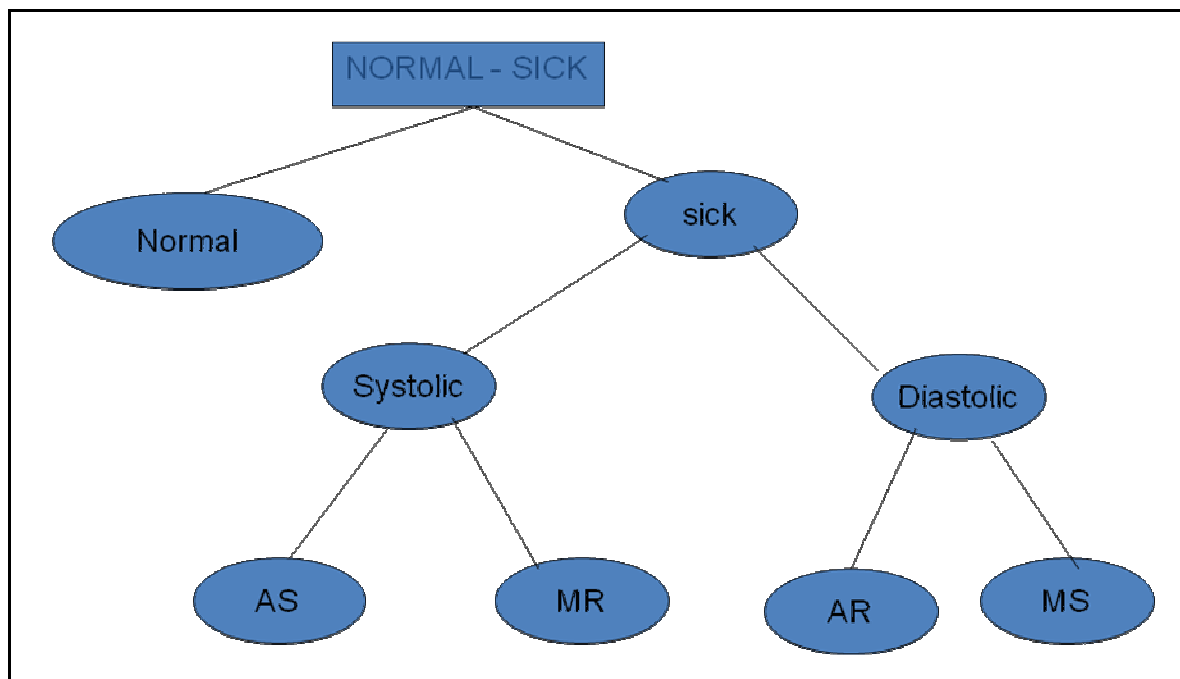
Σχήμα 5-9: Μη επιτηρούμενη εκπαίδευση.

Πατώντας το πλήκτρο "Start" και αφού τελειώσει ο αλγόριθμος παρακαλούμε την έξοδο του αλγορίθμου (δεξιά στο παράθυρο), για να δούμε ποιες ομάδες ανίχνευσε ο συγκεκριμένος αλγόριθμος. Μπορεί να χρειαστεί να περιμένουμε μερικά λεπτά μέχρι να τελειώσει κάθε αλγόριθμος.

5.2 Αποτελέσματα Κατηγοριοποίησης

Σε όλες τις προσομοιώσεις μας εμείς επιλέγαμε κάθε φορά διαφορετικό classifier και cross – Validation.

Ουσιαστικά εμείς αυτό που προσπαθούμε να βρούμε είναι το καταλληλότερο αλγόριθμο κατηγοριοποίησης. Λαμβάνουμε ένα σήμα από το ψηφιακό στηθοσκόπιο και αρχικά προσπαθούμε να εντοπίσουμε εάν είναι ο καρδιακός χτύπος μας παραπέμπει σε μια υγιή ή σε μια καρδιά που έχει κάποια δυσλειτουργία. Εν συνεχεία ανάλογα με το φύση του καρδιακού χτύπου (διαστολικός ή συστολικός) γίνεται ο εντοπισμός τη ασθένειας που τυχόν υπάρχει. Παρακάτω παρατίθεται το δέντρο απόφασης της περίπτωσης που μόλις τώρα περιγράψαμε.



Σχήμα 5-10: Δέντρο απόφασης.

Στοιχεία Δείγματος

Αρχικά το δείγμα εξετάζεται εάν είναι υγιές ή εμφανίζει κάποια παραμόρφωση που μας παραπέμπει σε κάποια μορφής ασθένεια (εδώ είχαμε ένα μέγεθος 65 δειγμάτων εκ των οποίων τα 33 ήταν υγιή και τα 32 μας παρέπεμπαν στην ύπαρξη κάποιας ασθένειας (στη βαλβίδα της καρδιάς εντοπίζονται οι ασθένειες που εξετάζουμε). Σε ένα δεύτερο επίπεδο ο καρδιακός χτύπος μπορεί να ενταχθεί σε δύο κατηγορίες , ανάλογα με το είδος του μπορεί να είναι ή συστολικός ή διαστολικός (τα δείγματα που εξετάσαμε σε αυτή τη διάκριση ήταν 160 νούμερο αρκετά ικανοποιητικό). Τέλος, ανάλογα με το χτύπο το είδος του χτύπου γίνεται η τελική απόφαση για το είδος της ασθένειας. Αν ο χτύπος είναι συστολικός τότε ο ασθενής μπορεί να έχει είτε στένωση αορτής ανεπάρκεια μιτροειδούς βαλβίδας , εν αν είναι διαστολικός ο ασθενής μπορεί να έχει είτε ανεπάρκεια αορτικής βαλβίδας είτε στένωση μιτροειδούς βαλβίδας.

- **Διάκριση ασθενές – Υγιές δείγμα**

Καταλαβαίνουμε ότι αυτού η ακρίβεια του προβλεπτικού μας μοντέλου για αυτή τη περίπτωση είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς το παραμικρό λάθος μπορεί να αποβεί μοιραίο για τον ασθενή. Εμείς θέλουμε να είμαστε όσο γίνεται πιο ακριβής και να γνωρίζουμε σίγουρα αν ο ασθενής έχει κάποιο πρόβλημα ή όχι. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μας ήταν τα ακόλουθα.

Στο πίνακα ένα έχουμε τη δυνατότητα να δούμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη πρώτη αυτή κατηγοριοποίηση (Normal –Sick) διαπιστώνουμε ότι ο αλγόριθμός για τον οποίο προκύπτουν τα καλύτερα αποτελέσματα είναι ο Random Forrest και ακολουθεί ο K-Nearest Neighbor για τους υπόλοιπους αλγορίθμους τα αποτελέσματα είναι απογοητευτικά καθώς τα ποσοστά των σωστά κατηγοριοποιημένων δειγμάτων κυμαίνονται κάτω από το 80%.

	Διάκριση Normal- Sick (υγιές – ασθενές) Correctly Classified Instances
Random Forrest	86,15 %
J48	75,3846 %

Naïve Bayes	72,3077 %
Neural Networks	78,4615 %
RBNF	69,2308 %
K-Nearest Neighbor	81.5385 %
SMOS- Support Vector Machines	78,4615 %
	Μέγεθος Δείγματος: 65 περιπτώσεις

Πίνακας 5-1: Αποτελέσματα προσομοίωσης στο Weka – Κατηγοριοποίηση Normal Sick (Μονάδα μέτρησης %)

Επειδή όμως μιλάμε για ιατρικά δεδομένα θα πρέπει να είμαστε περισσότερο απαιτητικοί και να μας ενδιαφέρουν και ορισμένες άλλες παράμετροι. Συγκεκριμένα,

Κάθε άτομο που εξετάζεται με τη βοήθεια του ψηφιακού στηθοσκοπίου μπορεί να πάσχει από κάποιο νόσημα και:

A) το αποτέλεσμα του αλγορίθμου να είναι Sick – αυτό σημαίνει ότι ασθενής κατατάσσεται στη συγκεκριμένη κατηγορία (προφανώς σε αυτή τη περίπτωση η κατηγοριοποίηση έγινε σωστά) – Αληθώς Θετικό (ΑΘ) – True Positive.

C) το αποτέλεσμα του αλγορίθμου να είναι Normal (αυτό σημαίνει ότι η κατηγοριοποίηση έγινε σωστά) και λανθασμένα ο ασθενής θα θεωρείται υγιής ενώ στη πραγματικότητα δεν θα είναι, Ψευδώς Αρνητικό –ΨΑ.

Μπορεί επίσης να μην πάσχει από κάποιο νόσημα και :

B) να έχει θετικό το αποτέλεσμα της δοκιμασίας (ως δοκιμασία θεωρείται η εξέταση από το στηθοσκόπιο και η επεξεργασία του σήματος από κάποιο αλγόριθμο μηχανικής γνώσης) – Ψευδώς θετικό: ΨΘ.

D) να έχει αρνητικό το αποτέλεσμα της δοκιμασίας, Αληθώς αρνητικό – ΑΑ.

Μετά από τις παραπάνω επεξηγήσεις ορίζουμε δύο ακόμα πολύ χρήσιμα μεγέθη τα οποία είναι τα εξής:

True Positive Rate (TPR): το ποσοστό των αληθώς θετικών αποτελεσμάτων ή νοσολογική ευαισθησία (sensitivity) μιας δοκιμασίας ορίζεται ως το ποσοστό των πασχόντων από ένα συγκεκριμένο νόσημα έχουν θετικό το αποτέλεσμα της δοκιμασίας.

Στη περίπτωση μας αυτό σημαίνει ότι οι ασθενείς που όντως είχαν κάποιο πρόβλημα κατηγοριοποιήθηκαν σωστά στη κατηγορία SICK. Η αν μιλήσουμε στη γλώσσα του WEKA είναι η αναλογία των παραδειγμάτων που κατηγοριοποιήθηκαν στη κλάση X σε σχέση με το σύνολο των παραδειγμάτων που όντως ανήκουν στη κατηγορία X.

$$\%A\Theta = \frac{AA}{A\Theta + \Psi A} \quad \text{ή} \quad \left[\frac{a}{a+c} \right]$$

False Negative Rate (FNR): εκφράζει το ποσοστό των πασχόντων από ένα συγκεκριμένο νόσημα που έχουν αρνητικό το αποτέλεσμα της δοκιμασίας. Η αν μιλήσουμε στη γλώσσα του WEKA είναι η αναλογία των παραδειγμάτων που κατηγοριοποιήθηκαν στη κλάση X, στη πραγματικότητα όμως ανήκουν σε κάποια άλλη κατηγορία.[16]

$$\%\Psi A = \frac{\Psi A}{A\Theta + \Psi A} \quad \text{ή} \quad \left[\frac{c}{a+c} \right]$$

		Νόσημα		Σύνολο
		Ναι	Όχι	
Αποτέλεσμα δοκιμασίας	Θετικό	AΘ a	ΨΘ b	a+b
	Αρνητικό	ΨA c	AA d	c+d
	Σύνολο	AΘ+ΨA a+c	AA+ΨΘ b+d	a+b+c+d
		$\%A\Theta = \frac{A\Theta}{A\Theta + \Psi A}$	$\%\Psi\Theta = \frac{\Psi\Theta}{AA + \Psi\Theta}$	
		$\%\Psi A = \frac{\Psi A}{A\Theta + \Psi A}$	$\%AA = \frac{AA}{AA + \Psi\Theta}$	
AΘ: Αληθώς θετικά, ΨΘ: Ψευδώς θετικά, ΨA: Ψευδώς αρνητικά, AA: Αληθώς αρνητικά αποτελέσματα, %AΘ: Ποσοστό αληθώς θετικών, %ΨΘ: Ποσοστό ψευδώς θετικών, %ΨA: Ποσοστό ψευδώς αρνητικών, %AA: Ποσοστό αληθώς αρνητικών αποτελεσμάτων				

Σχήμα 5-11: Πιθανόφανειες.

Ευτυχώς, το Weka μας παρέχει τις πληροφορίες για του χρήσιμου αυτούς δείκτες (TPR και FNR).

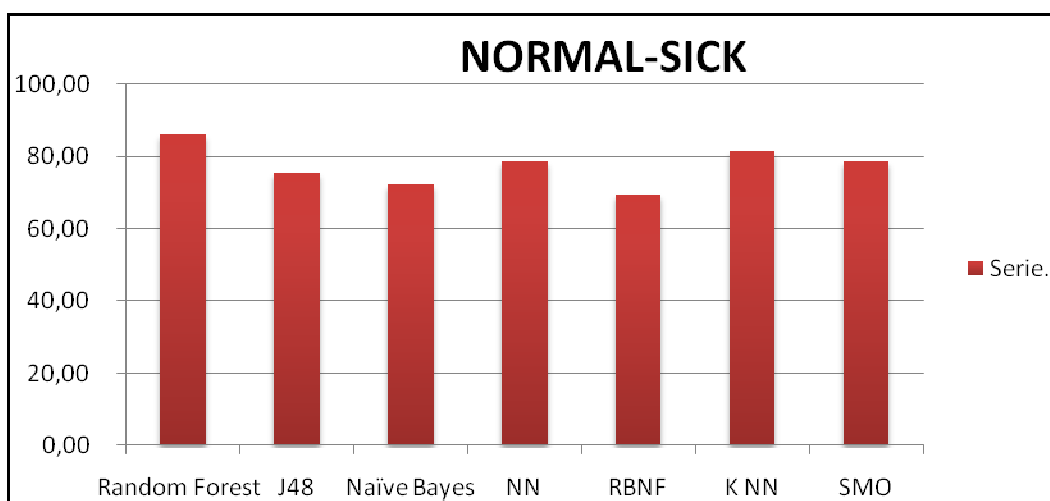
Εμάς μας ενδιαφέρει κυρίως να μην θεωρήσουμε λανθασμένα υγιή κάποιο ασθενή που έχει πρόβλημα με τη καρδιά του. Κλάση SICK είχαμε ονομάσει στις προσομοιώσεις μας

τη κλάση εκείνη που περιείχε τις περιπτώσεις που οι ασθενείς στη πρωτοβάθμια διάκριση ήταν ασθενής, ενώ NORMAL περιείχε τα υγιή δείγματα.

Για αυτό το λόγο ασχολούμαστε αποκλειστικά με αυτή τη κλάση. Στο παρακάτω πίνακα αυτό που βλέπουμε είναι η αναλογία των δειγμάτων που ενώ τα άτομα ήταν ασθενή τελικά χαρακτηρίστηκαν ως υγιής εμείς αυτές τις καταστάσεις θέλουμε να αποφύγουμε. Και σε αυτή τη περίπτωση ο Random Forrest εμφανίζει τα καλύτερα αποτελέσματα.

	False Negative Rate (FNR)
Random Forrest	0,091
J48	0,273
Naïve Bayes	0,182
Neural Networks	0,303
RBNF	0,394
K-NN (K-nearest neighbor)	0,156
SMO – Support Vector Machines	0,212

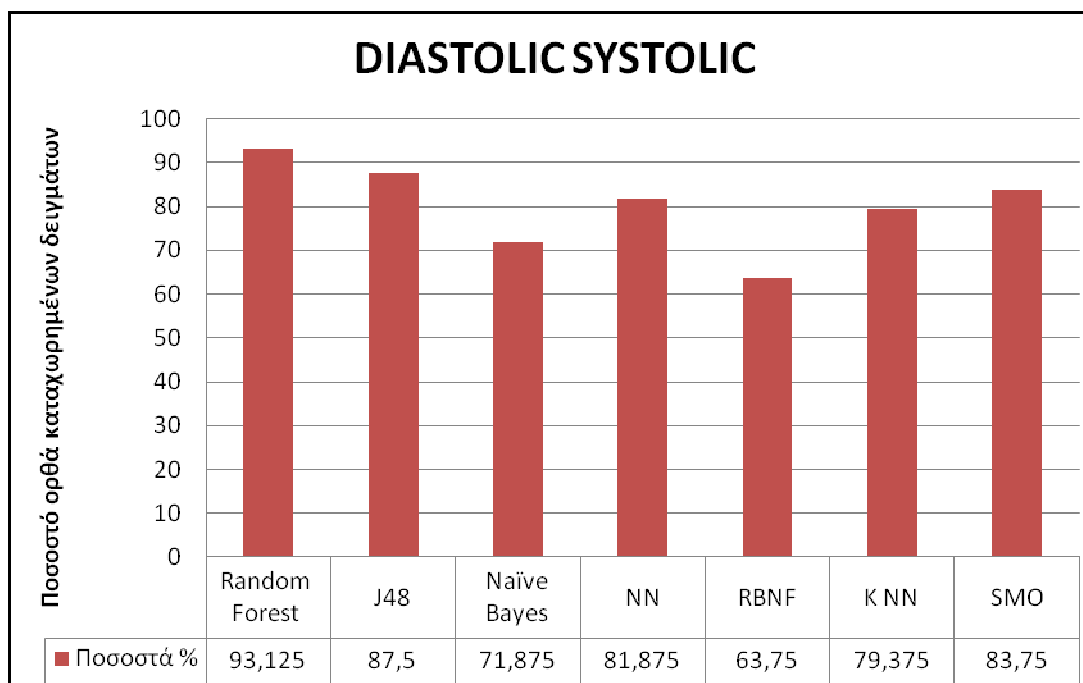
Πίνακας 5-2: Αποτελέσματα προσομοίωσης για τα μεγέθη FNR για τη κλάση Normal.



Σχήμα 5-12: Ραβδόγραμμα (Μονάδα μέτρησης %) αποτελέσματα προσομοίωσης στο Weka – Κατηγοριοποίηση Normal Sick.

Διάκριση Συστολικός – Διαστολικός καρδιακός χτύπος

Από τη στιγμή που εντοπιστεί ότι ασθενής παρουσιάζει κάποια δυσλειτουργία γίνεται προσπάθεια να εντοπιστεί ποιο είναι ακριβώς το πρόβλημα που έχει. Για να είναι πιο εύκολη αυτή η διαδικασία προσπαθούμε αρχικά να διακρίνουμε τη φύση του χτύπου και συγκεκριμένα αν είναι διαστολικός η συστολικός. Πάμε λοιπόν αν δούμε τα αποτελέσματα που εμφανίζουν οι αλγόριθμοι μας σε αυτή τη περίπτωση θα πρέπει να σημειώσουμε ότι το μέγεθος του δείγματος ήταν αρκετά ικανοποιητικό καθώς μελετήσαμε 160 διαφορετικές περιπτώσεις , οπότε τα αποτελέσματα που θα έχουμε θα είναι αρκετά αξιόπιστα.



Σχήμα 5-13: Ραβδόγραμμα (Μονάδα μέτρησης %) αποτελέσματα προσομοίωσης στο Weka – Κατηγοριοποίηση Diastolic – Systolic.

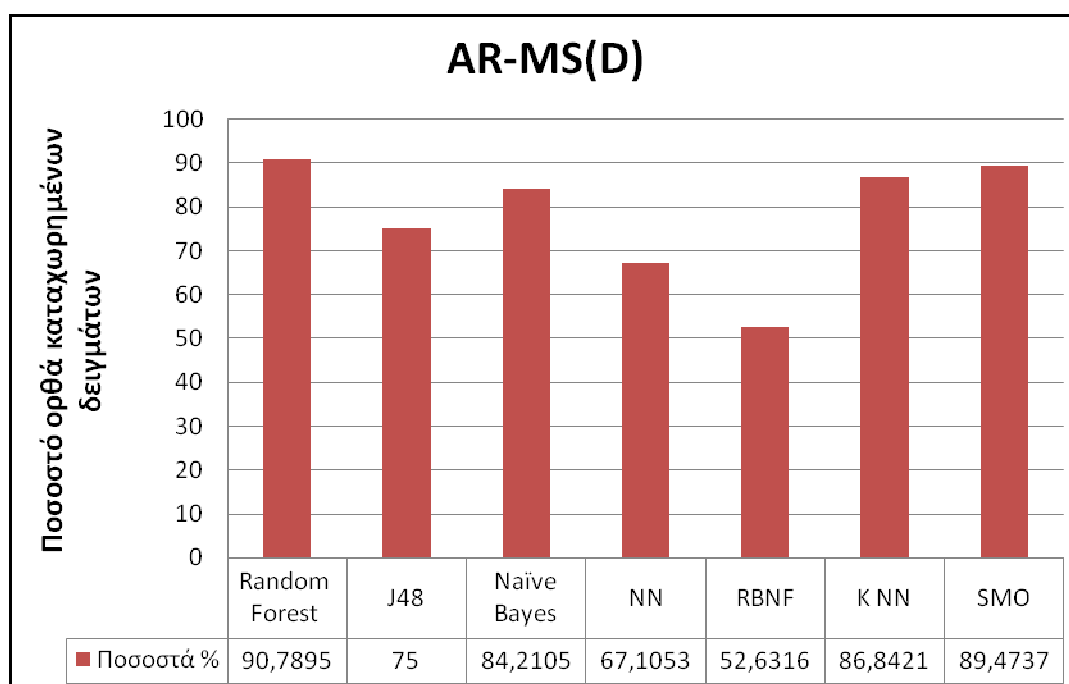
Και σε αυτή τη περίπτωση διαπιστώνουμε ότι ο αλγόριθμος Random Forrest εμφανίζει πολύ καλά αποτελέσματα, εμφανώς καλύτερα από τους υπόλοιπους. Τελική διάγνωση ασθενειών AR-MS και AS-MR

Έχουμε εξηγήσει τον τρόπο με τον οποίο εντοπίζονται και κατηγοριοποιούνται οι ασθένειες με βάση τη φύση του καρδιακού χτύπου τώρα θα εξετάσουμε πως συμπεριφέρονται οι αλγόριθμοι μας στη τελική διάγνωση της ασθένειας.

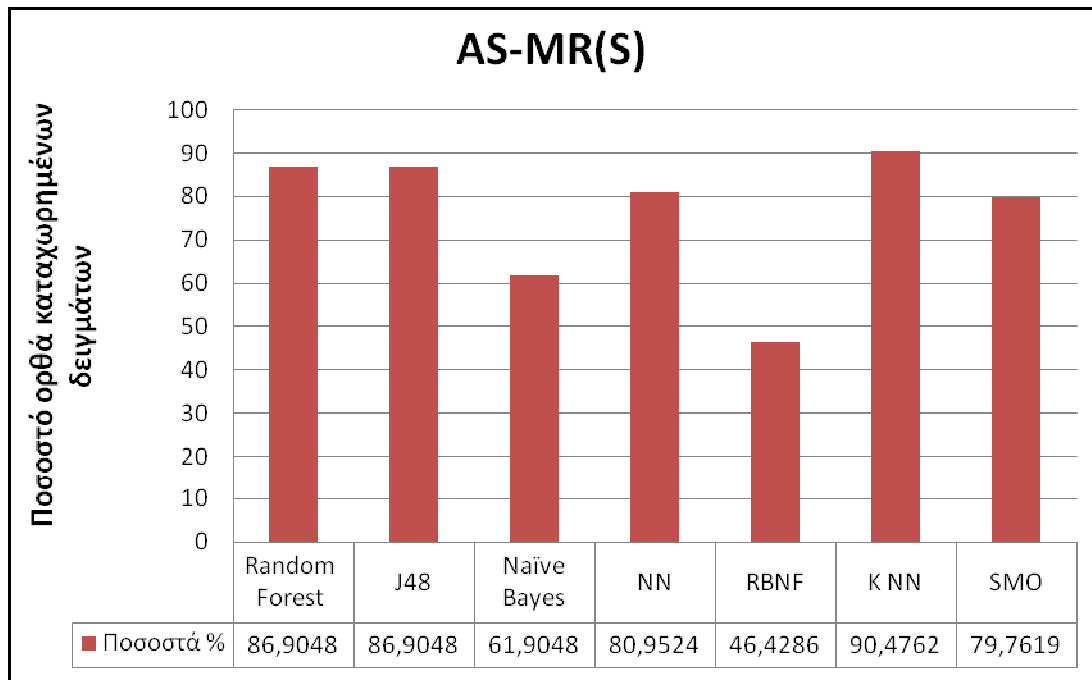
Αναφέραμε ότι όταν ο χτύπος είναι διαστολικός τότε ο ασθενής μπορεί να πάσχει είτε από ανεπάρκεια αορτικής βαλβίδας είτε από στένωση μιτροειδούς βαλβίδας .

Αντίστοιχα, όταν ο χτύπος είναι συστολικός τότε μπορεί να πάσχει είτε από ανεπάρκεια μιτροειδούς βαλβίδας είτε από στένωση αορτής.

Το αξιοσημείωτο στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται παρακάτω είναι ότι στη κατηγοριοποίηση AS-MR ο Random Forrest δεν βγήκε ο καλύτερος προηγείται ο K-NN όμως αυτό δεν θα επηρεάσει και πολύ τη τελική μας απόφαση.



Σχήμα 5-14: Ραβδόγραμμα (Μονάδα μέτρησης %) αποτελέσματα προσομοίωσης στο Weka – Κατηγοριοποίηση AR-MS.



Σχήμα 5-15: Ραβδόγραμμα (Μονάδα μέτρησης %) αποτελέσματα προσομοίωσης στο Weka – Κατηγοριοποίηση AS-MR.

Τελικό συμπέρασμα

Ο αλγόριθμος Random Forrest σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις εμφάνισε τη καλύτερη δυνατή συμπεριφορά βεβαίως όταν μιλάμε για ιατρικά δεδομένα σωστές κατηγοριοποιήσεις της τάξης του 85%-90% ίσως να μην είναι ικανοποιητικά όμως θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας το περιορισμένο δείγμα που είχαμε στη διάθεση μας . η συλλογή ευαίσθητων ιατρικών δεδομένων είναι αρκετά δύσκολη και αυτό επηρέασε προφανώς και τη δική μας προσπάθεια. Εμείς πετύχαμε τον αρχικό μας στόχο να εντοπίσουμε δηλαδή τον αλγόριθμό εκείνο που μας οδηγεί στα καλύτερα αποτελέσματα ώστε να ξέρουμε ποιον να επιλέξουμε σε πραγματικές καταστάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Συμπεράσματα για Systems Dynamics

Όπως διαπιστώσαμε η μεθοδολογία αυτή είναι ιδιαίτερος χρήσιμη για μια σύγχρονη επιχείρηση για αυτό ακριβώς το λόγο είναι ευρέως διαδεδομένη χώρες της Ευρώπης και στην Αμερική. Η Systems Dynamics μας δίνει τη δυνατότητα να μοντελοποιήσουμε μια οποιαδήποτε διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε μια επιχείρηση και να δούμε πως αυτή συμπεριφέρεται κάτω από διάφορες συνθήκες. Αυτό είναι για εμάς το σημαντικότερο πλεονέκτημα. Μπορεί μέσα σε μια εταιρία να έχει εντοπιστεί κάποιο πρόβλημα που οφείλεται σε κάποια εσωτερική δυσλειτουργία, συνήθως κάποια διαδικασία δεν γίνεται σωστά, είναι πολύ πιθανόν να υπάρχουν πολλές διαφορετικές προτάσεις για τη βελτίωση της εν λόγω διαδικασίας σε αυτή τη περίπτωση η μεθοδολογία αυτή μπορεί να μας φανεί εξαιρετικά χρήσιμη. Έχοντας μοντελοποιήσει σωστά αυτή τη διαδικασία μπορούμε να επιφέρουμε στο μοντέλο μας τις αλλαγές που σκεφτόμαστε να κάνουμε να τις συγκρίνουμε και να προχωρήσουμε σε τελική υλοποίηση μόνο τη περίπτωση για την οποία στο μοντέλο μας προέκυψαν τα καλύτερα αποτελέσματα. Αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς δεν χάνουμε χρόνο άσκοπα δοκιμάζοντας λύσεις που στη πραγματικότητα δεν έχουν κανένα όφελος. Βεβαία ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι η μοντελοποίηση της διαδικασίας, πόσο ακριβής μπορεί να είναι αυτή? Αυτό θα το δούμε στη πραγματικότητα σίγουρα δεν είναι εύκολο το μοντέλο μας να είναι ακριβής αλλά αξιοποιώντας σωστά το μοντέλο Vensim Ple μπορούμε να έχουμε πολύ καλά αποτελέσματα. Ίσως, σε αυτό το σημείο να έγκειται η αδυναμία της Systems Dynamics όπως έχει καταγραφεί και στη βιβλιογραφία.

6.2 Συμπεράσματα για Data Mining

Για το Data Mining γνωρίζουμε πάρα πολύ καλά ότι βασίζεται στο μεγάλο όγκο δεδομένων και προσπαθεί να καταγράψει κανόνες και τάσεις που θα μας βοηθήσουν στη λήψη μιας απόφασης. Ουσιαστικά, παράγουν γνώση που από μόνοι μας δεν θα μπορούσαμε να κατανοήσουμε βεβαίως όλα τα πρότυπα που παράγει δεν είναι σωστά αλλά με τη κατάλληλη πείρα θα είμαστε σε θέση να διαλέγουμε αυτά που είναι ορθά. υπάρχουν πολλά εργαλεία που υποστηρίζουν τη συγκεκριμένη μεθοδολογία για αυτό ακριβώς το λόγο ανάλογα με την εργασία που είναι εκτελούμε πρέπει να επιλέγουμε και

τη κατάλληλη εφαρμογή. Βασικό μειονέκτημα είναι όταν ο όγκος των δεδομένων δεν είναι πολύ μεγάλος τότε δεν μπορεί να μας οδηγήσει σε αξιόπιστα συμπεράσματα.

Επίσης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι το Data Mining μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών για παράδειγμα:

- Στο κλάδο των τραπεζών και οικονομικών οργανισμών: επεξεργάζοντας οι τράπεζες τα στοιχεία για τους διάφορους πελάτες μπορούν να δημιουργήσουν ένα προφίλ που καταγράφει τη πιστοληπτική ικανότητα του κάθε πελάτη, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται κατά πολύ το ρίσκο που παίρνει μια τράπεζα όταν δανείζει χρήματα σε κάποιο ιδιώτη η επιχείρηση.
- Στο χώρο του Marketing αναμφισβήτητα το data mining διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο καθώς είναι σε θέση να καταγράψει τις τάσεις που σχετίζονται με την αγοραστική συμπεριφορά των πελατών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι διαφημίσεις να είναι πιο στοχευμένες προσελκύοντας με αυτό τον τρόπο ολοένα και περισσότερους πελάτες.
- Στο χώρο της έρευνας , η εξόρυξη γνώσης βελτιώνει αισθητά τη δυνατότητα επεξεργασίας των δεδομένων με αποτέλεσμα να μπορεί να δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα σε άλλα πιο δύσκολα και απαιτητικά κομμάτια της έρευνας.
- Γενικότερα., data mining μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε περίπτωση απαιτείται η δημιουργία ενός προφίλ που καταγράφει τάσεις, κανόνες και συμπεριφορές.

Το Data Mining δεν είναι δυνατό να αποτελεί τη λύση σε κάθε μας πρόβλημα, σίγουρα έχει πολλά πλεονεκτήματα αλλά προφανώς υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα που μπορεί να μας προβληματίσουν συγκεκριμένα:

- Παραβίαση ιδιωτικότητας: πολλές φορές τα δεδομένα που πρέπει να επεξεργαστούν είναι ευαίσθητα , παράλληλα με τη χρήση του internet εγείρονται συνεχώς ολοένα και περισσότερα ερωτήματα που αφορούν την ιδιωτικότητα. Υπάρχουν άτομα που διστάζουν να αγοράσουν πράγματα από το διαδίκτυο υπό το φόβο ότι μπορεί να υπάρχει κάποιος που μπορεί να έχει πρόσβαση στα προσωπικούς δεδομένα. Επιπροσθέτως, υπάρχουν πολλές εταιρίες που δεν διστάζουν να πουλήσουν τα προσωπικά μας δεδομένα, με αυτό τον τρόπο εταιρίες

αξιοποιώντας σωστά το data mining είναι σε θέση να γνωρίζουν πολλά και σημαντικά στοιχεία που αφορούν τη προσωπική μας ζωή.

- Ασφάλεια δεδομένων: εταιρίες που διατηρούν τα προσωπικά μας δεδομένα πολλές φορές δεν επιδεικνύουν πάντα τη δέουσα προσοχή, δεν είναι λίγες οι φορές και τα περιστατικά που υπήρξε διαρροή προσωπικών δεδομένων.
- Τέλος, οι τάσεις που καταγράφονται πάντα και ουσιαστικά αποτελούν το αποτέλεσμα της εξόρυξης και της επεξεργασίας των δεδομένων δεν μπορούν να θεωρηθούν 100% αξιόπιστες, λάθη και ανακρίβειες μπορούν να υπάρξουν πάντα, άλλωστε καμιά μεθοδολογία δεν είναι ποτέ αλάνθαστη.

6.3 Σύγκριση Δύο Μεθοδολογιών

Στη παρούσα διπλωματική εργασία εξετάσαμε δύο διαφορετικές μεθοδολογίες που εντάσσονται στον επιστημονικό τομέα των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων. Από τη μια πλευρά είχαμε τη Systems Dynamics και το εργαλείο Vensim Ple και από την άλλη πλευρά είχαμε το Data Mining (Εξόρυξη Γνώσης) και το εργαλείο WEKA. Στα προηγούμενα κεφάλαια εξετάσαμε αναλυτικά τα βασικά τους χαρακτηριστικά, τις αρχές που τις διέπουν, είδαμε σε πραγματικά δεδομένα και προβλήματα τον τρόπο εφαρμογής τους αλλά και τα αποτελέσματα που έχουν οπότε σε αυτό το σημείο είμαστε σε θέση να συγκρίνουμε αυτές τις δύο μεθοδολογίες. Βεβαίως, θα πρέπει να υπογραμμίσουμε ότι ο τρόπος λειτουργίας τους και γενικότερα η φιλοσοφία τους διαφέρει κατά πολύ εντούτοις υπάρχουν κάποια βασικά στοιχεία που μπορούν να αποτελέσουν κριτήρια σύγκρισης.

Συγκεκριμένα, η εξόρυξη γνώσης βασίζεται κατά κύριο λόγο στο μεγάλο όγκο δεδομένων που μπορούμε να διαθέτουμε και προσπαθεί να καταγράψει τάσεις ή κανόνες που τυχόν υπάρχουν, παράγει δηλαδή γνώση που εμείς δεν την είχαμε εκ των προτέρων. Διαχειρίζεται τα δεδομένα με ένα τρόπο που ο ανθρώπινος νους από μόνος του δεν μπορεί. Η Systems Dynamics σε ένα μεγάλο βαθμό βασίζεται στη γνώση που εμείς έχουμε, γνωρίζοντας σε πολύ καλό βαθμό τον τρόπο εκτέλεσης μιας διαδικασίας και έχοντας τη δυνατότητα να τη μοντελοποιήσουμε σωστά έχουμε τη δυνατότητα να δούμε τη συμπεριφορά που θα έχει μια συγκεκριμένη διαδικασία κάτω από διαφορετικές συνθήκες.

Στο Data Mining το δέντρο απόφασης που χρησιμοποιείται για τελική κατηγοριοποίηση κατασκευάζεται από το ίδιο το εργαλείο που χρησιμοποιούμε λαμβάνοντας υπόψη το είδος των δεδομένων αλλά και τα χαρακτηριστικά του αλγορίθμου κατηγοριοποίησης. Αντιθέτως, στη Systems Dynamics το δέντρο απόφασης κατασκευάζεται από εμάς, συνήθως ένα έμπειρος στέλεχος καλείται να μας δώσει τις απαραίτητες οδηγίες για τον τρόπο που θα πρέπει να κατασκευαστεί το μοντέλο. Βάσει αυτού του μοντέλου κα γίνονται οι προσομοιώσεις που απαιτούνται.

Επιπροσθέτως, στο Data Mining η βασική εργασία που εκτελείται είναι η κατηγοριοποίηση. Εισάγουμε στο εργαλείο ένα νέο δείγμα και αξιοποιώντας το δέντρο απόφασης που έχει δημιουργηθεί καταλήγουμε (όχι πάντα σωστά) σε ποια κλάση ανήκει το δείγμα. Στη Systems Dynamics η έννοια της κατηγοριοποίησης δεν έχει κανένα απολύτως νόημα, αυτό όμως που μας ενδιαφέρει είναι η μοντελοποίηση και η προσομοίωση. Το αποτέλεσμα της προσομοίωσης ουσιαστικά αποτελεί τη περιγραφή της συμπεριφοράς μια διαδικασίας ενός συστήματος ή διαδικασίας υπό ορισμένες προϋποθέσεις.

Τέλος, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι και οι δύο μεθοδολογίες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες και αξιόπιστες όμως χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές περιστάσεις. Αναμφισβήτητα, η σωστή αξιοποίηση τους συνεπάγεται πολλά οφέλη όμως θα πρέπει να δίνεται πάντα η απαραίτητη προσοχή καθώς τα αποτελέσματα που προκύπτουν δεν θα πρέπει να υιοθετούνται άκριτα. Η εξόρυξη γνώσης θα χρησιμοποιηθεί όταν έχουμε πολλά δεδομένα και προσπαθούμε να καταγράψουμε τάσεις, πρότυπα και συμπεριφορές ενώ τη μεθοδολογία Systems Dynamics θα τη χρησιμοποιήσουμε στη περίπτωση είτε όταν θέλουμε να λύσουμε κάποιο πρόβλημα που επηρεάζει την εύρυθμη λειτουργία μια επιχείρησης, είτε όταν θέλουμε να δούμε ποια θα είναι η συμπεριφορά της επιχείρησης κάτω από ορισμένες διαφορετικές από τις συνηθισμένες συνθήκες.

6.4 Μελλοντική Εργασία

Στα πλαίσια της εργασίας μας μελετήσαμε δύο ενδιαφέρουσες μεθοδολογίες που έχουν πληθώρα εφαρμογών στη πραγματική μας ζωή. Όσον αφορά το κομμάτι της Systems Dynamics μελετήσαμε σε ικανοποιητικό βαθμό τα βασικά της χαρακτηριστικά και τις

θεμελιώσεις αρχές που τη διέπουν , ενώ παράλληλα είχαμε τη δυνατότητα να εξετάσουμε τρία πραγματικά παραδείγματα ενδιαφέρον επομένως θα ήταν να προσπαθήσουμε να μελετήσουμε από μόνοι μας κάποιο πρόβλημα και να φτιάξουμε ένα μοντέλο, να το προσομοιώσουμε και να επεξεργαστούμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και να δούμε κατά πόσο ανταποκρίνονται στη πραγματικότητα.

Όσον αφορά το κομμάτι του data mining μπορούμε να εφαρμόσουμε τη τεχνική αυτή σε δεδομένα που μπορεί να σχετίζονται με οτιδήποτε αφορά τη προσωπική μας ζωή. Εφαρμόζοντας τη θα μπορούμε να καταγράψουμε κάποιες τάσεις που ενδεχομένως δεν υπάρχει κάποιος άλλος τρόπος για να γίνουν αντιληπτές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη Βιβλιογραφία:

Αναφορές σε βιβλία:

- [1] J. W. Forrester, Industrial Dynamics, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1961.
- [2] D. H. Kim, "Toolbox: Guidelines for Drawing Causal Loop Diagrams," The Systems Thinker, Vol. 3, No. 1, pp. 5-6 (February 1992).
- [3] G. P. Richardson and A. L. Pugh III, Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO, Productivity Press, Cambridge, Massachusetts, 1981.
- [4] P. M. Senge, The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization, Doubleday Currency, New York, 1990.
- [5] P. M. Senge, C. Roberts, R. B. Ross, B. J. Smith, and A. Kleiner, The Fifth Discipline Fieldbook: Strategies and Tools for Building a Learning Organization, 1990.
- [6] J. D. W. Morecroft and J. D. Sterman, editors, Modeling for Learning Organizations, Productivity Press, Portland, OR, 1994.
- [7] G. P. Richardson and A. L. Pugh III, Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO, Productivity Press, Cambridge, Massachusetts, 1981.
- [8] P. M. Senge, The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization, Doubleday Currency, New York, 1990.
- [9] W. E. Jarman (ed.), Problems in Industrial Dynamics, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1963.
- [10] Craig W. Kirkwood (College of Business Arizona State University) System Dynamics Method: A Quick Introduction, 1998.
- [11] W. E. Jarman (ed.), Problems in Industrial Dynamics, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1963.
- [12] W. E. Jarman (ed.), Problems in Industrial Dynamics, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, exercise 3, 1963
- [13] M. R. Goodman, Study Notes in System Dynamics, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, exercise 10, 1974,
- [14] B. Richmond, S. Peterson, C. Charyk, Introduction to Systems Thinking and itink, High Performance Systems, Inc., Hanover, NH, 1994.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αναφορές σε βιβλία

- [15] Ν. Πέτρογλου, Λ.Σπάρος Εφαρμοσμένη Ιατρική Έρευνα, Διαγνωστική Ποιότητα Πιθανοφάνειες, Αθήνα 30.3.2005
- [16] Σωτήρης Β.Κωτσιαντής, Διδακτορική διατριβή με θέμα «Ομάδες Ταξινομητών για την αύξηση της ακρίβειας των μεθόδων Μηχανικής Μάθησης και Εξόρυξης Γνώσης, Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Μαθηματικών, Πάτρα Σεπτέμβριος 2005.

Αναφορές σε Συνέδρια

- [17] Dawes, R. M. The Robust Beauty of Improper Linear Models in Decision Making. *American Psychologist* 34, 571-582. Dawes, R. M. 1988. *Rational Choice in an Uncertain World*. Harcourt Brace, 1979.

Αναφορές σε Δημοσιεύσεις & Εργασίες:

- [18] Jovanovich, San Diego. N. Roberts, D. F. Anderson, R. M. Deal, M. S. Garet, and W. A. Sha –er , *Introduction to Computer Simulation: The System Dynamics Approach*, Addison – Wesley, Reading, MA, 1983.
- [19] Akay M (1992) Noninvasive diagnosis of coronary artery disease using a neural network algorithm. *Biological Cybernetics* 1992, 67, pp. 361-367.
- [20] Cathers I. (1995) Neural network assisted cardiac auscultation. *Artificial Intelligence in Medicine*, February 1995, Volume 7, Issue 1, pp. 53-66
- [21] Wu C. H., Lo C. W., Wang J. F. (1995) Computer-aided analysis of classification of heart sounds based on neural networks and time analysis. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signals Processing (ICASSP) 1995*, 5, pp.4355-3458.
- [22] Leung T. S., White P. R., Collis W. B., Brown E., Salmon A. P. (2000) Classification of heart sounds using time-frequency method and artificial neural networks. In *Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2000*, 2:988-991.
- [23] Angelakis, C., Loukis, E., Pouliezos, A., Stavrakakis, G. (2001), ‘A Neural Network based Method for Gas Turbine Blading Fault Diagnosis’, *International Journal of Modelling and Simulation*, Vol.21, No.1, 2001, pp. 51-60.
- [24] Stasis A., Loukis E., Pavlopoulos S., Koutsouris D. (2003), ‘Using Decision tree Algorithms as a basis for a Heart Sound Diagnosis Decision Support System’, *4th Annual IEEE Conference on Information technology Applications in Biomedicine*, May 2003, Birmingham, UK.
- [25] Pavlopoulos, S., Stasis, A., Loukis, E. (2004), ‘A decision tree – based method for

the differential diagnosis of Aortic Stenosis from Mitral Regurgitation using heart sounds’, BioMedical Engineering OnLine, June 2004.

[26] Stasis, A., Loukis, E., Pavlopoulos, S., Koutsouris, D. (2004), ‘A multiple decision trees architecture for medical diagnosis: The differentiation of opening snap, second heart sound split and third heart sound’, Computational Management Science, Springer Verlag, Autumn 2004, pp. 245-274.

[27] Stasis, A., Pavlopoulos, S., Loukis, E. (2004), ‘A Multiple Decision Tree – Based Method for the Differentiation of Fourth Heart Sound, First Heart Sound Split and Ejection Click’, Journal of Information Technology in Healthcare, Vol. 2, No 6, pp. 413-426.

[28] Maragoudakis, M., Loukis, E., Pantelides, P., ‘Random Forests Identification of Gas Turbine Faults’ (2008), 19th International Conference on Systems Engineering - ICSENG 2008, August 19-21, 2008, Las Vegas, USA.

[29] Maragoudakis, M., Loukis, E., Pantelides, P., ‘Gas Turbine Fault Diagnosis using Random Forests’ (2008), 18th European Conference on Artificial Intelligence – ECAI 2008, July 21-25, Patras, Greece.

[30] Maglogiannis, I., Loukis, E., Zafiropoulos, E., Stasis, A. (2009), ‘Support Vectors Machine based Identification of Heart Valve Diseases Using Heart Sounds’, Computer Methods and Programs in Biomedicine, Volume 95, Issue 1, July 2009, pp. 47-61.

Ιστοσελίδες

[31] www.wikipedia.com (Systems Dynamics)

[32] www.incardiology.gr/aortic_stenosis

[33] www.incardiology.gr/mitral_regurgitation

[34] www.incardiology.gr/aortic_regurgitaion

[35] www.incardiology.gr/mirtral_stenosis

Παράρτημα: I Χαρακτηριστικά Αλγορίθμου J48

Η IDE τεχνική για το χτίσιμο του δέντρου απόφασης βασίζεται στη θεωρία της πληροφορίας και προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τον αναμενόμενο αριθμό των συγκρίσεων, η βασική ιδέα ενός αλγορίθμου επαγωγής είναι να ρωτάει ερωτήσεις των οποίων οι απαντήσεις παρέχουν τη περισσότερη πληροφορία. Αυτή είναι παρόμοια με τη διαισθητική προσέγγιση που ακολουθείται από τους ενήλικες όταν παίζουν το παιχνίδι «Είκοσι Ερωτήσεις». Η πρώτη ερώτηση που θα μπορούσε να ρωτήσει ένας ενήλικας είναι “Is the thing alive?” ενώ ένα παιδί θα ρωτούσε “Is it my daddy?”. Η πρώτη ερώτηση χωρίζει το χώρο αναζήτησης σε δύο μεγάλα πεδία αναζήτησης, ενώ η δεύτερη εκτελεί μια μικρή διαίρεση του χώρου. Η βασική στρατηγική που εκτελείται από τον ID3 είναι η επιλογή γνωρισμάτων διάσπασης με το υψηλότερο κέρδος πληροφορίας πρώτα. Το ποσό της πληροφορίας, το οποίο συνδέεται με τη τιμή του γνωρίσματος σχετίζεται με τη πιθανότητα εμφάνισης τους. Κοιτώντας στο παράδειγμα των είκοσι ερωτήσεων, η ερώτηση του παιδιού χωρίζει το χώρο αναζήτησης σε δύο σύνολα. Το ένα σύνολο (Daddy) έχει μια απειροελάχιστη πιθανότητα που συνδέεται με αυτό, ενώ το άλλο σύνολο είναι σχεδόν σίγουρο, ενώ αντίθετα η ερώτηση που κάνει ο ενήλικας διαιρεί το χώρο αναζήτησης σε δύο υποσύνολα με σχεδόν ίση πιθανότητα εμφάνισης.

Η έννοια που χρησιμοποιείται για να μετρηθεί η πληροφορία καλείται εντροπία. η εντροπία χρησιμοποιείται για να μετρήσει τη ποσότητα της αβεβαιότητας ή της έκπληξης ή της τυχειότητας σε ένα σύνολο δεδομένων. Φυσικά όταν όλα τα δεδομένα ενός συνόλου ανήκουν σε μια μόνο κατηγορία δεν υπάρχει καθόλου αβεβαιότητα. Σε αυτή τη περίπτωση η εντροπία είναι μηδέν. Ο στόχος της κατηγοριοποίησης ενός δέντρου απόφασης είναι να διαχωρίσει επαναληπτικά το υπό εξέταση σύνολο δεδομένων σε υποσύνολα όπου όλα τα δεδομένα σε κάθε τελικό υποσύνολο ανήκουν στη ίδια ακριβώς κατηγορία.

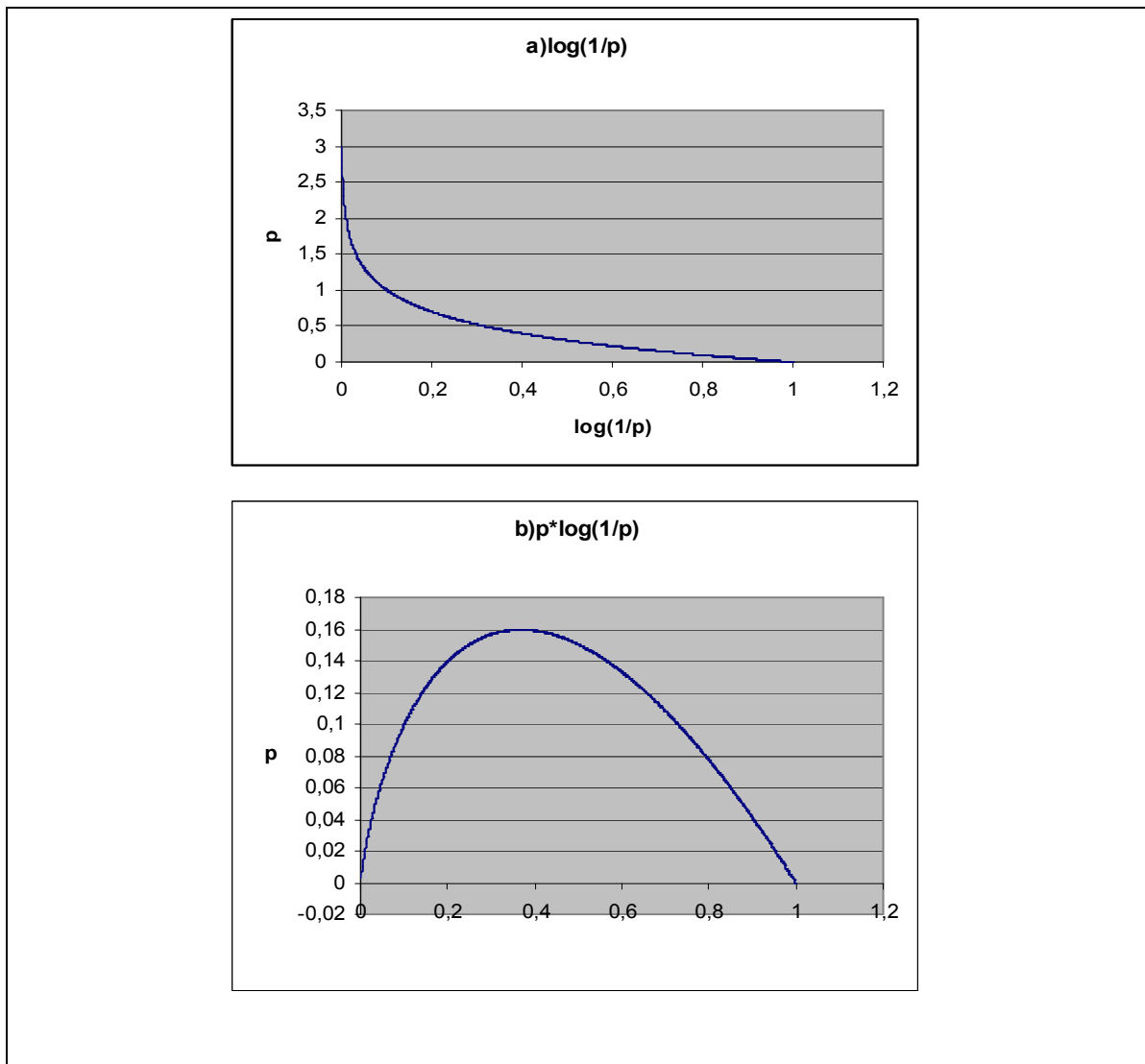
Το σχήμα Ια δείχνει τη συνάρτηση $\log(1/p)$ καθώς η πιθανότητα p μεταβάλλεται 0 σε 1. αυτό διαισθητικά μας δείχνει τη ποσότητα της έκπληξης με βάση τη πιθανότητα. Όταν $p=1$ δεν υπάρχει καθόλου έκπληξη. αυτό σημαίνει ότι εάν ένα περιστατικό έχει πιθανότητα εμφάνισης ίση με 1 και μας που ότι αυτό το περιστατικό συνέβη τότε αυτό δεν θα μας προκαλέσει καμία έκπληξη. Καθώς $p \rightarrow 0$ η έκπληξη μεγαλώνει. Το σχήμα Ιβ δείχνει τη συνάρτηση $p \cdot \log(1/p)$, η οποία είναι η αναμενόμενη πληροφορία με βάση τη

πιθανότητα ενός περιστατικού. Για να καθορίσουμε την αναμενόμενη πληροφορία που συνδέει τα δύο περιστατικά, προσθέτουμε τις ξεχωριστές τιμές μαζί.

Η εντροπία ενός κόμβου δίνεται από το παρακάτω τύπο.

$$Entropy(t) = -\sum_{j=1}^c p(j|t) \log_2 p(j|t)$$

$p(j|t)$ σχετική συχνότητα της κλάσης j στον κόμβο t c αριθμός κλάσεων



Σχήμα: I Αναπαράσταση συναρτήσεων $\log(1/p)$ και $p*\log(1/p)$.

Η τιμή για την εντροπία είναι μεταξύ μηδέν και ένα και πιάνει το μέγιστο όταν οι πιθανότητες είναι όλες ίδιες.

Ο αλγόριθμος J48 βελτιώνει το αλγόριθμο ID3 με τους ακόλουθους τρόπους:

- *Ελλιπή δεδομένα*: όταν το δέντρο απόφασης χτίζεται, τα ελλιπή δεδομένα απλά αγνοούνται. Το οποίο σημαίνει ότι το κλάσμα του κέρδους υπολογίζεται

κοιτώντας μόνο εκείνες τις εγγραφές που έχουν κάποια τιμή για εκείνο το γνώρισμα. Για να κατηγοριοποιήσουμε μια εγγραφή με ελλιπή τιμή για ένα γνώρισμα, η τιμή για το στοιχείο μπορεί να παραβλεφθεί με βάση το τι είναι γνωστό για τις τιμές του γνωρίσματος από τις άλλες εγγραφές.

- *Συνεχή δεδομένα:* Η βασική ιδέα είναι να χωρίσουμε τα δεδομένα σε διαστήματα με βάση τις τιμές των γνωρισμάτων για εκείνα τα στοιχεία τα οποία ανήκουν στο δείγμα εκπαίδευσης.
- *Κλάδεμα:* Υπάρχουν δύο σημαντικές στρατηγικές κλαδέματος οι οποίες προτείνονται από τον J48:
 - *Με την αντικατάσταση του υπο- δέντρου:* ένα υποδέντρο αντικαθίσταται από ένα φύλλο ένα η αντικατάσταση έχει σαν αποτέλεσμα ένα σφάλμα κοντά σε αυτό του αρχικού δέντρου. Η αντικατάσταση ενός υποδέντρου δουλεύει ξεκινώντας από το κάτω μέρος του δέντρου και ανεβαίνοντας προς την ρίζα.
 - *Ανύψωση Δέντρου:* αντικαθιστά ένα υποδέντρο με το πιο χρησιμοποιημένο υποδέντρο του. Σε αυτή τη περίπτωση ένα υποδέντρο ανυψώνεται από τη τρέχουσα θέση του σε ένα κόμβο που βρίσκεται υψηλότερα στο δέντρο. Και πάλι πρέπει να καθορίσουμε την αύξηση στη συχνότητα εμφάνισης λαθών για αυτή την αντικατάσταση.
- *Κανόνες:* Ο J48 επιτρέπει τη κατηγοριοποίηση είτε μέσω δέντρων αποφάσεων είτε μέσω κανόνων οι οποίοι δημιουργούνται από αυτά. Επιπλέον, προτείνονται μερικές τεχνικές για την απλούστευση των πολύπλοκων κανόνων. Μια προσέγγιση είναι η αντικατάσταση της αριστερής πλευράς ενός κανόνα από μια απλούστερη έκδοση εάν όλες οι εγγραφές του συνόλου εκπαίδευσης αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο. (Data Mining Εισαγωγικά και προηγμένα θέματα Εξόρυξης Γνώσης από Δεδομένα, Margaret H. Dunham ,2004)

Παράρτημα II : Σύγκριση WEKA με άλλα εργαλεία

Στα πλαίσια της εργασίας μας είχαμε τη δυνατότητα να μελετήσουμε πολλές από τις δυνατότητες που μας προσφέρει το εργαλείο Weka , όπως διαπιστώσαμε πρόκειται για μια εφαρμογή που υποστηρίζει με ιδανικό τρόπο τη τεχνική της εξόρυξης γνώσης(Data Mining). Πρόκειται για ένα πολύ απλό και εύχρηστο εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα από οποιαδήποτε χρήστη καθώς δεν απαιτούνται ιδιαίτερες γνώσεις. Θεωρείται πλήρης καθώς περιέχει πληθώρα αλγορίθμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολλές διαφορετικές εφαρμογές. Στο παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις κατηγορίες αλγορίθμων που υποστηρίζουν άλλα εργαλεία Data Mining οφείλουμε να σημειώσουμε ότι το Weka υποστηρίζει τις περισσότερες από αυτές τις κατηγορίες.

<i>Εργαλείο</i>	<i>Δέντρα αποφάσεων</i>	<i>Δίκτυα Μπέυζ</i>	<i>Οκνηροί αλγόριθμοι</i>	<i>Μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης</i>	<i>Νευρωνικά Δίκτυα</i>	<i>Κανόνες ταξινόμησης</i>
AC2	X					
Aira Data Mining Tool						X
ALICE dTSoft	X					
BusinessMiner	X					
CART	X					
Clementine	X				X	X
Cubist						X
Darwin	X		X		X	X
Data Detective			X			
Data Mining Suite						X
Data SURVEYOR	X					
Data Logic/RDS						X
DataMiner 3D			X			
DataMite			X			X
DecisionWORKS					X	
EWA Systems	X	X	X	X	X	X
IBM Intelligent Miner for Data	X				X	X
IDL Interactive Data Language)					X	
KATE-DataMining	X					
KnowledgeSEEKER	X					
KnowledgeSTUDIO	X				X	
Nuggets						X
Oracle Data Mining (ODM)		X		X		
PolyAnalyst			X		X	X
PrudSys Discoverer	X					
S-PLUS	X					
SAS Enterprise Miner	X				X	
Scenario	X					
See 5/C5.0	X					X
Syllogic Data Mining	X					X
The Easy Reasoner (TER)			X			
VisualMine						X
XpertRule Miner	X					X

Πίνακας: Π-1 Σύγκριση γνωστών εργαλείων εξόρυξης γνώσης ως προς το πλήθος των αλγορίθμων που προσφέρουν

ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

ΑΝΔΡΕΑΣ ΓΑΡΟΥΦΑΣ

Ο Ανδρέας Γαρούφας γεννήθηκε στη Χίο το 1986. Το 2004 με πανελλήνιες εξετάσεις πέρασε στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου, όπου παραμένει φοιτητής μέχρι και σήμερα. Έχει τιμηθεί με υποτροφία επίδοσης από το Ι.Κ.Υ κατά το τρίτο έτος σπουδών του.
