



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

**Ανάπτυξη εφαρμογής για τη δημιουργία σεναρίων  
σχετικά με την μελλοντική εξέλιξη της τιμής του  
φυσικού αερίου στην Ευρώπη**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Επιβλέπων : Ψαρράς Ιωάννης καθηγητής ΕΜΠ**

Κασίου Μ. Ευαγγελία  
Μαγουλάς Θ. Κωνσταντίνος

Αθήνα, Απρίλιος 2014





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

## Ανάπτυξη εφαρμογής για τη δημιουργία σεναρίων σχετικά με την μελλοντική εξέλιξη της τιμής του φυσικού αερίου στην Ευρώπη

Διπλωματική Εργασία

Επιβλέπων : Ψαρράς Ιωάννης καθηγητής ΕΜΠ

Κασίου Μ. Ευαγγελία  
Μαγουλάς Θ. Κωνσταντίνος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 14 Απριλίου 2014

.....  
Ψαρράς Ι.  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Ασημακόπουλος Β.  
Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Ασκούνης Δ.  
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Απρίλιος 2014

.....  
Κασίου Μ. Ευαγγελία

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών  
Ε.Μ.Π

.....  
Μαγουλάς Θ. Κωνσταντίνος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών  
Ε.Μ.Π

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Τομέα Συστημάτων Αποφάσεων, της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013-2014. Βασίζεται στο παραδοτέο του ευρωπαϊκού έργου APRAISE στο οποίο συμμετέχει το εργαστήριο Συστημάτων Απόφασης και Διοίκησης. .

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Καθηγητή κ. Ι. Ψαρρά για την ευκαιρία που μας έδωσε να ασχοληθούμε αντικείμενο της Δυναμικής Συστημάτων. Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον υπεύθυνο της παρούσης διπλωματικής υποψήφιο διδάκτορα κ. Σωτήρη Παπαδέλη για την πολύτιμη βοήθειά του σε κάθε φάση της εκπόνησης αυτής της εργασίας καθώς και για την καθοδήγησή του που οδήγησε στην ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, θα επιθυμούσαμε να αφιερώσουμε την παρούσα εργασία στις οικογένειές μας ως ελάχιστη ανταπόδοση για την ανεκτίμητη υποστήριξη που μας παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της.

Μαγουλάς Κωνσταντίνος – Κασίου Ευαγγελία

## Περίληψη

Η διπλωματική εργασία έχει τον τίτλο «Ανάπτυξη εφαρμογής για τη δημιουργία σεναρίων σχετικά με την μελλοντική εξέλιξη της τιμής του φυσικού αερίου στην Ευρώπη».

Η μελέτη αυτή έγινε βάση της θεωρίας της Δυναμικής Συστημάτων και προσομοιώθηκε με το εργαλείο Simantics. Στα πρώτα κεφάλαια γίνεται μία αναφορά στη θεωρία της Δυναμικής Συστημάτων και τους τρόπους που βελτιώνει μια δραστηριότητα σε μια επιχείρηση. Υπάρχουν αναλυτικά παραδείγματα των μοντέλων και η μεθοδολογία αυτών.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά για το φυσικό αέριο και πως αυτό εισάγεται στην Ευρώπη. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του καθώς και τα συμβόλαια που επικρατούν στην αγορά και οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις που το διακινούν στις Ευρωπαϊκές χώρες.

Στα τελευταία κεφάλαια γίνεται μία προσπάθεια να προσομοιωθούν σε Simantics τα μοντέλα που καθορίζουν την τιμή του φυσικού αερίου στην Ευρώπη και να αναλυθούν τα συμπεράσματα που απορρέουν από αυτή την προσομοίωση.

## Λέξεις – Κλειδιά

Δυναμική συστημάτων, Βρόγχοι ανάδρασης συστημάτων, μοντελοποίηση, ροή, απόθεμα, εξομάλυνση, φυσικό αέριο, NLG, τιμή πετρελαίου, ζήτηση φυσικού αερίου, απόθεμα φυσικού αερίου, συμβόλαια.

## **Abstract**

The title of this thesis is "Development application to create scenarios on the future development of the price of natural gas to Europe."

This study was based on the theory of system dynamics and simulated with Simantics tool. The first chapters are referred the theory of Dynamic Systems and ways of improving an activity in an business plan . There are detailed examples of models and their methodology.

Subsequently, there is reference to the natural gas and how it is introduced in Europe. It is presented in detail the factors which influence the price and futures market situation and industrial facilities that handle in European countries.

In the final chapters is an attempt to simulate Simantics models that determine the price of gas in Europe and analyze the conclusions resulting from this simulation.

## **Key Words**

Dynamic systems, feedback loop systems, modeling, flow, stock, smoothing, gas, NLG, oil prices, demand for natural gas, natural gas stocks.

## Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή	Δυναμική Συστημάτων Ορισμός	1
	Στάδια διαμόρφωσης δυναμικών προτύπων	1
	Συμβολή της Δυναμικής Συστημάτων κατά τη μελέτη Σύνθετων συστημάτων	2
Κεφάλαιο 1	Συμπεριφορά συστημάτων και αιτιοκρατικά διαγράμματα	5
1.1	Συστήματα σκέψης	5
1.2	Πρότυπα συμπεριφοράς	7
1.3	Ανάδραση και αιτιοκρατικά διαγράμματα	9
1.4	Δομή συστημάτων και πρότυπα συμπεριφοράς	14
1.5	Πως δημιουργούνται τα αιτιοκρατικά διαγράμματα	18
Κεφάλαιο 2	Μια προσέγγιση στη μοντελοποίηση	19
2.1	Διαγράμματα ροής και αποθεμάτων	20
2.2	Πως προσεγγίζουμε τέτοια διαγράμματα	20
2.3	Αποθέματα και Ροές	21
2.4	Πληροφορία <sup>22</sup>	22
Κεφάλαιο 3	Προσομοίωση των επιχειρησιακών διαδικασιών	24
3.1	Εξισώσεις για αποθέματα	25
3.2	Εξισώσεις για τις ροές	26
3.3	Λύνοντας τις εξισώσεις	27
3.4	Λίγα λόγια για τις εξισώσεις	28
3.5	Μερικά πρόσθετα σχόλια	29
Κεφάλαιο 4	Βασικές δομές ανάδρασης	30
4.1	Εκθετική Καμπύλη	30
4.2	Αναζήτηση Στόχων	33
4.3	S-Εκθετική καμπύλη	35
4.4	S μορφοποιημένη καμπύλη που ακολουθείται από ελάττωση	38
4.5	Ταλάντωση	40
Κεφάλαιο 5	Αναπτύσσοντας ένα Μοντέλο	44
5.1	Το πρώτο μοντέλο	45
5.2	Απόδοση της διαδικασίας	52
5.3	Το δεύτερο μοντέλο	53
5.4	Το τρίτο μοντέλο	59
5.5	Το τέταρτο μοντέλο	62
5.6	Το πέμπτο μοντέλο	64
5.7	Άλλα Τυχαία Πρότυπα	69
Κεφάλαιο 6	Καθυστερήσεις, εξομάλυνση και μέσοι όροι	72
6.1	Καθυστερήσεις σωληνώσεων ροής υλικών	72
6.2	Εκθετική καθυστέρηση τρίτου βαθμού	74

6.3	Κινητός Μέσος Όρος	77
6.4	Εκθετική εξομάλυνση	77
<b>Κεφάλαιο 7</b>	<b>Διαδικασίες για τη λήψη αποφάσεων</b>	<b>80</b>
7.1	Εμπειρογνώμονες και Τεχνογνωσία	80
7.2	Μοντελοποίηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων	82
7.3	Σταθμισμένος μέσος όρος στα μοντέλα αποφάσεων	84
7.4	Μεταβλητός στόχος	87
7.5	Πολλαπλασιαστικός κανόνας απόφασης	92
<b>Κεφάλαιο 8</b>	<b>Μη Γραμμικότητες</b>	<b>95</b>
8.1	Μη γραμμικές αποκρίσεις	95
8.2	Περιορισμένοι πόροι	100
<b>Κεφάλαιο 9</b>	<b>Φυσικό Αέριο</b>	<b>102</b>
9.1	Οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις: Αγωγός φυσικού αερίου	103
9.2	Οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις: LNG	106
9.3	Βραχυπρόθεσμο φυσικό αέριο	110
9.4	Αποθήκευση Φυσικού Αερίου	115
9.5	Οι βραχυπρόθεσμοι και μακροπρόθεσμοι όροι δυναμικότητας της παρούσας τιμής του φυσικού αερίου	118
9.6	Μελλοντικές προοπτικές για το φυσικό αέριο	122
<b>Κεφάλαιο 10</b>	<b>Καθορισμός της Τιμής</b>	<b>127</b>
<b>Κεφάλαιο 11</b>	<b>Διαμόρφωση της Ζήτησης</b>	<b>133</b>
	<b>Βιβλιογραφικές αναφορές</b>	<b>137</b>

## Πίνακας Σχημάτων

<b>Κεφάλαιο 1</b>	<b>Συμπεριφορά συστημάτων και αιτιοκρατικά διαγράμματα</b>	
1.1	Ιεραρχία για αναζήτηση της αιτίας	6
1.2	Χαρακτηριστικά πρότυπα συμπεριφοράς μοντέλων	8
1.3	Δομή ανάδρασης ενός βασικού παραγωγικού τομέα	10
1.4	Αιτιατό διάγραμμα για το γέμισμα του ποτηριού	13
1.5	Θετική ανάδραση	13
1.6	Αρνητικό βρόγχος ανάδρασης	15
1.7	Αρνητικός βρόγχος με καθυστέρηση	16
1.8	Συνδυασμός θετικών και αρνητικών βρόγχων :πωλήσεις	17
<b>Κεφάλαιο 2</b>	<b>Μια προσέγγιση στη μοντελοποίηση</b>	
2.1.a	Παράδειγμα Διαφημίσεων	19
2.1.b	Παράδειγμα διαφημίσεων διάγραμμα ροής	20
<b>Κεφάλαιο 3</b>	<b>Προσομοίωση των επιχειρησιακών διαδικασιών</b>	
3.1	Εξισώσεις	28
3.2	Διαγράμματα	29
<b>Κεφάλαιο 4</b>	<b>Βασικές δομές ανάδρασης</b>	<b>30</b>
4.1	Χαρακτηριστικά πρότυπα συστημάτων συμπεριφοράς	31
4.2.a	Διάγραμμα με απόθεμα και ροή	32
4.2.b	Εξισώσεις	32
4.2.c	Εκθετική καμπύλη για την ανάδραση	33
4.3.a	Διάγραμμα με απόθεμα και ροή	33
4.3.c	Διαδικασία αναζήτησης στόχου	33
4.4.a	Διάγραμμα με απόθεμα και ροή	36
4.4.b	Εξισώσεις	37
4.4.c	S Καμπύλη	37
4.5.a	Διάγραμμα με stock και ροή	38
4.5.b	Εξισώσεις	
4.5.c	Καμπύλη που ακολουθείται από μείωση	39
4.6.a	Διάγραμμα με stock και ροή	40
4.6.b	Εξισώσεις	40

4.6.c	Ταλαντώσεις	41
4.7.a	Διάγραμμα με stock και ροή	42
4.7.b	Αλλαγές στις εξισώσεις 4.6.b	42
4.7.c	Ταλαντώσεις	43
<b>Κεφάλαιο 5</b>	<b>Αναπτύσσοντας ένα Μοντέλο</b>	
5.1	Ένα απλό σύστημα Παραγωγής-Διανομής	45
5.2.a	Διάγραμμα stock και ροής για το πρώτο μοντέλο	45
5.2.b	Εξισώσεις για το πρώτο μοντέλο	47
5.2.c	Διαγράμματα για το πρώτο μοντέλο	51
5.3.a	Διάγραμμα stock και ροής για το δεύτερο μοντέλο	54
5.3.b	Εξισώσεις για το δεύτερο μοντέλο	55
5.3.c	Διαγράμματα για το δεύτερο μοντέλο	57
5.4.a	Διάγραμμα stock και ροής για το τρίτο μοντέλο	60
5.4.b	Εξισώσεις για το τρίτο μοντέλο	60
5.4.c	Διαγράμματα για το τρίτο μοντέλο	61
5.5.a	Διάγραμμα stock και ροής για το τέταρτο μοντέλο	63
5.5.b	Εξισώσεις για το τέταρτο μοντέλο	64
5.5.c	Διαγράμματα για το τέταρτο μοντέλο	65
5.6.a	Διάγραμμα stock και ροής για το πέμπτο μοντέλο	66
5.7.a	Εξισώσεις για το τέταρτο μοντέλο για τυχαία είσοδο	67
5.7.b	Διαγράμματα για το τέταρτο μοντέλο για τυχαία είσοδο	68
<b>Κεφάλαιο 6</b>	<b>Καθυστερήσεις, εξομάλυνση και μέσοι όροι</b>	
6.1.a	Διάγραμμα ροής και αποθέματος	73
6.1.b	Εξισώσεις	73
6.1.c	Καθυστέρηση στη ροή	74
6.2.a	Εξισώσεις	75
6.2.b	Διαγράμματα	76
6.3.c	Αποτελέσματα Simantics	77
6.4.a	Εκθετική εξομάλυνση	78
6.4.b	Εξισώσεις	78
6.4.c	Διάγραμμα εκθετικής εξομάλυνσης	78
<b>Κεφάλαιο 7</b>	<b>Διαδικασίες για τη λήψη αποφάσεων</b>	
7.1	Διαδικασία ροής νερού	82
7.2.a	Διάγραμμα ροής	85
7.2.b	Εξισώσεις	85
7.3	Δυναμικό για διαφορετικό Reservoir Weight	88
7.4	Κανόνες λήψης απόφασης μεταβλητών στόχων	89
7.5	Reservoir Weight	91
7.6	Πολλαπλασιαστές	91

7.7.a	Διάγραμμα	93
7.7.b	Εξισώσεις	93
7.8	Διάγραμμα	94
<b>Κεφάλαιο 8</b>	<b>Μη Γραμμικότητες</b>	
8.1	Μοντέλο για λογαριασμό ταμειευτηρίου	97
8.2	Μοντέλο για λογαριασμό ταμειευτηρίου με χρήση συνθήκης	98
8.3	Μοντέλο για λογαριασμό ταμειευτηρίου με συνάρτηση αναζήτησης	99
8.4	Αρχικό μοντέλο για πωλήσεις	101
8.5	Με χρήση συνθήκης	101
<b>Κεφάλαιο 9</b>	<b>Φυσικό Αέριο</b>	
9.1	Κατανάλωση φυσικού αερίου στην Ευρώπη(πηγή:BP Statistical Review of World Energy 2012)	102
9.2	Παραγωγή φυσικού αερίου στην Ευρώπη(πηγή:BP Statistical Review of World Energy 2012)	102
9.3	Εισαγωγές φυσικού αερίου στην EU-27(πηγή:BP Statistical Review of World Energy 2012)	103
9.4	Συσχέτιση του ελληνικού ορίου τιμής με την επιβραδυνόμενη τιμή του αργού πετρελαίου	105
9.5	Συσχέτιση μεταξύ παρεκτροπής από μακροπρόθεσμα μέση τιμή αργού πετρελαίου με ελληνικές οριακές τιμές	106
9.6	Εισαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου ανά χώρα το 2011 (πηγή:BP Statistical Review of World Energy 2012)	107
9.7	Εξαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου ανά χώρα το 2011 (πηγή:BP Statistical Review of World Energy 2012)	107
9.8	Ευρωπαϊκή υποδομή υγροποιημένου φυσικού αερίου(πηγή:GLE Investment Database)	108
9.9	Συσχέτιση των τιμών αλγεριανού υγροποιημένου φυσικού αερίου και των τιμών του αργού πετρελαίου	109
9.10	Συσχέτιση μεταξύ της απόκλισης από αργό πετρέλαιο και αλγερινό υγροποιημένο φυσικό αέριο στις τιμές της Γαλλίας	110
9.11	Η δραστηριότητα σε εξαγωγές του φυσικού αερίου στην Ευρώπη. (πηγή:International Exchange)	111
9.12	Χάρτης δικτύου φυσικού αερίου στην Ευρώπη	112
9.13	Χάρτης αγωγού BBL	112
9.14	Χάρτης αγωγών στην Ευρώπη	113
9.15	Η διαπραγμάτευση μεταξύ παρούσας τιμής (spot) κι εξαρτώμενης από το πετρέλαιο (index)	115
9.16	Οι μεταβλητές που επηρεάζουν μακροπρόθεσμα και	118



	<b>βραχυπρόθεσμα την παρούσα τιμή του φυσικού αερίου.</b>	
<b>9.17</b>	<b>Ανάπτυξη σε ανοδικά κόστη κεφαλαίου (πηγή: IHS CERA)</b>	<b>119</b>
<b>9.18</b>	<b>Κατανάλωση φυσικού αερίου στην Βορειοδυτική Ευρώπη</b>	<b>120</b>
<b>9.19</b>	<b>Εποχικότητα στην κατανάλωση φυσικού αερίου στην Βορειοδυτική Ευρώπη</b>	<b>120</b>
<b>9.20</b>	<b>Συνολική ροή υπόγειων αποθεμάτων στο Uelsen</b>	<b>121</b>
<b>9.21</b>	<b>Επίπεδα αποθήκευσης σε εγκαταστάσεις που σχετίζονται με σταθμούς NBP, TTF</b>	<b>121</b>
<b>9.22</b>	<b>Henry Hub τιμή φυσικού αερίου έναντι των σχετικών αποθεμάτων (πηγή: Rogers 2010)</b>	<b>122</b>
<b>9.23</b>	<b>Συνολική τάση κατανάλωσης φυσικού αερίου</b>	<b>124</b>
<b>9.24</b>	<b>Προσδοκίες στη βιομηχανία σχετικά με την τροφοδοσία φυσικού αερίου και τους μηχανισμούς τιμών</b>	<b>125</b>
<b>9.25</b>	<b>Η αλληλοσχέτιση μεταξύ παραγόντων και εξερευνητικών σεναρίων</b>	<b>126</b>
<b>Κεφάλαιο 10</b>	<b>Καθορισμός της Τιμής</b>	
<b>10.1</b>	<b>Αποτελέσματα προσομοίωσης</b>	<b>132</b>
<b>Κεφάλαιο 11</b>	<b>Διαμόρφωση της Ζήτησης</b>	
<b>11.1</b>	<b>Αποτελέσματα προσομοίωσης</b>	<b>135</b>

## Δυναμική Συστημάτων – Ορισμός

Η Δυναμική Συστημάτων έχει εδραιωθεί σήμερα ως μια επιστημονική περιοχή που παρέχει την δυνατότητα της ανάλυσης και της σύνθεσης σύνθετων συστημάτων. Η διαδικασία της ανάλυσης και της σύνθεσης έχει διπλό σκοπό. Ο πρώτος είναι η κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος το οποίο μελετάται κάτω από εναλλακτικές υποθέσεις ως προς τη δομή και τους κανόνες λειτουργίας του και επίσης κάτω από εναλλακτικές υποθέσεις ως προς τις πιθανές επιδράσεις που αναμένεται να ασκηθούν σε αυτό από το περιβάλλον του. Ο δεύτερος σκοπός είναι η διευκόλυνση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, έτσι ώστε να βελτιώνεται η συνολική συμπεριφορά του συστήματος.

Η Δυναμική Συστημάτων είναι μια νέα σχετικά επιστημονική περιοχή με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ένας κοινά αποδεκτός ορισμός της από την επιστημονική κοινότητα. Γι' αυτό παρακάτω παραθέτουμε κάποιους ορισμούς που θεωρούνται πιο αποδεκτοί.

Κατά τον R.G. Coyle Δυναμική Συστημάτων είναι η μεθοδολογία με την οποία μπορούμε να αναλύουμε προβλήματα όπου ο χρόνος είναι σημαντικός παράγοντας και να διερευνήσουμε την απόκριση ενός συστήματος στις μεταβολές του περιβάλλοντος του.

Κατά τον E. B. Roberts η Δυναμική συστημάτων είναι η εφαρμογή των κανόνων και των τεχνικών της Θεωρίας Συστημάτων σε διοικητικά οργανωτικά και κοινωνικοοικονομικά προβλήματα

Κατά τον E.F Wolstenholme, η Δυναμική Συστημάτων είναι μια αυστηρή μέθοδος για την περιγραφή, την ανάλυση και την διερεύνηση των λειτουργιών, της ροής των πληροφοριών και των στρατηγικών σύνθετων συστημάτων. Η μέθοδος αυτή διευκολύνει επίσης την σχεδίαση και τον έλεγχο αποτελεσματικότητας της δομής σύνθετων συστημάτων.

Οι παραπάνω ορισμοί παρόλο που διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους συγκλίνουν στο ότι η Δυναμική Συστημάτων ασχολείται με την δημιουργία προτύπων, με τα οποία περιγράφουμε με ικανοποιητική προσέγγιση την λειτουργία πραγματικών συστημάτων παρέχοντας την δυνατότητα της μελέτης της δυναμικής συμπεριφοράς τους. Η σκοπιμότητα της χρήσης της βρίσκεται στην διευκόλυνση της κατανόησης της σχέσης μεταξύ της διαχρονικής συμπεριφοράς των συστημάτων και της δομής και των κανόνων λειτουργίας τους.

## Στάδια διαμόρφωσης δυναμικών προτύπων

Η μεθοδολογία διαμόρφωσης δυναμικών προτύπων με την χρήση της θεωρίας Δυναμικής Συστημάτων ακολουθεί τα παρακάτω στάδια.

- Αναγνώριση του προβλήματος. Σε αυτό το στάδιο πρώτα αναγνωρίζεται το πρόβλημα που πρέπει να μελετηθεί. Στην συνέχεια οριοθετείτε το σύστημα αναγνωρίζοντας τα στοιχεία που συνθέτουν το εσωτερικό του περιβάλλον και επιλέγοντας για κάθε ένα στοιχείο ξεχωριστά τις κρίσιμες ιδιότητες του. Η οριοθέτηση αυτή πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να συμπεριλαμβάνονται στο σύστημα τα στοιχεία και οι ιδιότητες που σχετίζονται με το σκοπό του εξεταζόμενου προβλήματος. Στην συνέχεια

προκαθορίζεται ο χρονικός ορίζοντας επίλυσης του προτύπου. Σημαντική προϋπόθεση κατά την οριοθέτηση του συστήματος είναι να λαμβάνονται υπόψη τα ποσοτικά στοιχεία που μεταβάλλονται στον χρόνο, οι δυνάμεις που δημιουργούν μεταβολές στις ιδιότητες των στοιχείων και οι σημαντικές αναδράσεις που υπάρχουν μεταξύ των στοιχείων. Με τις αναδράσεις εξασφαλίζεται ότι τα συστήματα που σχεδιάζονται είναι κλειστά, γεγονός που αποτελεί προϋπόθεση για τη μελέτη της συμπεριφοράς δυναμικών συστημάτων.

- Αποτύπωση της λειτουργίας του συστήματος. Σε αυτό το στάδιο αρχικά αναζητούνται τα αίτια που εξηγούν την προβληματική συμπεριφορά του συστήματος. Στην συνέχεια, διαμορφώνεται η υπόθεση που εξηγεί την υφιστάμενη δυναμική συμπεριφορά του συστήματος ως ενδογενή συνέπεια των αναδράσεων που υπάρχουν σε αυτό. Τέλος, αποτυπώνεται η λειτουργία του συστήματος με βάση τις κρίσιμες μεταβλητές, τις αρχικές συνθήκες, την κατάσταση αναφοράς και τα υπόλοιπα διαθέσιμα στοιχεία με τη χρήση συγκεκριμένων εργαλείων όπως τα διαγράμματα επιρροής και τα διαγράμματα ροής.
- Δημιουργία κώδικα προτύπου. Σε αυτό το στάδιο δημιουργείτε ο κώδικας του προτύπου χρησιμοποιώντας ειδικές προσομοιωτικές γλώσσες προγραμματισμού. Ο κώδικας αυτός περιλαμβάνει μαθηματικές σχέσεις που προσδιορίζουν τη δομή και τους κανόνες λειτουργίας του συστήματος, τις εκτιμήσεις των τιμών των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται, τις αρχικές συνθήκες των μεταβλητών του συστήματος και τους μηχανισμούς ανάδρασης.
- Έλεγχος προτύπου. Στο στάδιο αυτό ελέγχεται η αξιοπιστία του προτύπου. Πιο συγκεκριμένα, ελέγχεται αν το πρότυπο αναπαριστά σε ικανοποιητικό βαθμό την πραγματική συμπεριφορά του συστήματος και επίσης ελέγχεται αν το πρότυπο δίνει ρεαλιστικά αποτελέσματα ακόμη και σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας. Επίσης διερευνάται η ευαισθησία της συμπεριφοράς του προτύπου σε αλλαγές τιμών και παραμέτρων.
- Σχεδίαση εναλλακτικών πολιτικών και αξιολόγηση αποτελεσματικότητας. Στο τελικό αυτό στάδιο, το πρότυπο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας εναλλακτικών πολιτικών για την αντιμετώπιση του εξεταζόμενου προβλήματος. Ειδικότερα, σχεδιάζονται εναλλακτικές πολιτικές με τις οποίες αναμένεται να αντιμετωπιστεί η προβληματική υφιστάμενη κατάσταση λειτουργίας του συστήματος. Οι πολιτικές αυτές μπορεί να αφορούν είτε στην διαφοροποίηση μέρους ή του συνόλου των κανόνων λειτουργίας του συστήματος, είτε στη διαφοροποίηση ή στην αλλαγή στρατηγικής που υλοποιείται, είτε στη διαφοροποίηση ή στην αλλαγή της δομής του συστήματος. Οι εναλλακτικές αυτές πολιτικές συμπεριλαμβάνονται στο πρότυπο και για κάθε περίπτωση ξεχωριστά, με τη βοήθεια του προτύπου, προβλέπονται η δυναμική συμπεριφορά της κατάστασης του συστήματος σε ένα προκαθορισμένο μελλοντικό χρονικό ορίζοντα. Η κάθε μια περίπτωση αξιολογείται ξεχωριστά ως προς την αποτελεσματικότητα της εφαρμοσμένης πολιτικής, με σκοπό την επιλογή της πολιτικής εκείνης που βελτιώνει περισσότερο την συνολική συμπεριφορά του συστήματος.

## Συμβολή της Δυναμικής Συστημάτων κατά τη μελέτη Σύνθετων συστημάτων

Η πολυπλοκότητα των πραγματικών συστημάτων πολλές φορές μας καθιστά ανίκανους να κατανοούμε την λειτουργία τους και γι αυτό καταφεύγουμε στην προσομοίωση. Χωρίς την προσομοίωση, η μοναδική δυνατότητα ελέγχου και βελτίωσης της συμπεριφοράς ενός συστήματος είναι εφικτή με τη διαδικασία των άμεσων παρατηρήσεων του τρόπου λειτουργίας του στον πραγματικό κόσμο. Όμως οι παρατηρήσεις αυτές γίνονται στην πράξη με πολύ αργό ρυθμό, συχνά αδυνατούν να εντοπίσουν χρονικές καθυστερήσεις στην εκτέλεση ενεργειών, τις ανατροφοδοτήσεις πληροφοριών και τις αναπάντεχες αποκρίσεις των συστημάτων σε μεταβολές του περιβάλλοντος. Επιπρόσθετα, το σχετικό κόστος της πραγματοποίησης των παρατηρήσεων είναι ιδιαίτερα υψηλό έως απαγορευτικό. Σε αυτές τις περιπτώσεις η προσομοίωση είναι η μόνη αποτελεσματική μέθοδος ελέγχου των υποθέσεων και εκτίμησης των επιδράσεων και της αποτελεσματικότητας διαφόρων πολιτικών.

Από την άλλη κάθε φορά που δημιουργούμε ένα μαθηματικό πρότυπο ανακλύπει το πρόβλημα της έκτασης και αφαίρεσης, δηλαδή των απλοποιήσεων και των παραδοχών που κάναμε στο πρότυπο σε σχέση με το σύστημα που μελετάμε, στην προσπάθειά μας να έχουμε πρότυπα που να απεικονίζουν ικανοποιητικά το σύστημα και ταυτόχρονα να μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε για να πειραματιστούμε πάνω στη δομή τους και τους κανόνες λειτουργίας. Ο πειραματισμός αυτός προϋποθέτει την επίλυση του μαθηματικού προτύπου. Έτσι σε περιπτώσεις που θέλουμε να περιγράψουμε σύνθετα συστήματα με μαθηματικά πρότυπα που να είναι εφικτή η επίλυσή τους με αριθμητικές ή αναλυτικές μεθόδους, είμαστε υποχρεωμένοι να κάνουμε πολλές παραδοχές και απλοποιήσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ανάλογα με το βαθμό αφαίρεσης που κάνουμε, κινδυνεύουμε να έχουμε μαθηματικά πρότυπα που να μην περιγράφουν το πραγματικό σύστημα αλλά μια απλοποιημένη παραλλαγή του.

Προς την παραπάνω κατεύθυνση, δηλαδή της δημιουργίας και επίλυσης μαθηματικών προτύπων που να περιγράφουν με ικανοποιητική προσέγγιση πραγματικά συστήματα, η συμβολή της Δυναμικής Συστημάτων είναι σημαντική, αφού μας παρέχει και τις δύο δυνατότητες σε πολύ μεγάλο βαθμό. Συγκεκριμένα απεικονίζουμε όλες τις αλληλεξαρτήσεις που υπάρχουν μεταξύ των μεταβλητών που περιγράφουν ένα σύστημα, χρησιμοποιώντας εξειδικευμένα διαγράμματα που έχουν αναπτυχθεί γι αυτό το σκοπό (διαγράμματα επιρροής και διαγράμματα ροής). Από τα διαγράμματα αυτά οδηγούμαστε στο μαθηματικό πρότυπο που στη συνέχεια επιλύουμε προσομοιωτικά, κάτω από εναλλακτικές υποθέσεις σε σχέση με τη δομή του συστήματος, τους στόχους που πρέπει να ικανοποιεί και τους κανόνες με τους οποίους πρέπει να λειτουργεί. Επιλύοντας το πρότυπο λαμβάνουμε τη συμπεριφορά του συστήματος δηλαδή τις τιμές των μεταβλητών που περιγράφουν την κατάσταση του σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε μία εναλλακτική υπόθεση που κάναμε και για όσο μελλοντικό χρονικό διάστημα θεωρούμε αναγκαίο. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, αξιολογούμε την κάθε υπόθεσή μας και παίρνουμε εκείνες τις αποφάσεις που βελτιώνουν τη συμπεριφορά του συστήματος.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι η Δυναμική Συστημάτων είναι το γνωστικό αντικείμενο με το οποίο μπορούμε με ολιστική θεώρηση να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά σύνθετων συστημάτων κάτω από εναλλακτικές συνθήκες λειτουργίας, να αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα της δομής και των κανόνων λειτουργίας ενός δεδομένου συστήματος και να πειραματισθούμε ως προς την αποτελεσματικότητα νέων στρατηγικών και νέων πολιτικών με σκοπό τη βελτίωση

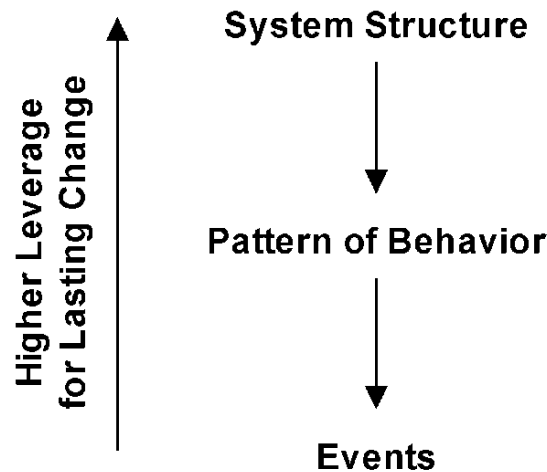
της συνολικής λειτουργίας των συστημάτων. Προς την κατεύθυνση αυτή η Θεωρία Δυναμικής Συστημάτων μπορεί να θεωρηθεί ως μια διεπιστημονική περιοχή της Θεωρίας Λήψης Αποφάσεων, της Θεωρίας Συστημάτων και της Προσομοίωσης.

## Συμπεριφορά συστημάτων και αιτιοκρατικά διαγράμματα

Τα ανθρώπινα όντα είναι συνηθισμένα να λύνουν γρήγορα τα προβλήματα. Από μια εξελικτική σκοπιά, αυτό έχει νόημα. Επομένως αυτοί που λύνουν γρήγορα τα προβλήματα τους, είναι αυτοί που επιβιώνουν. Γρήγορα καθορίζουμε μια αιτία για κάθε γεγονός που νομίζουμε ότι είναι πρόβλημα. Συνήθως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η αιτία είναι ένα άλλο γεγονός. Για παράδειγμα, εάν οι πωλήσεις δεν είναι καλές (γεγονός που αποτελεί πρόβλημα), τότε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι αυτό συμβαίνει επειδή η δύναμη των πωλήσεων είναι ανεπαρκής, (γεγονός που προκάλεσε το πρόβλημα). Αυτή η προσέγγιση λειτουργεί καλά για απλά προβλήματα, αλλά λειτουργεί λιγότερο καλά όταν τα προβλήματα γίνονται πιο πολύπλοκα, όπως για παράδειγμα στην αντιμετώπιση των προβλημάτων διαχείρισης που είναι θέμα λειτουργικότητας ή στρατηγικής. Η General Motors παρουσιάζει το ζήτημα. Για πάνω από μισό αιώνα, η GM κυριάρχησε στην αυτοκινητοβιομηχανία. Οι δυσκολίες της GM δεν προήλθαν από μια επίθεση αστραπή από τους Ιάπωνες κατασκευαστές αυτοκινήτων. Η GM είχε στη διάθεση της δυο δεκαετίες να προσαρμοστεί αλλά ακόμα και σήμερα προσπαθεί να βρει ένα τρόπο να κυριαρχήσει περισσότερο από τρεις δεκαετίες από την εποχή που ξεκίνησε η ιαπωνική αυτοκινητοβιομηχανία. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου πολλοί εργαζόμενοι της GM και διευθυντικά στελέχη έχουν προσπαθήσει αλλά η εταιρία φαίνεται να έχει δυσκολίες προσαρμογής.

### 1.1 Συστήματα σκέψης

Οι μέθοδοι των συστημάτων σκέψης μας παρέχουν τα εργαλεία για την καλύτερη κατανόηση των προβλημάτων του μάνατζμεντ. Οι μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για παραπάνω από τριάντα χρόνια (Forrester 1961) και έχουν πλέον καθιερωθεί. Ωστόσο, αυτές οι προσεγγίσεις απαιτούν μια αλλαγή στον τρόπο που σκεφτόμαστε για την επίδοση ενός οργανισμού. Ειδικότερα, απαιτούν να ξεφύγουμε από την εξέταση μεμονωμένων γεγονότων και των αιτιών τους, (συνήθως θεωρείται ότι είναι μερικά άλλα γεγονότα), και να αρχίσουμε να εξετάζουμε τον οργανισμό ως ένα σύστημα που αποτελείται από τα μέρη που αλληλεπιδρούν.



Σχήμα 1.1 Ιεραρχία για αναζήτηση αιτίας

Χρησιμοποιούμε τον όρο σύστημα για μία αλληλεξαρτώμενη ομάδα στοιχείων που αποτελούν ένα ενοποιημένο μοντέλο. Δεδομένου ότι το ενδιαφέρον μας εδώ είναι στις επιχειρηματικές διαδικασίες, θα εστιάσουμε σχετικά με τα συστήματα των ανθρώπων και της τεχνολογίας που προορίζονται για το σχεδιασμό, την αγορά, την παραγωγή, και διανομή των προϊόντων ή υπηρεσιών. Σχεδόν τα πάντα που συμβαίνουν στην επιχείρηση είναι μέρος του ενός ή περισσότερων συστημάτων. Όπως σημειώνεται παραπάνω, όταν αντιμετωπίζουμε ένα πρόβλημα μάνατζμεντ έχουμε την τάση να υποθέσουμε ότι κάποιο εξωτερικό γεγονός το προκάλεσε. Κάνοντας μια προσέγγιση θεωρούμε εναλλακτικά ότι η εσωτερική δομή ενός συστήματος είναι συχνά πιο σημαντική στο να προκαλέσει κάποιο πρόβλημα από ένα εξωτερικό γεγονός.

Πολλοί άνθρωποι προσπαθούν να εξηγήσουν τις επιδόσεις των επιχειρήσεων δείχνοντας πώς ένα σύνολο γεγονότων προκαλεί το ένα το άλλο ή, όταν μελετούν ένα πρόβλημα σε βάθος, δείχνοντας πώς ένα συγκεκριμένο σύνολο γεγονότων είναι μέρος μιας πιο μακροπρόθεσμης συμπεριφοράς.

Η δυσκολία του "γεγονότα προκαλούν γεγονός", έγκειται στο ότι δεν υπάρχουν τρόποι που να μπορούμε να χρησιμοποιούμε ώστε να αποτρέψουμε ανεπιθύμητα γεγονότα που μπορεί να προκαλέσουν γεγονότα. Αυτό οφείλεται στο ότι πάντα μπορούμε να βρούμε κάποιο γεγονός το οποίο προκάλεσε αυτό που στην αρχή νομίζαμε ως αιτία. Για παράδειγμα, αν ένα νέο προϊόν δεν έχει τις αναμενόμενες πωλήσεις (γεγονός που είναι πρόβλημα), μπορούμε να συμπεράνουμε ότι αυτό οφείλεται επειδή η δύναμη των πωλήσεων δεν είναι αυτό που το ωθεί (το γεγονός που αποτελεί την αιτία του προβλήματος).

## 1.2 Πρότυπα συμπεριφοράς

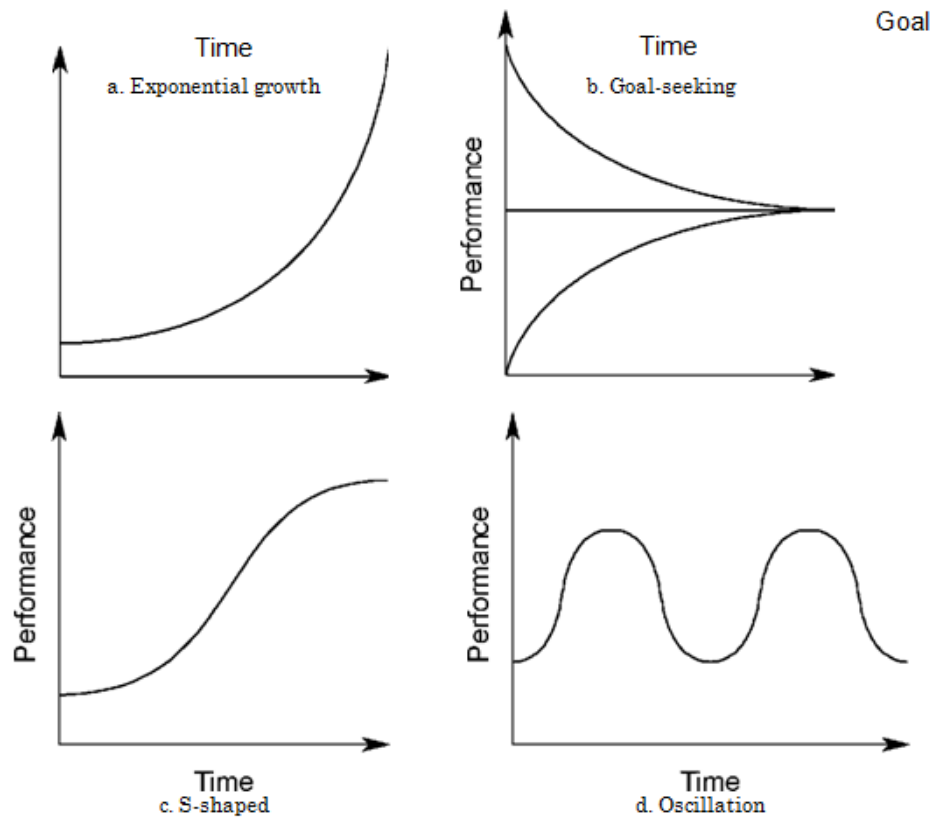
Για να ξεκινήσουμε να εξετάζουμε την δομή του συστήματος, πρώτα πρέπει να γενικεύσουμε τα συγκεκριμένα γεγονότα που σχετίζονται με το πρόβλημα στο πως θεωρούμε τα πρότυπα συμπεριφοράς τα οποία χαρακτηρίζουν μια κατάσταση. Συνήθως αυτό απαιτεί να εξετάζουμε πώς μια ή περισσότερες μεταβλητές αλλάζουν με τον χρόνο. (Σε μια επιχείρηση, μεταβλητές ενδιαφέροντος μπορεί να είναι το κόστος, οι πωλήσεις, τα έσοδα, το κέρδος, το μέρισμα της αγοράς, κτλ.) . Αυτό που ενδιαφέρει είναι τί πρότυπα συμπεριφοράς δείχνουν αυτές οι μεταβλητές. Η προσέγγιση των συστημάτων γίνεται δύσκολη από το γεγονός ότι παρόμοια πρότυπα συμπεριφοράς δείχνουν μια ποικιλία διαφορετικών καταστάσεων και οι υποκείμενες δομές του συστήματος που προκαλούν αυτά τα χαρακτηριστικά πρότυπα είναι γνωστές. Έτσι αφού έχουμε αναγνωρίσει ότι το πρότυπο συμπεριφοράς είναι πρόβλημα, μπορούμε να αναζητήσουμε τη δομή του συστήματος ώστε να γνωρίζουμε τι προκάλεσε το πρόβλημα. Βρίσκοντας και τροποποιώντας τη δομή του συστήματος, έχουμε την πιθανότητα μιας μόνιμης εξάλειψης του προβλήματος σε πρότυπο συμπεριφοράς.

Τα τέσσερα πρότυπα συμπεριφοράς που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα, εμφανίζονται συχνά είτε χωριστά είτε σε συνδυασμούς, στα συστήματα. Σε αυτό το σχήμα, η «απόδοση» αναφέρεται σε κάποια μεταβλητή ενδιαφέροντος. Αυτό είναι συχνά ένα μέτρο χρηματοδοτικής ή λειτουργικής αποτελεσματικότητας ή αποδοτικότητας. Σε αυτό το κεφάλαιο συνοψίζουμε τα χαρακτηριστικά αυτών των προτύπων.

Με εκθετική καμπύλη, μια αρχική ποσότητα από κάτι αρχίζει να αυξάνεται, και ο ρυθμός της ανάπτυξης αυξάνεται. Ο όρος «εκθετική καμπύλη» προέρχεται από ένα μαθηματικό μοντέλο για αυτή την αυξανόμενη διαδικασία ανάπτυξης, όπου η ανάπτυξη ακολουθεί μια συγκεκριμένη λειτουργική μορφή που ονομάζεται εκθετική. Στην πρόοδο των επιχειρήσεων, η ανάπτυξη μπορεί να μην ακολουθήσει αυτή τη μορφή ακριβώς, αλλά η βασική ιδέα της επιτάχυνση της ανάπτυξης είναι αυτή. Αυτή η συμπεριφορά είναι αυτό που θα θέλαμε να δούμε για τις πωλήσεις ενός νέου προϊόντος, αν και τις περισσότερες φορές οι πωλήσεις ακολουθούν την καμπύλη σχήματος S που θα συζητηθούν παρακάτω.

Με συμπεριφορά αναζήτησης στόχου, η ποσότητα ενδιαφέροντος ξεκινά είτε πάνω είτε κάτω από τον στόχο που έχουμε ορίσει και καμία φορά ακριβώς στον στόχο. Τα παρακάτω σχήμα δείχνει δυο πιθανές περιπτώσεις, όπου στη μια η αρχική τιμή είναι παραπάνω από το στόχο, και στην άλλη η αρχική τιμή είναι παρακάτω από αυτόν.





Σχήμα 1.2. Χαρακτηριστικά πρότυπα συμπεριφοράς μοντέλων

Με την S καμπύλη, η αρχική εκθετική ανάπτυξη ακολουθείται από την συμπεριφορά αναζήτησης στόχου, το οποίο καταλήγει σε σταθεροποίηση της μεταβλητής.

Με την ταλάντωση όπως φαίνεται στο 1.2.d, η ποσότητα ενδιαφέροντος διακυμαίνεται γύρω από κάποιο επίπεδο. Σημειώνουμε σε αυτό το σημείο, ότι η ταλάντωση αρχικά εμφανίζεται να έχει εκθετική ανάπτυξη, και μετά εμφανίζεται να είναι S ανάπτυξης πριν αλλάξει κατεύθυνση.

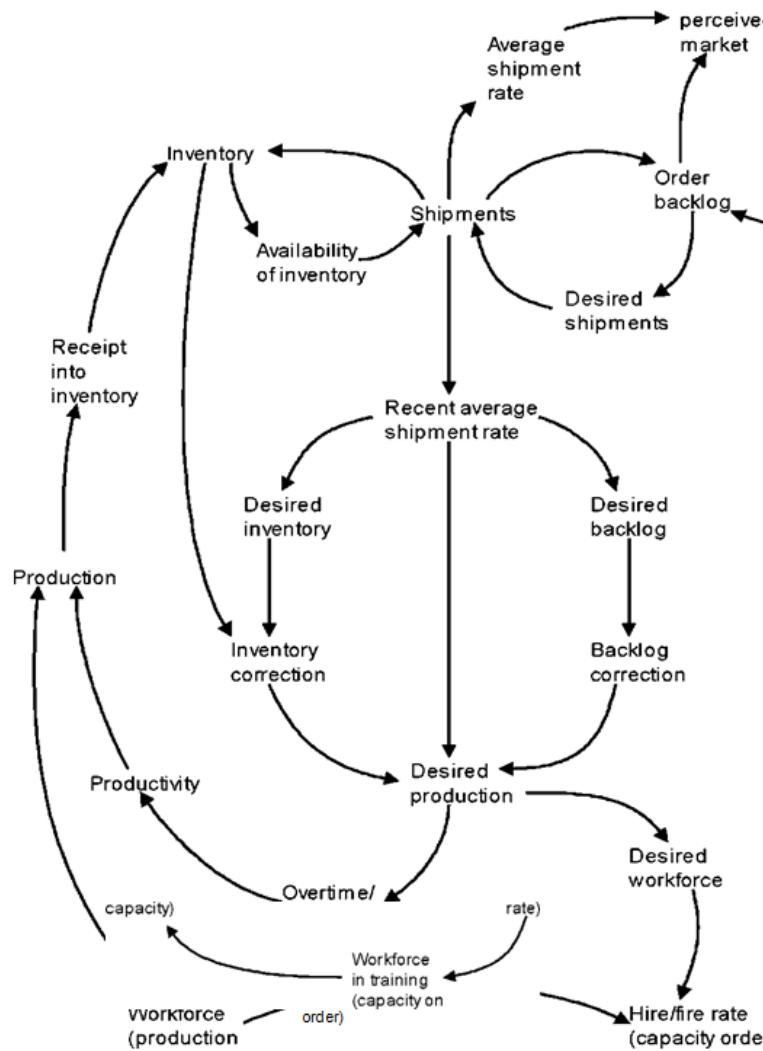
Συνήθεις συνδυασμοί αυτών των τεσσάρων προτύπων περιλαμβάνουν

- Εκθετική ανάπτυξη σε συνδυασμό με την ταλάντωση. Με αυτό το μοτίβο, η γενική τάση είναι ανοδική, αλλά μπορεί να υπάρξει μείωση τμηματικά. Εάν το μέγεθος των ταλαντώσεων είναι σχετικά μικρό, τότε η ανάπτυξη μπορεί να είναι κυματιστή απ' ότι στην κυριολεξία φθίνουσα, πριν συνεχίσει ανοδικά..
- Με τη συμπεριφορά αναζήτησης στόχου σε συνδυασμό με την ταλάντωση, του οποίου το πλάτος σταδιακά μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Με αυτή την συμπεριφορά η ποσότητα του ενδιαφέροντος θα υπερβεί τον στόχο. Το πλάτος των υπερβάσεων μειώνεται και ισορροπεί στον στόχο.
- Με την S ανάπτυξη συνδυασμένη με ταλάντωση του οποίου το πλάτος σταδιακά μειώνεται με την πάροδο του χρόνου.

### 1.3 Ανάδραση και αιτιοκρατικά διαγράμματα

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τις δομές των συστημάτων που προκαλούν τα πρότυπα της συμπεριφοράς που συζητήθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, εισάγουμε ένα συμβολισμό για την αναπαράσταση της δομής των συστημάτων. Η χρησιμότητα ενός γραφήματος για την αναπαράσταση της δομής ενός συστήματος απεικονίζεται από το διάγραμμα στο Σχήμα 1.3 το οποίο είναι προσαρμοσμένο από ένα πρότυπο των Richardson και Pugh (1981). Αυτό δείχνει τις σχέσεις μεταξύ των στοιχείων ενός τομέα παραγωγής μέσα σε μια εταιρεία. Στο διάγραμμα αυτό, οι σύντομες περιγραφικές φράσεις αποτελούν τα στοιχεία που συνθέτουν τον τομέα, και τα βέλη αντιπροσωπεύουν την τις αιτιοκρατικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων. Για παράδειγμα, εξετάζοντας την αριστερή πλευρά του διαγράμματος, βλέπουμε ότι η «Παραγωγή» επηρεάζεται άμεσα από το «Εργατικό Δυναμικό» (δυναμικότητα παραγωγής), και «Παραγωγικότητα». Με τη σειρά του η «Παραγωγή» επηρεάζει την «Παραλαβή-Απόθεμα».

Αυτό το διάγραμμα παρουσιάζει τις σχέσεις που είναι δύσκολο να περιγράψουν προφορικά επειδή η κανονική γλώσσα παρουσιάζει γραμμικούς συσχετισμούς μεταξύ αιτίας και αποτελέσματος, ενώ το διάγραμμα δείχνει ότι σε ένα πραγματικό σύστημα υπάρχουν κυκλικές αλυσίδες μεταξύ αιτίας και αποτελέσματος. Θεωρούμε για παράδειγμα, τα «αποθέματα» αυτά που είναι πάνω αριστερά στο διάγραμμα. Βλέπουμε από αυτό ότι τα «αποθέματα» επηρεάζουν την «διαθεσιμότητα αποθεμάτων», το οποίο με τη σειρά του επηρεάζει τις αποστολές. Σε αυτό το σημείο της ανάλυσης, υπάρχει μια γραμμική αλυσίδα μεταξύ αιτίας και αποτελέσματος, αλλά συνεχίζοντας στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι



Σχήμα 1.3 Δομή ανάδρασης ενός βασικού παραγωγικού τομέα

«αποστολές» επηρεάζουν τα «αποθέματα». Αυτή είναι η αλυσίδα των αιτιών και των επιδράσεων σε ένα κλειστό βρόγχο με τα «αποθέματα» να αυτόεπηρεάζονται έμμεσα ανάμεσα στα στοιχεία του βρόγχου. Το διάγραμμα δείχνει ότι είναι πιο εύκολο να παρασταθεί παρά να περιγραφεί.

Όταν ένα στοιχείο του συστήματος έμμεσα επηρεάζει τον εαυτό του, με τον ίδιο τρόπο που έγινε στα αποθέματα στην προηγούμενη παράγραφο, το τμήμα του συστήματος που εμπλέκεται λέγεται βρόγχος ανάδρασης ή αιτιατός βρόγχος. Πιο τυπικά, ένας βρόγχος ανάδρασης είναι μια κλειστή ακολουθία αιτιών και επιδράσεων σε μια συγκεκριμένη πράξη ή πληροφορία (Richardson and Pugh 1981). Ο λόγος που δίνεται έμφαση στην ανάδραση είναι ότι συχνά είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη σε ένα σύστημα διαχείρισης ώστε να καταλάβουμε τι προκαλεί τα πρότυπα συμπεριφοράς που συζητήθηκαν παραπάνω (σχήμα 1.2). Αυτό εξηγεί γιατί οι αιτίες ενός προτύπου συμπεριφοράς που εξετάζεται συχνά βρίσκονται στις δομές της ανάδρασης ενός συστήματος διαχείρισης.

Για να ολοκληρώσουμε την παρουσίαση των όρων που περιγράφουν τη δομή ενός συστήματος, σημειώνουμε ότι μια γραμμική αλυσίδα από αιτίες και αλληλεπιδράσεις οι οποίες δεν επιστρέφουν στην ίδια αιτία ονομάζονται ανοιχτοί βρόγχοι. Μια ανάλυση αιτιών

και αλληλεπιδράσεων οι οποίες δεν συμπεριλαμβάνουν βρόγχους ανάδρασης μερικές φορές ονομάζονται ανοιχτοί βρόγχοι σκέψης και αυτός ο όρος συχνά έχει υποτιμητική σημασία, και υποδεικνύει ότι κάτι δεν δέχεται το πλήρες εύρος των επιπτώσεων μιας προτεινομένης δράσης που δεν λαμβάνεται υπόψη.

Ένας χάρτης της δομής των αναδράσεων ενός συστήματος διαχείρισης, όπως αυτός που φαίνεται στο σχήμα 1.3, είναι η αφετηρία για ανάλυση στο τι προκαλεί συγκεκριμένα πρότυπα συμπεριφοράς. Ωστόσο, επιπρόσθετες πληροφορίες βοηθούν με μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυση. Το σχήμα 1.4 καθορίζει σημειογραφία για αυτή την επιπρόσθετη πληροφορία. Αυτό το διάγραμμα είναι ένα αιτιατό διάγραμμα με σχόλια για μια απλή διαδικασία, του να γεμίσω ένα ποτήρι νερό. Αποτελείται από στοιχεία και βέλη που ονομάζονται αιτιατοί σύνδεσμοι και συνδέουν αυτά τα στοιχεία μεταξύ τους με τον ίδιο τρόπο όπως στο σχήμα 1.3, επίσης περιλαμβάνουν ένα πρόσημο θετικό ή αρνητικό σε κάθε σύνδεσμο. Αυτά τα πρόσημα έχουν την παρακάτω ερμηνεία:

1. Ένα σύνδεσμος από το στοιχείο A στο στοιχείο B (ή και από το B στο A), είναι θετικός όταν μια αλλαγή στην παραγωγή του A έχει τον ίδιο αντίκτυπο στην παραγωγή του B.
2. Ένα σύνδεσμος από το στοιχείο A στο στοιχείο B (ή και από το B στο A), είναι αρνητικός όταν μια αλλαγή στην παραγωγή του A έχει τον αντίθετο αντίκτυπο στην παραγωγή του B.

Αυτή η σημειογραφία απεικονίζεται στο αιτιατό διάγραμμα βρόγχων στο σχήμα 1.4. Αρχίζοντας από το στοιχείο «θέση στρόφιγγας» στην κορυφή του διαγράμματος. Αν η «θέση της στρόφιγγας» «μεγαλώνει» δηλ. (ανοίγει περισσότερο), τότε η «ροή νερού» αυξάνεται. Ως εκ τούτου ο σύνδεσμος από τη «θέση στρόφιγγας» στη «ροή νερού» είναι θετικός. Όμοια αν η «ροή νερού» αυξάνεται, τότε η μεταβλητή «Επίπεδο νερού», στο ποτήρι μπορεί να αυξηθεί. Επομένως το πρόσημο μεταξύ αυτών των δυο στοιχείων είναι θετικό.

Το επόμενο στοιχείο στην αλυσίδα των αιτιατών αλληλεπιδράσεων είναι το «κενό» το οποίο είναι η διαφορά μεταξύ των «επιθυμητού επιπέδου νερού» και του πραγματικού «επιπέδου νερού». (κενό = επιθυμητού επιπέδου νερού- πραγματικού επιπέδου νερού). Από αυτό τον ορισμό, προκύπτει ότι αν μια αύξηση στο «επίπεδο νερού» μειώσει το «κενό», πιθανώς το πρόσημο μεταξύ αυτών των δυο στοιχείων να είναι αρνητικό. Τέλος, για να κλείσει ο βρόγχος πίσω στη μεταβλητή «θέση στρόφιγγας», μια μεγαλύτερη τιμή για το κενό πιθανώς να οδηγήσει την μεταβλητή «θέση στρόφιγγας» (στην προσπάθεια να γεμίσω το ποτήρι) και το πρόσημο μεταξύ των δυο στοιχείων να είναι θετικό. Υπάρχει ακόμα ένας επιπρόσθετος βρόγχος στο διάγραμμα από τη μεταβλητή «επιθυμητό επίπεδο νερού» στο «κενό». Από τον ορισμό που έχουμε δώσει προηγουμένως για το «κενό», η επίδραση αυτού του συνδέσμου είναι στη ίδια κατεύθυνση, κι επομένως το πρόσημο του συνδέσμου είναι θετικό.

Επιπρόσθετα από τα πρόσημα σε κάθε σύνδεσμο, υπάρχουν πρόσημα και σε κάθε βρόγχο.

Το πρόσημο σε κάθε βρόγχο καθορίζεται από τον αριθμό των αρνητικών προσήκων που έχουν οι σύνδεσμοι που συνιστούν αυτόν τον βρόγχο. Ειδικότερα:

1. Ένας βρόγχος ονομάζεται θετικός όταν υπάρχει το πρόσημο + σε μια παρένθεση, αν περιέχει άρτιο αριθμό αρνητικών προσήκων στους συνδέσμους.
2. Ένας βρόγχος ονομάζεται αρνητικός όταν υπάρχει το πρόσημο - σε παρένθεση, αν περιέχει περιττό αριθμό αρνητικών συνδέσμων.

Έτσι το πρόσημο ενός βρόγχου προκύπτει από το αλγεβρικό άθροισμα των συνδέσμων των βρόγχων. Συχνά ένα μικρό βέλος βρίσκεται γύρω από το πρόσημο του βρόγχου για να δείξει με περισσότερη σαφήνεια το πρόσημο που αναφέρεται στον βρόγχο όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4. Σε αυτό το σημείο σημειώνουμε ότι το διάγραμμα είναι απλή ανάδραση του αιτιατού διαγράμματος και ότι αυτός ο βρόγχος έχει ένα αρνητικό πρόσημο πάνω σε κάθε σύνδεσμο. Αφού το ένα είναι περιττός αριθμός, όλος ο βρόγχος είναι αρνητικός. Ένας εναλλακτικός τρόπος χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις στην παρουσίαση των αιτιοκρατικών διαγραμμάτων. Με αυτή την εναλλακτική σημείωση, χρησιμοποιείται ως συντομογραφία ένα S αντί του + και ένα O αντί του -. Το S συμβολίζει το ίδιο (same), και το ο συμβολίζει το (opposite). Δείχνοντας ότι οι μεταβλητές στην ένωση του συνδέσμου έχουν ίδια ή διαφορετική κατεύθυνση. Για τους βρόγχους ένα R χρησιμοποιείται αντί του + και ένα B χρησιμοποιείται αντί του -. Το R αντιπροσωπεύει το «reinforcing» δηλ. αλλαγή ενώ το B «balancing» δηλ. ισορροπία. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται αυτού οι όροι θα γίνει πιο ξεκάθαρος όσο θα αναλύουμε τα πρότυπα συμπεριφοράς σε διαφορετικές δομές συστημάτων παρακάτω.



## 1.4 Δομή συστημάτων και πρότυπα συμπεριφοράς

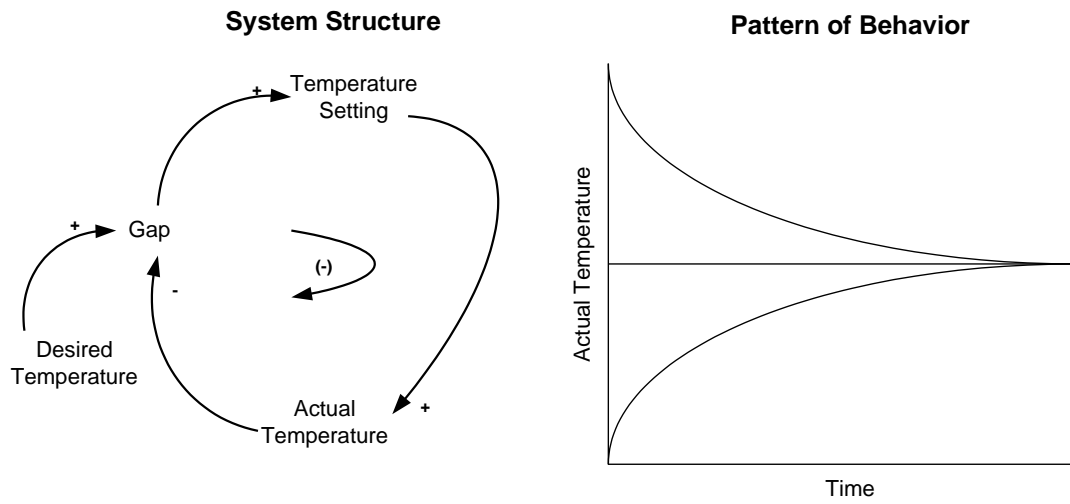
Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει απλές δομές που οδηγούν σε τυποποιημένα πρότυπα συμπεριφοράς όπως εξηγήθηκε παρακάτω. Καθώς οι δομές των περισσότερων συστημάτων μανατζμεντ είναι περισσότερο σύνθετες από ότι φαίνεται στην παραπάνω ανάλυση, αυτές οι δομές κτίζουν πρότυπα τα οποία μπορούν να κατασκευάσουν τα πιο περίπλοκα μοντέλα.

### Βρόγχος θετικής ανάδρασης

Ένας θετικός βρόγχος ανάδρασης ενισχύει τις αλλαγές με περισσότερες αλλαγές. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία ανάπτυξη σε ένα συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό. Αυτό το είδος προτύπου ανάπτυξης συχνά αναφέρεται ως εκθετική αύξηση. Σε αυτό το σημείο παρατηρείται ότι στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξης, φαίνεται να είναι αργή, αλλά στη συνέχεια επιταχύνεται. Έτσι, η φύση της ανάπτυξης σε ένα σύστημα διαχείρισης που έχει θετική ανάδραση μπορεί να είναι παραπλανητική. Εάν είμαστε στα πρώτα στάδια μιας εκθετικής διαδικασίας ανάπτυξης, κάτι που πρόκειται να είναι ένα σημαντικό πρόβλημα μπορεί να φαίνεται μικρό, διότι αναπτύσσεται αργά. Από τη στιγμή που αρχίζει και αναπτύσσεται μπορεί να είναι αρκετά αργή ώστε να λύσει το οποιοδήποτε πρόβλημα η ανάπτυξη έχει δημιουργήσει. Για παράδειγμα κάποιοι άνθρωποι πιστεύουν ότι σε αυτή την κατηγορία ανήκουν η μόλυνση και ο πληθυσμός της γης. Το σχήμα 1.5 δείχνει ένα πολύ γνωστό παράδειγμα βρόγχου θετικής ανάδρασης, που αφορά την ανάπτυξη της ισορροπίας σε μια τράπεζας όταν υπάρχει ενδιαφέρον. Μερικές φορές οι θετικοί βρόχοι ανάδρασης, εξαρτώνται από τη φύση των αλλαγών που προκύπτουν. Άλλοι όροι που χρησιμοποιούνται να περιγράψουν τον τύπο της συμπεριφοράς είναι η χιονοστιβάδα.

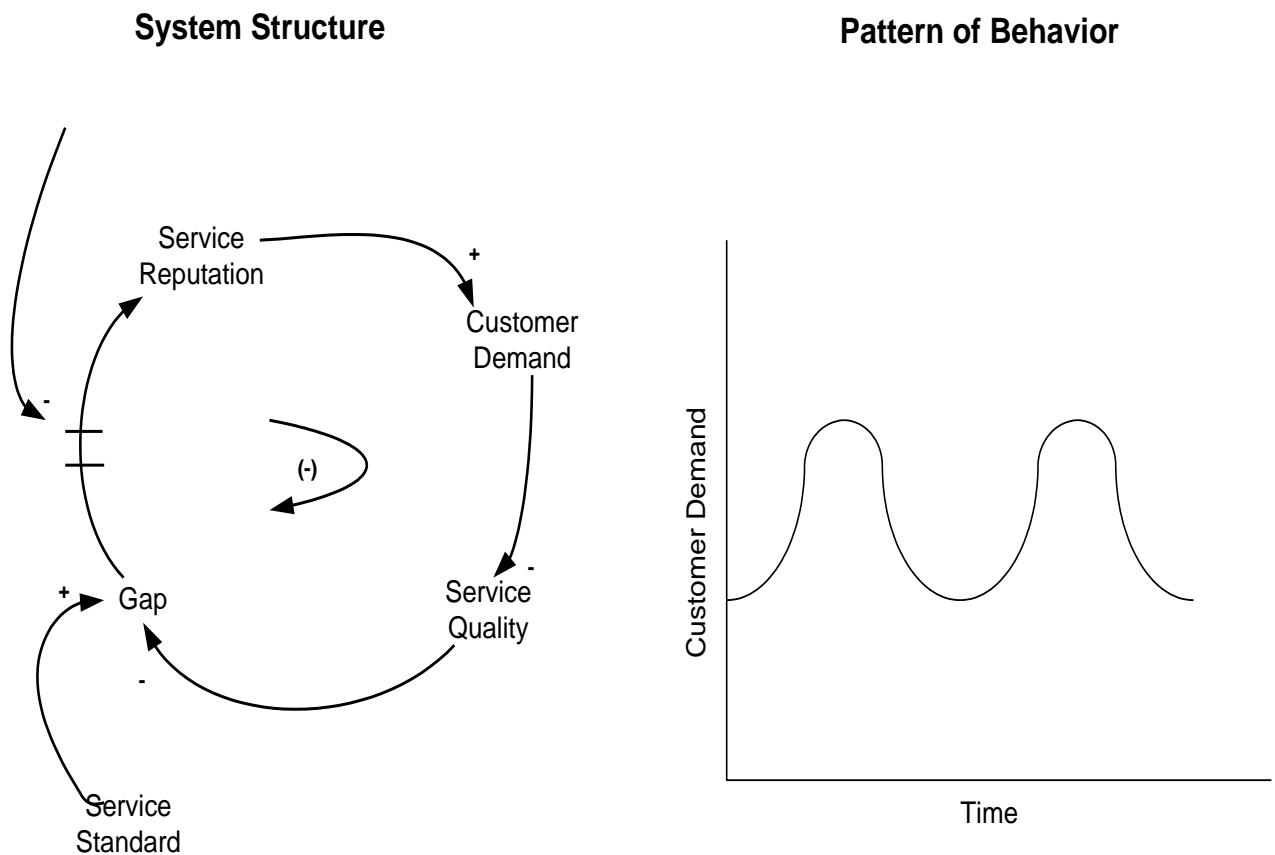
### Αρνητικός βρόγχος ανάδρασης (ισορροπία)

Ένας αρνητικός βρόγχος ανάδρασης ή ισορροπία επιδιώκει ένα στόχο. Εάν το τρέχον επίπεδο της μεταβλητής που μας ενδιαφέρει είναι πάνω από το στόχο, τότε η δομή βρόχου σπρώχνει την αξία του προς τα κάτω, ενώ αν η τρέχουσα στάθμη είναι κάτω από το στόχο, η δομή βρόχου ωθεί τους την αξία προς τα πάνω. Πολλές διαδικασίες διαχείρισης περιλαμβάνουν αρνητικούς βρόχους ανάδρασης που παρέχουν χρήσιμη σταθερότητα, αλλά η οποία μπορεί επίσης να αντισταθεί από αναγκαίες αλλαγές. Αυτοί οι τύποι των βρόχων ανάδρασης είναι τόσο ισχυροί σε ορισμένες οργανισμούς ώστε ότι οι οργανισμοί μπορεί να διακόψουν τη δραστηριότητά τους παρά να την αλλάξουν. Το σχήμα 1.6 δείχνει ένα διάγραμμα με αρνητικό βρόχο ανάδρασης για τη ρύθμιση θερμοκρασίας σε μια ηλεκτρική κουβέρτα.



Σχήμα 1.6. Αρνητικός βρόγχος ανάδρασης





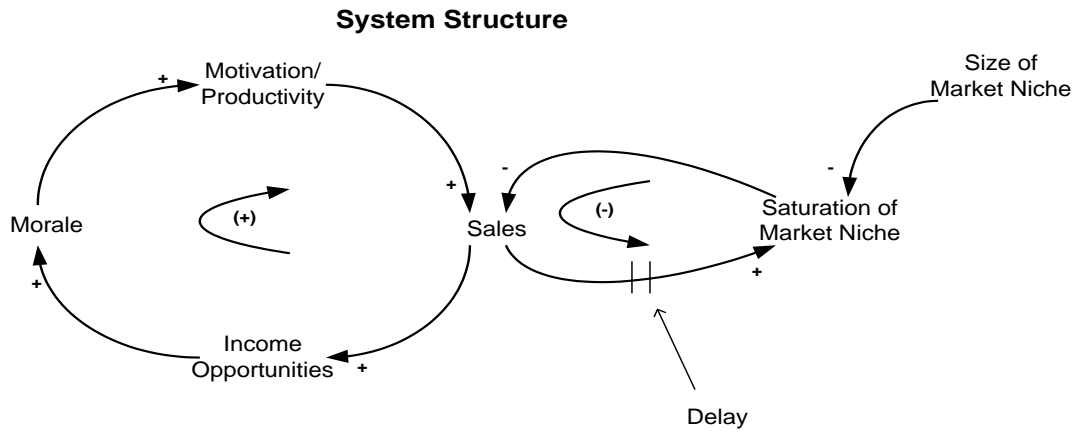
Σχήμα 1.7. Αρνητικός βρόγχος με καθυστέρηση

### Βρόγχος αρνητικής ανάδρασης με καθυστέρηση

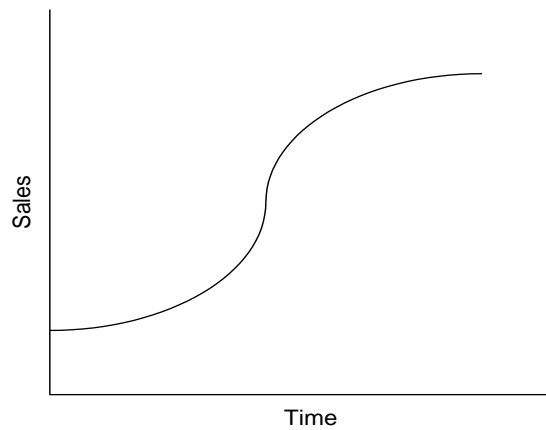
Ένας βρόγχος αρνητικής ανάδρασης με σημαντική καθυστέρηση μπορεί να οδηγήσει σε ταλάντωση. Η συγκεκριμένη συμπεριφορά εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου βρόγχου. Σε ορισμένες περιπτώσεις η τιμή μιας μεταβλητής συνεχίζει να ταλαντώνεται επ' αόριστον. Σε άλλες περιπτώσεις, το πλάτος των ταλαντώσεων σταδιακά θα μειωθεί και η μεταβλητή ενδιαφέροντος θα κατευθυνθεί προς τον στόχο. Το σχήμα 1.7 απεικονίζει την αρνητική ανάδραση με μια καθυστέρηση στο πλαίσιο ποιότητας των υπηρεσιών.

Η παραγωγή σε πολλά επίπεδα και η διανομή των συστημάτων μπορούν να εμφανίσουν αυτό τον τύπο της συμπεριφοράς εξαιτίας των καθυστερήσεων στην μετάδοση πληροφοριών γύρω από τις πραγματικές απαιτήσεις των πελατών για ένα προϊόν και για την εγκατάσταση παράγωγης. Εξαιτίας των καθυστερήσεων, η παραγωγή συνεχίζει για αρκετό χρονικό

διάστημα, μέχρι να ανταποκριθεί στη ζήτηση. Αυτός ο κύκλος μπορεί να συνεχιστεί επ' αόριστον, και τοποθετεί σημαντικά στελέχη του μανατζμεντ στη παράγωγη. Για παράδειγμα, υπάρχει ένα πρότυπο σε περιοδικές προσλήψεις και απολύσεις. Υπάρχουν ενδείξεις ότι θεωρούνται ως εποχιακές διακυμάνσεις σε σχέση με τη ζήτηση των πελατών και σε κάποιες βιομηχανίες δημιουργούνται πραγματικές διακυμάνσεις οι οποίες προκαλούνται από καθυστερήσεις σε αρνητικούς βρόγχους ανάδρασης στο σύστημα παράγωγης-διανομής.



**Pattern of Behavior**



Σχήμα 1.8. Συνδυασμός θετικών και αρνητικών βρόγχων : πωλήσεις

## Συνδυασμός θετικών και αρνητικών βρόγχων

Όταν οι θετικοί και οι αρνητικοί βρόγχοι συνδυάζονται , μια ποικιλία από πρότυπα είναι πιθανά. Το παραπάνω παράδειγμα, δείχνει μια κατάσταση όπου ένας θετικός βρόγχος ανάδρασης οδηγεί σε πρόωρη εκθετική αύξηση , αλλά στη συνέχεια, μετά από μια καθυστέρηση, ένας αρνητικός βρόγχος ανάδρασης κυριαρχεί στη συμπεριφορά του συστήματος. Ο συνδυασμός έχει ως αποτέλεσμα σε ένα S μορφής πρότυπο επειδή ο θετικός βρόγχος ανάδρασης οδηγεί σε εκθετική ανάπτυξη, και έπειτα ο αρνητικός βρόγχος κυριαρχεί στη συμπεριφορά.. Το σχήμα 1.8 απεικονίζει ένα συνδυασμό θετικών και αρνητικών βρόγχων στο πλαίσιο πωλήσεων για ένα νέο προϊόν. Οι περισσότερες διαδικασίες ανάπτυξης έχουν όρια στην ανάπτυξη τους. Σε κάποιο σημείο , θα σταματήσει η ανάπτυξη. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.8 ,η ανάπτυξη των πωλήσεων για ένα προϊόν τελικά θα επιβραδυνθεί από κάποιο παράγοντα. Σε αυτό το παράδειγμα, ο περιοριστικός παράγοντας είναι η έλλειψη επιπλέον πελατών που θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει το προϊόν.

### 1.5 Πως δημιουργούνται τα αιτιοκρατικά διαγράμματα

Για να ξεκινήσει ο σχεδιασμός ενός αιτιατού διαγράμματος , πρέπει να αποφασίσουμε ποια γεγονότα έχουν ενδιαφέρον στο να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση της δομής του συστήματος. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι οι πωλήσεις ορισμένων βασικών προϊόντων ήταν χαμηλότερες από ό, τι αναμενόταν τον περασμένο μήνα από τις αναμενόμενες.

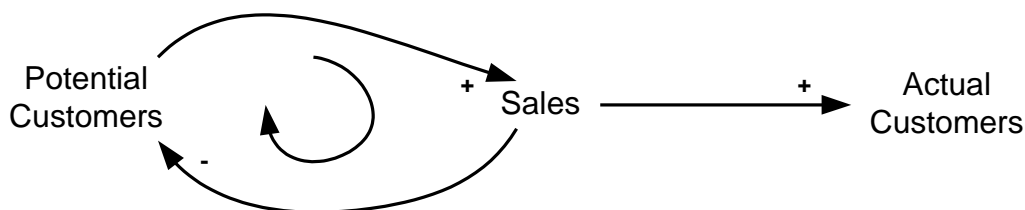
Γι αυτά τα γεγονότα, φαίνεται ίσως μόνο ποιοτικά το πρότυπο συμπεριφοράς με την πάροδο του χρόνου για τις ποσότητες που ενδιαφέρουν. Για παράδειγμα στις πωλήσεις, ποιο θα ήταν το πρότυπο συμπεριφοράς των πωλήσεων κατά το χρονικό διάστημα των τόκων? Οι πωλήσεις θα έχουν αυξηθεί? Ποια θα είναι η ταλάντωση? Ποια η S καμπύλη? Τελικά , όταν καθοριστεί το πρότυπο συμπεριφοράς, χρησιμοποιούμε τις έννοιες των θετικών και αρνητικών βρόγχων ανάδρασης, με τα αντίστοιχα γενικευμένα πρότυπα συμπεριφοράς, ώστε να αρχίσει η κατασκευή ενός αιτιοκρατικού διαγράμματος το οποίο εξηγεί το πρότυπο συμπεριφοράς. Οι ακόλουθες συμβουλές για τον σχεδιασμό των διαγραμμάτων βασίζονται στις κατευθυντήριες γραμμές των Richardson και Pugh ( 1981 ) και Kim ( 1992 ).

## Κεφάλαιο 2ο

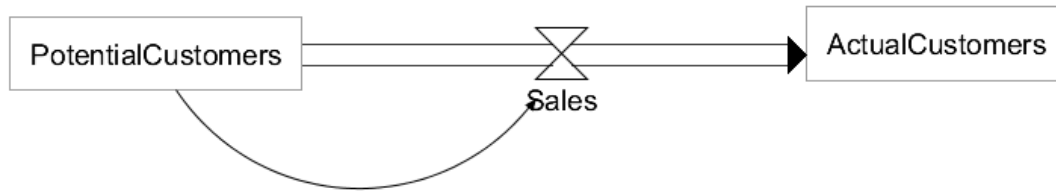
**Μια προσέγγιση στη μοντελοποίηση**

Τα θέματα που θα αντιμετωπιστούν, θα βοηθήσουν στη βελτίωση της κατανόησης στο πως οι επιχειρηματικές διαδικασίες απεικονίζονται στο αιτιοκρατικό διάγραμμα στο σχήμα 2.1. Αυτό το μοντέλο είναι μια απλή διαφήμιση της κατάστασης ενός αγαθού. Υπάρχει μια «δεξαμενή» από Potential Customers οι οποίοι μετατρέπονται σε κανονικούς πελάτες από τις πωλήσεις. Οι υποθετικοί πελάτες και οι πωλήσεις συνδέονται μεταξύ τους με ένα βρόγχο αρνητικής ανάδρασης με στόχο να οδηγήσουν τους Potential Customers στο μηδέν. Αν οραματιζόμαστε μια τυπική μαζική κατάσταση διαφήμισης, θα περιμέναμε το μεγαλύτερο αριθμό υποθετικών πελατών, και τον μεγαλύτερο αριθμό πωλήσεων. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 2.1 από το βέλος με το πρόσημο + μεταξύ των υποθετικών πελατών και των πωλήσεων. Όμοια, μεγαλύτερες πωλήσεις οδηγούν σε λιγότερους Potential Customers (αφού οι υποθετικοί πελάτες μετατρέπονται σε πραγματικούς από τις πωλήσεις), κι έτσι υπάρχει ένα βέλος με αρνητικό πρόσημο από τις πωλήσεις στους υποθετικούς πελάτες. Επίσης αφού υπάρχει περιττός αριθμός αρνητικών πρόσημων στο διάγραμμα, στους συνδέσμους των βρόγχων ανάδρασης μεταξύ υποθετικών πελατών και πωλήσεων, τότε η ανάδραση είναι αρνητική.

Από αυτό το διάγραμμα έχουμε λάβει (όχι σε μεγάλο βάθος), μια εικόνα που τελικά οδηγεί στο ότι οι πωλήσεις πρέπει να είναι μηδέν όταν ο αριθμός των υποτιθέμενων πελατών πλησιάζει το μηδέν. Παρόλο αυτά, η εικόνα αυτή μόνη της δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για επιχειρησιακό μάνατζμεντ, επειδή δεν υπάρχει πληροφορία για το ρυθμό που οι υποθετικοί πελάτες πλησιάζουν στο μηδέν. Μπορεί να κάνει μεγάλη διαφορά το μάνατζμεντ των πωλήσεων και της παραγωγής του προϊόντος αν έχω καλές πωλήσεις για δέκα μήνες ή αν οι πωλήσεις είναι δέκα ετών, πριν τελειώσουν οι υποτιθέμενοι πελάτες. Για μια απλή κατάσταση όπως αυτή, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε ένα λογιστικό φύλλο ώστε να αναπτύξουμε ένα ποσοτικό μοντέλο ώστε να ανακαλύψουμε τον ρυθμό όπου οι υποτιθέμενοι πελάτες πάνε στο μηδέν, αλλά όσο η πολυπλοκότητα του συστήματος μεγαλώνει, αυτό γίνεται όλο και πιο δύσκολο. Στο υπόλοιπο του κεφαλαίου αναπτύσσουμε μια συστηματική προσέγγιση στο να ανακαλύπτουμε ερωτήσεις αυτού του τύπου οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν σε απλές και σύνθετες επιχειρηματικές διαδικασίες.



Σχήμα2.1α. Παράδειγμα διαφημίσεων



Σχήμα2.1β. Παράδειγμα διαφημίσεων διάγραμμα ροής

## 2.1 Διαγράμματα ροής και αποθεμάτων

Το σχήμα 2.1 απεικονίζει ένα γράφημα το οποίο παρέχει κάποια δομή στο πώς να σκεφτόμαστε για τον ρυθμό με τον οποίο οι υποθετικοί πελάτες τείνουν στο μηδέν. Αποτελείται από τρία διαφορετικά είδη στοιχείων :αποθέματα, ροη και πληροφορία. Όπως φαίνεται και παραπάνω, είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι τα τρία αυτά στοιχεία στο διάγραμμα παρέχουν ένα γενικό τρόπο στη γραφική αναπαράσταση οποιασδήποτε επιχειρηματικής διαδικασίας.

Αυτό το είδος του διαγράμματος ονομάζεται διάγραμμα αποθέματος και ροής. Όπως και σε ένα αιτιοκρατικό διάγραμμα, το διάγραμμα αποθεμάτων και ροής δείχνει τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών που έχουν την δυνατότητα να αλλάξουν με την πάροδο του χρόνου. Το σχήμα 2.1 β στο διάγραμμα αποθεμάτων και ροής οι μεταβλητές είναι οι υποθετικοί πελάτες ,πωλήσεις και πραγματικοί πελάτες. Σε αντίθεση με τα αιτιοκρατικά διαγράμματα , στα διαγράμματα αποθεμάτων και ροής διακρίνονται οι διαφορετικοί τύποι των μεταβλητών. Στο σχήμα 2.1 β φαίνονται δυο διαφορετικοί τύποι μεταβλητών οι οποίοι ξεχωρίζουν από διαφορετικά σύμβολα. Οι μεταβλητές Potential Customers και Actual Customers φαίνονται μέσα σε τετράγωνα, και ο τύπος αυτό μεταβλητής ονομάζεται απόθεμα ή συσσώρευση(Stock). Η μεταβλητή Sales που φαίνεται δίπλα με το τόξο ή με το σύμβολο της βαλβίδας, ονομάζεται μεταβλητή ροής ή ρυθμός.

Για να καταλάβουμε και να κατασκευάσουμε ένα τέτοιο διάγραμμα, είναι απαραίτητο να καταλάβουμε τη διαφορά μεταξύ αποθεμάτων και ροών. Παρόλο αυτά, πριν το αναλύσουμε αυτό με περισσότερες λεπτομέρειες, είναι χρήσιμο να συζητήσουμε πρώτα τι προσπαθούμε να πετύχουμε με αυτή την προσέγγιση στη μοντελοποίηση των επιχειρησιακών διαδικασιών.

## 2.2. Πως προσεγγίζουμε τέτοια διαγράμματα

Όπως έχει σημειωθεί παραπάνω στο διάγραμμα του σχήματος 2.1 τα διαγράμματα ροής μας δείχνουν ένα γενικό τρόπο για να χαρακτηρίσουμε κάθε επιχειρησιακή διαδικασία. Αυτό μπορεί να ακούγεται φιλόδοξο. Συγκεκριμένα αν προηγουμένως έχουμε δουλέψει με προγράμματα που κάνουν εξομοίωση συστημάτων, και κάνοντας το πιο συγκεκριμένο, η διαδικασία κατασκευής , γνωρίζουμε ότι γενικά περιέχει πολλά στοιχεία από αυτά τα δυο που φαίνονται εδώ. Για παράδειγμα, η εξομοίωση στις κατασκευές μπορεί να περιέχει συγκεκριμένα σύμβολα και χαρακτηριστικά για μια ποικιλία διαφορετικών μηχανών αλέσματος ή άλλου κατασκευαστικού εξοπλισμού.

Αυτός ο τύπος της λεπτομερούς πληροφορίας είναι σημαντική για την μελέτη των ειδικών λειτουργιών και διεργασιών όπως στην συγκεκριμένη κατασκευαστική

διαδικασία. Δεν θα δώσουμε άλλες λεπτομέρειες γιατί είναι συγκεκριμένες για αυτόν τον εξοπλισμό. Αντίθετα, θα σκεφτούμε τα χαρακτηριστικά τα οποία γενικά μοιράζονται όλες οι επιχειρηματικές διαδικασίες. Είναι αξιοσημείωτο ότι τέτοιου είδους διαδικασίες μπορούν να χαρακτηριστούν σε μεταβλητές δυο τύπων, αποθέματα (στάθμες, αθροίσματα), και ροές (ρυθμοί).

Το συμπέρασμα της προηγούμενης παραγράφου στηρίζεται περίπου ένα αιώνα τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά. Ο Forester (1961), πρώτος συστηματικά εφάρμοσε αυτές τις ιδέες στην επιχειρηματική διεργασία περίπου 40 χρόνια πριν, και εκτενείς πρακτικές εφαρμογές έχουν δείξει ότι ο τρόπος αυτό να θεωρείς επιχειρηματικές διεργασίες δείχνει σημαντική διορατικότητα βασισμένη σε σταθερή θεωρία. Όπως λέγεται «δεν υπάρχει τίποτα πιο πρακτικό από μια καλή θεωρία» και η θεωρία εμφανίζεται να μπορεί να γίνει πράξη, δίνοντας ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.

### 2.3 Αποθέματα και Ροές.

Το γράφημα που φαίνεται στο σχήμα 2.1 υπαινίσσεται τις διαφορές μεταξύ των αποθεμάτων και των ροών. Τα τετράγωνα κουτιά γύρω από τις μεταβλητές Potential Customers και Actual Customers μοιάζουν με αποθήκη. Το βέλος με τη διπλή γραμμή που δείχνει από τους Potential Customers στους Actual Customers μοιάζει με σωλήνα και η βαλβίδα πεταλούδα στη μέση του σωλήνα ρυθμίζει τη ροή του σωλήνα. Έτσι υπαινίσσεται η ιδέα ότι υπάρχει μια ροή από τους Potential Customers στους Actual Customers και ο ρυθμός της ροής είναι οι Sales που έχουν το ρόλο της βαλβίδας. Στην πραγματικότητα αυτή είναι η ιδέα κλειδί πίσω από τη διαφορά μεταξύ αποθέματος και ροής. Το απόθεμα είναι η συσσώρευση από κάτι, και η ροή είναι η κίνηση από το ένα απόθεμα στο άλλο.

Πρωταρχικού ενδιαφέροντος στους διευθυντές των επιχειρήσεων είναι οι αλλαγές των μεταβλητών όπως οι Actual Customers με την πάροδο του χρόνου. Αν τίποτα δεν αλλάξει, τότε όλοι μπορούν να διευθύνουν, αλλά κάνουν αυτό που γινόταν πάντα. Οι μεγαλύτερες προκλήσεις στο μάνατζμεντ έρχονται μέσα από αλλαγές. Αν οι Sales αρχίσουν να πέφτουν ή ακόμα και μετά από μια αύξηση πρέπει να αναζητήσουμε την αιτία που προκάλεσε την αλλαγή και που απευθύνεται.

Θα εστιάσουμε στο να μελετήσουμε αυτές τις αλλαγές, και συγκεκριμένα πως τα στοιχεία της δομής μιας επιχειρησιακής διαδικασίας μπορούν να φέρουν τέτοιες αλλαγές. Εξαιτίας αυτής της εστίασης των γεγονότων που κάνουν τη διαδικασία (που συχνά αναφέρονται ως συστατικά του συστήματος), και πως η απόδοση της διαδικασίας τα αλλάζει με τον καιρό, οι ιδέες αυτές αναφέρονται συχνά ως **δυναμική συστημάτων**. Ο διαχωρισμός μεταξύ αποθεμάτων και ροών είναι κάποιες φορές δύσκολος, και θα φανεί στα παραδείγματα παρακάτω. Ξεκινώντας, μπορούμε να σκεφτούμε το απόθεμα ως αντιπροσώπευση φυσικών προσώπων που μπορούν να αποθηκευτούν.

Ωστόσο σε αυτή την εποχή των υπολογιστών, το τι χρησιμοποιείται ώστε να είναι τα φυσικά πρόσωπα είναι λίγο αφηρημένο. Για παράδειγμα, τα χρήματα είναι συχνά ένα σημαντικό απόθεμα σε πολλές επιχειρηματικές διαδικασίες. Παρόλο αυτά, τα χρήματα είναι περισσότερο συχνά μια καταχώρηση σε ένα σύστημα υπολογιστή από το να είναι ένας φυσικός λογαριασμός δολαρίων. Παρόλο αυτά τα χρήματα είναι ένα απόθεμα και η διαδικασία μεταφοράς μια ροή.

Ένας άλλος τρόπος να ξεχωρίσουμε αποθέματα και ροές, είναι να αναρωτηθούμε τι θα συνέβαινε αν μπορούσαμε να παγώσουμε το χρόνο και να παρατηρήσουμε τη διαδικασία. Αν εξακολουθούμε να παρατηρούμε μια μη μηδενική τιμή για ποσότητα, τότε η ποσότητα είναι απόθεμα, αλλά αν η ποσότητα δεν μπορεί να μετρηθεί τότε

είναι ροή. Για τους αναγνώστες με υπόβαθρο στην ανάλυση μηχανικών συστημάτων, χρησιμοποιούμε τον όρο απόθεμα για αυτό καλείται σταθερή μεταβλητή στην ανάλυση συστημάτων.

## Είδη αποθεμάτων και ροών

Οι περισσότερες επιχειρηματικές δραστηριότητες περιλαμβάνουν έναν ή περισσότερους από 5 τρόπους αποθεμάτων : υλικά, προσωπικό, πρωτεύον εξοπλισμός, εντολές και χρήματα. Τα πιο ορατά σημάδια χρήσης μιας διαδικασίας είναι συνήθως κινήσεις των 5 τύπων των αποθεμάτων κι αυτά ορίζονται ως εξής:

- **Υλικά:** Περιλαμβάνει όλα τα αποθέματα και ροές φυσικών αγαθών που είναι κομμάτι της παραγωγής και διανομής μιας διαδικασίας, είτε πρόκειται για πρώτες ύλες σε διαδικασία παραγωγής είτε για ολοκληρωμένα προϊόντα.
- **Προσωπικό:** Αυτό γενικά αναφέρεται σε πραγματικούς ανθρώπους σε αντίθεση για παράδειγμα με τις ώρες εργασίας.
- **Πρωτεύον εξοπλισμός:** Αυτό περιλαμβάνει τις εργοστασιακές εγκαταστάσεις , εργαλεία και άλλο απαραίτητο εξοπλισμό για την παραγωγή αγαθών και παροχή υπηρεσιών.
- **Παραγγελίες:** Περιλαμβάνει παραγγελίες για αγαθά ,απαιτήσεις για νέους εργαζόμενους, και συμβόλαια για νέο χώρο ή εξοπλισμό . Οι παραγγελίες είναι τυπικό αποτέλεσμα για κάποια απόφαση του μάνατζμεντ που έχει παρθεί αλλά δεν έχει γίνει ακόμα επιθυμητό αποτέλεσμα.
- **Χρήμα:** Χρησιμοποιείται με την έννοια μετρητά. Αυτό γίνεται γιατί η ροή χρήματος είναι η πραγματική διαβίβαση πληρωμών μεταξύ διαφορετικών χρηματικών αποθεμάτων.

Τα πρώτα 3 στοιχεία παραπάνω (υλικά, προσωπικό, και πρωταρχικός εξοπλισμός) είναι εννοιολογικά σχετικά απλά διότι υπάρχει συνήθως μια φυσική οντότητα που ανταποκρίνεται σε αυτά. Τα δυο τελευταία στοιχεία (παραγγελίες και χρήματα)είναι κάπως πιο λεπτές έννοιες στην εποχή υπολογιστών. Αν είναι κάτι πραγματικό χρήμα ή απλή πληροφορία σχετικά με μια νομισματική είσοδο σε μια βάση δεδομένων ενός υπολογιστή μπορεί να είναι άμεσα εμφανές.

## 2.4 Πληροφορία

Το τελευταίο στοιχείο στο σχήμα 2.1 διάγραμμα αποθεμάτων και ροών είναι ο σύνδεσμος επικοινωνίας που φαίνεται από το βέλος από τους επιθυμητούς πελάτες στις Sales. Αυτό το βέλος σημαίνει ότι κατά κάποιο τρόπο ή πληροφορία για την τιμή των υποθετικών πελατών επηρεάζει την τιμή των πωλήσεων. Επίσης εξίσου σημαντικό , είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχει βέλος με τις πληροφορίες από τους Actual Customers στις πληροφορίες, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει πληροφορία σχετικά με την τιμή των πραγματικών πελατών που να επηρεάζει την τιμή των πωλήσεων.

Η δημιουργία , ο έλεγχος και η διανομή της πληροφορίας είναι μια κεντρική δραστηριότητα του επιχειρησιακού μάνατζμεντ. Η καρδιά των συνεχιζόμενων αλλαγών σε ένα επιχειρησιακό μάνατζμεντ, είναι στην αλλαγή του τρόπου που η πληροφορία χρησιμοποιείται . Σε μια παραδοσιακά ιεραρχική επιχειρησιακή δομή, μπορεί να υποστηριχτεί ότι πρωταρχικό ρόλο στο περισσότερο τμήμα του μάνατζμεντ είναι να περνάνε οι πληροφορίες και οι εντολές ιεραρχικά προς τα κάτω. Αυτή η δομή

ήταν απαραίτητη και στη εποχή προ υπολογιστών . Με την παρούσα ευρεία διαθεσιμότητα των φθηνών αναλύσεων από υπολογιστικά προγράμματα και συστήματα επικοινωνίας αυτό το μεγάλο ,ακριβό και αργό σύστημα μετάδοσης πληροφορίας δεν είναι πλέον επαρκές ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Οι επιχειρησιακοί οργανισμοί αλλάζουν σύμφωνα με τον τρόπο που διαχειρίζονται πληροφορίες και συνεπώς το σύνολο των πληροφοριών είναι το κεντρικό συστατικό στα περισσότερα μοντέλα επιχειρησιακών διαδικασιών με προσανατολισμό τη βελτίωση των διαδικασιών αυτών.

Οι σύνδεσμοι πληροφοριών σε μια επιχειρηματική διαδικασία μπορεί δύσκολα να είναι επαρκές το μοντέλο εξαιτίας του αφηρημένου χαρακτήρα των συνδέσμων αυτών. Υλικά προσωπικό ,πρωταρχικός εξοπλισμός, παραγγελίες και χρήματα συνήθως έχουν φυσική αναπαράσταση. Επίσης αυτές οι ποσότητες συντηρούνται κι έτσι μπορούν να είναι μόνο σε ενε μέρος κάθε φορά. Από την άλλη μεριά , οι πληροφορίες μπορούν ταυτόχρονα να έχουν ροη σε πολλά μέρη, κι ειδικά σε περιβάλλοντα με υψηλό επίπεδο υπολογισμών ,αυτό μπορεί να γίνει ραγδαία και με σοβαρές επιπτώσεις.

Η εμπειρία έχει δείξει ότι τροποποιώντας τους συνδέσμους πληροφορίας σε μια επιχειρηματική διαδικασία μπορεί να έχει σπουδαίες επιπτώσεις στην απόδοση της διαδικασίας .

Επιπλέον αυτές οι επιπτώσεις δεν είναι εμφανείς και μπορούν να γίνουν επικίνδυνες. Κάποιες εταιρίες έχουν ανακαλύψει ,για παράδειγμα ,ότι τα συστήματα πληροφορίας που στηρίζονται σε υπολογιστές δεν έχουν μόνο βελτιώσει την απόδοση τους αλλά στην πραγματικότητα την έχουν υποβαθμίσει.

Ακόμα από ρουτίνα κάνουμε σημαντικές αλλαγές στη δομή της επιχειρησιακής διαδικασίας και μετά κάνουμε δοκιμή στον οργανισμό χωρίς να γίνει τεστ πρώτα. Αυτές οι μέθοδοι παρουσιάζονται παρακάτω με σκοπό να γίνονται δοκιμές πριν εφαρμόσουν οι αλλαγές στην επιχειρηματική διαδικασία.



## Προσομοίωση των επιχειρησιακών διαδικασιών

Τα διαγράμματα αποθεμάτων και ροών που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο δείχνουν περισσότερα για τη δομή της διαδικασίας από ότι τα ντετερμινιστικά διαγράμματα στο κεφάλαιο 1. Παρόλο αυτά τα διαγράμματα αποθεμάτων και ροής δεν απαντούν σε σημαντικά ερωτήματα στην απόδοση της διαδικασίας. Για παράδειγμα το διάγραμμα αποθεμάτων και ροών στο σχήμα 2.1 δείχνει περισσότερα για τη δομή της διαδικασίας από ότι το ντετερμινιστικό διάγραμμα του 2.1 αλλά παρόλα αυτά δεν απαντά σε σημαντικά ερωτήματα. Για παράδειγμα πως ο αριθμός των πιθανών πελατών αλλάζει με το χρόνο; Για να απαντήσουμε σε ερωτήσεις τέτοιου τύπου θα χρειαστούμε γραφική αναπαράσταση ώστε να καθορίσουμε τα ποσοτικά χαρακτηριστικά της διαδικασίας. Στο παράδειγμα, τα χαρακτηριστικά που περιλαμβάνουν πράγματα όπως ο αρχικός αριθμός των ενδεχόμενων και των πραγματικών πελατών ο συγκεκριμένος τρόπος με τον οποίο η ροή των πωλήσεων εξαρτάται από τους ενδεχόμενους πελάτες.

Όταν αποφασίσουμε ποσοτικά πώς να μοντελοποιήσουμε μια επιχειρηματική διαδικασία είναι απαραίτητο να λάβουμε υπόψη μια σειρά από θέματα. Δύο θέματα «κλειδιά» είναι πόση πληροφορία να συμπεριλάβω, και πώς να χειριστώ τις αβεβαιότητες. Προσανατολιζόμαστε στο να παρέχουμε εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούνται ώστε να αναπτύξουν μια μία καλύτερη εικόνα για την παραγωγική διαδικασία. Συγκεκριμένα εστιάζουμε στο ενδιάμεσο επίπεδο των επιχειρησιακών αποφάσεων που λαμβάνονται σε ένα οργανισμό: όχι τόσο χαμηλά ώστε να ανησυχούμε για πράγματα όπως συγκεκριμένος εξοπλισμός στις εγκαταστάσεις κι όχι τόσο ψηλά ώστε να χρειάζεται να λάβουμε υπόψη μας αποφάσεις που μεμονωμένα βάζουν την επιχείρηση σε ρίσκο.

Το ενδιάμεσο στάδιο των αποφάσεων είναι αυτό που το μεγαλύτερο μέρος των προσπαθειών είναι επικεντρωμένο, και οι βελτιώσεις σε αυτό το επίπεδο μπορούν σημαντικά να επηρεάσουν τη σχετική ανταγωνιστικότητα μιας εταιρίας. Όλο και περισσότερο οι αποφάσεις αυτές επιβάλουν μία διατμηματική προοπτική. Παραδείγματα που περιλαμβάνουν τέτοια θέματα όπως ο αντίκτυπος των πωλήσεων για ένα προϊόν, και η δυναμικότητα ανάπτυξης των αποφάσεων, σχέσεις μεταξύ δυναμικότητας χρηματοοικονομικών και παραγωγής και τις σχέσεις μεταξύ πολιτικής προσωπικού και ποιότητας υπηρεσιών. Ποσοτικά λαμβάνοντας υπόψη αυτό τον τύπο των αποφάσεων μάλιστα μπορεί να μην απαιτείται μία υπερβολικά λεπτομερής μοντελοποίηση της επιχειρηματικής διαδικασίας. Για παράδειγμα αν λάβουμε υπόψη μας τη σχέση μεταξύ πολιτικής προσωπικού και ποιότητας των υπηρεσιών είναι πιθανό να μην χρειάζεται να λάβουμε υπόψη μας μεμονωμένα τους εργαζόμενους με τα ποσοστά των αμοιβών τους και τα προγράμματα των διακοπών. Μία περισσότερο συγκεντρωτική προσέγγιση συνήθως είναι πιο επαρκής.

Επίσης, πρωταρχικό ενδιαφέρον έχει η εξελισσόμενη υπάρχουσα διαδικασία που τυπικά γίνεται διαισθητικά για να γίνουν τέτοιου είδους βελτιώσεις σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα με ρεαλιστικά δεδομένα. Υπάρχει μια μακρά ιστορία προσπαθειών ώστε να κατασκευαστούν λεπτομερή μοντέλα μόνο για να αποδείξουμε ότι είτε τα δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα ή ότι το πρόβλημα έχει να αντιμετωπισθεί αρκετό χρονικό διάστημα πριν «λυθεί» δηλ. με άλλα λόγια πριν το μοντέλο ολοκληρωθεί. Έτσι επιδιώκουμε μια σχετική απλή, άμεση ποσοτική προσέγγιση μοντελοποίησης από την οποία μπορεί να προκύψουν χρήσιμα αποτελέσματα σε εύθετο χρόνο.

Η προσέγγιση που κάνουμε, που είναι σχετική με το πεδίο των δυναμικών συστημάτων (Morecroft & Sterman), κάνει δύο απλές παραδοχές.

- Η ροή μεταξύ διαδικασιών είναι συνεχής
- Οι ροές δεν έχουν τυχαία στοιχεία που αποτελούνται

Για συνεχείς ροές δηλ. για τις ποσότητες που ρέουν ,μπορούν να διαχωρίζονται λεπτομερώς σε σχέση με την ποσότητα του υλικού που ρέει και τη χρονική στιγμή που γίνεται αυτό. Με το να μην υπάρχει τυχαίο στοιχείο εννοούμε ότι η ροή είναι συγκεκριμένη αν οι τιμές των μεταβλητών στην άλλη μεριά της πληροφορίας δείχνουν με βέλος τη γνωστή ροή. (Μια μεταβλητή που δεν έχει τυχαίο στοιχείο αναφέρεται ως ντετερμινιστική μεταβλητή).

Σαφώς , η παραδοχή για την συνεχή ροη δεν είναι ακριβώς σωστή για πολλές επιχειρηματικές διαδικασίες. Δεν μπορούμε να χωρίσουμε τους εργάτες σε μέρη, και επίσης δεν μπορούμε να χωρίσουμε νέες μηχανές σε μέρη. Παρόλο αυτά ,αν έχουμε να κάνουμε με διαδικασίες που αφορούν ένα σημαντικό αριθμό είτε εργατών είτε μηχανών, αυτή η παραδοχή θα φέρει αρκετά ακριβή αποτελέσματα και θα απλοποιήσει την ανάπτυξη μοντέλου και τη λύση του. Επίσης , η εμπειρία έχει δείξει ότι ακόμα και όταν οι ποσότητες έχουν θεωρηθεί μικρές, αν τους συμπεριφερθούμε ως συνεχείς συχνά είναι επαρκείς για λόγους ανάλυσης.

Οι παραδοχές των μη τυχαίων μεταβλητών για ροές είναι ίσως λιγότερο αληθινές σε πολλές ρεαλιστικές επιχειρηματικές εφαρμογές. Αλλά παραδόξως, αυτός είναι ο λόγος που μπορεί συχνά να γίνει μια ανάλυση σε μια επιχειρηματική διαδικασία. Επειδή η αβεβαιότητα είναι τόσο ευρέως παρούσα σε επιχειρηματικές διαδικασίες, πολλές ρεαλιστικές διαδικασίες έχουν εξελιχθεί να είναι σχετικά διαισθητικές στην αβεβαιότητα. Εξαιτίας αυτού , η αβεβαιότητα μπορεί να έχει σχετικά περιορισμένο αντίκτυπο στη διαδικασία. Επιπλέον θέλουμε οποιεσδήποτε τροποποιήσεις που γίνονται σε μια διαδικασία να δείχνουν κάτι το οποίο συνεχίζει να είναι σχετικό με την τυχαιότητα. Ως εκ τούτου , είναι λογικό σε πολλές αναλύσεις να θεωρούμε ότι δεν υπάρχει αβεβαιότητα, και έπειτα να γίνεται τεστ στις επιπτώσεις των πιθανών αβεβαιοτήτων.

Η εμπειρία δείχνει ότι αυτές οι δυο υποθέσεις ,μπορούν ουσιαστικά να αυξήσουν την ταχύτητα που τα μοντέλα των επιχειρησιακών διαδικασιών μπορούν να κατασκευαστούν , ενώ ακόμα κατασκευάζονται μοντέλα που είναι χρήσιμα στο να λαμβάνονται αποφάσεις.

### 3.1 Εξισώσεις για αποθέματα

Με τις συνεχείς ντετερμινιστικές παραδοχές για την ροη, μια επιχειρηματική διαδικασία είναι βασικά μοντελοποιημένη σαν ένα υδραυλικό σύστημα. Μπορούμε να σκεφτούμε τα αποθέματα ως δεξαμενές γεμάτες με υγρό και τις ροές σαν βαλβίδες ,ή ίσως πιο ακριβείς ,σαν βαλβίδες που ελέγχουν τον ρυθμό της ροής μεταξύ των δεξαμενών. Έπειτα , για να ξεκαθαρίσουμε τις εξισώσεις για την επεξεργασία των μοντέλων χρειάζεται να δώσουμε 1) την αρχική τιμή κάθε αποθέματος, και 2) τις εξισώσεις για κάθε ροη.

Παρακάτω θα εφαρμόσουμε αυτή την προσέγγιση στο γνωστό διάγραμμα αποθεμάτων -ροής στο σχήμα 2,1. Για να γίνει αυτό θα χρησιμοποιήσουμε κάποιες βασικές υπολογιστικές γνώσεις. Παρόλο αυτά, δεν χρειάζονται δύσκολοι υπολογισμοί για να γίνει αυτή η προσέγγιση. Οι υπολογιστικές μέθοδοι είναι διαθέσιμες όπως θα συζητηθεί παρακάτω και οι υπολογισμοί παρουσιάζονται γι αυτούς που επιθυμούν να κατανοήσουν τη θεωρία πίσω από τις υπολογιστικές μεθόδους.

Ο αριθμός των Potential Customers σε κάθε στιγμή είναι  $t$  ίσος με τον αριθμό των Potential Customers στην αρχή μείον τον αριθμό αυτών που έφυγαν από την ομάδα

λόγω των πωλήσεων. Αν οι πωλήσεις μετρηθούν σε πωλήσεις σε πελάτες στη μονάδα του χρόνου, και υπάρχουν αρχικά 1,000,000 Potential Customers, τότε:

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

Εξίσωση 3.1

όπου θεωρούμε ότι η αρχική τιμή του χρόνου είναι  $t=0$  και τα είναι η μεταβλητή της ολοκλήρωσης. Όμοια ,αν θεωρήσουμε ότι δεν υπάρχουν πραγματικοί πελάτες αρχικά τότε:

$$Actual\ Customers = \int_0^t sales(\tau) d\tau$$

Εξίσωση 3.2

Η διαδικασία που απεικονίζεται από τις παραπάνω εξισώσεις είναι γενική για κάθε απόθεμα. Το απόθεμα σε χρόνο  $t$  είναι ίσο με την αρχική τιμή του αποθέματος για  $t=0$  συν το ολοκλήρωμα των ροών στο απόθεμα μείον την ροή μετά το απόθεμα. Σημειώνουμε σε αυτό το σημείο ότι έχοντας ένα διάγραμμα ροών και αποθέματος όπως στο σχήμα 2.1β τότε ένα πρόγραμμα υπολογιστικό θα μπορούσε να εισάγει μία εξίσωση για κάθε τιμή του αποθέματος σε κάθε χρονική στιγμή έχοντας μόνο γνωστό την αρχική τιμή του αποθέματος. Στην πραγματικότητα , τα πακέτα προσομοίωσης δυναμικής συστημάτων αυτόματα εισάγουν αυτές τις εξισώσεις.

### 3.2 Εξισώσεις για τις ροές

Παρόλο αυτά πρέπει να εισαγάγουμε τις εξισώσεις των ροών μόνοι μας. Υπάρχουν πολλές πιθανές εξισώσεις που είναι σταθερές στο διάγραμμα αποθεμάτων και ροών στο σχήμα 2.1 β. Για παράδειγμα οι πωλήσεις μπορεί να είναι ίσες με 25,000 πελάτες/μήνα μέχρι ο αριθμός των ενδεχόμενων πελατών να πάει στο 0.

$$Sales(t) = \begin{cases} 25,000 , Potential\ Customers \\ 0\ αλλιου \end{cases}$$

Εξίσωση 3.3

Ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο είναι ότι αν πωλήσουμε ένα προϊόν μετά από διαφήμιση στους ενδεχόμενους πελάτες, τότε φαίνεται ότι είναι πιθανό ένα ποσοστό συγκεκριμένο των ενδεχόμενων πελατών να αγοράσει το προϊόν /μονάδα. Αν το 2,5% των ενδεχόμενων πελατών κάνουν μία παραγγελία κάθε μήνα ,τότε η εξίσωση των πωλήσεων είναι:

$$Sales(t) = 0,025 \times Potential\ Customers(t)$$

Εξίσωση 3.4

(Σημείωση: Με αυτή την εξίσωση η αρχική τιμή των πωλήσεων θα είναι ίση με 25,000 πελάτες /μήνα)

### 3.3 Λύνοντας τις εξισώσεις

Αν είμαστε εξοικειωμένοι με το να λύνουμε διαφορικές εξισώσεις τότε μπορούμε να λύσουμε τις εξισώσεις 3.1 και 3.2 σε συνδυασμό είτε με την 3.3 ή την 3.4 ώστε να εξασφαλίσουμε μία γραφική για τους ενδεχόμενους πελάτες στο χρόνο. Παρόλα αυτά γρήγορα γίνεται πολύ δύσκολο να λύσουμε τέτοιες εξισώσεις με το χέρι όσο ο αριθμός των αποθεμάτων και των ροών μεγαλώνει ,ή αν οι εξισώσεις των αποθεμάτων είναι πιο σύνθετες από αυτές των εξισώσεων 3.3 και 3.4. Έτσι χρησιμοποιούμε υπολογιστικά προγράμματα.

Χρησιμοποιώντας το Simantics που πρόκειται για ένα πακέτο υπολογιστικό που αφορά τη δυναμική συστημάτων , τυπικά ξεκινάμε από την εισαγωγή ενός διαγράμματος αποθεμάτων και ροών για ένα μοντέλο.

Στη συνέχεια εισάγουμε τις αρχικές τιμές για τα διάφορα αποθέματα στο μοντέλο , καθώς επίσης και τις εξισώσεις για τις ροές . Μόλις γίνει αυτό , τότε δίνουμε εντολή στο σύστημα για την επίλυση του σετ εξισώσεων. Η διαδικασία αυτή «λύση» αναφέρεται ως προσομοίωση , και το αποτέλεσμα είναι ένας χρόνος - ιστορικό για κάθε μία από τις μεταβλητές στο μοντέλο. Η αναφορά του χρόνου για κάθε συγκεκριμένη μεταβλητή μπορεί να εμφανιστεί είτε σε γραφική μορφή ή σε μορφή πίνακα .Το σχήμα 3.1 δείχνει τις εξισώσεις για το μοντέλο χρησιμοποιώντας τις 3.1 και 3.2 για τα δύο αποθέματα , και είτε την εξίσωση 3.3 ή την εξίσωση 3.4 για τις ροές των πωλήσεων.

Στο 3.1 φαίνονται παρουσιάζονται οι εξισώσεις που δηλώνουμε σε κάθε αντικείμενο που έχει το μοντέλο μας στο Simantics κάποιες από αυτές είναι ίδιες με το μαθηματικό μοντέλο και κάποιες αλλάζουν. Η εξίσωση 1 και για το a και για το b αντιστοιχεί στην εξίσωση 3.2 και η εξίσωση 4 στην 3.1 και οι 2 αντιστοιχούν σε ολοκληρώματα, το αρνητικό πρόσημο στο integral δηλώνει εκροή ενώ το θετικό εισροή. Οι εξισώσεις 5 για το a και β είναι απλή μετάφραση των μαθηματικών εξισώσεων 3.3 και 3.4 αντίστοιχα. Τέλος τα start και stop time δηλώνουν την αρχή και το τέλος του πειράματός μας και το step length είναι το βήμα υπολογισμού.

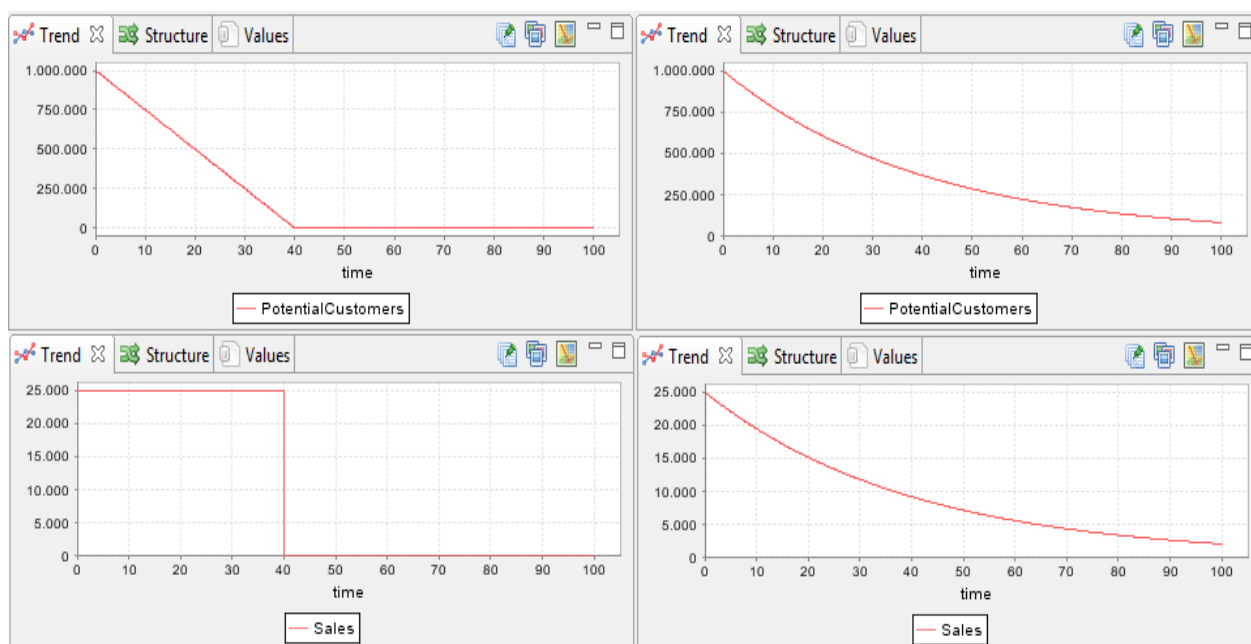
1. Actual Customers = Integral(Sales)  
Initial Value = 0
2. Stop time = 0
3. Start time = 100
4. Potential Customers = Integral(-Sales)  
Initial Value = 1000000
5. Sales = **if** Potential Customers>0 **then** 25000 **else** 0
6. Step Length = 1
  - a. Εξισώσεις με σταθερές πωλήσεις

1. Actual Customers = Integral(Sales)  
Initial Value = 0
  2. Stop Time = 0
  3. Start Time = 100
  4. Potential Customers = Integral(-Sales)  
Initial Value = 1000000
  5. Sales = 0.025 \* Potential Customers
  6. Step Length = 1
- b. Εξισώσεις με αναλογικές πωλήσεις  
3.1 Εξισώσεις

### 3.4 Λίγα λόγια για τις εξισώσεις

#### Λύνοντας το μοντέλο

Τα διαγράμματα χρόνου για τις πωλήσεις και τους ενδεχόμενους πελάτες μεταβλητές εμφανίζονται στο σχήμα 3.2. Οι γραφικές παραστάσεις στο Σχήμα 3.2α παρήχθησαν χρησιμοποιώντας τις παραπάνω εξισώσεις, και τα διαγράμματα στο σχήμα 3.2β παρήχθησαν χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις για τις αναλογικές μεταβλητές. Βλέπουμε ότι οι πωλήσεις παραμένουν σε 25.000 πελάτες ανά μήνα έως οι ενδεχόμενοι πελάτες εξαντληθούν σε χρόνο  $t = 40$ . Στη συνέχεια, οι πωλήσεις πέφτουν στο μηδέν. Οι ενδεχόμενοι πελάτες μειώνονται γραμμικά από την αρχική τιμή ένα εκατομμύριο στο μηδέν σε χρόνο  $t = 40$ . Αν και δεν φαίνεται στην παρούσα γραφική παράσταση είναι εύκολο να δούμε ότι οι πραγματικοί πελάτες πρέπει να αυξάνονται γραμμικά από το μηδέν αρχικά σε ένα εκατομμύριο τον χρόνο  $t = 40$ . Στο Σχήμα 3.2β, οι πωλήσεις μειώνονται με ένα εκθετικό τρόπο από μία αρχική τιμή των 25.000, και παρομοίως οι ενδεχόμενοι πελάτες μειώνονται επίσης με εκθετικό τρόπο. (Στην πραγματικότητα, μπορεί να αποδειχθεί ότι αυτές οι δύο καμπύλες είναι ακριβώς εκθετικές.)



a. σταθερές πωλήσεις

b. αναλογικές πωλήσεις

### 3.2 Διαγράμματα

### 3.5 Μερικά πρόσθετα Σχόλια

Καθώς οι μεταβλητές των ροών και των αποθεμάτων είναι όλα αυτά που απαιτούνται στην ιδέα για τη δημιουργία ενός διαγράμματος είναι συχνά χρήσιμο να εισαγάγουμε πρόσθετες μεταβλητές ώστε να διευκρινιστεί το μοντέλο διαδικασίας . Για παράδειγμα , σε ένα διάγραμμα αποθεμάτων και ροών για το προηγούμενο μοντέλο θα μπορούσε να έχει νόημα να εισαχθεί ένα ξεχωριστό όνομα μεταβλητής για το κλάσμα των πωλήσεων που δόθηκε ως 0.025 στην εξίσωση 3.4 . Αυτό θα μπορούσε να αποσαφηνίσει τη δομή του μοντέλου , καθώς επίσης και επισπεύδει την ανάλυση ευαισθησίας στα περισσότερα πακέτα προσομοίωσης των δυναμικών συστημάτων. Τέτοιες πρόσθετες μεταβλητές που ονομάζονται βοηθητικές μεταβλητές, και παραδείγματα θα είναι παρουσιάζονται παρακάτω.

## Βασικές δομές ανάδρασης

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνονται αναφορές στα πιο συνήθη πρότυπα συμπεριφοράς σε μια επιχειρηματική διαδικασία ,και παρουσιάζονται δομές διαδικασιών που μπορούν να προκαλέσουν πρότυπα συμπεριφοράς. Πολλά ενδιαφέροντα πρότυπα συμπεριφοράς που προκαλούνται τουλάχιστον εν μέρει ,από ανάδραση είναι ένα φαινόμενο το οποίο αλλάζει την τιμή των μεταβλητών επηρεάζοντας έμμεσα μελλοντικές τιμές της ίδιας μεταβλητής. Τα αιτιοκρατικά διαγράμματα (Richardson & Pugh 1981,Senge 1990), είναι ένας τρόπος γραφικής αναπαράστασης δομών ανάδρασης σε μια επιχειρηματική διαδικασία.

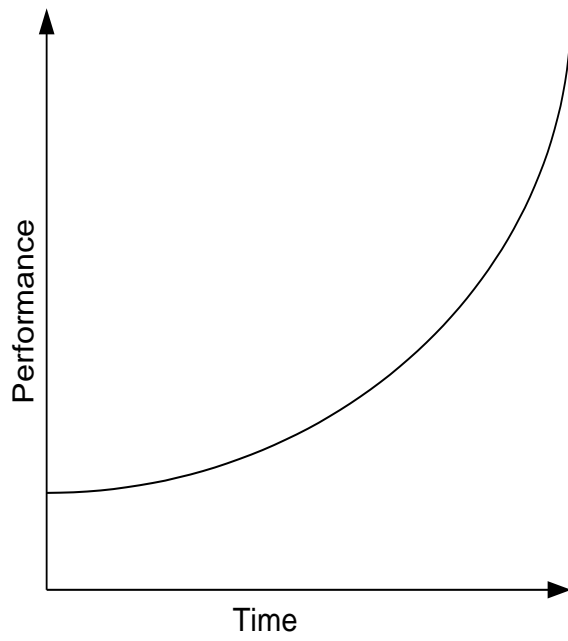
Το σχήμα 4.1 παρουσιάζει τέσσερα πρότυπα συμπεριφοράς για μεταβλητές διαδικασιών. Υπάρχουν συχνά ξεχωριστά ή σε συνδυασμό μια διαδικασία και έτσι είναι χρήσιμο να καταλάβουμε τους τύπους των δομών διαδικασίας ,τα οποία τυπικά οδηγούν σε κάθε πρότυπο.

### 4.1 Εκθετική Καμπύλη

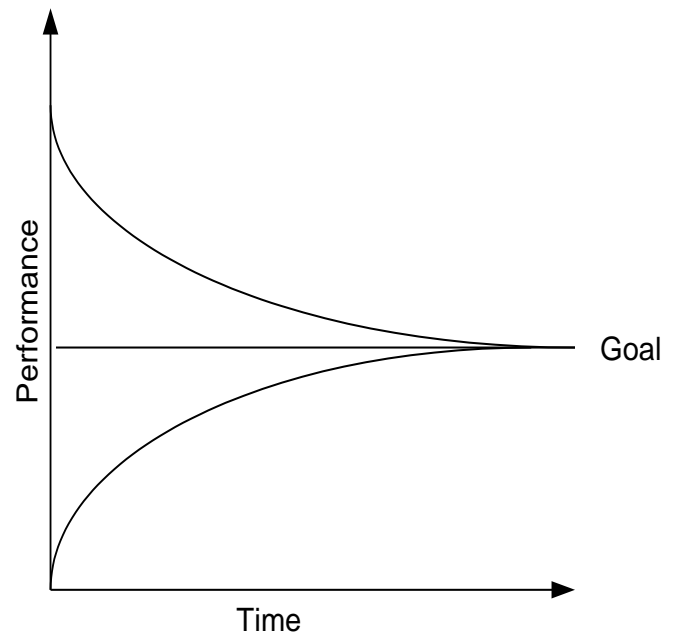
Η εκθετική καμπύλη όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1, είναι ένα κοινό πρότυπο συμπεριφοράς όπου κάποια ποσότητα «αυτοτροφοδοτείται», ώστε να αυξάνεται συνεχώς. Το σχήμα 4.2 δείχνει ένα τυπικό παράδειγμα που αφορά την αύξηση των αποταμιεύσεων με ανατοκισμό. Σε αυτή την περίπτωση, το αυξανόμενο ενδιαφέρον κερδών οδηγεί σε αύξηση αποταμιεύσεων το οποίο με τη σειρά του οδηγεί σε αύξηση του ενδιαφέροντος επειδή το ενδιαφέρον των κερδών είναι ανάλογο του επιπέδου των αποταμιεύσεων . Το σχήμα 4.2c δείχνει την χαρακτηριστική καμπύλη που σχετίζεται με τη δομή της διαδικασίας. Αυτή αναφέρεται ως εκθετική επειδή μπορεί να αποδειχθεί ότι ακολουθεί την εξίσωση της εκθετικής συνάρτησης.

Παρόλο ότι είναι πιθανό να χρησιμοποιούμε τις καθιερωμένες υπολογιστικές μεθόδους για να υπολογιστούν οι μεταβλητές του μοντέλου ,δεν τις χρησιμοποιούμε, επειδή η δομή είναι τυπικά μόνο ένα στοιχείο της περίπλοκης διαδικασίας , και έχει ρεαλιστικές ρυθμίσεις. Τα μοντέλα αυτών περίπλοκων διαδικασιών συνήθως δεν λύνονται απλά κι έτσι κάνουμε την προσομοίωση τους στο Simantics.

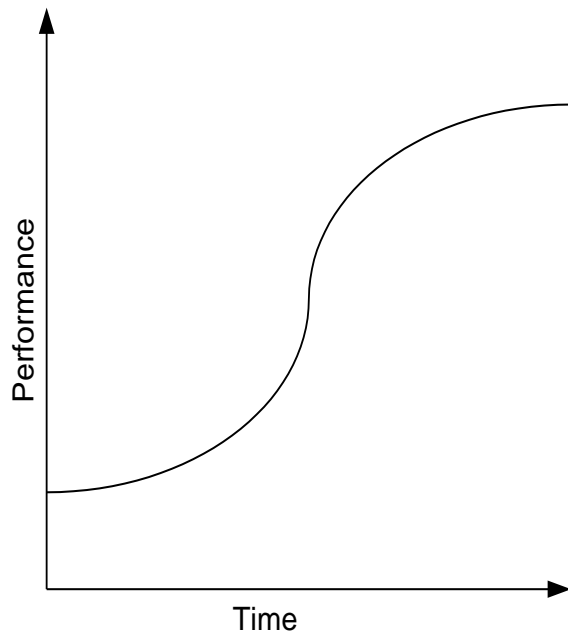
Το σχήμα 4.2b δείχνει κι άλλα χαρακτηριστικά της εκθετικής καμπύλης. Στο διάγραμμα , ο χρόνος που έχουμε θεωρήσει είναι διακόσια χρόνια. Όταν αυτό γίνει , παρατηρούμε ότι η εκθετική καμπύλη μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα παρουσιάζει το φαινόμενο όπου δεν φαίνεται η αύξηση για ένα χρονικό διάστημα και μετά η αύξηση μεγαλώνει δραματικά. Αυτό συμβαίνει επειδή με την εκθετική καμπύλη (σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο όπου διπλασιάζεται η τιμή της αυξανόμενης μεταβλητής -καλείται χρόνος διπλασιασμού), είναι μια σταθερά ανεξάρτητη της τιμής της παρούσας μεταβλητής.



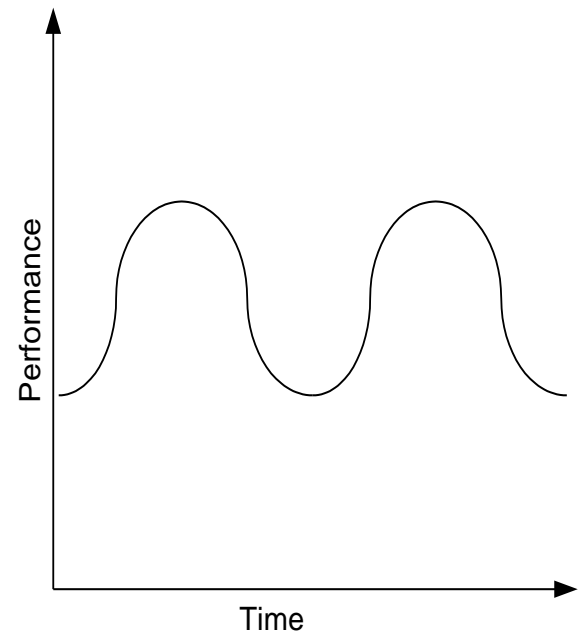
a.Exponential growth



b.Goal-seeking



c.S-shaped

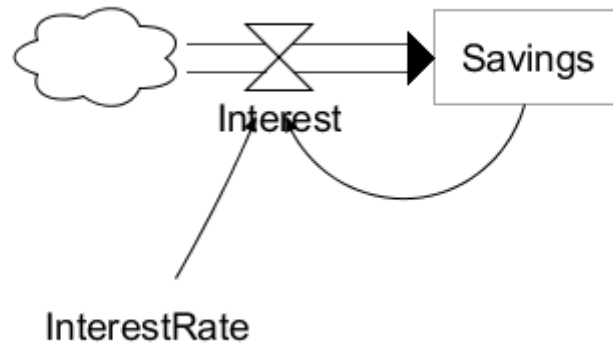


d.Oscillation

Σχήμα 4.1. Χαρακτηριστικά πρότυπα συστημάτων συμπεριφοράς



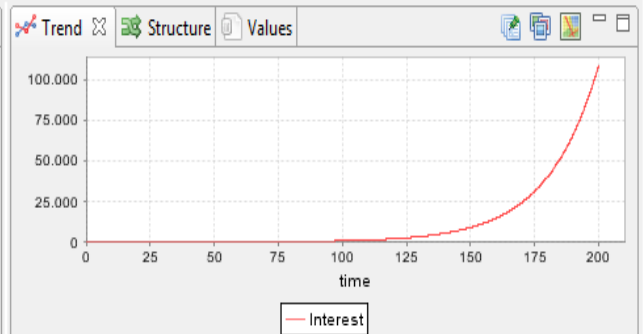
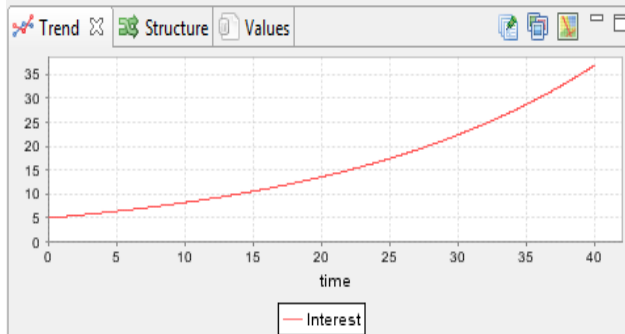
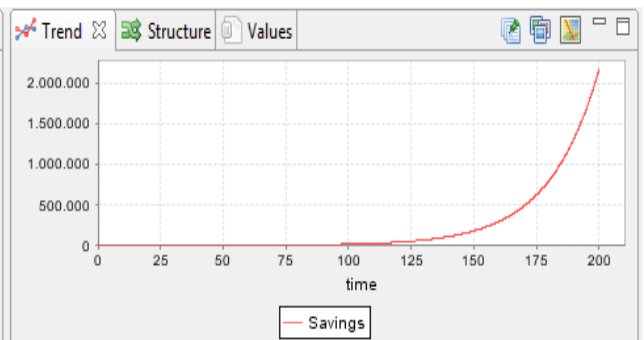
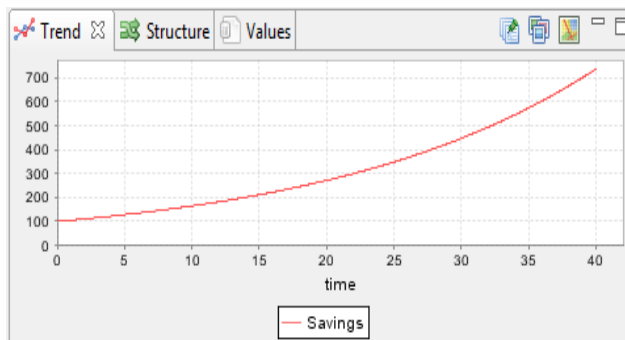
Έτσι, όσο χρόνο θα μας πάρει για να διπλασιάσουμε από το ένα στο δυο, θα μας πάρει για να διπλασιάσουμε από το 1000 στο 2000 και από το 1000000 στο 200000. Ως εκ τούτου, καθώς οι μεταβλητές αυξάνουν με σταθερό εκθετικό ρυθμό, όπως φαίνεται στο 4.2b εξαιτίας της κάθετης αύξησης της γραφικής, οι αυξήσεις των τιμών φαίνονται στο τέλος της περιόδου.



4.2a Διάγραμμα με απόθεμα και ροή

1. Stop time = 40
2. Start time = 0
3. Interest = Interest Rate \* Savings
4. Interest rate = 0.05
5. Savings = Integral(Interest)  
Initial Value = 100
6. Step length = 0.0625

#### 4.2 b. Εξισώσεις



c.για 40 χρόνια

d.για 200 χρόνια

Σχήμα 4.2. c Εκθετική καμπύλη για την ανάδραση

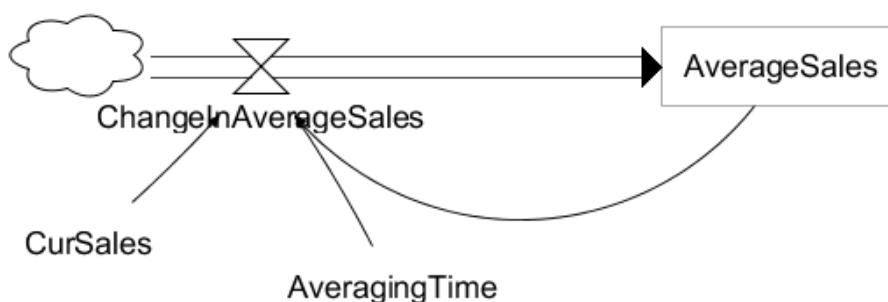
## 4.2 Αναζήτηση Στόχων

Στο σχήμα 4.2 φαίνεται η αναζήτηση στην συμπεριφορά στόχων ,στην οποία η μεταβλητή διαδικασίας οδηγείται σε μια συγκεκριμένη τιμή. Το σχήμα 4.3 δείχνει μια διαδικασία με τέτοιου είδους συμπεριφορά. Όπως αλλάζουν οι «παρούσες αξίες», το επίπεδο του μέσου όρου πωλήσεων σχεδιάζεται , με μια μονόχρωμη γραμμή, η οποία φτάνει την τιμή 10. Μέχρι αυτόν τον χρόνο, ο μέσος όρος πωλήσεων έχει την ίδια τιμή με τις παρούσες πωλήσεις, κι έπειτα οι τιμές αντιστρέφονται καθώς θέλει χρόνο για τον μέσο όρο πωλήσεων να ξεκινήσει αργά ώστε να πάρει την ίδια τιμή με τις «παρούσες πωλήσεις».

Αν ο μέσος όρος πωλήσεων είναι κάτω από τις παρούσες πωλήσεις τότε υπάρχει ροή από το απόθεμα του μέσου όρου πωλήσεων. Αντίστοιχα αν ο μέσος όρος πωλήσεων είναι μεγαλύτερος από την τιμή των παρουσών πωλήσεων , τότε υπάρχει μια ροή από το απόθεμα του μέσου όρου πωλήσεων. Είτε σε αυτή την περίπτωση η ροή συνεχίζει όσο ο μέσος όρος πωλήσεων διαφέρει από τις παρούσες πωλήσεις.

Είναι πιθανό , να λύσουμε τέτοιες εξισώσεις για την αναζήτηση στόχου για να δείξουμε ότι η εξίσωση για την καμπύλη μιας μεταβλητής που κινείται προς ένα στόχο, έχει εκθετική μορφή. (σχήμα 4.3). Ωστόσο, η εκθετική καμπύλη σε μια διαδικασία αναζήτησης στόχων συχνά είναι ένα κομμάτι μιας μεγαλύτερης διαδικασίας για την οποία δεν είναι δυνατόν να εξασφαλίσουμε μια απλή λύση, κι έτσι δείχνουμε τις εξισώσεις για την προσομοίωση της διαδικασίας.

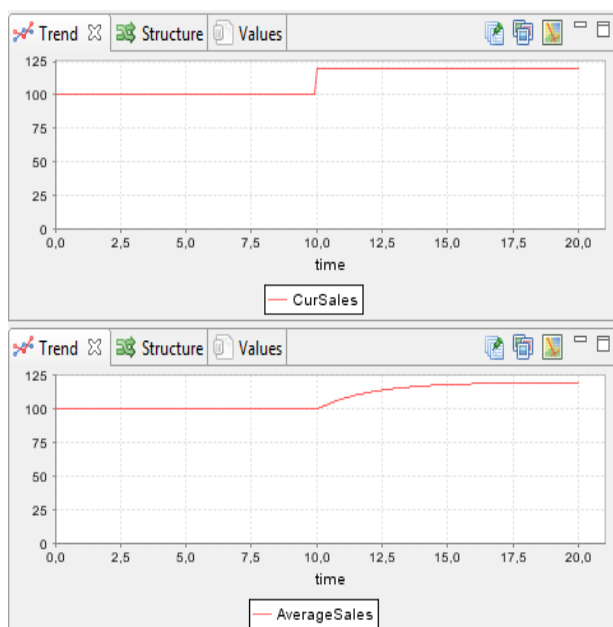
Σημείωση: Για την διαδικασία στο σχήμα 4.4 έχουμε αρνητική ανάδραση .Όσο η τιμή στη μεταβλητή «αλλαγή στον μέσο όρο πωλήσεων «μεγαλώνει», αυτό προκαλεί μια αύξηση στην τιμή του μέσου όρου πωλήσεων το οποίο οδηγεί στη μείωση της τιμής «αλλαγή στο μέσο όρο πωλήσεων».



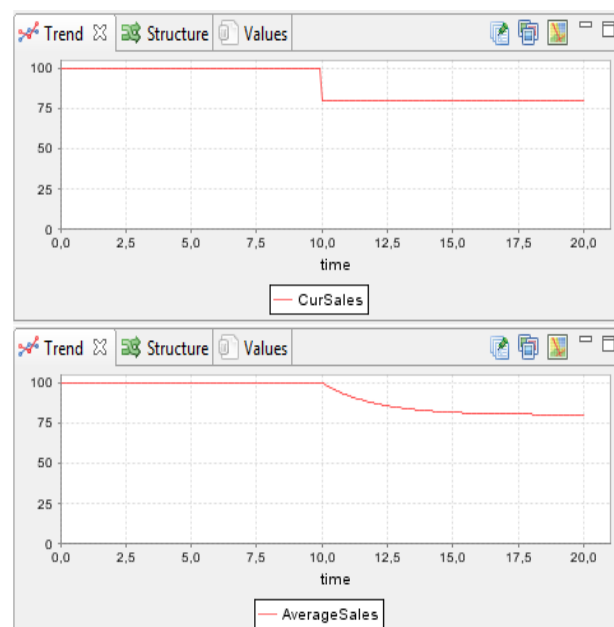
4.3 α. Διάγραμμα με απόθεμα και ροή

1. Average Sales = Integral (Change in average Sales)  
Initial Value = 100
2. Averaging Time = 2
3. Change in average sales = (Current Sales – Average Sales)/Averaging Time
4. Current Sales = 100 + STEP(20,10)
5. Stop Time = 20
6. Start Time = 0
7. Step length = 0.0625

### 4.3β Εξισώσεις



c. Ανοδικές πωλήσεις



d. Καθοδικές πωλήσεις

Σχήμα 4.3.c Διαδικασία αναζήτησης στόχου

## 4.3 S-Εκθετική καμπύλη

Η εκθετική καμπύλη μπορεί να δώσει σημαντικά αποτελέσματα ειδικά σε ότι αποφέρει κέρδος. Ωστόσο υπάρχουν όρια σε αυτή την ανάπτυξη όχι και τόσο εμφανή τα οποία επηρεάζουν την εκθετική καμπύλη και αλλάζει συμπεριφορά και γίνεται όπως οι καμπύλες αναζήτησης στόχου, σχήμα 4.1c.

Το σχήμα 4.4 δείχνει την δομή μιας επιχειρηματικής διαδικασίας η οποία μπορεί να οδηγήσει σε S εκθετική καμπύλη. Αυτό δείχνει μια πιθανή δομή για την πώληση κάποιου αγαθού από στόμα σε στόμα, για το οποίο οι πρόσφατοι χρήστες είναι η πηγή για νέους χρήστες. Αυτό μπορεί να ονομαστεί «μετάδοση», σαν μοντέλο πωλήσεων ,δηλ. το να γίνεις χρήστης αυτού του προϊόντος είναι μεταδοτικό και σε άλλους ανθρώπους. Υποθέτουμε ότι υπάρχει ένας συγκεκριμένος αρχικός συνολικός σχετικός πληθυσμός Initial Total Relevant Population των πιθανών πελατών για ένα προϊόν. Αυτό είναι το όριο το οποίο θα σταματήσει εντελώς την ανάπτυξη των πραγματικών πελατών. Σε αυτό το σημείο υπάρχει ένας συνολικός αριθμός ενδεχόμενων πελατών ,Potential Customers που δεν έχουν αγοράσει ακόμα το προϊόν. Οπτικοποιώντας τη διαδικασία κάποιου από τους Potential Customers κατά τη μετατροπή του σε πραγματικούς πελάτες γίνεται ως εξής. Οι δυο ομάδες ατόμων των πραγματικών πελατών και των ενδεχόμενων πελατών μπορούν να επανακυκλοφορούν ανάμεσα σε μεγαλύτερους πληθυσμούς και με τον καιρό δημιουργούν επαφές. Όταν δημιουργήσουν επαφή υπάρχει μια πιθανότητα ότι τα σχόλια του ατόμου που είναι πραγματικός πελάτης θα προκαλέσουν κάποιον που είναι ενδεχόμενος πελάτης να το αγοράσει.

Το μοντέλο που φαίνεται στο 4.4 υποθέτει ότι για κάθε επαφή μεταξύ ενός ατόμου που είναι πραγματικός πελάτης κι ενός ατόμου που είναι στον πληθυσμό και είναι πιθανό να αγοράσει , υπάρχει ένας αριθμός πωλήσεων που είναι ίσος με τον ρυθμό πωλήσεων (η οποία είναι πιθανόν να είναι λιγότερο από ένα σε ρεαλιστικές ρυθμίσεις). Ο αριθμός των πωλήσεων /μονάδα χρόνου θα είναι ίσος με τις πωλήσεις /επαφή φορές . Αλλά με τις υποτιθέμενες τυχαίες επαφές μεταξύ ατόμων και στις δυο ομάδες ο αριθμός των επαφών /χρόνο θα είναι ανάλογος στα 2 μεγέθη των πραγματικών πελατών και των ενδεχόμενων.

Η σταθερά αναλογίας ονομάζεται ρυθμός βάσης επαφής κι αντιπροσωπεύει τον αριθμό των επαφών /χρόνο για κάθε μια από τις δυο ομάδες που έχει μέγεθος ένα. (αυτός είναι ο αριθμός επαφών /χρόνο μεταξύ κάθε συγκεκριμένου μέλους των πραγματικών πελατών και κάθε συγκεκριμένου αριθμού της ομάδας των υποθετικών πελατών).

Το επιχείρημα της τελευταίας παραγράφου για ένα πολλαπλασιαστή που αφορά την εξίσωση «πωλήσεων», κατά κάποιο τρόπο είναι παραπληροφόρηση . Μια πιο τυπική διατύπωση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τη θεωρία των πιθανοτήτων . Επιλέγω μια μικρή χρονική περίοδο τόσο ώστε οι περισσότερες επαφές μπορούν να βρεθούν μεταξύ ατόμων των πραγματικών πελατών και των ενδεχόμενων λαμβάνοντας υπόψη πόσο μεγάλες είναι αυτές οι ομάδες ατόμων. Έπειτα θεωρούμε ότι η πιθανότητα κάθε μέλος των πραγματικών πελατών να επικοινωνήσει με κάθε μέλος των ενδεχόμενων πελατών στη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου είναι P. Έπειτα αν η πιθανότητα είναι σχετικά μικρή (το οποίο γίνεται μειώνοντας την χρονική περίοδο που έχουμε υποθέσει), η πιθανότητα για κάθε μέλος των πραγματικών πελατών που μπορεί να επικοινωνήσει με κάθε μέλος του υποτιθέμενου πληθυσμού και είναι ίση με

$$P \times \text{Ενδεχόμενοι πελάτες.}$$

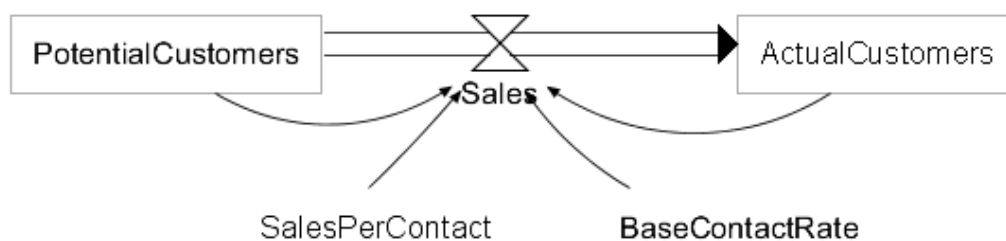
Θεωρώντας ότι αυτή η πιθανότητα είναι σχετικά μικρή για κάθε μέλος ξεχωριστά του πληθυσμού των πραγματικών πελατών, τότε η πιθανότητα για κάθε μέλος του πληθυσμού των πραγματικών πελατών είναι αυτή η πιθανότητα πολλαπλασιασμένη με τους πραγματικούς πελάτες

$$P \times \text{Ευπαθής πληθυσμός} \times \text{Πραγματικοί πελάτες}$$

Θεωρώντας την αλληλεπίδραση μεταξύ δυο ομάδων είναι μια κατανομή Poisson και η πιθανότητα μιας επιτυχούς αλληλεπίδρασης επιτυγχάνεται όταν η διαδικασία πωλήσεων είναι τυχαία στην κατανομή Poisson κι έτσι κι αυτή είναι ίδια κατανομή. Επομένως ο αναμενόμενος αριθμός των πωλήσεων /χρόνο, είναι ανάλογος στην παραπάνω πιθανότητα και με τη σειρά του ανάλογο στον αναμενόμενο πληθυσμό των πραγματικών πελατών.

Το πρότυπο  $S$  καμπύλης, φαίνεται με πολλά νέα προϊόντα. Αρχικά η διαδικασία αυξάνει εκθετικά και μετά φτάνει σε ένα επίπεδο που σταθεροποιείται. Οι πωλήσεις αυξάνονται εκθετικά με τον χρόνο και μετά μειώνονται. Οι πωλήσεις επίσης αυξάνονται εκθετικά για ένα διάστημα και μετά μειώνονται. Αυτό μπορεί να είναι μια δύσκολη διαδικασία επειδή το όριο της ανάπτυξης δεν είναι εμφανές καθώς η εκθετική αύξηση είναι σε εξέλιξη. Για παράδειγμα όταν ένα προϊόν όπως ένα smart phone που παρουσιάζεται, ποιος είναι ο συνολικός σχετικός αριθμός των πιθανών πελατών του προϊόντος; Η διαφορά μεταξύ ενός μονάτου smart phone κι ενός παλαιού τύπου είναι δύσκολο να προβλεφθεί.

Σημειώνουμε σε αυτό το σημείο ότι υπάρχουν δυο βρόγχοι ανάδρασης ένας θετικός κι ένας αρνητικός, κι περιέχουν μεταβλητές πώλησης από το 4.5 διάγραμμα. Ο θετικός βρόγχος περιλαμβάνει πωλήσεις και πραγματικούς πελάτες. Ο αρνητικός βρόγχος περιλαμβάνει Sales και Potential Customers. Στην αρχή ο θετικός βρόγχος κυριαρχεί, αλλά αργότερα κυριαρχεί ο αρνητικός. Υπάρχει ακόμα ένας βρόγχος ανάδρασης μεταξύ της αρχικής κατάστασης των υποθετικών πελατών. Υπάρχει ένας ακόμα ένας βρόγχος ανάδρασης μεταξύ αρχικής κατάστασης υποθετικών πελατών ο οποίος εξαρτάται από πραγματικούς πελάτες. Παρόλο αυτά αυτό δεν ισχύει όταν ενεργοποιηθεί η διαδικασία.



4.4 α Διάγραμμα με απόθεμα και ροή

1.  $\text{Actual Customers} = \text{Integral}(\text{Sales})$

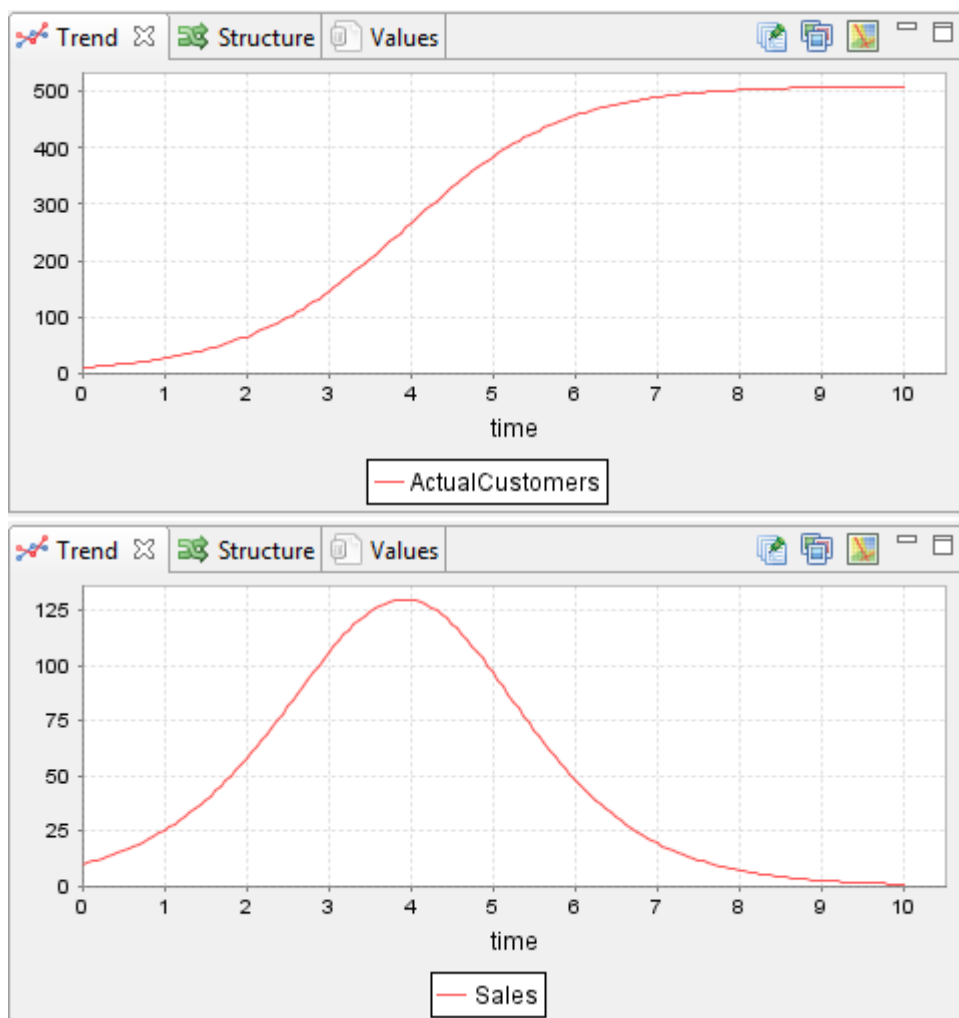
Initial Value = 10

2. Base Contact Rate = 0.02
3. Stop Time = 10
4. Start Time = 0
5. Potential Customers = Integral(-Sales)

Initial Value = 500

6. Sales = Base Contact Rate \* Sales Per Contact \* Actual Customers \* Potential Customers
7. Sales Per Contact = 0.1
8. Step Length = 0.0625

#### 4.4β Εξισώσεις

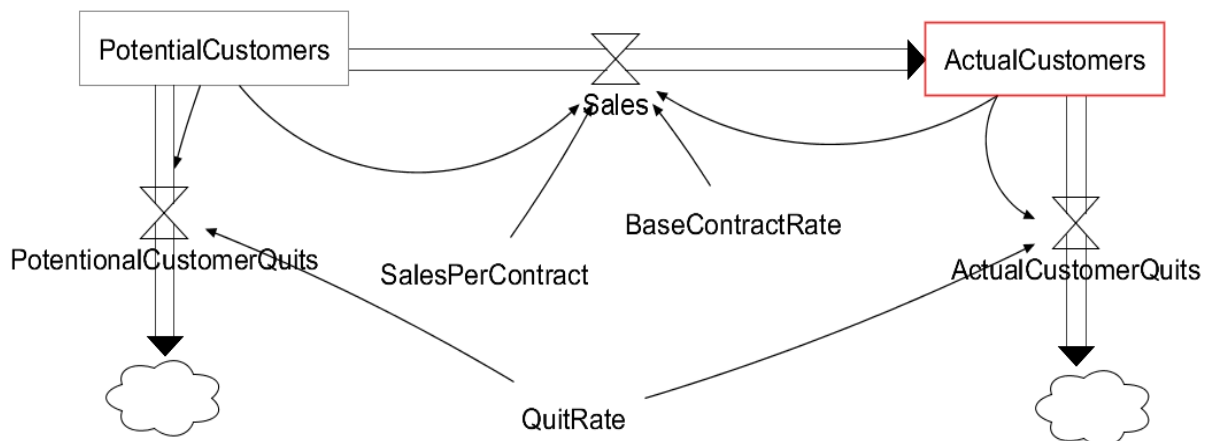


α. Πελάτες και Πωλήσεις

Σχήμα 4.4. S Καμπύλη

#### 4.4 S μορφοποιημένη καμπύλη που ακολουθείται από ελάττωση

Το σχήμα 4.5 δείχνει μια διαδικασία για ένα μοντέλο σε διάφορες S καμπύλες. Σε αυτή τη διαδικασία έχουμε θεωρήσει ότι κάποιοι Actual Customers και κάποιοι Potential Customers μόνιμα παραιτούνται. Τέτοιου είδους διαδικασία θα μπορούσε να έχει νόημα σε ένα «ιδανικό κόσμο» για ένα ανθεκτικό αγαθό που εισέρχεται στην αγορά. Σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσε να υπάρχει ένας αρχικός σχετικός συνολικός πληθυσμός των Potential Customers αλλά κάποιοι από αυτούς που αγοράζουν το προϊόν και γίνονται Actual Customers μπορεί να χάσουν το ενδιαφέρον τους στο προϊόν και παύουν να το κουβεντιάζουν με τους Potential Customers. Όμοια κάποιοι Potential Customers χάνουν το ενδιαφέρον τους για το προϊόν πριν έρθουν σε επαφή με τους Actual Customers. Σταδιακά οι πωλήσεις και η χρησιμότητα του προϊόντος αρχίζουν να φθίνουν. Από τη εξίσωση που περιγράφει τη διαδικασία παραίτησης για τους Potential Customers και τους Actual Customers φαίνεται καθώς η εκθετική καμπύλη έχει αντίστροφη λειτουργία. Αυτό συμβαίνει γιατί ο αριθμός των Actual Customers που φεύγει είναι ανάλογος του αριθμού που των Potential Customers που έρχονται, όπως συμβαίνει σε μια εκθετική καμπύλη. Αυτή η διαδικασία αναχώρησης μπορεί επίσης να θεωρηθεί σαν διαδικασία ισορροπίας με στόχο το μηδέν και ονομάζεται εκθετική ύφεση. Από το σχήμα 4.5 βλέπουμε ότι η διαδικασία εκθετικής ύφεσης αναπόφευκτα οδηγεί σε μείωση του αριθμού των Actual Customers.

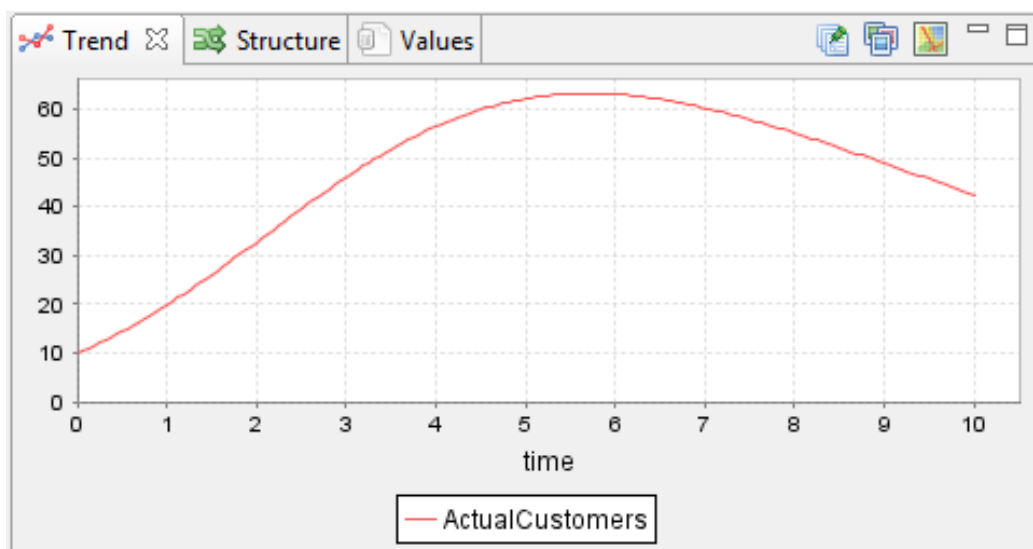


4.5 α Διάγραμμα με stock και ροή

1.  $\text{Actual Customer Quits} = \text{Quit Rate} * \text{Actual Customers}$
2.  $\text{Actual Customers} = \text{Integral}(\text{Sales} - \text{Actual Customers Quits})$   
Initial Value = 10
3.  $\text{Base Contact Rate} = 0.02$

4. Stop Time = 10
5. Start Time = 0
6. Potential Customer Quits = Quit Rate \* Potential Customers
7. Potential Customer = Integral(-Sales – Potential Customers)  
Initial Value = 500
8. Quit Rate = 0.2
9. Sales = Base Contact Rate \* Sales Per Contact \* Actual Customers \*  
Potential Customers
10. Sales Per Contact = 0.1
11. Step Length = 0.0625

## 4.5β Εξισώσεις



a. Πελάτες

Σχήμα 4.5.c S Καμπύλη που ακολουθείται από μείωση

## 4.5 Ταλάντωση

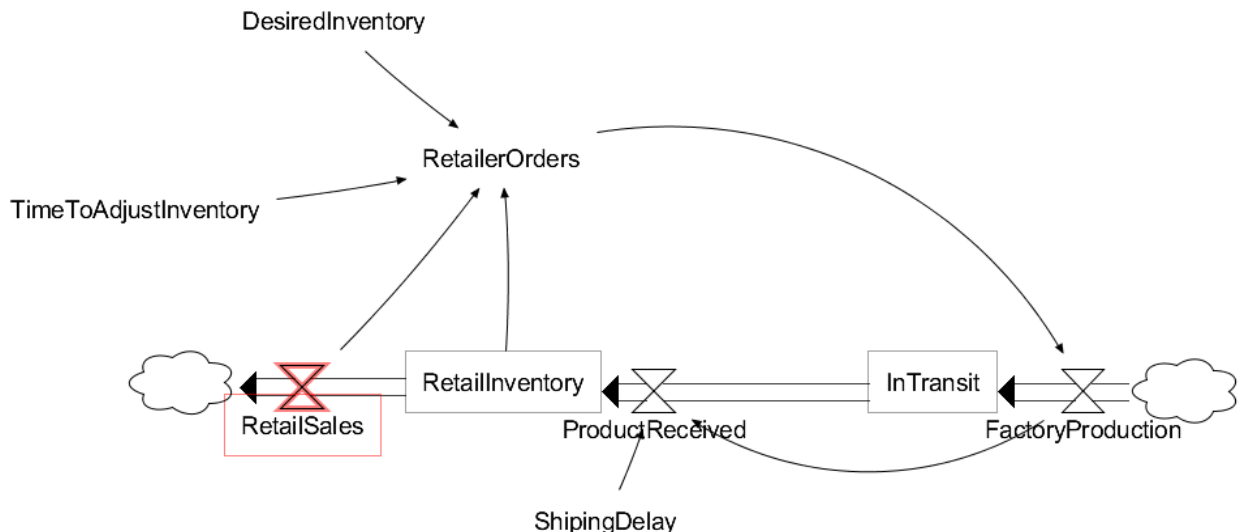
Το σχήμα 4.6 τα διάγραμμα αποθεμάτων και ροών είναι μια απλουστευμένη εκδοχή μιας διαδικασίας παραγωγής –διανομής. Σε αυτή τη διαδικασία οι οδηγίες προς το εργοστάσιο για τη λιανική πώληση εξαρτώνται από τις λιανικές πωλήσεις και το επίπεδο των Retail Inventory των Retail Sales. Η παραγωγή του εργοστασίου φαίνεται αμέσως καθώς εκπληρώνονται οι Retail Orders, αλλά υπάρχει μία καθυστέρηση στη λήψη των προϊόντων εξαιτίας της καθυστέρησης της αποστολής.

Σε αυτή τη διαδικασία οι Retail Sales είναι 100 μονάδες ανά εβδομάδα μέχρι την 5<sup>η</sup> εβδομάδα και σε αυτό το σημείο πηγαίνει στις 120 μονάδες και παραμένει εκεί για το υπόλοιπο της προσομοίωσης. Όπως φαίνεται από το σχήμα 4.6 υπάρχουν ουσιώδεις ταλαντώσεις σε μεταβλητές «κλειδιά» στη διαδικασία.



Εκτός να υπάρχουν πολύ ασυνήθιστες εξισώσεις ροής ,πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δυο αποθέματα σε μια διαδικασία για να ταλαντώνεται. Επίσης ο βαθμός ταλάντωσης συνήθως προσκρούεται στις καθυστερήσεις μιας διαδικασίας. Ο σημαντικός ρόλος των αποθεμάτων και των καθυστερήσεων που προκαλούν μία ταλάντωση είναι ένας από τους παράγοντες που οι κινήσεις των συστημάτων παραγωγής και παραγγελιών βασίζονται σε υπολογιστικά συστήματα. Αυτές οι προσεγγίσεις μπορούν να μειώσουν τα αποθέματα και τις καθυστερήσεις.

Το σχήμα 4.7 απεικονίζει μια άλλη πλευρά της ταλάντωσης των συστημάτων. Η διαδικασία στο σχήμα 4.7 είναι πανομοιότυπη με αυτή του σχήματος 4.6 με τη διαφορά ότι η συνάρτηση για τις λιανικές πωλήσεις έχει αλλάξει από βηματική σε ημιτονοειδής. Έτσι οι πωλήσεις είναι σταθερές για 100 μονάδες /εβδομάδα μέχρι την εβδομάδα 5 κι έπειτα οι πωλήσεις ποικίλουν ημιτονοειδώς με πλάτη κάτω από 100 μονάδες /20 εβδομάδες. Τα αποτελέσματα από τρεις διαφορετικούς κύκλους φαίνονται στο σχήμα 4.7.

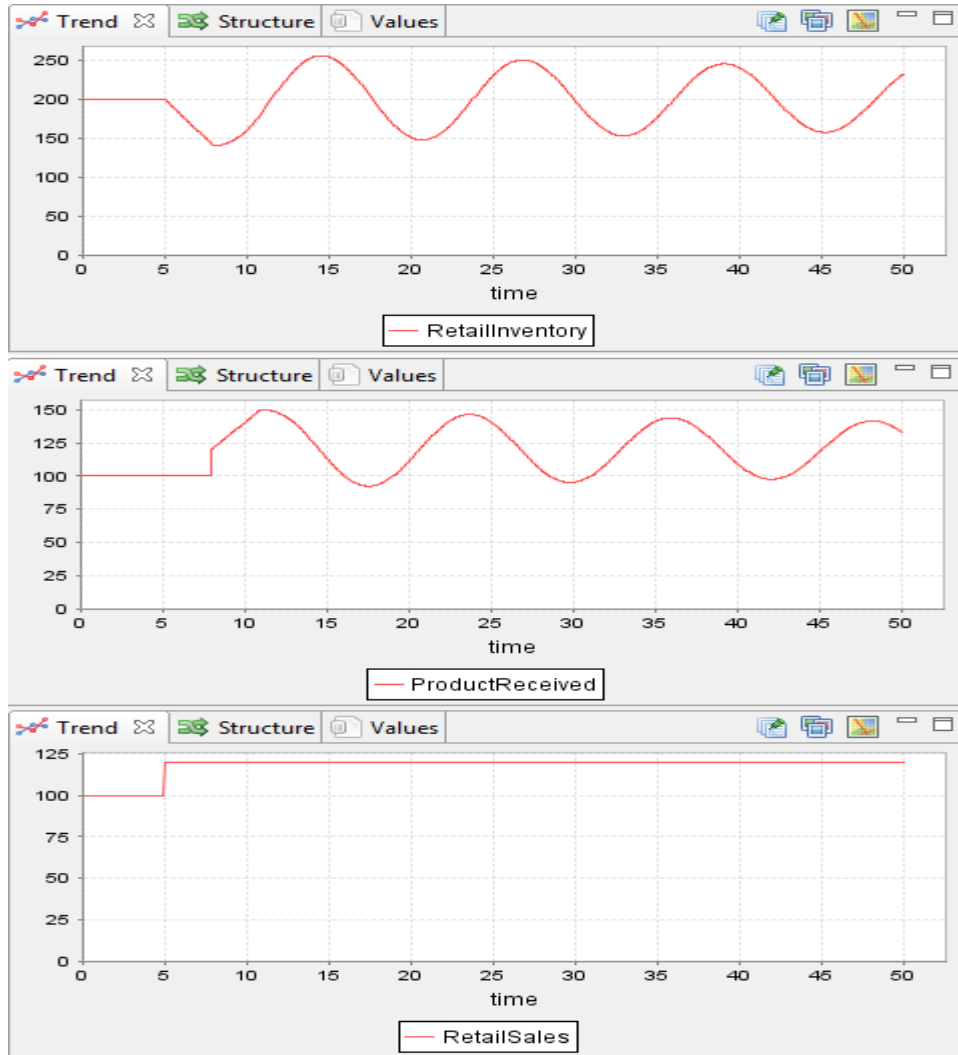


4.6a Διάγραμμα με stock και ροή

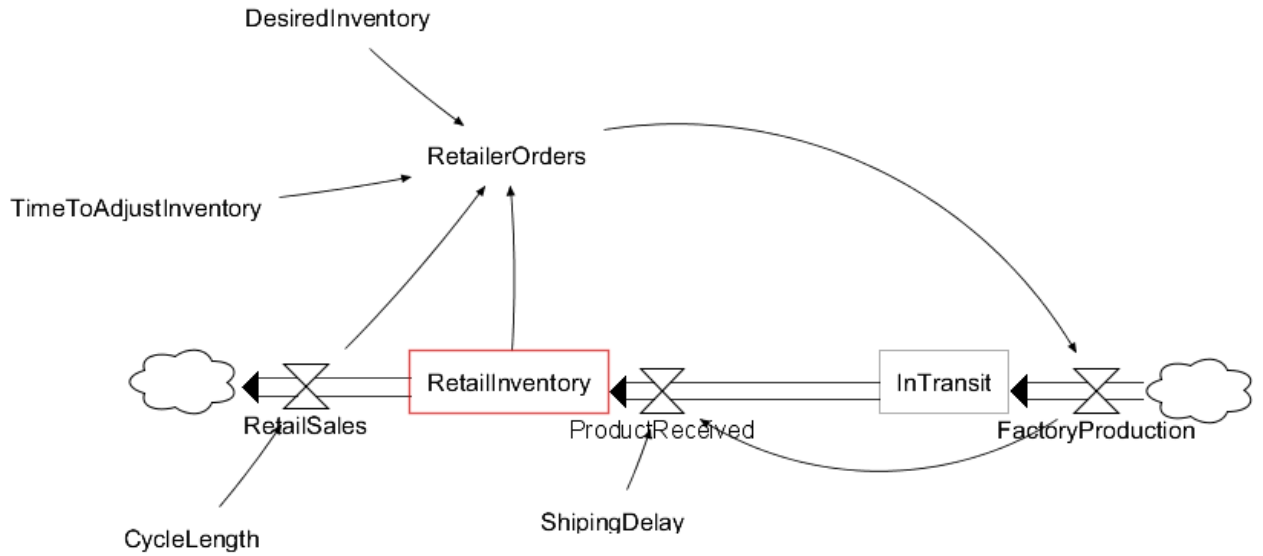
1. Desired Inventory = 200
2. Factory Production = Retailer Orders
3. Stop Time = 50
4. In Transit = Integral(Factory Production – Orders Received)  
Initial Value = 300
5. Start Time = 0
6. Product Received = delay(Factory Production, Shipping Delay)
7. Retail Inventory = Integral(Product Received – Retail Sales)  
Initial Value= 200

8. Retail Sales = 100+STEP(20,5)
9. Retailer Orders = Retail Sales + (Desired Inventory – Retail inventory)/ Time to Adjust Inventory
10. Shipping Delay = 3
11. Step Length = 0.0625
12. Time to Adjust Inventory = 2

## 4.6b Εξισώσεις



## 4.6c Ταλαντώσεις

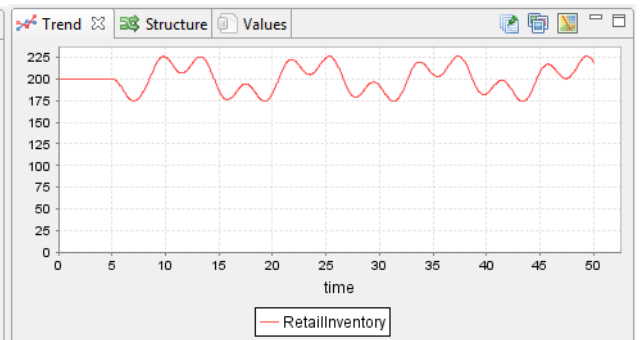
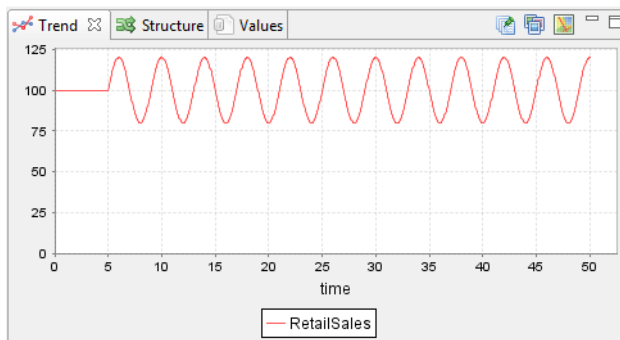


4.7a Διάγραμμα με stock και ροή

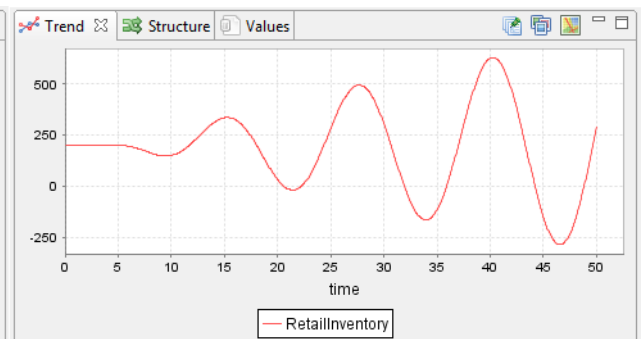
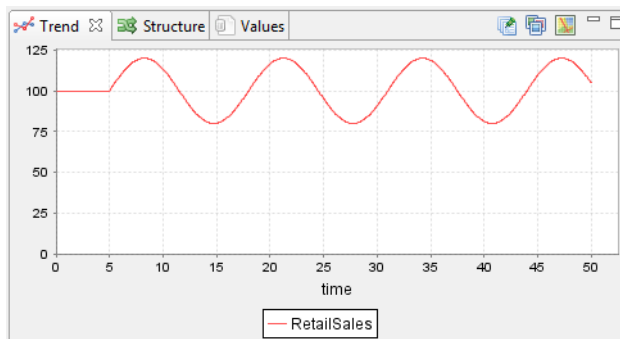
Cycle Length = 13

$$\text{Retail Sales} = 100 + \text{STEP}(20,5) * \text{SIN}(2 * 3.14159 * (\text{time} - 5) / \text{CycleLength})$$

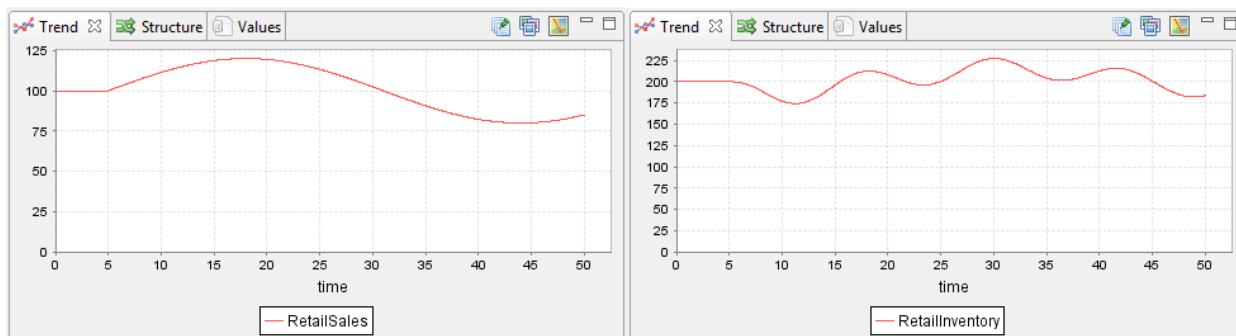
4.7b Αλλαγές στις εξισώσεις 4.6b



Cycle Length = 4



Cycle Length = 13



Cycle Length = 52

4.7c Ταλαντώσεις

## Αναπτύσσοντας ένα Μοντέλο

Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει πώς ένα μοντέλο προσομοίωσης αναπτύσσεται για μια επιχειρησιακή διαδικασία. Ειδικότερα, έχουμε αναπτύξει και διερευνούμε ένα μοντέλο για ένα απλό σύστημα παραγωγής και διανομής. Τέτοια συστήματα είναι η καρδιά των περισσότερων εταιρειών που κατασκευάζουν και πωλούν τα προϊόντα, και υπάρχουν παρόμοια συστήματα στις περισσότερες επιχειρήσεις. Ανεξάρτητα από το πού εργάζεται κάποιος μέσα σε μία εταιρία, είναι χρήσιμο να κατανοεί την ενίοτε αντιφατική συμπεριφορά που είναι δυνατόν να υπάρχει σε ένα σύστημα παραγωγής και διανομής. Όπως θα δούμε, δυσκολίες σε ένα σύστημα παραγωγής – διανομής που συχνά αποδίδονται σε εξωγενείς παράγοντες μπορούν να προκληθούν από την εσωτερική δομή του συστήματος. Ο σκοπός αυτού του παραδείγματος είναι να εξοικειωθούμε με ό,τι απαιτείται για να οικοδομήσουμε ένα μοντέλο προσομοίωσης, και πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα τέτοιο μοντέλο. Μερικές από τις λεπτομέρειες που παρουσιάζονται παρακάτω μπορεί να μην είναι απολύτως σαφείς σε αυτό το σημείο. Στα επόμενα κεφάλαια, θα ερευνήσουμε αναλυτικότερα μια σειρά από θέματα που συμβάλουν στην αποσαφήνιση αυτών των λεπτομερειών και να μας βοηθήσει στην οικοδόμηση των δικών μας μοντέλων.

Ένα βασικό διάγραμμα αποθεμάτων και ροών για ένα σύστημα παραγωγής και διανομής που θα εξετάσουμε φαίνεται στο σχήμα 5.1. Υπάρχουν δύο διαδικασίες ροής. Η διαδικασία παραγωγής που φαίνεται στην κορυφή του σχήματος προς τα δεξιά, και το σύστημα διανομής που φαίνεται στο κάτω μέρος του σχήματος προς τα αριστερά. Το σύστημα παραγωγής είναι μια ροή των παραγγελιών, ενώ το σύστημα διανομής είναι μία ροή των υλικών. Οι δύο διαδικασίες είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους με την παραγωγή του εργοστασίου, όπως φαίνεται στη δεξιά πλευρά του σχήματος. Όσο παράγονται τα προϊόντα, οι παραγγελίες για αυτά τα προϊόντα αφαιρούνται τις ανεκτέλεστες παραγγελίες του εργοστασίου και τα προϊόντα τοποθετούνται στο απόθεμα. Σημειώνουμε σε αυτό το σημείο ότι η χρήση των «μικρών σύννεφων» οι οποίες εμφανίζονται στα δεξιά και αριστερά άκρα των διαδικασιών παραγωγής και διανομής. Αυτά τα σύννεφα αντιπροσωπεύουν είτε μια πηγή είτε μια «μπανιέρα ροής» η οποία είναι εκτός της διαδικασίας που εξετάζουμε. Για παράδειγμα, το σύννεφο στην επάνω δεξιά γωνία του σχήματος δείχνει ότι δεν έχουμε λάβει υπόψη στην ανάλυσή μας τι συμβαίνει με τις παραγγελίες από τη στιγμή που έχουν ξεκινήσει από την παραγωγή στο εργοστάσιο. (Σε ένα πραγματικό σύστημα, οι παραγγελίες θα εξακολουθήσουν πιθανώς να ρέουν σε μια διαδικασία τιμολόγησης. Αυτό είναι έξω από τα όρια του τι μας ενδιαφέρει κι επομένως δείχνουμε ένα σύννεφο που απλά οι παραγγελίες εξαφανίζονται).

Το σύστημα παραγωγής - διανομής φαίνεται στο Σχήμα 5.1 είναι το απλούστερο από τα περισσότερα πραγματικά συστήματα. Αυτά συχνά περιλαμβάνουν πολλαπλά στάδια παραγωγής, καθώς επίσης και πολλαπλά στάδια διανομής (για παράδειγμα, ο διανομέας, χονδρέμπορος, και πωλητής λιανικής πώλησης), κάθε ένας από τους οποίους έχει απόθεμα αγαθών. Έτσι, φαίνεται ότι αυτό το παράδειγμα είναι

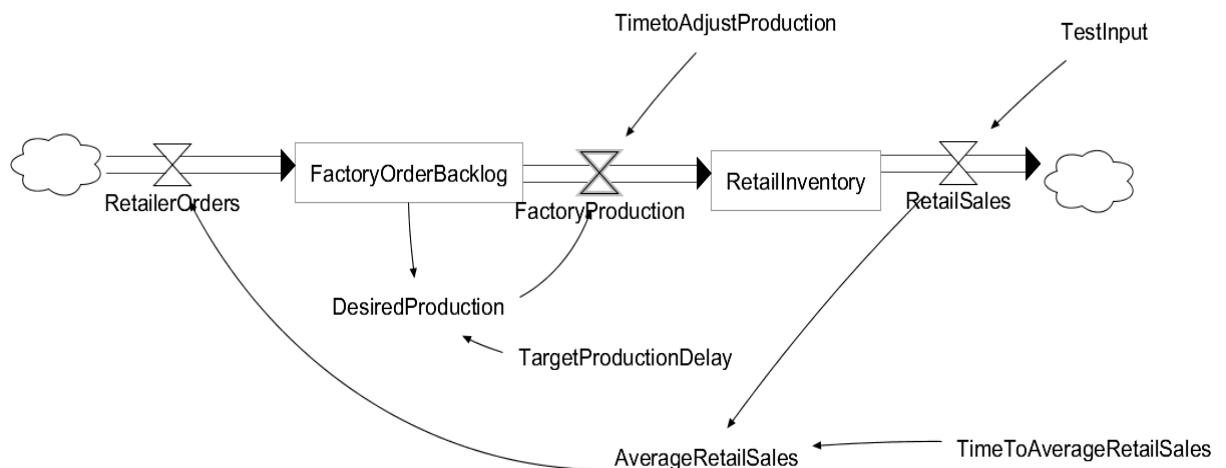
πολύ απλό να μας διδάξει πολλά και ενδιαφέροντα για τον πραγματικό κόσμο. Σίγουρα η διαίσθησή μας θα είναι αρκετή ώστε γρήγορα να βρούμε ένα καλό τρόπο για να εξομοιωθεί αυτό το σύστημα. Ίσως κι όχι. Όπως θα δούμε, αυτό το απλουστευμένο σύστημα παραγωγής - διανομής εξακολουθεί να είναι αρκετά περίπλοκο για την παραγωγή και με αντιφατική συμπεριφορά. Επιπλέον, αυτή η συμπεριφορά είναι τυπική από ότι παρατηρείται σε ένα πραγματικό σύστημα παραγωγής και διανομής. Θα μελετήσουμε την πολιτική που χρησιμοποιεί για να δώσουν τις παραγγελίες στο εργοστάσιο, το ρόλο λιανοπωλητή, και θα αναπτύξουμε πέντε διαφορετικά μοντέλα ώστε να διερευνήσουμε τις πολιτικές για τη διάθεση αυτών των παραγγελιών. Όπως θα δούμε, δεν είναι απαραίτητα εύκολο να αναπτύξουμε μια πολιτική παραγγελιών που έχει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά.



Σχήμα 5.1 ένα απλό σύστημα Παραγωγής-Διανομής

## 5.1 Το πρώτο μοντέλο

Το σχήμα 5.2, το οποίο αποτελείται από τρία μέρη, δείχνει το πρώτο μοντέλο για το σύστημα παραγωγής και διανομής, και τα άλλα τέσσερα μοντέλα τα οποία ακολουθούν αναλύονται με παρόμοιο τρόπο χωρισμένα σε τρία μέρη. Το σχήμα 5.2 δείχνει το διάγραμμα ροής και αποθεμάτων για το πρώτο μοντέλο. Το σχήμα 5.2 αναπτύχθηκε από το σχήμα 5.1 προσθέτοντας αρκετές πληροφορίες στις ροές. Στο αριστερό κέντρο του διαγράμματος, έχει προστεθεί μία βοηθητική μεταβλητή μέσης τιμής λιανικής πώλησης, μαζί με μία βοηθητική σταθερά Time to Average Sales. Στην κάτω αριστερή πλευρά του σχήματος, έχει προστεθεί άλλη μια βοηθητική μεταβλητή η Test Input.



Σχήμα 5.2α διάγραμμα stock και ροής για το πρώτο μοντέλο

Στο κέντρο του διαγράμματος Σχήμα 5.2α, μία βοηθητική μεταβλητή έχει προστεθεί «Desired Production», μαζί με μια σταθερά «Target production Delay» Τελικά στο δεξί μέρος του σχήματος, έχει προστεθεί και μία βοηθητική σταθερά «Time To Adjust Production».

## Παραγωγή Εργοστασίου

Το διάγραμμα Σχήμα 5.2α παρουσιάζει μια ειδική διαδικασία για το πώς η παραγγελία γίνεται από τον λιανοπωλητή, καθώς και τον τρόπο διαχείρισης της παραγγελίας από την παραγωγή. Θα επικεντρωθούμε στις διαφορετικές πολιτικές παραγγελιών για το λιανοπωλητή στην ανάλυσή μας, αλλά πρώτα θα αναπτύξουμε ένα μοντέλο για το πώς γίνεται η διαχείριση της παραγωγής στο εργοστάσιο.

Αυτό φαίνεται από τις μεταβλητές στη δεξιά πλευρά του Σχήματος 5.2. Από τα βέλη που εμφανίζονται εκεί, βλέπουμε ότι υπάρχει μια «επιθυμητή παραγωγή», η οποία εξαρτάται από το “Factory Order Backlog”, και το Target production Delay. Αυτή η επιθυμητή παραγωγή χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να ρυθμίσουμε την πραγματική παραγωγή εργοστασίου, αλλά υπάρχει κάποια καθυστέρηση στην προσαρμογή της παραγωγής στο εργοστάσιο, όπως φαίνεται από τη σταθερά T Time To Adjust Production.

Σε αυτό το απλοποιημένο μοντέλο για την παραγωγή, δεν υπάρχει απόθεμα εντός του εργοστασίου, αντίθετα η ροή του συστήματος παραγωγής ρυθμίζεται προσπαθώντας να διατηρήσει μια Target production Delay, η οποία μετράται σε εβδομάδες. Δηλαδή, η φιλοσοφία που διέπει αυτό το σύστημα παραγωγής είναι ότι ο εντολέας λιανικής πώλησης θα πρέπει να είναι σε θέση να προβλέψει το χρονικό διάστημα που θα χρειαστεί να λάβει μια παραγγελία. Έτσι, αν η Target production Delay είναι δύο εβδομάδες, το εργοστάσιο θα προσπαθήσει να θέσει την παραγωγή, έτσι ώστε η τρέχουσα Factory Order Backlog να είναι ξεκάθαρα δύο εβδομάδες. Σε μορφή εξίσωσης αυτό είναι :

$$\text{desired production} = \frac{\text{Factory Order Backlog}}{\text{Target production Delay}}$$

Όπου η Factory Order Backlog μετράται σε μονάδες του αγαθού που παράγεται, και η Target production Delay μετράται σε εβδομάδες.

Σε τυπικές ρεαλιστικές εργοστασιακές ρυθμίσεις, η παραγωγή δεν μπορεί να είναι στιγμιαία, να αλλάζει απόκριση στις μεταβολές των παραγγελιών, διότι χρειάζεται χρόνος για να αλλάξουμε τους πόρους παραγωγής, όπως το προσωπικό και τον εξοπλισμό. Ένα πιο σύνθετο μοντέλο παραγωγής θα περιλαμβάνει ρητή εξέταση καθενός από αυτούς τους παράγοντες, αλλά εμείς θα το ορίσουμε προσεγγιστικά, λέγοντας ότι υπάρχει μια μεταβλητή Time To Adjust Production πριν την πραγματική “factory production” η οποία φέρεται να ευθυγραμμίζει την “desired production”.

Σε πιο ρεαλιστικές ρυθμίσεις, ο ρυθμός με τον οποίο η παραγωγή μπορεί να προσαρμοστεί ποικίλει ανάλογα με τις άμεσες συνθήκες. Έτσι, η καθυστέρηση δεν θα είναι πάντα ακριβώς ίση με τη Time To Adjust Production. Ένα απλό μοντέλο για αυτό, αλλά ένα το οποίο να ταιριάζει με τα δεδομένα για πολλές ρεαλιστικές

ρυθμίσεις, είναι ότι ο χρόνος που απαιτείται για την προσαρμογή της παραγωγής ακολουθεί μια εκθετική καθυστέρηση. Εμείς θα εξετάσουμε τη συγκεκριμένη προσέγγιση με περισσότερες λεπτομέρειες πιο κάτω, αλλά προς το παρόν θεωρούμε την καθυστέρηση στην επίτευξη της πραγματικής παραγωγής σε γραμμή παραγωγής με την επιθυμητή παραγωγή να είναι μεταβλητή μήκους με χρήση της Time To Adjust Production.

Οι εξισώσεις για την παραγωγική διαδικασία, καθώς και το υπόλοιπο του μοντέλου για το σύστημα παραγωγής – διανομής φαίνονται στο Σχήμα 5.2β. Κατά τη δημιουργία ενός μοντέλου της διαδικασίας, είναι σημαντικό να διατηρηθεί η μέτρηση σε μονάδες που χρησιμοποιούν συνέχεια. . Εάν χρησιμοποιούμε μονάδες σε εβδομάδες/χρόνο και σε μία άλλη μεταβλητή μήνες τότε θα έχουμε προφανώς λανθασμένες απαντήσεις.

Για το υπόλοιπο της συζήτησης μας, του συστήματος παραγωγής-διανομής, εμείς θα επικεντρωθούμε στην διαδικασία παραγγελίας λιανοπωλητή. Θα υποθέσουμε ότι η παραγωγική μέθοδος έχει τα χαρακτηριστικά που παρουσιάσαμε πριν λίγο, και δεν θα επιχειρήσει να το βελτιώσει αυτό. Στην πραγματικότητα, αυτό θα μπορούσε να είναι μια πηγή βελτιώσεων. Για παράδειγμα, η just-in-time παραγωγική διαδικασία που αποβλέπει στη βελτίωση της απόδοσης της παραγωγής είναι διαδικασία αυτού του τύπου.

1. Average Retail Sales = SMOOTH(Retail Sales, Time To Average Sales)\*
2. Desired Production = Factory Order Backlog / Target Production Delay
3. Factory Order Backlog = Integral(Retailer Orders – Factory Production)  
Initial Value = 200
4. Factory Production = SMOOTH(Desired Production, Time To Adjust Production)
5. Stop Time = 50
6. Start Time = 0
7. Retail Inventory = Integral(Factory Production – Retail Sales)  
Initial Value = 400
8. Retail Sales = Test Input
9. Retailer Orders = Average Retail Sales
10. Target Production Delay = 2
11. Test Input = 100 + STEP(20,10)
12. Step length = 0.0625
13. Time To Adjust Production = 4
14. Time To Average Sales = 1

Σχήμα 5.2b εξισώσεις για το πρώτο μοντέλο

## Παραγγελίες λιανικής

Στρέφουμε τώρα την προσοχή μας στις λιανικές πωλήσεις και τις παραγγελίες στο εργοστάσιο από τον λιανοπωλητή. Θα υποθέσουμε ότι οι λιανικές πωλήσεις είναι προκαθορισμένες. (Δηλαδή, αυτές αποτελούν μία εξωγενή μεταβλητή με το τμήμα της διαδικασίας που μοντελοποιούμε.) Σύντομα θα εξετάσουμε ποιες είναι αυτές οι παραγγελίες, αλλά πρώτα θα ορίζουμε μια διαδικασία που ο λιανοπωλητής χρησιμοποιεί για να παραγγείλει από το εργοστάσιο.

Η απλούστερη διαδικασία παραγγελίας είναι να παραγγείλουμε ακριβώς αυτό που πουλάμε. Ωστόσο, στην πράξη, οι περισσότεροι έμποροι λιανικής πώλησης δεν



μπορούν να παραγγείλουν αμέσως μετά από κάθε φορά που κάνουν μια πώληση. Έτσι, η παραγγελία γίνεται κατά μέσο όρο πάνω από κάποιο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, σε αυτόν τον μέσο όρο είναι πιθανό να ληφθούν υπόψη οι πρόσφατες τάσεις. Για παράδειγμα, εάν οι πωλήσεις των τελευταίων ημερών έχουν αυξηθεί τότε ο λιανοπωλητής είναι πιθανό να βάλει περισσότερο βάρος στις χαμηλότερες πωλήσεις σε προγενέστερη περίοδο.

Ένα απλό μοντέλο αυτού του τύπου της διαδικασίας μέσου όρου ονομάζεται εκθετική εξομάλυνση, και αυτό θα μελετηθεί με περισσότερες λεπτομέρειες αργότερα. Προς το παρόν, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αυτό το είδος του μέσου όρου είναι κατά προσέγγιση μία μέση τιμή κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου του χρόνου, αλλά με μεγαλύτερο βάρος στις πρόσφατες πωλήσεις από τις προγενέστερες πωλήσεις. Έτσι, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2<sup>α</sup> στο διάγραμμα αποθεμάτων και ροών η μεταβλητή “Average Retail Sales”, υπολογίζεται λαμβάνοντας μια εκθετική εξομάλυνση των “Retail Sales” στη περίοδο Time to Average Retail Sales.

Σημειώστε ότι η ίδια συνάρτηση (που ονομάζεται εξομάλυνση) χρησιμοποιείται για την εκθετική διαδικασία εύρεσης μέσου όρου όπως χρησιμοποιήθηκε και για την εκθετική διαδικασία καθυστέρησης που εμφανίζεται για την προσαρμογή της παραγωγικής διαδικασίας. Έτσι αποδεικνύεται ότι η εξίσωση για μια εκθετική διαδικασία μέσου όρου και μια εκθετική εξομάλυνση είναι πανομοιότυπες. Ωστόσο, εννοιολογικά οι δύο διαδικασίες είναι κάπως διαφορετικές. Για την καθυστέρηση, μας ενδιαφέρει πόσο καιρό παίρνει για κάτι στο μέλλον να συμβεί. Για το μέσο όρο, ενδιαφερόμαστε για ό, τι ο μέσος όρος ήταν για κάποια μεταβλητή κατά τη διάρκεια μιας προηγούμενης περιόδου.

## Είσοδος Test

Για να ολοκληρώσουμε το πρώτο μοντέλο του συστήματος παραγωγής - διανομής, θα πρέπει να καθορίσουμε τις λιανικές πωλήσεις. Οι πραγματικές λιανικές πωλήσεις τυπικά έχουν κάποια μέση τιμή με τυχαία ταλάντωση γύρω από αυτόν τον μέσο όρο. Μπορεί επίσης να υπάρχει και εποχική διακύμανση και μια γενική τάση, ελπίζουμε προς τα πάνω. Έτσι, η πρώτη μας σκέψη είναι πιθανώς να χρησιμοποιήσουμε μια περίπλοκη είσοδο δοκιμής που να αντιπροσωπεύει αυτά χαρακτηριστικά του πραγματικού κόσμου. Ωστόσο, θα χρησιμοποιήσουμε ένα πολύ απλό τεστ εισόδου, και είναι σημαντικό να κατανοήσουμε γιατί αυτή η συγκεκριμένη είσοδος χρησιμοποιείται επειδή είναι συχνό να χρησιμοποιείται είσοδος για δοκιμή στα μοντέλα προσομοίωσης της διαδικασίας. Η είσοδος που θα χρησιμοποιηθεί είναι μία απλή βηματική. Η είσοδος θα ξεκινήσει σε ένα επίπεδο, θα παραμείνει σταθερή σε αυτό το επίπεδο για ένα χρονικό διάστημα, και στη συνέχεια θα κάνει άλμα αμέσως σε ένα άλλο επίπεδο και παραμένουν σταθερή στο νέο επίπεδο για το υπόλοιπο της περιόδου που μελετάται. Η βηματική εξίσωση είναι της μορφής:

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

Δηλαδή η συνάρτηση είναι 0 μέχρι ο χρόνος να γίνει ίσος με το βήμα και στη συνέχεια με το πλάτος. Έτσι η είσοδος Test input είναι ίση με 100 μονάδες /εβδομάδα μέχρι ο χρόνος να γίνει 10 εβδομάδες, κι έπειτα η είσοδος Test είναι ίση με 120 μονάδες/εβδομάδα για το υπόλοιπο του χρόνου.

Γιατί αυτό όμως χρησιμοποιείται ως είσοδος? Φαίνεται απίθανο ότι οι πραγματικές πωλήσεις θα έχουν αυτή τη μορφή. Ο λόγος που χρησιμοποιείται αυτή η μορφή ως είσοδος έχει να κάνει με το τι προσπαθούμε να πετύχουμε με το μοντέλο μας, κι έτσι χρειάζεται να συζητήσουμε το λόγο που κάνουμε τη μοντελοποίηση.

Πρωταρχικός μας στόχος στο να κατασκευάσουμε αυτό το μοντέλο, είναι να καθορίσουμε τους τρόπους ώστε να βελτιωθεί η απόδοση σε μια διαδικασία παραγωγής και διανομής. Συγκεκριμένα μελετάμε διαφορετικές πιθανές πολιτικές για την παραγγελία και πως αυτές επηρεάζουν την απόδοση ολόκληρης της διαδικασίας παραγωγής –διανομής. Υπάρχουν φυσικά πολλά διαφορετικά πιθανά πρότυπα για τις λιανικές πωλήσεις και θέλουμε να είμαστε σίγουροι ότι το συγκεκριμένο πρότυπο που χρησιμοποιούμε στο μοντέλο μας, μας επιτρέπει να μελετήσουμε τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας που είναι σημαντικό να καταλάβουμε αν μπορούμε να βελτιώσουμε την απόδοση της διαδικασίας. Αξίζει να σημειώσουμε ότι ένα βηματικό πρότυπο είναι καλό για τον σκοπό αυτό.

Ενώ οι διαδικασίες που εξετάζουμε είναι γενικά μη γραμμικές, οι αποκρίσεις τους σε βηματικό σήμα εισόδου εξακολουθούν να δίνουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το πώς η διαδικασία ανταποκρίνεται σε μία ποικιλία εισόδων.

Για να συνεχίσουμε λίγο περισσότερο αυτή τη θεωρητική συζήτηση, η ανάλυση Fourier ή η ανάλυση Laplace μας λέει ότι φάσμα συχνοτήτων για μια βηματική συνάρτηση περιέχει όλες τις συχνότητες. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιώντας μία βηματική συνάρτηση ως είσοδο σε μία διαδικασία διεγείρονται όλες τις συχνότητες συντονισμού της διαδικασίας. Αυτές οι ηχηρές συχνότητες είναι συνήθως ένας κρίσιμος προσδιοριστής της συμπεριφοράς της μεθόδου, και Ως εκ τούτου, η απόκριση της διαδικασίας σε μία είσοδο βηματική είναι συχνά ένας καλός δείκτης για το πώς η διαδικασία θα ανταποκριθεί σε μια ποικιλία εισόδων.

## Άλλες εξισώσεις Μοντέλων

Το υπόλοιπο των εξισώσεων μοντέλου στο Σχήμα 5.2β είναι ως επί το πλείστον απλές. Οι εξισώσεις για τις μεταβλητές αποθέματος Factory Order Backlog και Retail Inventory είναι γνωστές από διάγραμμα αποθεμάτων και ροών στο Σχήμα 5.2α, εκτός από τις αρχικές τιμές. Βλέπουμε από την εξίσωση 3 ότι η αρχική αξία του Factory Order Backlog είναι 200 μονάδες, και την εξίσωση 7 δείχνει ότι η αρχική τιμή της μεταβλητής Retail Inventory είναι 400 μονάδες.

Σε ένα αρχικό Factory Order Backlog με 200 μονάδες με Target Production Delay 2 εβδομάδων (όπως δίνεται από την εξίσωση 11 στο σχήμα 5.2β), η επιθυμητή παραγωγή είναι  $200 / 2 = 100$  μονάδες ανά εβδομάδα. Όσο δεν υπάρχει μεταβολή στη μεταβλητή Factory Order Backlog, τότε η παραγωγή του εργοστασίου θα είναι ίση με την επιθυμητή παραγωγή, και ως εκ τούτου θα είναι επίσης ίση με 100 μονάδες ανά εβδομάδα.

Βλέπουμε από την εξίσωση 11 ότι η αρχική αξία των εισροών test είναι 100 μονάδες ανά εβδομάδα, και ως εκ τούτου από την εξίσωση 8 αυτό είναι επίσης η αρχική αξία των λιανικών πωλήσεων. Με καμία μεταβολή στις λιανικές πωλήσεις, οι μέσες λιανικές πωλήσεις θα είναι ίσες με τις λιανικές πωλήσεις και άρα και ίσες με 100 μονάδες την εβδομάδα, και ως εκ τούτου από την εξίσωση 9 αυτό θα είναι επίσης είναι οι εντολές λιανικής πώλησης στο εργοστάσιο.

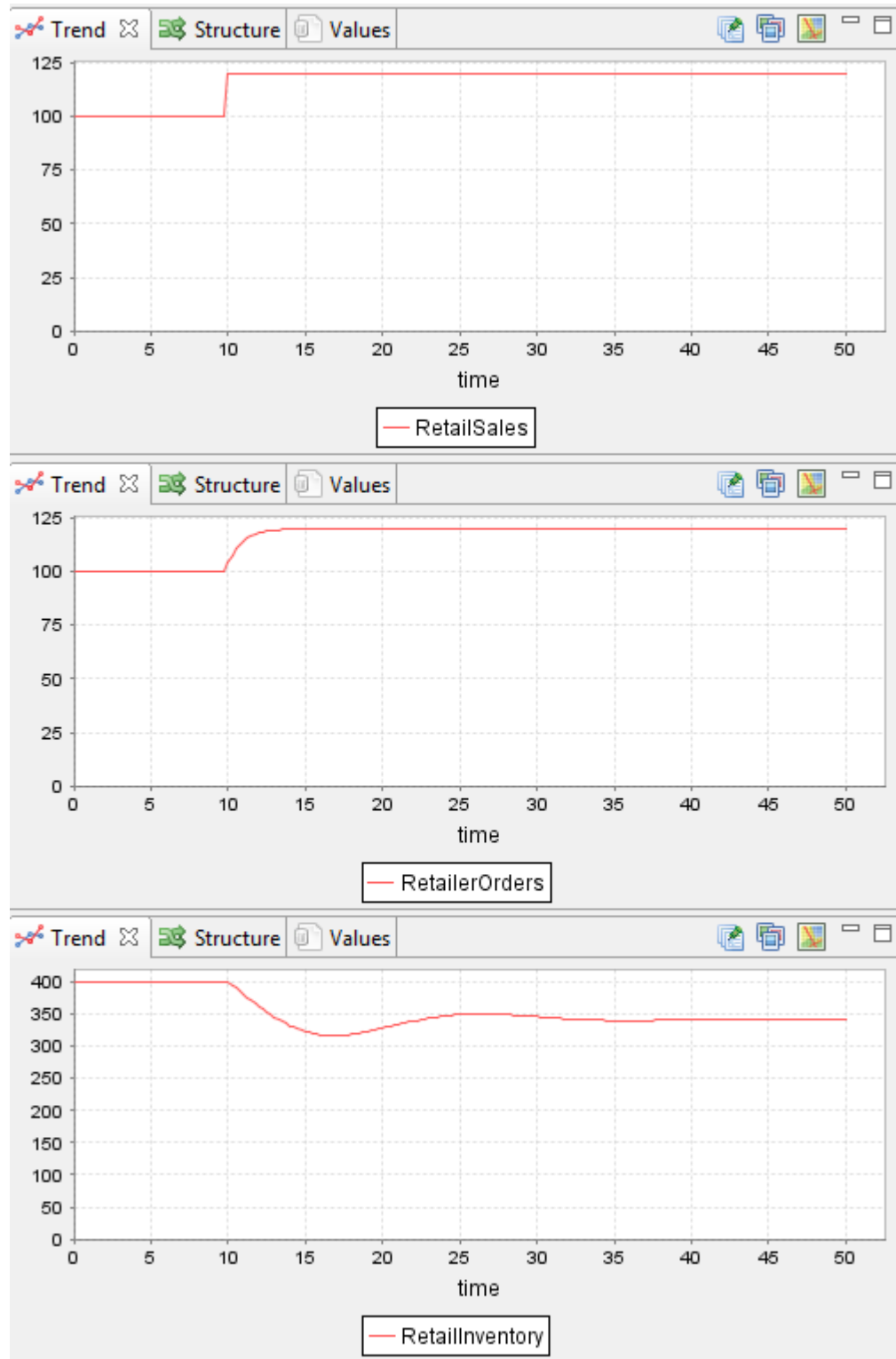
Οι αρχικές λιανικές πωλήσεις, και προκειμένου ο λιανέμπορος να παραγγείλει στο εργοστάσιο, είναι ίσες με την εργοστασιακή παραγωγή (100 μονάδες την εβδομάδα)

, τότε το σύστημα αρχικά θα είναι μάλλον βαρετό δηλ. το εργοστάσιο θα παράγει 100 μονάδες την εβδομάδα , οι οποίες θα πωλούνται από το λιανοπωλητή . Το Factory Order Backlog θα παραμείνει σταθερό σε 200 μονάδες , και η μεταβλητή Retail Inventory θα παραμείνει σταθερή σε 400 μονάδες .

Όταν μια διαδικασία είναι σε μια κατάσταση όπως αυτή που περιγράφεται στις τελευταίες παραγράφους, όπου οι μεταβλητές παραμένουν σταθερές διαχρονικά , λέγεται ότι είναι σε ισορροπία ή σταθερή κατάσταση . Μια σταθερή κατάσταση για ένα μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να ανιχνευθεί εξετάζοντας τα αποθέματα στο μοντέλο . Σε σταθερή κατάσταση , το άθροισμα όλων των εισροών σε κάθε απόθεμα είναι ίσο με το άθροισμα όλων των εκροών , και ως εκ τούτου, τα μεγέθη των αποθεμάτων δεν μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου .

Εάν η διαδικασία παραγωγής - διανομής που μελετούμε δεν είχε αρχίσει σε κατάσταση ισορροπίας , τότε ακόμα και χωρίς αλλαγές στην είσοδο test ορισμένες από τις μεταβλητές θα έχουν αλλάξει με την πάροδο του χρόνου . Για παράδειγμα , εάν η αρχική τιμή για τη μεταβλητή Factory Order Backlog ήταν μεγαλύτερη από 200 μονάδες , τότε σε αυτό το επίπεδο θα έχουν μειωθεί με την πάροδο του χρόνου , ακόμη και αν οι λιανικές πωλήσεις παρέμειναν σταθερές στα 100 μονάδες την εβδομάδα . Αυτό συμβαίνει επειδή αν έχω την μεταβλητή Factory Order Backlog μεγαλύτερη από 200 μονάδες εργοστασιακής παραγωγής θα υπερβεί 100 μονάδες ανά εβδομάδα , η οποία είναι ο ρυθμός των λιανικών πωλήσεων , και ως εκ τούτου η ροή από το Factory Order Backlog θα υπερβεί τη ροή σε αυτό. Δεδομένου ότι ο σκοπός μας σε αυτή την ανάλυση είναι να μελετήσουμε τον αντίκτυπο των αλλαγών στον τομέα των λιανικών πωλήσεων σχετικά με τη διαδικασία παραγωγής - διανομής, είναι επιθυμητό να αρχίσει η διαδικασία του μοντέλου σε σταθερή κατάσταση . Διαφορετικά , θα είναι δύσκολο για το διαχωρισμό παραλλαγών πάνω από μια φορά, στις τιμές των διαφόρων μεταβλητών του μοντέλου που οφείλονται σε μεταβολές των λιανικών πωλήσεων από αυτές τις παραλλαγές οι οποίες οφείλονται στην έλλειψη της αρχικής σταθερής κατάστασης . Παρόμοια επιχειρήματα ισχύουν και για πολλά μοντέλα της επιχειρηματικής διαδικασίας , και είναι συνήθως καλό να αρχικοποιούμε τις μεταβλητές σε ένα μοντέλο ώστε να ξεκινά σε σταθερή κατάσταση .

Οι υπόλοιπες εξισώσεις στο Σχήμα 5.2β ( εξισώσεις 5 , 6 , 10 , και 12 ), θέτουν χαρακτηριστικά του μοντέλου προσομοίωσης . Από τις εξισώσεις 5 και 6 βλέπουμε ότι η προσομοίωση θα τρέξει για 50 εβδομάδες , ή περίπου ένα έτος . Ο ρυθμός στο να ρυθμίζουμε την μεταβλητή Time Step στο 0,25 θα συζητηθεί παρακάτω.



Σχήμα 5.2c διαγράμματα για το πρώτο μοντέλο

## 5.2 Απόδοση της διαδικασίας

Πριν από την εξέταση του σχήματος 5.2c το οποίο δείχνει αποτελέσματα από την προσομοίωση του μοντέλου στο σχήμα 5.5<sup>α</sup> και το σχήμα 5.2β, μπορεί να θελήσετε να αναρωτηθείτε πώς αναμένετε τη διαδικασία να ανταποκριθεί σε είσοδο test. Αυτή είναι μια πολύ απλούστερη παραγωγή – διανομή συστήματος από ότι ισχύει στον πραγματικό κόσμο, και πολλά από αυτά τα συστήματα πραγματικού κόσμου διαχειρίζονται με σχετικά μικρή ανάλυση. Ίσως όλη αυτή η ανάλυση δεν είναι αναγκαία. Τι νομίζετε ότι θα συμβεί κατά τη διαδικασία; Είναι η πολιτική παραγγελιών λιανοπωλητή που χρησιμοποιείται σε αυτό το μοντέλο καλή; Ποια είναι τα δυνατά και αδύνατα σημεία του μοντέλου;

Το σχήμα 5.2c δείχνει γραφικές παραστάσεις των τριών βασικών μεταβλητών (τις λιανικές πωλήσεις, τις παραγγελίες λιανικής πώλησης, και αποθέματα λιανικής πώλησης) όταν το μοντέλο προσομοίωσης στο σχήμα 5.2β εκτελείται. Για τις πρώτες δέκα εβδομάδες πάντα παραμένει σταθερή. Οι γραφικές παραστάσεις δείχνουν ότι οι λιανικές πωλήσεις είναι 100 μονάδες την εβδομάδα, και οι παραγγελίες λιανικής πώλησης παραμένουν επίσης σε 100 μονάδες την εβδομάδα. Τα αποθέματα λιανικής πώλησης παραμένουν σε 400 μονάδες. Την εβδομάδα 10, οι λιανικές πωλήσεις κάνουν άλμα σε 120 μονάδες ανά εβδομάδα, και παραμένουν εκεί για τις υπόλοιπες 40 εβδομάδες όπως φαίνεται στον ακόλουθο γράφημα. Οι παραγγελίες του λιανέμπορου δεν μεταφέρονται άμεσα στις 120 μονάδες ανά εβδομάδα, επειδή ο μέσος όρος του παρελθόντος χρησιμοποιείται ως βάση για την παραγγελία, και χρειάζεται λίγο χρόνο για τον μέσο όρο να αναρριχηθεί σε 120 μονάδες. Ωστόσο, δεδομένου ότι την περίοδο αναφοράς (Time to Average Sales) είναι μόνο για 1 εβδομάδα, οι παραγγελίες λιανικής πώλησης προχωρούν γρήγορα προς τα πάνω, και μέχρι την εβδομάδα 14 αυτά είναι επίσης σε 120 μονάδες ανά εβδομάδα.

Ένας προσεκτικός αναγνώστης μπορεί να αναρωτιέται γιατί οι παραγγελίες αυτές δεν κατέληξαν σε 120 μονάδες ανά εβδομάδα την εβδομάδα 11, δεδομένου ότι η Time to Average Sales είναι μόνο για 1 εβδομάδα.

Μία εκθετική διαδικασία μέσου όρου θεωρεί στην πραγματικότητα μια περίοδο μεγαλύτερη από το μέσο χρόνο, αλλά δίνει όλο και λιγότερο βάρος στις προηγούμενες τιμές όσο περνάει ο καιρός. Αυτό θα συζητηθεί περαιτέρω παρακάτω. Η συμπεριφορά των λιανικών πωλήσεων και των παραγγελιών λιανικής πώλησης είναι αυτό που θα μπορούσε πιθανότατα αναμένεται. Τι γίνεται με τα αποθέματα λιανικής πώλησης; Το σχήμα 5.2c δείχνει ότι αυτό παραμένει επίπεδο μέχρι την εβδομάδα 10 και στη συνέχεια αρχίζει να μειώνεται. Κινείται λίγο σπασμωδικά πριν ισορροπήσει στις 340 μονάδες. Φθάνει στο χαμηλότερο επίπεδο των περίπου 310 μονάδες κατά την εβδομάδα 17, και στη συνέχεια αυξάνεται σε μια κορυφή περίπου 350 μονάδες την εβδομάδα 26 πριν από την πτώση πίσω σε 340 μονάδες. Σημείωση ότι υπάρχει επίσης μια «μικρή κοιλάδα» περίπου την εβδομάδα 35.

Αυτό το είδος της σπασμωδικότητας ονομάζεται ταλάντωση. Όταν γίνεται μια διαισθητική πρόβλεψή σας το πώς η διαδικασία θα εκτελέσει, περιμένουμε αυτήν την ταλάντωση; Γι' αυτό το θέμα, προβλέψαμε ότι τα αποθέματα από τις λιανικές πωλήσεις θα μειωθούν; Ενώ δεν φαίνεται στο Σχήμα 5.2c, αφού δούμε το σχήμα πιθανόν δεν θα πρέπει να εκπλαγούμε αν μάθουμε ότι οι μεταβλητές Factory Order Backlog και Factory Production επίσης, εμφανίζουν παρόμοια ταλάντωση με εκείνες που περιγράφονται από τα αποθέματα των λιανικών πωλήσεων. Αν και αυτές οι ταλαντώσεις δεν είναι μεγάλες, που θέτουν ορισμένες προκλήσεις σε ένα διευθυντή εργοστασίου. Οι αποφάσεις που πρέπει να λαμβάνονται σχετικά με το

πώς παρέχουμε τους απαραίτητους πόρους στο πλαίσιο ταλάντωσης των συνθηκών παραγωγής.

Για παράδειγμα, μπορείτε να απολύσετε εργάτες του εργοστασίου όταν η παραγωγή πέφτει; Επίσης, η ροή εσόδων που συνδέεται με την ταλάντωση των συνθηκών της διαδικασίας είναι πιθανό να είναι άνιση, το οποίο γενικά δεν είναι επιθυμητό.

Σύντομα θα δίνουμε πολύ μεγαλύτερη προσοχή σε ταλαντώσεις, αλλά για τώρα να επικεντρωθούμε στο τελικό επίπεδο αποθεμάτων λιανικής πώλησης. Είναι αυτό αποδεκτό; Για το συγκεκριμένο ρεύμα λιανικών πωλήσεων που αναλύονται εδώ, μπορεί να είναι. Στην πραγματικότητα το χαμηλότερο απόθεμα λιανικής πώλησης προκύπτει από το άλμα στις πωλήσεις που κατά πάσα πιθανότητα σημαίνει χαμηλότερα αποθέματα, δαπάνες μεταφοράς και ως εκ τούτου υψηλότερο κέρδος. Ωστόσο, μια μικρή πρόσθετη σκέψη δείχνει ότι αυτό θα μπορούσε να είναι μια επικίνδυνη πολιτική σε ορισμένες περιπτώσεις. Ειδικότερα ας υποθέσουμε ότι οι λιανικές πωλήσεις συνεχίζουν να αυξάνονται (όπως θα ελπίζαμε να κάνουν). Τι θα συμβεί τότε; Σε αυτή την περίπτωση, επειδή οι μέσες λιανικές πωλήσεις πάντα θα είναι κάπως λιγότερες από την τρέχουσα λιανική πωλήσεις, δεν θα υπάρξουν ποτέ αρκετές παραγγελίες για να αντικαταστήσουν ό,τι πωλείται, και τελικά τα αποθέματα των λιανικών πωλήσεων θα εξαντληθούν. Αυτή η επίδραση μπορεί να μειωθεί με τη μείωση της μεταβλητής *Time to Average Sales*, η οποία αντιστοιχεί στην παραγγελία ταχύτερα, ωστόσο, δεν μπορεί να εξαλειφθεί εξ' ολοκλήρου γιατί ακόμα κι αν παραγγείλετε αμέσως μετά από κάθε πώληση, θα είστε ακόμα σε αστοχία λόγω των καθυστερήσεων στην παραγωγή. Αυτή η επίδραση είναι ένας λόγος που πολλά συστήματα παραγωγής - διανομής κινούνται αυτόματα, επιταχύνοντας το σύστημα της παραγγελίας. Για παράδειγμα, η Wal Mart έχει κάνει εκτεταμένη χρήση τέτοιων συστημάτων στην άνοδο της κυριαρχίας της στην λιανική πώληση. Ωστόσο, υπάρχει ένα όριο σε ότι είναι δυνατόν προς αυτή την κατεύθυνση, ιδίως σε επιχειρήσεις όπου η αλυσίδα εφοδιασμού δεν είναι ακόμη σε μεγάλο βαθμό ολοκληρωμένη. Υπάρχει κάποια προσέγγιση όπου ο λιανέμπορος μπορεί να χρησιμοποιήσει σε παραγγελία που θα μειώσει τον κίνδυνο εξάντλησης αποθεμάτων όταν αυξηθούν οι πωλήσεις; (Παραεμπιπτότως, σημειώστε ότι αν οι πωλήσεις πέφτουν σταθερά, τότε το απόθεμα των λιανικών πωλήσεων θα αυξάνεται σταθερά.)

### 5.3 Το δεύτερο μοντέλο

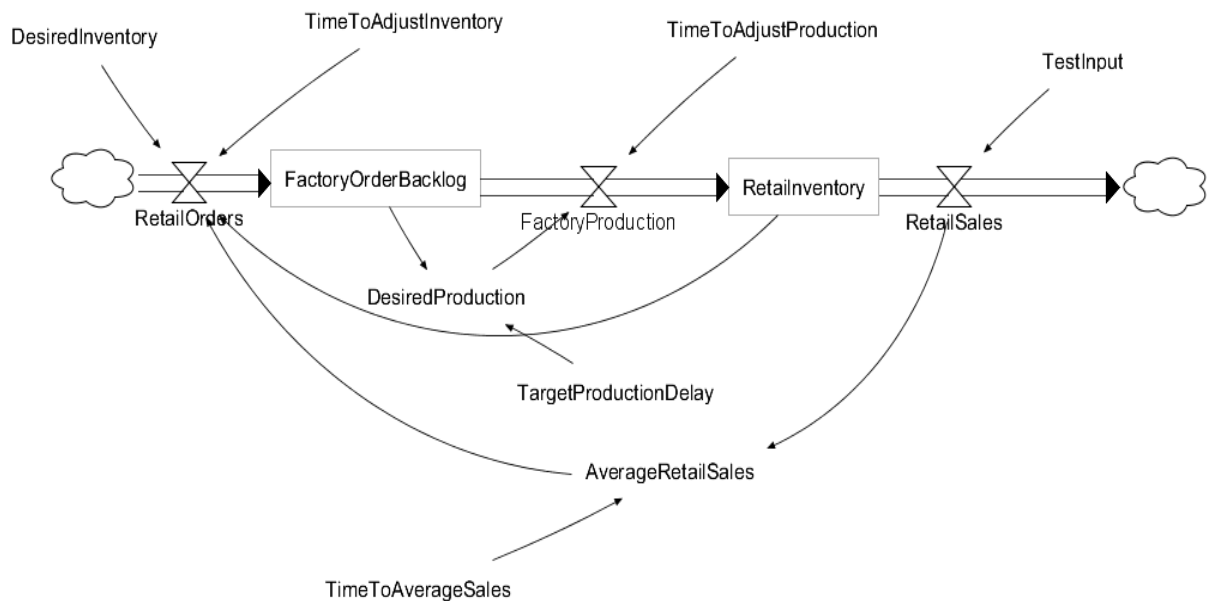
Φαίνεται ότι θα πρέπει να εξεταστεί άμεσα το επίπεδο των αποθεμάτων λιανικής πώλησης όταν οι παραγγελίες λιανικής πώλησης τοποθετούνται έτσι ώστε να βεβαιωθούμε ότι το απόθεμα δεν θα φτάσει σε ανεπιθύμητα επίπεδα. Το διάγραμμα αποθεμάτων και ροών στο Σχήμα 5.3α δείχνει μια προσέγγιση στο πως γίνεται αυτό. Αυτό είναι τροποποιημένο από το διάγραμμα 5.2α σχήμα ως εξής: Υπάρχει μια πληροφορία βέλος από τα αποθέματα λιανικών πωλήσεων στις παραγγελίες λιανικής πώλησης για να δείξει ότι οι παραγγελίες αυτές εξαρτώνται από τα αποθέματα λιανικής πώλησης. Υπάρχουν δύο βοηθητικές σταθερές *Desired Inventory* και *Time to Adjust Inventory*, οι οποίες επίσης επηρεάζουν τις παραγγελίες λιανικής πώλησης. Το υπόλοιπο αυτού του διαγράμματος είναι το ίδιο όπως το Σχήμα 5.2α.

Η προσέγγιση για την εξέταση του αποθέματος της λιανικής πώλησης σε σχέση με τις παραγγελίες των λιανέμπορων, που παρουσιάζεται σε αυτό το

διάγραμμα μας λέει ότι : Υπάρχει ένα συγκεκριμένο επίπεδο Desired Inventory και οι παραγγελίες λιανικής πώλησης προσαρμόζονται ώστε να προσπαθήσουν να διατηρηθούν σε αυτό το επίπεδο .Φυσικά , δεν θέλουμε να αλλάξουμε ριζικά τις παραγγελίες μας για κάθε μικρή αλλαγή στο απόθεμα λιανικών πωλήσεων , και έτσι έχουμε πάρει κάποιο χρόνο για να κάνουμε τη ρύθμιση στη μεταβλητή (Time to Adjust Inventory ). Όσο αφορά την συγκεκριμένη εξίσωση ,υπάρχει τώρα ένα συστατικό των λιανικών πωλήσεων το οποίο είναι:

***DESIRED INVENTORY – Retail Inventory***  
***TIME TO ADJUST INVENTORY***

Δηλαδή, αν όλα ήταν να παραμείνουν ίδια, η διαφορά μεταξύ των Desired Inventory και Time to Adjust Inventory θα εξαλειφθεί σε μια χρονική περίοδο ίση με το Time to Adjust Inventory.Σημειώστε ότι αν η Desired Inventory είναι κάτω από Retailer Inventory,τότε το επίπεδο παραγγελιών θα μειωθεί, ενώ αν η Desired Inventory είναι πάνω από τη Retailer Inventory το επίπεδο παραγγελιών θα αυξηθεί.



Σχήμα 5.3α διάγραμμα stock και ροής για το δεύτερο μοντέλο

Οι εξισώσεις για το δεύτερο μοντέλο φαίνονται στο Σχήμα 5.3b . Αυτές είναι ταυτόσημες με τις εξισώσεις στο σχήμα 5.2β εκτός από το ότι έχουν προστεθεί για τις δύο σταθερές Desired Inventory και Time to adjust Inventory , και η εξίσωση για παραγγελίες λιανικής πώλησης έχει τροποποιηθεί όπως συζητήθηκε σε προηγούμενη παράγραφο . Ειδικότερα , στο σχήμα 5.3b , η εξίσωση 2 δείχνει ότι η Desired Inventory είναι 400 μονάδες ( που ήταν το αρχικό επίπεδο του λιανικού αποθέματος), και την εξίσωση 14 που δείχνει ότι η μεταβλητή Time to

adjust Inventory χρόνος είναι 2 εβδομάδες. Η εξίσωση 10 δείχνει ότι οι παραγγελίες λιανικής πώλησης περιλαμβάνουν πλέον το συστατικό που συζητήθηκε παραπάνω για να ρυθμίσουμε το επίπεδο της Retail Inventory, εκτός από το συστατικό για την αντικατάσταση των λιανικών πωλήσεων. Μια σημείωση εδώ είναι για πιθανές ελλείψεις στη διατύπωση αυτού του μοντέλου. Επειδή η συνιστώσα της εξίσωσης παραγγελίες λιανικής πώλησης ( εξίσωση 10) για την ανασυγκρότηση του αποθέματος μπορεί να έχει αρνητικό πρόσημο, είναι πιθανό ότι η συνολική αξία της λιανικής πώλησης παραγγελίες θα μπορούσε να γίνει αρνητική. Ακριβώς ότι θα συνέβαινε στην περίπτωση αυτή εξαρτάται σχετικά με τις ρυθμίσεις παραγγελίας. Μπορεί να είναι δυνατόν να αποσύρει προηγούμενες παραγγελίες, ή μπορεί να μην είναι δυνατό να γίνει αυτό. Σε ένα πιο πλήρες μοντέλο, αυτό θα πρέπει να ληφθούν υπόψη. Στο απλό αυτό μοντέλο θεωρούμε ότι είναι δυνατό να αποσύρουμε παλαιότερες παραγγελίες. Στην πραγματικότητα, το μοντέλο υποθέτει ότι είναι δυνατόν να αποσύρει περισσότερες παραγγελίες από ό, τι έχουν γίνει στην πραγματικότητα, το οποίο δεν είναι πιθανό να ισχύει σε ένα ρεαλιστικό περιβάλλον.

1. Average Retail Sales = SMOOTH(Retail Sales, Time To Average Sales)
2. Desired Inventory = 400
3. Desired Production = Factory Order Backlog / Target Production Delay
4. Factory Order Backlog = Integral(Retailer Orders – Factory Production)  
Initial Value = 200
5. Factory Production = SMOOTH(Desired Production, Time To Adjust Production)
6. Stop Time = 50
7. Start Time = 0
8. Retail Inventory = Integral(Factory Production – Retail Sales)  
Initial Value = 400
9. Retail Sales = Test Input
10. Retailer Orders = Average Retail Sales +  
(Desired Inventory – Retail Inventory)/Time to Adjust Inventory
11. Target Production Delay = 2
12. Test Input = 100 + STEP(20,10)
13. Step length = 0.0625
14. Time To Adjust Inventory = 2
15. Time To Adjust Production = 4
16. Time To Average Sales = 1

Σχήμα 5.3b εξισώσεις για το δεύτερο μοντέλο

Σκεπτόμενοι περαιτέρω κατά μήκος αυτών των γραμμών, θα δείτε ότι δεν υπάρχει επίσης κανένας περιορισμός στο μοντέλο σχετικά με τις πιθανές τιμές για τις μεταβλητές Order Backlog και Retail Inventory. Έτσι, είναι δυνατόν σε αυτό το μοντέλο για αυτές τις μεταβλητές να έχουν αρνητικό πρόσημο. Και πάλι, ένα πιο πλήρες μοντέλο θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα εν λόγω ζητήματα. Ωστόσο, εμείς ενδιαφερόμαστε αυτή τη στιγμή στα γενικά χαρακτηριστικά των επιδόσεων αυτής της διαδικασίας, και όχι τις λεπτομέρειες. Το μοντέλο που έχουμε αναπτύξει

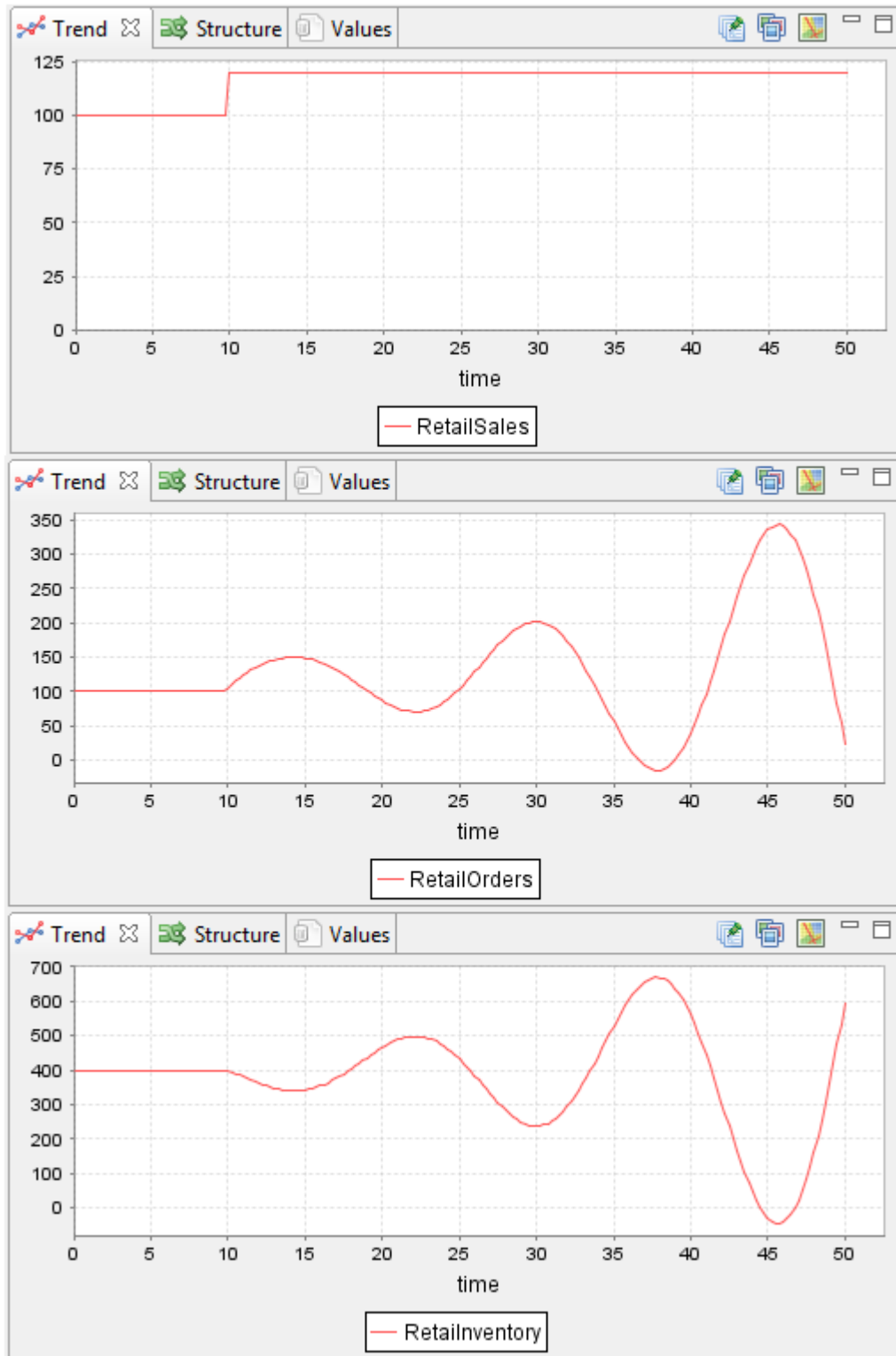


θα είναι αποδοτικό για το σκοπό αυτό , όπως θα δούμε σύντομα. Ποια θα είναι η απόδοση της τροποποιημένης πολιτικής για τις παραγγελίες ; Θα λύσει το πρόβλημα του να έχω λιγότερες παραγγελίες όταν μεγαλώνουν οι πωλήσεις και του να έχω περισσότερες παραγγελίες όταν οι πωλήσεις μειώνονται;

Το Σχήμα 5.3c δίνει την απάντηση . Οι ίδιες τρεις μεταβλητές απεικονίζονται εδώ όπως στο Σχήμα 5.2c που θεωρήσαμε νωρίτερα. Βλέπουμε ότι το σύστημα πηγαίνει σε μεγάλη και αυξανόμενη ταλάντωση. Στην πραγματικότητα, η κατάσταση είναι χειρότερη από ό, τι μπορεί αρχικά να φανεί επειδή οι κλίμακες για μερικές από τις γραφικές παραστάσεις όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3c (όπως φαίνεται στην αριστερή πλευρά των γραφημάτων ) είναι μεγαλύτερες από εκείνες για το Σχήμα 5.2c . Έτσι , οι διακυμάνσεις είναι μεγαλύτερες από ότι θα μπορούσαν αρχικά να φανούν γραφικά συγκρίνοντας το σχήμα 5.2c και το Σχήμα 5.3c .

Οι λιανικές πωλήσεις εξακολουθούν να επιδεικνύουν το ίδιο βήμα, όπως στο Σχήμα 5.2.(Θα πρέπει να το κάνουν αυτό αφού έχουν οριστεί εξωγενώς από το μοντέλο). Ωστόσο τόσο οι λιανοπωλητές όσο και το απόθεμα των λιανικών πωλήσεων ταλαντώνονται πολύ. Επιπλέον , και οι δύο αυτές μεταβλητές πάνε ουσιαστικά αρνητικά. Όπως σημειώνεται παραπάνω , οι εξισώσεις των μοντέλων δεν είναι σε ισχύ όταν συμβαίνει αυτό. Έτσι σε ένα πραγματικό σύστημα δεν θα απεικόνιζαν ακριβώς τη συμπεριφορά που περιγράφεται εδώ. . Ωστόσο , είναι σαφές ότι η αναθεωρημένη πολιτική παραγγελιών λιανοπωλητή είναι λανθασμένη.

Τι έχει γίνει λάθος ; Κάποια σκέψη δείχνει την απάντηση και παρέχει τη διορατικότητα στην απόδοση των συστημάτων παραγωγής - διανομής στον πραγματικό κόσμο. Η δυσκολία με τη νέα πολιτική παραγγελιών προκύπτει από τις καθυστερήσεις στην παραγωγή του αποθέματος που έχει παραγγελθεί. Παίρνει το χρόνο για τις παραγγελίες για να συνεχίσουν την πορεία τους μέσα στο Factory Order Backlog, να παράγονται, και να ρέουν σε Retail Inventory . Όταν αυτό συμβαίνει ,οι παραγγελίες λιανικής πώλησης εξακολουθούν να είναι υψηλές σε μια συνεχή προσπάθεια να αντικαταστήσουν την μείωση της μεταβλητής Retail Inventory . Στη συνέχεια , όταν οι παραγγελμένες μονάδες τελικά αρχίζουν να φτάνουν η μεταβλητή Retail Inventory μεγαλώνει. Σε αυτό το σημείο ο όρος διόρθωσης απογραφής στις παραγγελίες λιανικής πώλησης γίνεται αρνητικός σε μια προσπάθεια να μειώσει το επίπεδο των Retail Inventory. Για άλλη μια φορά , χρειάζεται χρόνος για τις επιπτώσεις της να λειτουργήσει με αυτό τον τρόπο μέσα από τη διαδικασία, και αυτό οδηγεί τελικά σε μια υπερδιόρθωση προς την αντίθετη κατεύθυνση. Το σχήμα 5.3c δείχνει αυτό το πρόβλημα χειροτερεύει όσο περνάει ο χρόνος .



Σχήμα 5.3c διαγράμματα για το δεύτερο μοντέλο

## Μια τεχνική Σημείωση

Κύρια έμφασή μας είναι η διαμόρφωση μοντέλου , αλλά ένα σύντομο σημείωμα στις παραγγελίες σχετικά με το πώς οι εξισώσεις του μοντέλου λύνονται ώστε να αναπτύξουν ένα γράφημα όπως αυτό που φαίνεται στο Σχήμα 5.3c . Η έγκαιρη ανάπτυξη μας έδειξε , τη λύση των εξισώσεων του μοντέλου που απαιτείται για τον υπολογισμό ορισμένων ολοκληρωμάτων . Υπάρχει μια ποικιλία διαφορετικών μεθόδων για να το κάνουμε αυτό , και τα περισσότερα πακέτα προσομοίωσης παρέχουν επιλογές ώστε να γίνεται αυτό . Η απλούστερη από αυτές τις μεθόδους , που ονομάζεται Euler ολοκλήρωση, χρησιμοποιήθηκε για να προσδιοριστεί το σχήμα 5.3c ( καθώς και όλες οι άλλες έξοδοι που παρουσιάζονται σε αυτό το κείμενο) . Η μέθοδος ολοκλήρωσης Euler αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

1. Ρυθμίζουμε το Time στην αρχική του τιμή.
2. Ρυθμίζουμε όλα τα αποθέματα στο μοντέλο στην αρχική τους τιμή όπως ορίζεται από το της συνάρτησης INTEG για κάθε απόθεμα.
3. Υπολογίζουμε το ρυθμό μεταβολής της τρέχουσα αξίας του Time για κάθε απόθεμα υπολογίζοντας τις καθαρές αξίες όλων των ροών μέσα και έξω από κάθε απόθεμα.
4. Ας υποθέσουμε ότι ο ρυθμός της αλλαγής για κάθε απόθεμα θα είναι σταθερός για "Time" μέχρι "Time +Time Step" και υπολογίζει πόσο το απόθεμα θα αλλάξει με την πάροδο αυτού του διαστήματος . Αυτό μπορεί να εκφραστεί σε μορφή εξίσωσης ως εξής : Αν ο ρυθμός μεταβολής για ένα συγκεκριμένο απόθεμα, που υπολογίζεται στο Βήμα 3 είναι ρυθμός (Time) , " τότε η αξία του αποθέματος κατά "Time +Time Step" δίνεται από :

$$\text{Stock (Time+TIME STEP)} = \text{Stock (Time)} + \text{TIME STEP} \times \text{rate}(\text{Time})$$

5. Προσθέτουμε «Time Step» στο «Time»,
6. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 3 έως 5 μέχρι η μεταβλητή «Time» να φτάσει το «Final Time».

Από τη διαδικασία αυτή , είναι προφανές ότι η ακρίβεια της μεθόδου Euler επηρεάζεται από την τιμή που έχει επιλεγεί για το μοντέλο Time Step.Γενικά συνιστάται να επιλέξουμε μια τιμή του «Time Step» που να είναι λιγότερο από το ένα τρίτο της μικρότερης μεταβλητής που σχετίζεται με το χρόνο στο μοντέλο. Στο μοντέλο που φαίνεται στο 5.3b,η μικρότερη τέτοια σταθερά είναι η Time to Average Sales που είναι ίση με 1 εβδομάδα.. Ως εκ τούτου ,η Time Step ορίστηκε ίση με 0,25 ,η οποία είναι το ένα τέταρτο του Time to Average Sales. Μια γρήγορη δοκιμή για το αν η «Time Step» είναι μικρή αρκετά είναι να μειώσει κατά ένα συντελεστή δύο και επαναληφθεί η προσομοίωση . Εάν δεν υπάρχει σημαντική αλλαγή στην έξοδο , τότε αυτό δείχνει ότι η «Time Step» είναι μικρή αρκετά.

Ωστόσο , ακόμη και με μια μικρή τιμή του «Time Step» , η μέθοδος ολοκλήρωσης Euler μπορεί να δώσει ανακριβή αποτελέσματα όταν υπάρχουν σημαντικές ταλαντώσεις σε μια διαδικασία. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3c , υπάρχουν

σημαντικές ταλαντώσεις στη διαδικασία που μελετάμε. Ως εκ τούτου, άλλες, πιο σύνθετες διαδικασίες ολοκλήρωσης πρέπει να χρησιμοποιούνται αν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια. Ωστόσο, ακόμη και χωρίς τη χρήση αυτών των πιο εξελιγμένων μεθόδων ολοκλήρωσης, είναι σαφές ότι η πολιτική στις παραγγελίες στο δεύτερο μοντέλο μας δεν είναι καλή.

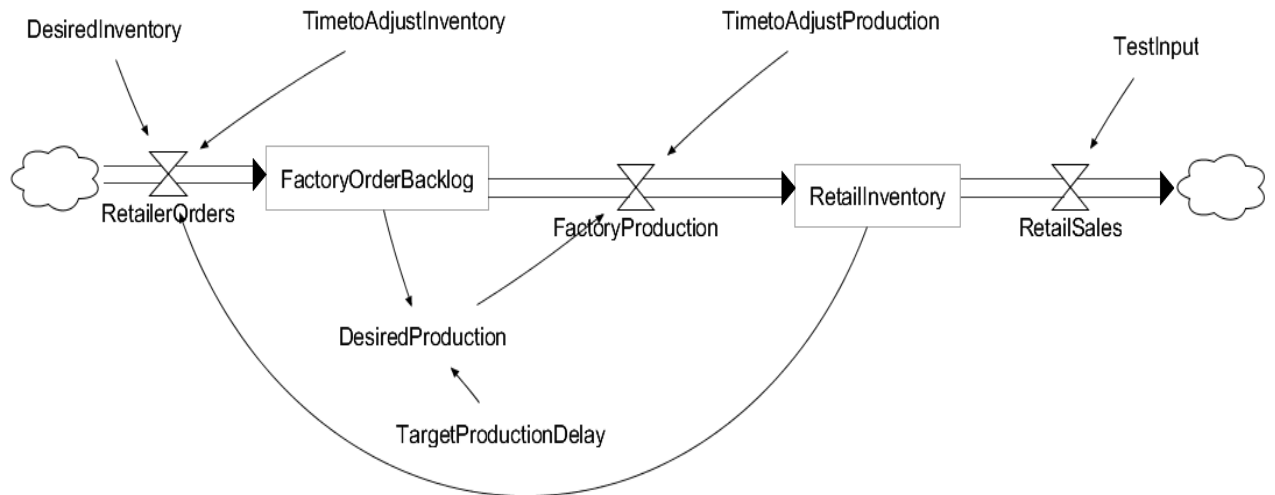
Πιο εξελιγμένες και ολοκληρωμένες μεθόδους διαθέσιμες σε πολλά πακέτα προσομοίωσης συχνά περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες από τις μεθόδους Runge-Kutta. Η βασική ιδέα αυτών των μεθόδων είναι να εκτιμηθεί ο ρυθμός με τον οποίο οι ροές μέσα σε αποθέματα ποικίλουν με το χρόνο, και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν αυτές τις πληροφορίες για να βελτιώσουμε την προσέγγιση στο Βήμα 4 της διαδικασίας Euler που παρουσιάζεται παραπάνω. Όταν γίνει αυτό, είναι συχνά δυνατόν να επιτευχθεί βελτιωμένη ακρίβεια χωρίς τόση αύξηση στον υπολογισμό όπως θα ήταν απαραίτητο αν η αξία του TIME STEP μειώθηκε με τη μέθοδο Euler.

## 5.4 Το τρίτο μοντέλο

Το τρίτο μοντέλο όπως μπορούμε να υποψιαστούμε είναι το πρόβλημα εμφανίζεται στο σχήμα 5.3 κι οφείλεται στη συμπερίληψη μιας συνιστώσας των παραγγελιών λιανοπωλητή που λαμβάνει υπόψη για τις λιανικές πωλήσεις. Ίσως αν επικεντρωθούμε πλήρως στο Retail Inventory κατά τη λήψη παραγγελιών λιανικής πώλησης, αυτό θα λύσει το πρόβλημα. Το διάγραμμα ροών και αποθεμάτων στο σχήμα 5.4 δείχνει την προσέγγιση αυτή. Αυτό διαφέρει από το διάγραμμα στο σχήμα 5.3 γεγονός ότι οι μεταβλητές που σχετίζονται με την παραγγελία για να αντικαταστήσει τις λιανικές πωλήσεις έχουν αφαιρεθεί.

Ειδικότερα στο αριστερό κέντρο του διαγράμματος, η βοηθητική μεταβλητή Average Retail Sales αφαιρείται μαζί με το σταθερά Time to Average Retail Sales.

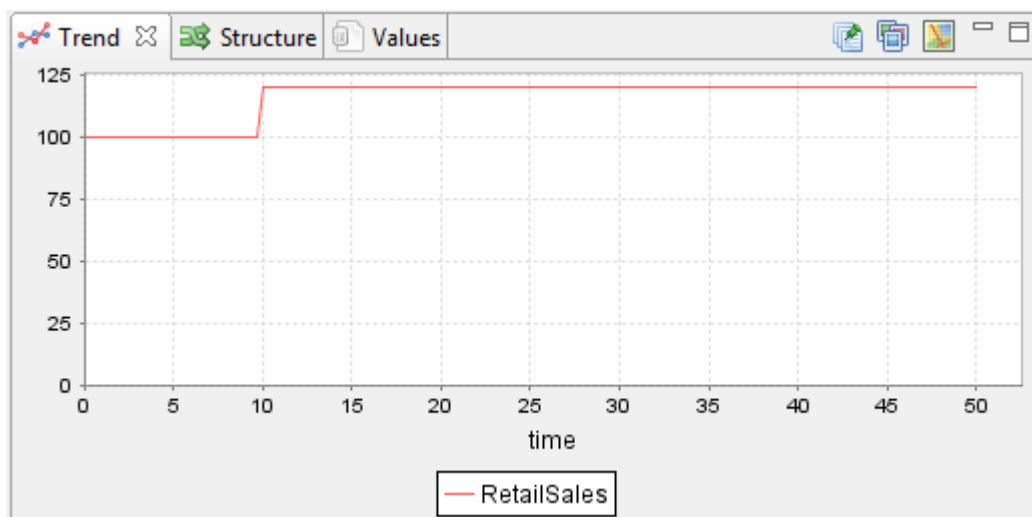
Η προκύπτουσα απόδοση δείχνεται στο Σχήμα 5.4, και βλέπουμε ότι αυτή η απόδοση είναι ακόμη χειρότερη από ό, τι φαίνεται στο Σχήμα 5.3. (Σημειώνουμε ότι οι κλίμακες για μερικές από τις γραφικές παραστάσεις στο Σχήμα 5.4 είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με στο Σχήμα 5.3, και έτσι το πλάτος των ταλαντώσεων είναι πολύ χειρότερη). Είναι σαφές ότι αυτό δεν είναι η απάντηση.

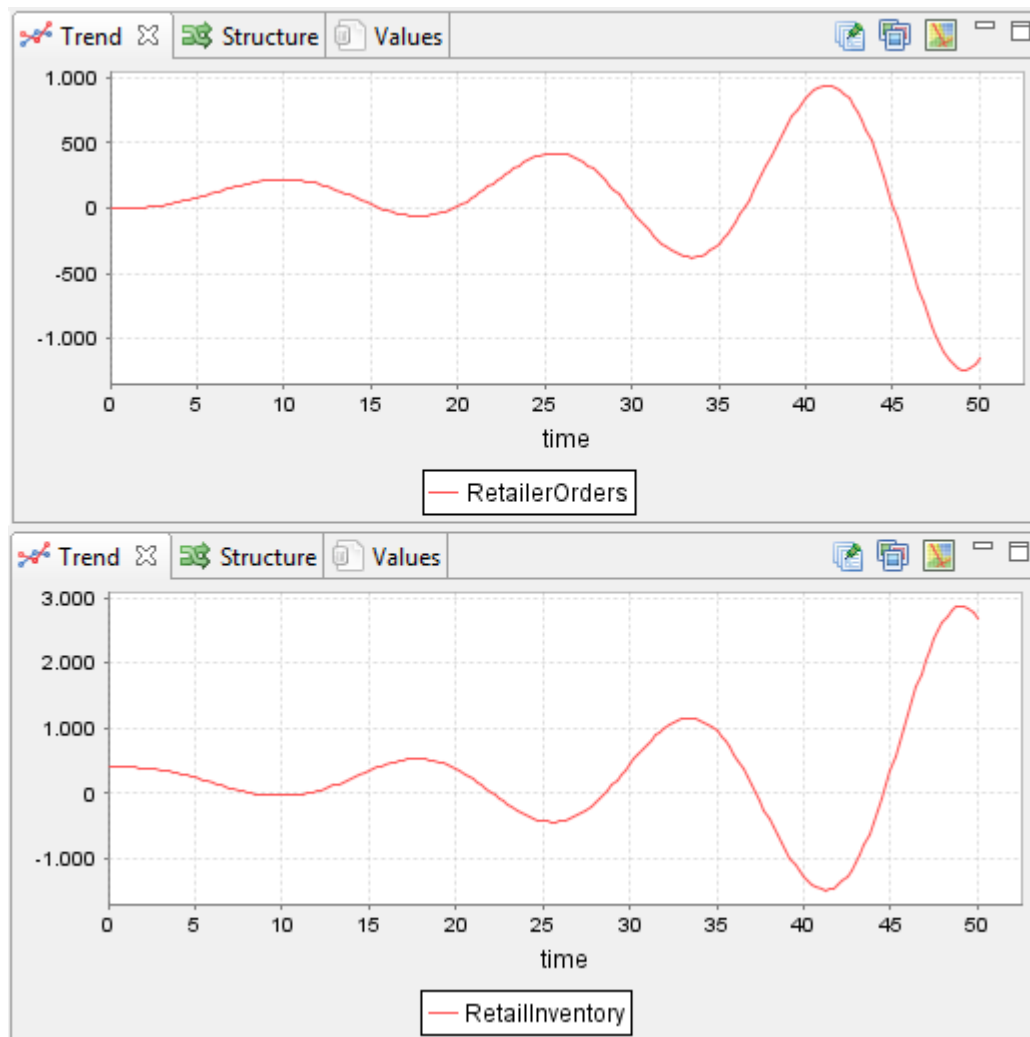


Σχήμα 5.4α διάγραμμα stock και ροής για το τρίτο μοντέλο

1. Desired Inventory = 400
2. Desired Production = Factory Order Backlog / Target Production Delay
3. Factory Order Backlog = Integral(Retailer Orders – Factory Production)  
Initial Value = 200
4. Factory Production = SMOOTH(Desired Production, Time To Adjust Production)
5. Stop Time = 50
6. Start Time = 0
7. Retail Inventory = Integral(Factory Production – Retail Sales)  
Initial Value = 400
8. Retail Sales = Test Input
9. Retailer Orders = (Desired Inventory – Retail Inventory) / Time to Adjust inventory
10. Target Production Delay = 2
11. Test Input = 100 + STEP(20,10)
12. Step length = 0.0625
13. Time To Adjust Inventory = 2
14. Time To Adjust Production = 4

Σχήμα 5.4b εξισώσεις για το τρίτο μοντέλο





Σχήμα 5.4c διαγράμματα για το τρίτο μοντέλο

## 5.5 Το τέταρτο μοντέλο.

Επιστρέφουμε τώρα στο δεύτερο μοντέλο, η απόδοση του οποίου φαίνεται στο Σχήμα 5.3. Ενώ οι ταλαντώσεις είναι σαφώς μη αποδεκτές, υπάρχει ένας τρόπος με τον οποίο η απόδοση αυτής της διαδικασίας είναι καλύτερη από την απόδοση για το πρώτο μοντέλο η οποία φαίνεται στο σχήμα 5.2. Ενώ υπάρχουν απότομες ταλαντώσεις στο Retail Inventory στο σχήμα 5.3c, αυτές οι ταλαντώσεις είναι γύρω από ένα μέσο επίπεδο των 400 μονάδων, το οποίο είναι το Retail Inventory που προσπαθούμε να διατηρήσουμε. Έτσι, αυτή η διαδικασία δεν εμφανίζει την μείωση του επιπέδου του Retail Inventory που παρουσιάζεται στο σχήμα 5.2. Δυστυχώς, οι ταλαντώσεις που φαίνονται στο σχήμα 5.3 είναι υπερβολικά μεγάλες για να είναι αποδεκτές σε περισσότερα συστήματα παραγωγής - διανομής στον πραγματικό κόσμο. Η συζήτησή μας πάνω από το δεύτερο μοντέλο έδειξε ότι οι ταλαντώσεις είναι λόγω των καθυστερήσεων στη λήψη του προϊόντος που ο

πωλητής έχει παραγγείλει. Αυτό μερικές φορές αναφέρεται ως φαινόμενο «διοχέτευσης». Εμείς παραγγέλνουμε στην πηγή της διοχέτευσης, και στη συνέχεια έχουμε ουσιαστικά ξεχάσει αυτές τις παραγγελίες και να συνεχίζουμε να παραγγέλνουμε. Όπως συζητήθηκε παραπάνω, αυτό οδηγεί στην ταλαντευμένη απόδοση της διαδικασίας.

Το διάγραμμα ροών και αποθεμάτων στο σχήμα 5.5 δείχνει έναν τρόπο στο τι αντιπροσωπεύουν οι παραγγελίες που βρίσκονται σε εξέλιξη. Αυτό το διάγραμμα έχει αναπτυχθεί από το διάγραμμα στο σχήμα 5.3α ως ακολούθως: Ένα βέλος με πληροφορίες προστίθενται στη μεταβλητή Factory Order Backlog στις παραγγελίες λιανικής πώλησης. Έτσι, η πολιτική παραγγελιών λιανοπωλητή τώρα θα λαμβάνει ρητά υπόψη το ανεκτέλεστο υπόλοιπο των παραγγελιών. Το πώς γίνεται αυτό υποδεικνύεται από τη νέα βοηθητική μεταβλητή Desired Pipeline Orders, στο κέντρο της αριστερής πλευράς του διαγράμματος, και δύο νέες σταθερές Delay In Receiving Orders και Time To Adjust Pipeline.

Οι Desired Pipeline Orders, είναι το ποσό που θέλουμε να έχουμε σε παραγγελία την οποιαδήποτε στιγμή, και αυτό εξαρτάται από την Average Retail Orders” και τη Delay In Receiving Orders. Ειδικότερα, πρέπει να έχουμε ένα ποσό στη διοχέτευση το οποίο να είναι ίσο με το γινόμενο των “average retail orders” και Delay In Receiving Orders αν θέλουμε να συνεχίσει να λαμβάνει αρκετά για να αναπληρώνει τις πωλήσεις μας κατά μέσο όρο: Δηλαδή,

$$\text{Desired Pipeline Orders} = \text{Average Retail Sales} \times \text{Delay In Receiving Orders}$$

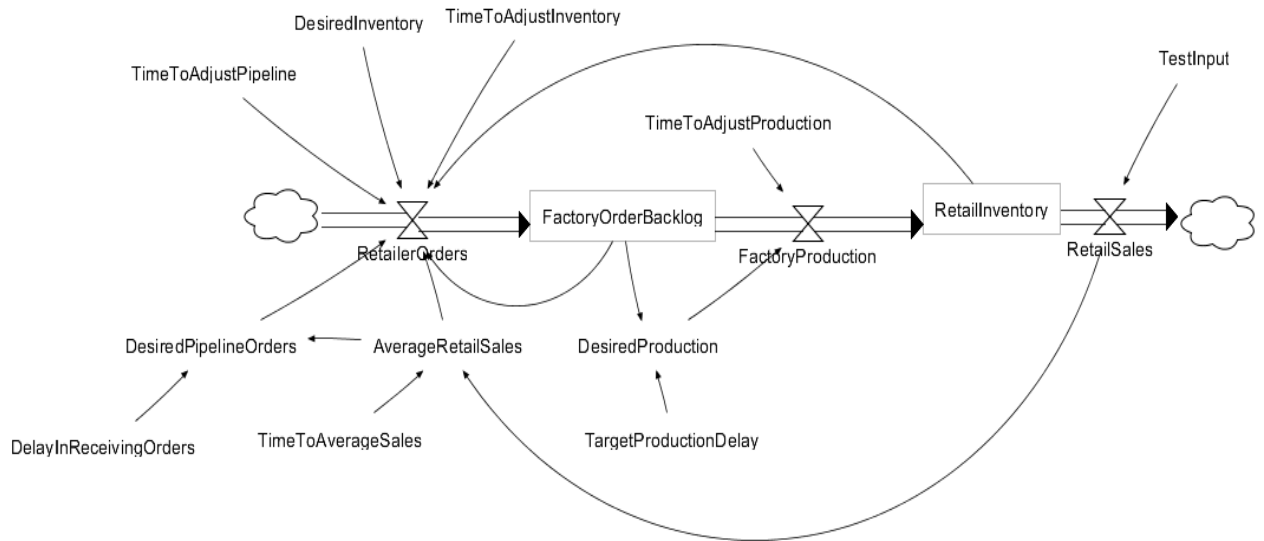
Ωστόσο, ακολουθώντας την ίδια λογική που παρουσιάζεται ανωτέρω όσον αφορά τη ρύθμιση των παραγγελιών του λιανοπωλητή για να ληφθούν υπόψη οι αλλαγές στο Retail Inventory, δεν θέλουμε να αμέσως να αλλάξουμε τις παραγγελίες σε σχέση με τις αλλαγές στις επιθυμητές παραγγελίες της διοχέτευσης. Ως εκ τούτου, υπάρχει μία σταθερά η Time To Adjust Pipeline η οποία διαδραματίζει παρόμοιο ρόλο με την Time to Adjust Inventory. Επομένως, θα πρέπει να υπάρχει μία συνιστώσα στην εξίσωση που μετρώνται οι παραγγελίες και είναι η εξής:

### *desired pipeline orders – Factory Order Backlog*

#### **Time To Adjust Pipeline**

Η τιμή της μεταβλητής Delay in Receiving Orders έχει οριστεί να συμφωνεί με την Target Production Delay. Δεδομένου ότι το εργοστάσιο έχει δημιουργήσει ένα Target Production Delay 2 εβδομάδων, η Delay in Receiving Orders έχει ρυθμιστεί στον ίδιο αριθμό εβδομάδων. Επίσης η Time to Adjust Pipeline έχει ρυθμιστεί και αυτή στις δύο εβδομάδες. Η όλη αυτή διαδικασία παρουσιάζεται στο σχήμα 5.5. Αυτό είναι ουσιαστικά βελτιωμένο σε σχέση με ότι εμφανίζεται σε οποιαδήποτε από τα προηγούμενα σχήματα. Το μέγεθος της ταλάντωσης για την Retail Inventory δεν είναι πολύ μεγαλύτερο από ότι στην αρχική διαδικασία στο σχήμα 5.2, αλλά τώρα η

Retail Inventory επιστρέφει αρκετά γρήγορα στο επιθυμητό επίπεδο των 400 μονάδων. ( Σημειώνουμε ότι οι κλίμακες για το σχήμα 5.2 και σχήμα 5.5 είναι ίδιες). Οι Retail Orders τώρα αυξάνονται από τις retail sales αλλά έπειτα πέφτουν γρήγορα πίσω στο επίπεδο των retail sales χωρίς τις απότομες ταλαντώσεις που εμφανίζονται στο δεύτερο και τρίτο μοντέλο. Η επίδοση αυτή είναι αρκετά καλή , αν και υπάρχει ακόμα ταλάντωση στην μεταβλητή Retail Inventory.



Σχήμα 5.5α διάγραμμα stock και ροής για το τέταρτο μοντέλο

## 5.6 Το πέμπτο μοντέλο

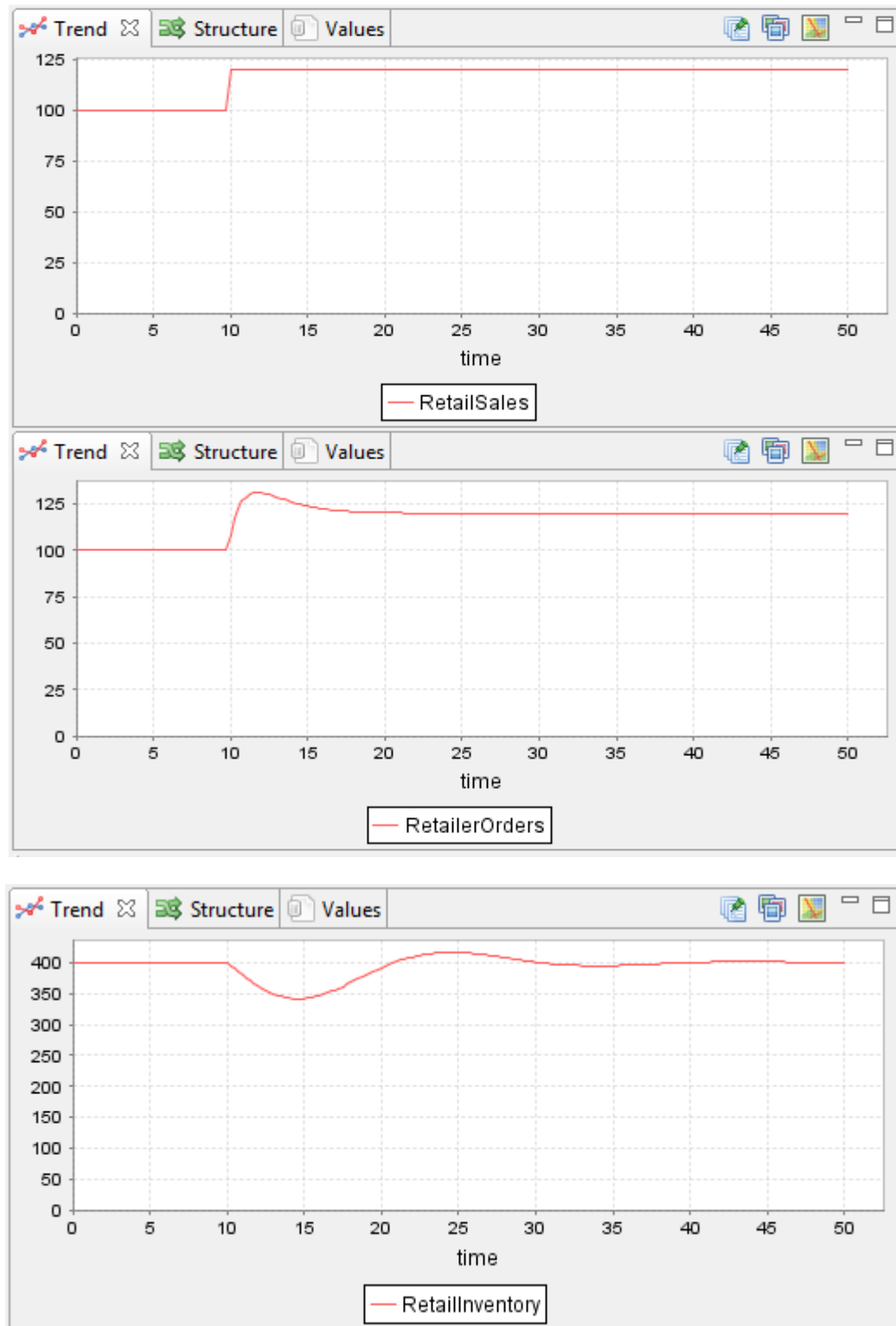
Μετά από κάποια μελέτη του τέταρτου μοντέλου , θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε μια πιθανή ενίσχυση ώστε να μειωθεί το ποσό της ταλάντωσης. Στο τέταρτο μοντέλο χρησιμοποιείται μία σταθερά η Delay in Receiving Orders. Ίσως αν προσθέσουμε μια πρόβλεψη για αυτήν την καθυστέρηση θα βελτιώσουμε την απόδοση της διαδικασίας . Το σχήμα 5.6 δείχνει ένα διάγραμμα αποθεμάτων και ροών για μια διαδικασία η οποία περιλαμβάνει μια τέτοια πρόβλεψη .Η σταθερά Delay in Receiving Orders που φαίνεται στο Σχήμα 5.5 έχει αντικατασταθεί από μια βοηθητική μεταβλητή Delivery Delay Forecast by Retailer, η οποία εμφανίζεται στην επάνω αριστερή γωνία του διαγράμματος . Η πρόβλεψη αυτή εξαρτάται από μία σταθερά Time to Detect Delivery Delay και μια άλλη βοηθητική μεταβλητή η



Delivery Delay Estimate. Η Delivery Delay Estimate εξαρτάται από την Factory Order Backlog και Factory Production.

1. Average Retail Sales = SMOOTH(Retail Sales, Time To Average Sales)
2. Delay in Receiving Orders = 2
3. Desired Inventory = 400
4. Desired Pipeline Orders = Delay In Receiving Orders \* Average Retail Sales
5. Desired Production = Factory Order Backlog / Target Production Delay
6. Factory Order Backlog = Integral(Retailer Orders – Factory Production)  
Initial Value = 200
7. Factory Production = SMOOTH(Desired Production, Time To Adjust Production)
8. Stop Time = 50
9. Start Time = 0
10. Retail Inventory = Integral(Factory Production – Retail Sales)  
Initial Value = 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. Target Production Delay = 2
14. Test Input = 100 + STEP(20,10)
15. Step length = 0.25
16. Time To Adjust Inventory = 2
17. Time To Adjust Pipeline = 2
18. Time To Adjust Production = 4
19. Time To Average Sales = 1

Σχήμα 5.5b εξισώσεις για το τέταρτο μοντέλο



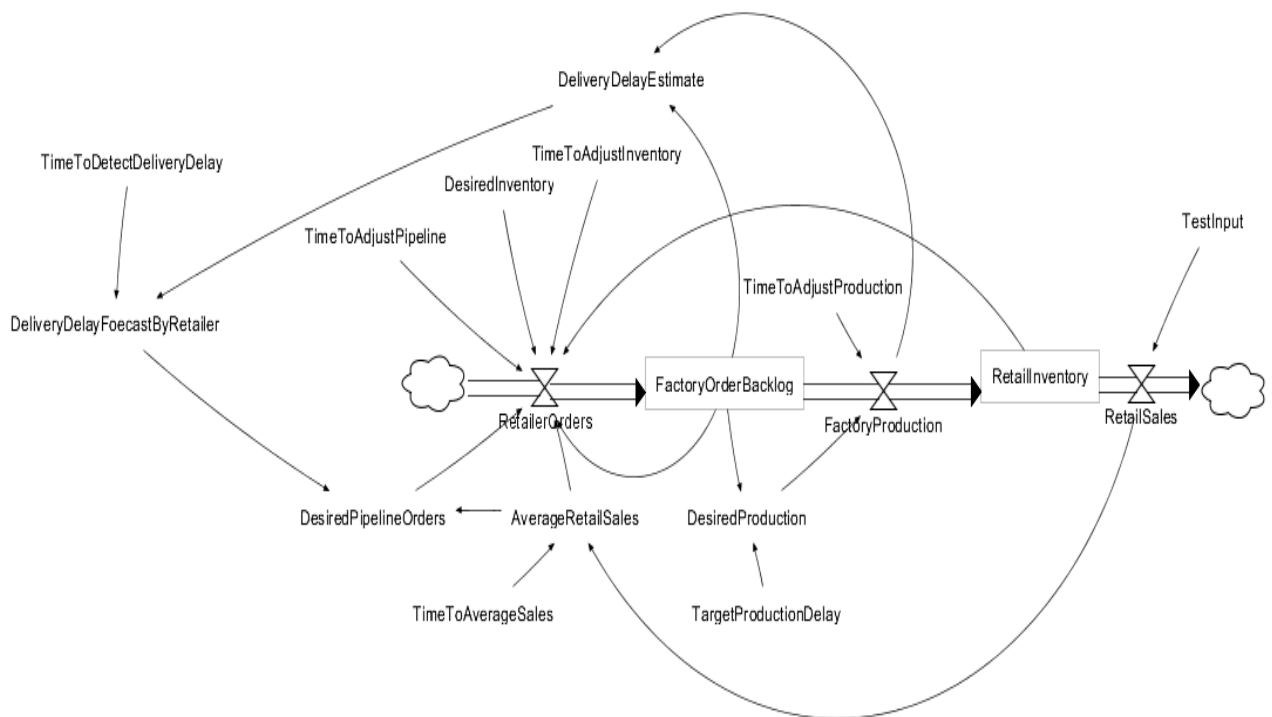
Σχήμα 5.5c διαγράμματα για το τέταρτο μοντέλο

Η πρόβλεψη του υπομοντέλου είναι μια προσπάθεια να μοντελοποιηθεί αυτό που ένας πραγματικός λιανέμπορος, θα μπορούσε να είναι σε θέση να προβλέψει για το τι συμβαίνει στον προμηθευτή του. Ένας τέτοιος λιανοπωλητής είναι πιθανόν να έχει

κάποια ιδέα για το τι είναι Factory Order Backlog και Factory Production σε κάθε στιγμή. Η εκτίμηση καθυστέρησης δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Delivery Delay Estimate} = \frac{\text{Factory Order Backlog}}{\text{Factory Production}}$$

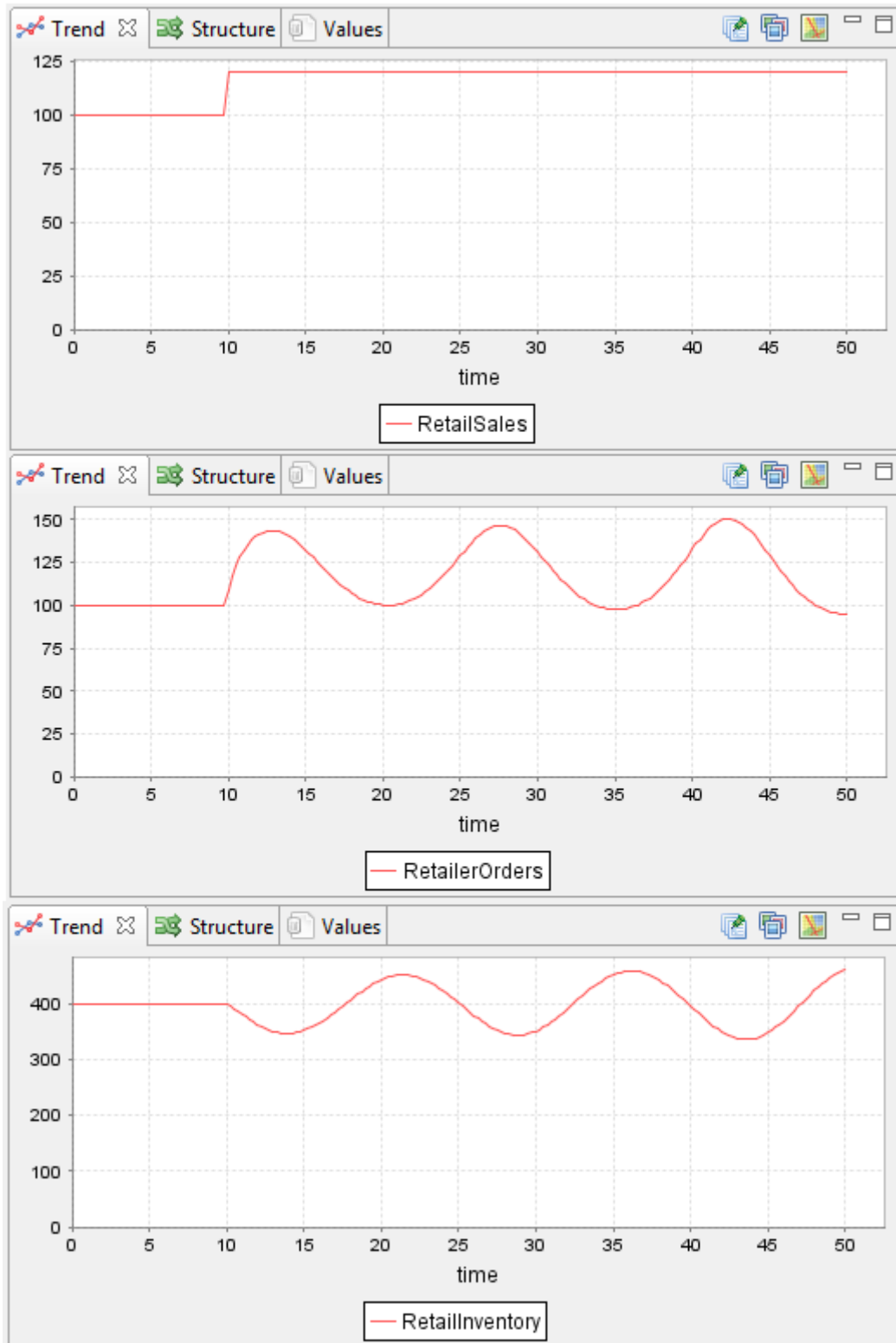
Ωστόσο, οι εκτιμήσεις του λιανοπωλητή για το Factory Order Backlog και του Factory Production είναι πιθανό να είναι κάπως ξεπερασμένες σε κάθε δεδομένη στιγμή, και, επίσης επηρεάζονται από το τι έχει συμβεί στο εργοστάσιο κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Ένα απλό μοντέλο για να υλοποιηθεί αυτό είναι η εκθετική καμπύλη μέσου όρου που έχουμε συζητήσει νωρίτερα. Έτσι, το Delivery Delay Forecast by Retailer διαμορφώνεται ως μια εκθετική καμπύλη μέσου όρου της Delivery Delay Estimate κατά τη διάρκεια μιας περιόδου Time To Detect Delivery Delay.



Σχήμα 5.6α διάγραμμα stock και ροής για το πέμπτο μοντέλο

1. Average Retail Sales = SMOOTH(Retail Sales, Time To Average Sales)
2. Delivery Delay Estimate = Factory Order Backlog / Factory Production
3. Delivery Delay Forecast By Retailer =  
SMOOTH(Delivery Delay Estimate, Time To Detect Delivery Delay)
4. Desired Inventory = 400
5. Desired Pipeline Orders =  
Delivery Delay Forecast By Retailer \* Average Retail Sales
6. Desired Production = Factory Order Backlog / Target Production Delay
7. Factory Order Backlog = Integral(Retailer Orders – Factory Production)  
Initial Value = 200
8. Factory Production = SMOOTH(Desired Production, Time To Adjust Production)
9. Stop Time = 50
10. Start Time = 0
11. Retail Inventory = Integral(Factory Production – Retail Sales)  
Initial Value = 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. Target Production Delay = 2
15. Test Input = 100 + STEP(20,10)
16. Step length = 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
21. Time To Detect Delivery Delay = 2

Σχήμα 5.6b εξισώσεις για το πέμπτο μοντέλο



Σχήμα 5.6c διαγράμματα για το πέμπτο μοντέλο

## 5.7 Άλλα Τυχαία Πρότυπα

Σε αυτό το σημείο, κάποιος μπορεί να πει ότι αυτό το μοντέλο είναι πολύ απλό. Ο πραγματικός κόσμος είναι πιο περίπλοκος από αυτό. Δεν χρειάζεται πραγματικά να ανησυχούμε γι αυτό. Μια πιο περίπλοκη διαδικασία θα απέδιδε καλύτερα και να ήταν πιο εύκολο να την διαχειριστούμε; Αυτό δεν φαίνεται πολύ πιθανό. Και τα δεδομένα δεν υποστηρίζουν την άποψη αυτή. Η ταλαντούμενη συμπεριφορά των συστημάτων παραγωγής - διανομής, καθώς και πολλά άλλα κοινωνικά και τεχνικά συστήματα (συμπεριλαμβανομένων των εθνικών και των παγκόσμιων οικονομιών), είναι καλά τεκμηριωμένα.

Ως μία επιβεβαίωση της γενικότερης εφαρμογή του τι έχουμε δει σε αυτό το κεφάλαιο, το Σχήμα 5.7 δείχνει την απόδοση του δεύτερου μοντέλου και του τέταρτου μοντέλου που μελετήσαμε παραπάνω με την παρουσία τυχαίων Retail Orders. Για να παραχθούν αυτά τα διαγράμματα, αντικαταστάθηκε μία εξίσωση του τέταρτου μοντέλου από τη :

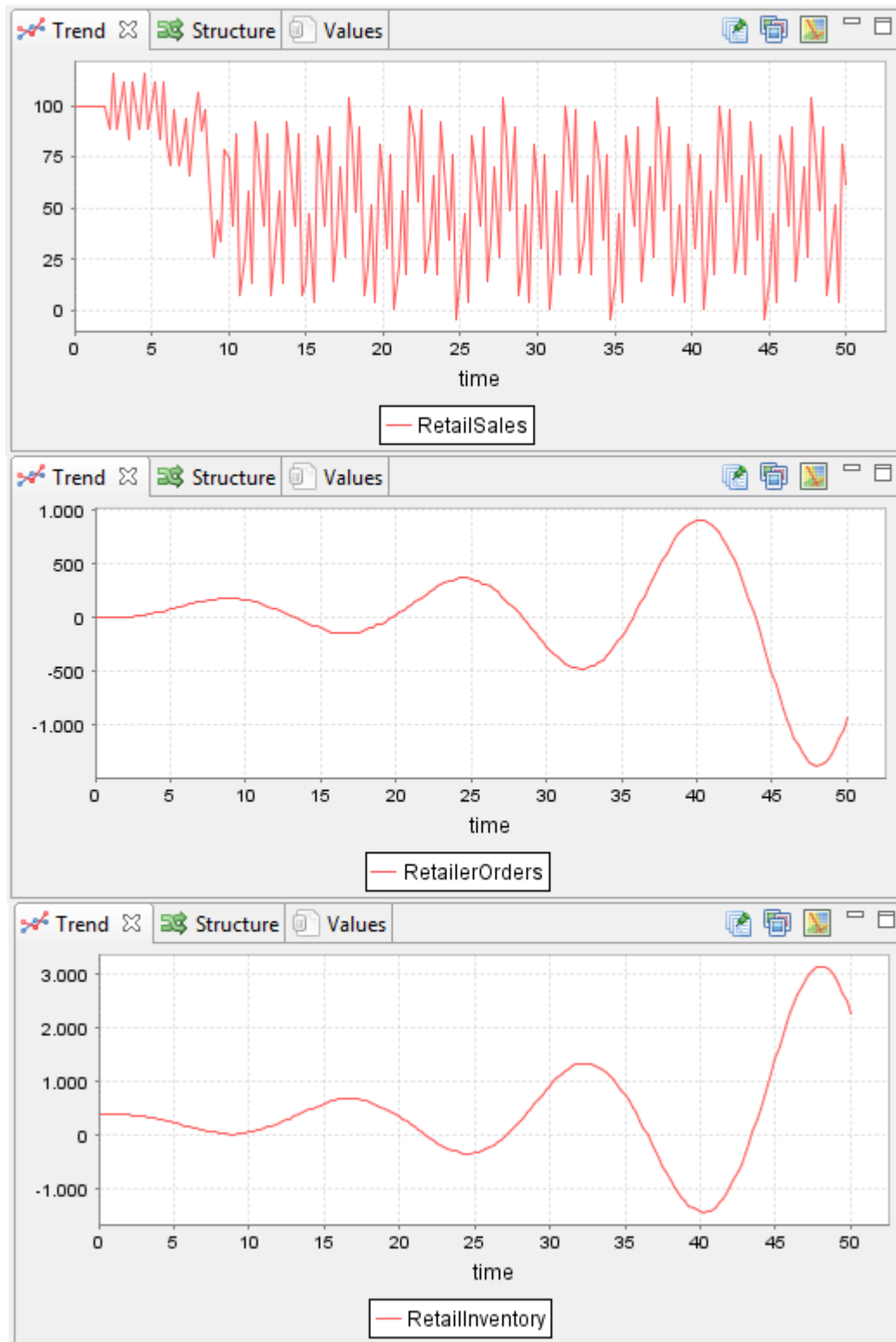
$$TEST\ input = 100 + STEP(20,10) * RANDOM\ UNIFORM(0,1,0).$$

Η συνάρτηση RANDOM UNIFORM (m,x,s), παράγει τυχαίους αριθμούς που κατανέμονται ομοιόμορφα μεταξύ m και x, με το επιχείρημα ( που ονομάζεται σπόρος) και θέτει τις προδιαγραφές των τυχαίων αριθμών. Ως εκ τούτου, αυτή η τροποποιημένη εξίσωση θα παράγει μία είσοδο Test που θα κατανέμεται ομοιόμορφα μεταξύ 100 και 200.

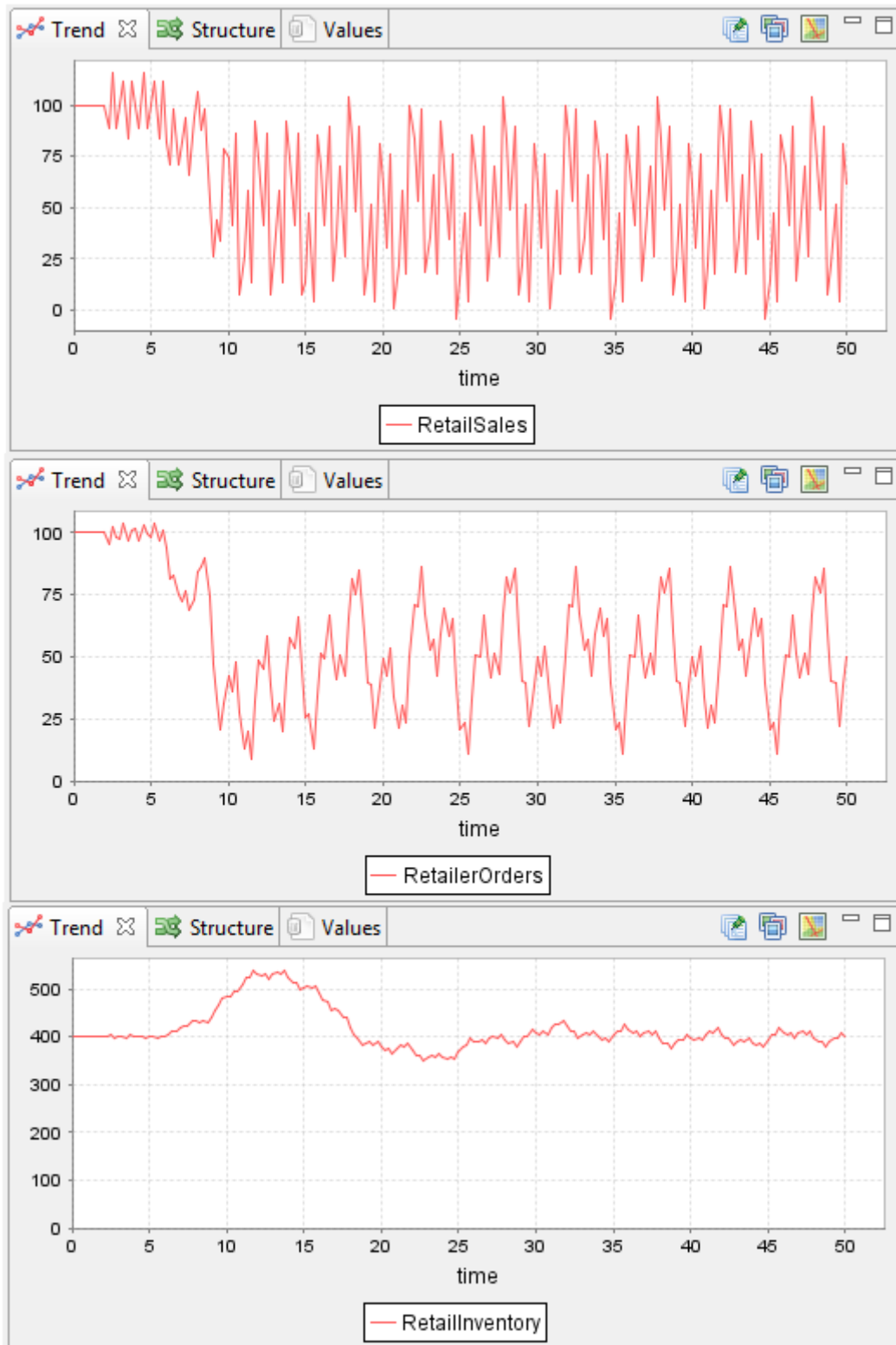
Σημείωση όταν συγκρίνουμε τα γραφήματα παρατηρούμε ότι η απόδοση είναι παρόμοια με μια τυχαία retail order παρά με τη βηματική. Αυτό υποστηρίζει την άποψη που κάναμε αρχικά, ότι η βηματική είσοδος χρησιμεύει συχνά ως ένα καλό test εισόδου για μια διαδικασία. Επιπλέον, τα αποτελέσματα αυτά υποστηρίζουν το συμπέρασμα ότι οι ταλαντώσεις σε μία διαδικασία οφείλονται σε έμφυτα χαρακτηριστικά της διαδικασίας και όχι σε εξωτερικά χαρακτηριστικά.

## Συμπεράσματα

Οι διαδικασίες παραγωγής-διανομής, και παρόμοιες δομές σε επιχειρήσεις παροχής υπηρεσιών, είναι ευρέως διαδεδομένες σε όλη τη βιομηχανία. Η κατανόηση αυτών των διαδικασιών είναι χρήσιμη για τον καθένα. Η δυσκολία ελέγχου τους όμως που εμφανίζονται σε αυτό το παράδειγμα είναι κοινή με πολλές πραγματικές διεργασίες στον κόσμο. Το αποτέλεσμα σε πολλές από αυτές τις διαδικασίες είναι μια τεράστια δομή ελέγχου για τη διασφάλιση της σταθερότητας. Δυστυχώς, τέτοιες δομές συχνά κάνουν τις διαδικασίες ισχυρά ανθεκτικές στις αλλαγές όταν το εξωτερικό περιβάλλον αλλάζει.



Σχήμα 5.7α διαγράμματα για το δεύτερο μοντέλο για τυχαία είσοδο



Σχήμα 5.7b διαγράμματα για το τέταρτο μοντέλο για τυχαία είσοδο



## Καθυστερήσεις, εξομάλυνση και μέσοι όροι

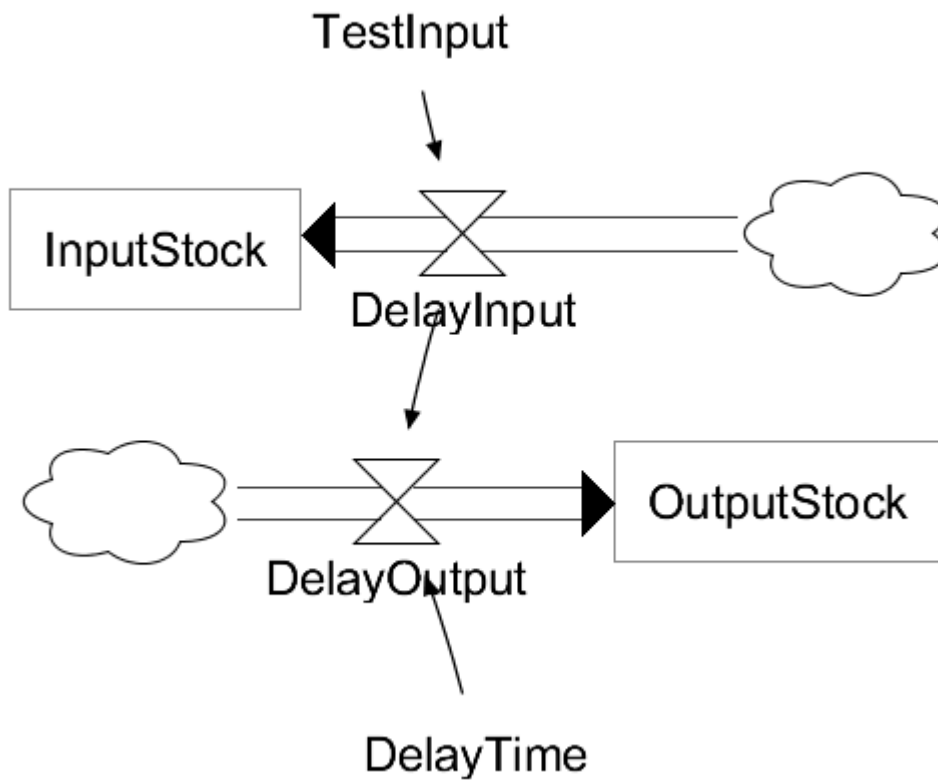
Οι καθυστερήσεις είναι συνηθισμένες σε πολλές διαδικασίες διαχείρισης. Χρειάζεται χρόνος για να δημιουργηθεί ένα προϊόν ή να παραδοθεί μια υπηρεσία, χρειάζεται χρόνος για να προσληφθούν ή να απολυθούν εργαζόμενοι, χρειάζεται χρόνος για την δημιουργία μιας νέας μονάδας. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα διερευνήσουμε πώς οι καθυστερήσεις αυτές μπορούν να μοντελοποιηθούν, ακόμα θα δούμε το συναφές θέμα της εξομάλυνσης.

### 6.1 Καθυστερήσεις σωληνώσεων ροής υλικών

Η απλούστερη μορφή της καθυστέρησης απεικονίζεται από έναν αγωγό που το υλικό εισέρχεται στο ένα άκρο της καθυστέρησης και εξέρχεται από το άλλο μετά από κάποιο χρονικό διάστημα χωρίς να έχει υποστεί κάποια αλλαγή, όπως το νερό σε έναν αγωγό. Πολλοί προσομοιωτές έχουν διάφορα εργαλεία για την υλοποίηση αυτού, το Simatnics διαθέτει την build in συνάρτηση DELAY.

Η χρήση της DELAY φαίνεται στο σχήμα 6.1. Το διάγραμμα stock και ροής του σχήματος 6.1a παρουσιάζει έναν ενδεικτικό τρόπο υλοποίησης καθυστέρησης, σε αυτό φαίνεται μια καθυστέρηση στην ροή από το Input Stock στο Output Stock.

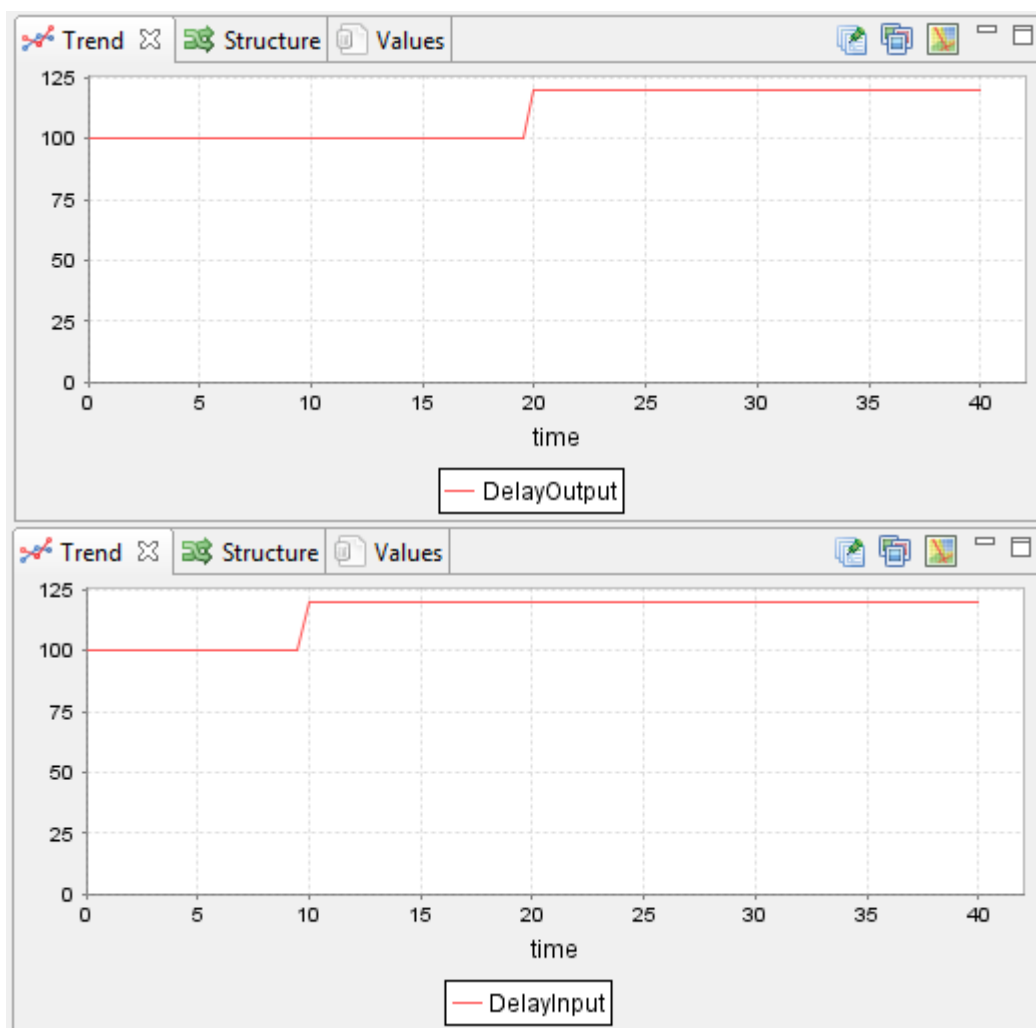
Στην DELAY υπάρχουν 3 ορίσματα, το πρώτο είναι το σήμα που εισέρχεται και στο οποίο εφαρμόζουμε την καθυστέρηση και το δεύτερο είναι ο χρόνος στον οποίο θα γίνεται η καθυστέρηση. Το αποτέλεσμα του 6.1b φαίνεται στο 6.1c, σαν είσοδο χρησιμοποιούμε την βηματική απόκριση και σαν καθυστέρηση το Delay Time που το έχουμε ορίσει 10.



Σχήμα 6.1a διάγραμμα ροής και αποθέματος

1. Delay Input = Test Input
2. Delay Output = DELAY(DelayInput, DelayTime)
3. Delay Time = 10
4. Stop Time = 40
5. Start Time = 0
6. Input Stock = Integral(Delay Input )  
Initial Value = 10000
7. Output Stock = Integral(Delay Output )  
Initial Value = 0
8. Test input = 100+STEP(20, 10)
9. Step length = 0.5

Σχήμα 6.1b εξισώσεις



Σχήμα 6.1c καθυστέρηση στη ροή

Άσχετα με το ποια θα είναι η είσοδος η έξοδος θα είναι η ίδια αλλά καθυστερημένη κατά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

## 6.2 Εκθετική καθυστέρηση τρίτου βαθμού.

Η προηγούμενη καθυστέρηση που είδαμε είναι ένα ελκυστικό μοντέλο αλλά η ροή δεν είναι πάντα καθαρή. Όταν γίνονται οι παραγγελίες πολλές φορές όλα τα υλικά δεν καταφθάνουν ακριβώς την ίδια στιγμή, γι' αυτό πρέπει να υπάρχει μια κλιμάκωση στην καθυστέρηση των υλικών που καταφθάνουν. Η εκθετική καθυστέρηση τρίτου βαθμού προσφέρει ένα απλό μοντέλο γι' αυτό (σχήμα 6.2). Θα χρησιμοποιήσουμε το ίδιο διάγραμμα αποθέματος και ροής αλλά θα βάλουμε διαφορετική συνάρτηση για την καθυστέρηση ανάμεσα στο Delay Input και το Delay Output.

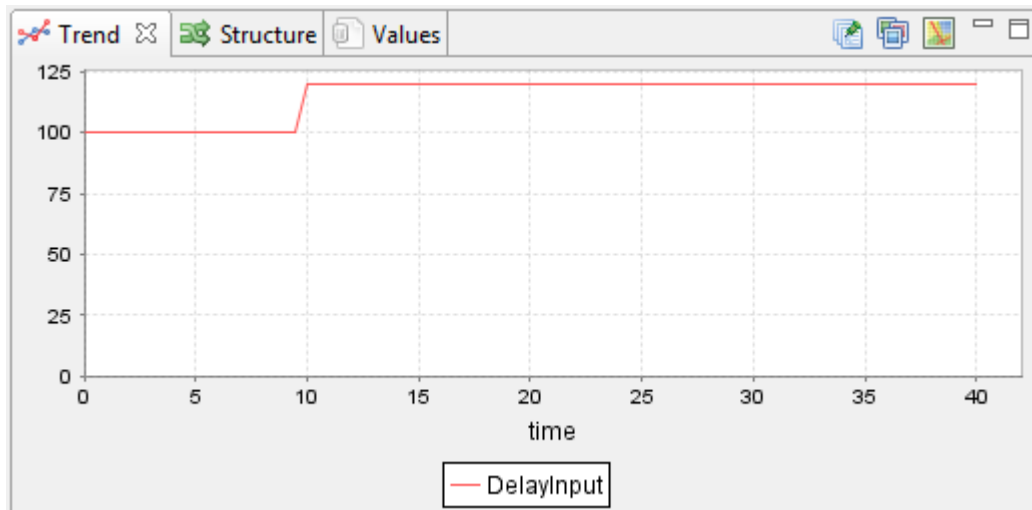
Η εκθετική καθυστέρηση  $n$  βαθμού υλοποιείται στο Simatics με τέσσερις παραμέτρους, η πρώτη παράμετρος είναι το εισερχόμενο σήμα, η δεύτερη είναι ο χρόνος στον οποίο θα γίνεται το delay και η τρίτη είναι η αρχική τιμή, εδώ θα είναι το

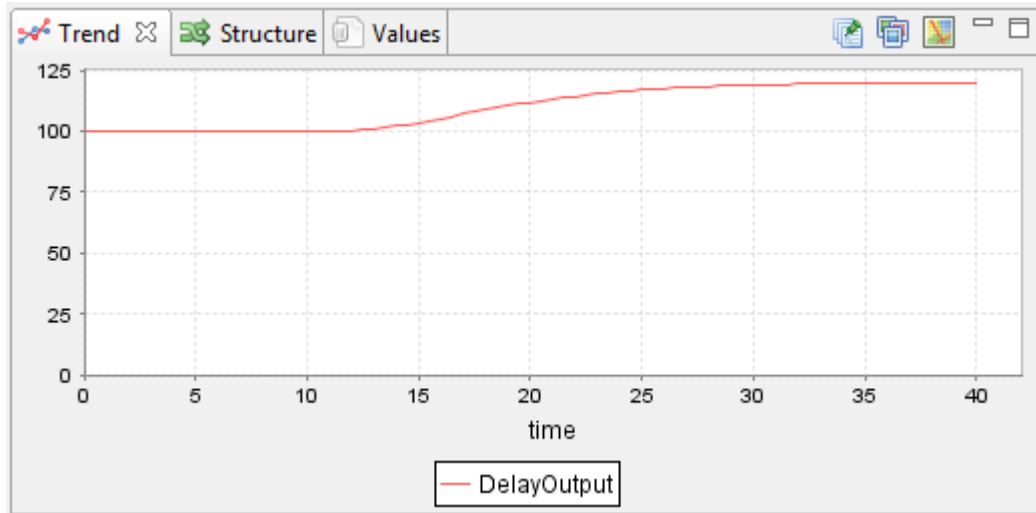
εισερχόμενο σήμα, και τέλος η τέταρτη καθορίζει τον βαθμό της καθυστέρησης, στην περίπτωση αυτή θα είναι τρία.

Η βηματική είσοδος, η εκθετική καθυστέρηση τρίτου βαθμού και η έξοδος φαίνονται στο σχήμα 6.2b. Παρατηρούμε ότι στην αρχή και κοντά στο βήμα υπάρχει πολύ μικρή έξοδος, όμως μετά αυτό αλλάζει και φτάνει την ροή της εισόδου. Αν και η εκθετική καθυστέρηση τρίτου βαθμού είναι ικανοποιητική για να μοντελοποιήσει πολλές περιπτώσεις σε αυτές που υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα στην ροή φαίνεται από το σχήμα 6.3 ότι παρουσιάζει προβλήματα.

1. Delay Input = Test Input
2. Delay Output = DELAY3  
     expression = Delay Input  
     delay time = Delay Time  
     initial value = Delay Input  
     order =3
3. Delay Time = 10
4. Stop Time = 40
5. Start Time = 0
6. Input Stock = Integral(Delay Input )  
     Initial Value = 10000
7. Output Stock = Integral(Delay Output )  
     Initial Value = 0
8. Test input = 100+STEP(20, 10)
9. Step length = 0.5

Σχήμα 6.2a εξισώσεις





Σχήμα 6.2b διαγράμματα

Για το 6.3 έχουμε αλλάξει το input και έχει γίνει της παρακάτω μορφής

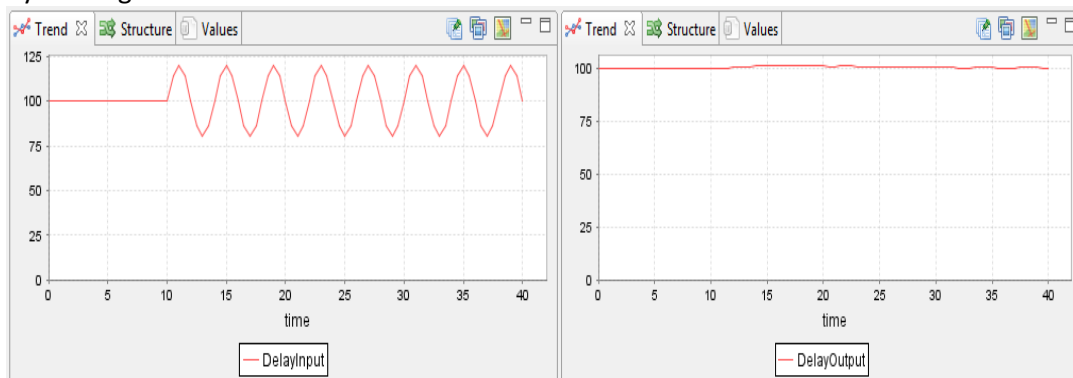


Όπου

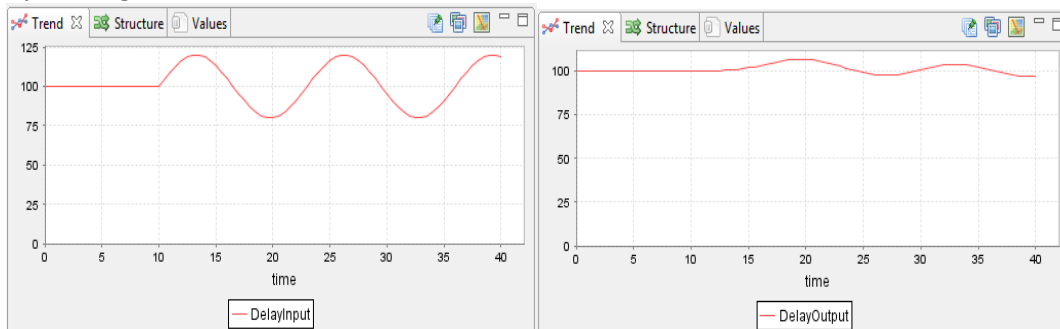
$$\text{Test Input} = 100 + \text{STEP}(20, 10) * \text{SIN}(2 * 3.14159 * (\text{time} - 10) / \text{Cycle Length}.$$

Για διάφορα Cycle Length θα πάρουμε και διαφορετικά αποτελέσματα.

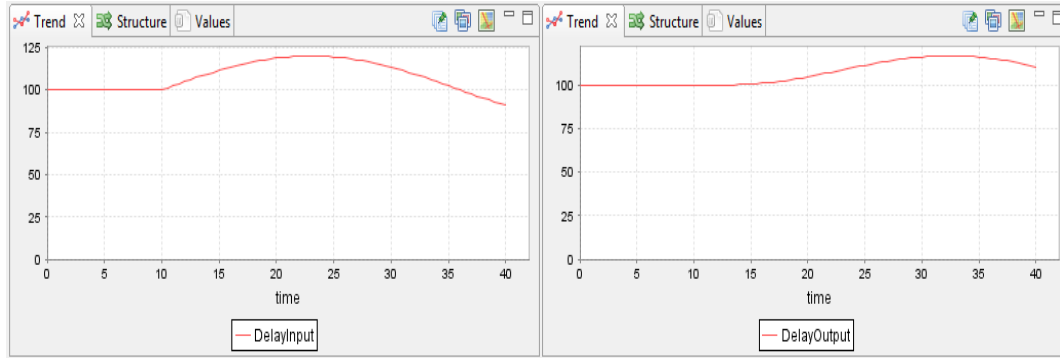
Cycle Length = 4



Cycle Length = 13



Cycle Length = 52



Σχήμα 6.3 Αποτελέσματα Simantics

### 6.3 Κινητός Μέσος Όρος

Η πιο γνωστή διαδικασία μέσου όρου είναι ο κινητός μέσος όρος. Με αυτή την προσέγγιση τα δεδομένα συλλέγονται για ένα χρονικό διάστημα (πχ ημερήσια διαγράμματα πωλήσεων για τον τελευταίο μήνα) και με αυτά βρίσκουμε τον μέσο όρο δίνοντας σε όλα το ίδιο βάρος. Έτσι όλα αυτά συλλέγονται, αθροίζεται ο μέσος όρος των εισόδων και διαιρείται με το πλήθος τους. Όσο ο χρόνος προχωρά ο μέσος όρος επαναυπολογίζεται διώχνοντας την πιο παλιά παρατήρηση και προσθέτοντας την πιο καινούρια .

Αυτή η διαδικασία είναι πολύ απλή και εύκολη στην υλοποίηση αλλά έχει ένα μειονέκτημα. Η διαδικασία αυτή δίνει το ίδιο βάρος στον μέσο όρο σε όλα τα δεδομένα ασχέτως με το πόσο παλιά είναι, δηλαδή αν θέλουμε να υπολογίσουμε τον κινητό μ.ο. για τις πωλήσεις τον τελευταίο μήνα θα δώσουμε το ίδιο βάρος σε πωλήσεις που έγιναν πριν ένα μήνα και χθες. Όμως οι συνθήκες μπορεί να έχουν αλλάξει εδώ και ένα μήνα και οι πωλήσεις που έγιναν χθες μπορεί να είναι πιο κοντά στις τωρινές συνθήκες.

### 6.4 Εκθετική εξομάλυνση

Μία διαδικασία που δίνει πιο μεγάλο βάρος στα πιο πρόσφατα γεγονότα και λιγότερο στα πιο παλιά είναι η εκθετική εξομάλυνση. Με αυτή τη διαδικασία κάθε παλιότερη εισαγωγή χρησιμοποιείται στον υπολογισμό αλλά παίρνει αναλογικά λιγότερο βάρος. Η αναλογία των βαρών για κάθε διαδοχικό ζεύγος στοιχείων-δεδομένων είναι η ίδια, γι' αυτό αν η αναλογία για το πιο πρόσφατο και για το λιγότερο πιο πρόσφατο δεδομένο είναι 0.8 για τα αμέσως πιο πρόσφατα θα είναι πάλι 0.8. Αυτό μας δείχνει πως η αναλογία του πρώτου με το τρίτο θα είναι  $0.8 \times 0.8 = 0.64$ . Στην θεωρία η εκθετική εξομάλυνση λαβαίνει υπόψη δεδομένα όσο πίσω και να είναι όμως η επίδραση τους μειώνεται όσο νέα δεδομένα εισέρχονται και έτσι αυτά όλο και έχουν λιγότερη σημασία στον μ.ο.

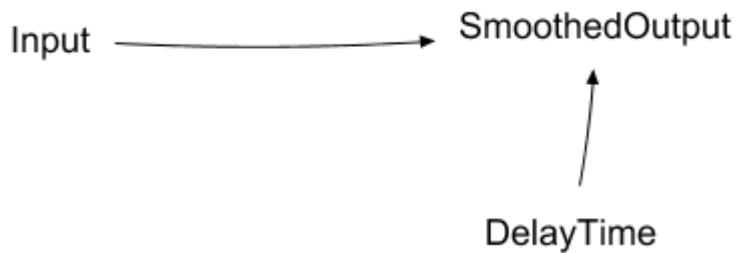
Το Simantics δεν είχε προκαθορισμένη συνάρτηση για να κάνει εκθετική εξομάλυνση, γι' αυτό και χρειάστηκε να υλοποιήσουμε μια. Ο Κώδικας που χρησιμοποιήθηκε είναι ο παρακάτω

```

if initial()
then Input
else
  (0.1/DelayTime)*Input + (1-0.1/DelayTime)* delay(SmoothedOutput,0.1)

```

Στο 6.4 μπορούμε να δούμε ένα παράδειγμα εκθετικής εξομάλυνσης σε βηματική είσοδο.



Σχήμα 6.4a εκθετική εξομάλυνση

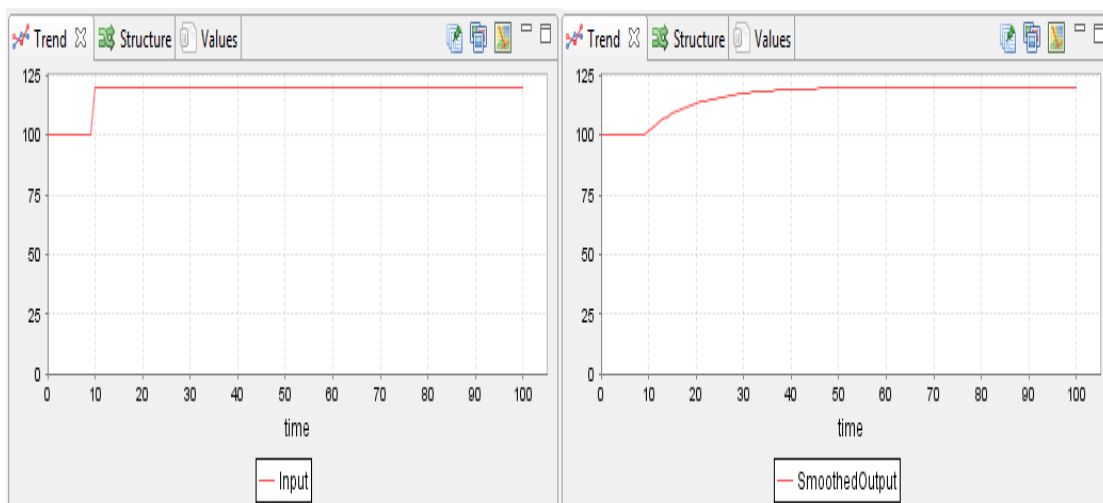
1. Delay Time = 10
2. Stop Time = 100
3. Start Time = 0
4. Input = 100 + STEP(20,10)
5. Smoothed Output =
 

```

if initial()
then Input
else
  (0.1/DelayTime)*Input + (1-0.1/DelayTime)* delay(SmoothedOutput,0.1)

```
6. Step length = 1

Σχήμα 6.4b εξισώσεις



Σχήμα 6.4c Διαγράμματα εκθετικής εξομάλυνσης





## Διαδικασίες για τη λήψη αποφάσεων

Οι διαδικασίες για τη λήψη αποφάσεων είναι η «κόλλα» που δένει τις πληροφορίες και το υλικό που ρέει στο δίκτυο ενός οργανισμού. Οι αποφάσεις για το τι πληροφορίες πρέπει να συλλεχθούν και πώς να επεξεργάζονται καθορίζει πώς η πληροφορία ρέει σε ένα δίκτυο πληροφοριών. Οι αποφάσεις σχετικά με το πώς να χρησιμοποιήσουμε τις πληροφορίες και ποιες δράσεις να αναλάβει η ροή υλικού καθορίζουν το πώς οι πληροφορίες θα επηρεάσουν τη ροή υλικού στα σημεία αυτά που το δίκτυο πληροφορίας δείχνει στο δίκτυο ροής υλικών. Έτσι, μια κρίσιμη πτυχή της δημιουργίας χρήσιμων μοντέλων προσομοίωσης είναι οι κατάλληλες διαδικασίες λήψης αποφάσεων.

Ολοένα και περισσότερο, η λήψη αποφάσεων είναι αυτοματοποιημένη, αφού οι υπολογιστές αναλαμβάνουν πιο συνηθισμένες λήψεις αποφάσεων στις επιχειρηματικές διαδικασίες αλλά πολλές αποφάσεις εξακολουθούν και πρέπει να γίνονται από τον άνθρωπο. Έτσι, είναι απαραίτητο να μοντελοποιήσουμε τις λήψεις των ανθρώπινων αποφάσεων για την κατασκευή ενός ρεαλιστικού μοντέλου. Αυτό μπορεί να φαίνεται σαν μια σύνθετη διαδικασία δηλαδή το να μιμηθούν οι υπολογιστές το ανθρώπινο μυαλό. Σίγουρα αυτό είναι ένα έργο πέρα από τις δυνατότητες ενός μοντέλου του υπολογιστή.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας σχετικά με την ανθρώπινη λογική, και στη συνέχεια μοντελοποιούμε τη λήψη αποφάσεων σε ένα μοντέλο προσομοίωσης. Όπως θα δούμε, τα αποτελέσματα της έρευνας υποστηρίζουν σθεναρά το συμπέρασμα ότι η ανθρώπινη λήψη αποφάσεων είναι ούτε ιδιαίτερα πολύπλοκη ούτε ιδιαίτερα αποτελεσματική. Αυτό το κάπως αποθαρρυντικό αποτέλεσμα, ωστόσο, φέρει ένα αισιόδοξο μήνυμα για όσους ενδιαφέρονται για την μοντελοποίηση και βελτίωση των επιχειρηματικών διαδικασιών: Είναι δυνατόν να μοντελοποιηθεί η ανθρώπινη απόφαση καθιστώντας την με σχετικά απλά μοντέλα, και είναι επίσης δυνατόν να βελτιωθεί ο σχετικά απλός τρόπος ανθρώπινης λήψης αποφάσεων με συστηματικές πολιτικές αποφάσεων.

### 7.1 Εμπειρογνώμονες και Τεχνογνωσία

Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα της έρευνας σχετικά με την ικανότητα των εμπειρογνομώνων να παράσχουν ακριβείς διαισθητικές προβλέψεις. Τα αποτελέσματα της έρευνας έντονα συνάγουν το συμπέρασμα ότι οι εμπειρογνώμονες δεν έχουν καλή διαισθητική προγνωστικών και ότι απλά τα μοντέλα χρησιμοποιώντας τις ίδιες μεταβλητές πρόβλεψης και ως εμπειρογνώμονες παρέχουν περισσότερες ακριβείς προβλέψεις.

Ένας μεγάλος αριθμός μελετών έχει ασχοληθεί με το ζήτημα του κατά πόσον οι προβλέψεις από εκπαιδευμένους εμπειρογνώμονες με διαισθητική σε παγκόσμιες προβλέψεις είναι καλύτερες από ό, τι από αυτές που στατιστικά προέρχονται από σταθμισμένους μέσους όρους ( γραμμικά μοντέλα ) των σχετικών προγνωστικών.

## Συζήτηση για τα ευρήματα των ερευνών

Όταν ξεκινάμε μία μελέτη για τα αποτελέσματα των ευρημάτων ,μπορεί να φαίνεται ότι οι εμπειρογνώμονες μπορούν να αντικατασταθούν από απλές γραμμικές εξισώσεις. Ωστόσο , μία καλύτερη θεώρηση στην έρευνα δείχνει ότι αυτό είναι ένα πολύ ισχυρό συμπέρασμα που προκύπτει από την έρευνα. Ο Dawes ( 1979 ) σημειώνει « Το γραμμικό μοντέλο δεν μπορεί να αντικαταστήσει τον εμπειρογνώμονα για να αποφασιστεί πράγματα όπως τι πρέπει να αναζητήσουμε»... είναι ακριβώς αυτή η γνώση του τί πρέπει να ψάξουν για τη λήψη της απόφασης που την έχουν οι εμπειρογνώμονες. Ωστόσο, οι άνθρωποι ειδικά οι εμπειρογνώμονες είναι πολύ καλύτεροι στην επιλογή και κωδικοποίηση πληροφοριών από ό, τι στην ενσωμάτωση αυτών. Τα ευρήματα μπορούν να εξηγηθούν από μια αρχή της φύσης, μια μαθηματική αρχή , και μια ψυχολογική αρχή . Η αρχή της φύσης είναι ότι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών πρόβλεψης τείνουν να γίνουν μονότονες. Δηλαδή, ενώ μπορεί να υπάρχουν αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών πρόβλεψης, αυτές οι αλληλεπιδράσεις δεν αλλάζουν τη μονοτονία μεταξύ μιας συγκεκριμένης μεταβλητής και της πρόβλεψης.

Η σχετική μαθηματική αρχή είναι ότι η αλληλεπίδραση επιδρά μεταξύ των μεταβλητών που συμβάλλουν μονότονα στη συνολική επίδραση μπορεί συχνά να αγνοηθεί και το προκύπτον γραμμικό μοντέλο θα εξακολουθεί να παρέχει επαρκείς προβλέψεις.

Η ψυχολογική αρχή που εξηγεί την ανώτερη προβλεπτική ικανότητα της γραμμικής μοντέλων είναι ότι οι άνθρωποι έχουν δυσκολία στην ενσωμάτωση περισσότερων από μία μεταβλητών. Έτσι, τείνουν να αγκυροβολήσουν σε μια συγκεκριμένη μεταβλητή πρόβλεψης , ενώ κάνοντας μια πρόβλεψη δεν θα μπορέσουν να προσαρμόσουν τις προβλέψεις επαρκώς ώστε να τις λάβουν υπόψη και άλλες μεταβλητές .

## Συμπερασματικά σχόλια σε αποτελέσματα ευρημάτων

Ακόμη και απλά ποσοτικά μοντέλα μπορούν να ξεπεράσουν εμπειρογνώμονες στις εργασίες πρόβλεψης . Ωστόσο , η έρευνα επισημαίνει επίσης ότι οι εμπειρογνώμονες διαδραματίζουν καίριο ρόλο στην ανάπτυξη τέτοιων μοντέλων. Αυτά είναι αναγκαία για τον προσδιορισμό των μεταβλητών που ενσωματώνονται σε ένα μοντέλο . Η έρευνα φέρει επίσης ένα προειδοποιητικό μήνυμα για εκείνους που εργάζονται για την ανάπτυξη συστημάτων που βασίζονται σε υπολογιστή . Γενικά το κριτήριο για να κρίνουμε την επίδραση τέτοιων συστημάτων είναι το πόσο καλά θα αναπαράγουν την απόδοση ενός εμπειρογνώμονα . Ωστόσο , η έρευνα δείχνει ότι τουλάχιστον στις εργασίες πρόβλεψης είναι δυνατόν ακόμη και με απλά μοντέλα να ξεπεραστούν οι εμπειρογνώμονες μιας και οι καίριες μεταβλητές πρόγνωσης έχουν αναγνωριστεί . Έτσι, η απόδοση των εμπειρογνομώνων μπορεί να μην είναι καλό σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση της απόδοσης του υπολογιστή με βάση το σύστημα των εμπειρογνομώνων . Είναι ίσως δυνατόν να κάνουμε κάτι καλύτερο .

## 7.2 Μοντελοποίηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων

Το υπόλοιπο αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζει δομές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντιπροσωπεύουν διαδικασίες λήψης αποφάσεων μέσα σε ένα μοντέλο προσομοίωσης. Ειδικότερα, θεωρούμε αποφάσεις σε σημεία όπου τα βέλη πληροφοριών εισάγουν ροές. .

### Παράδειγμα : Διαχείριση Ροών

Εμείς θα προχωρήσουμε θεωρώντας μια διαδικασία επιχειρηματικής διαδικασίας με μία απλή δομή: Διαχείριση της εξόδου από μια δεξαμενή νερού η οποία έχει δύο χαρακτηριστικά όσο αφορά την διαδικασία λήψης αποφάσεων. Πρώτον, το απόθεμα και οι μεταβλητές ροής. Η ποσότητα του νερού στη δεξαμενή είναι σαφώς ένα απόθεμα, και οι ροές μέσα και έξω από τη δεξαμενή είναι σαφώς ροές. Δεύτερον, έχει μια σχετικά απλή δομή όπου οι επιπτώσεις των διαφορετικών κανόνων αποφάσεων μπορεί εύκολα να διαπιστωθούν ..

Τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος ταμιευτήρων και άρδευσης φαίνονται στο σχήμα 7.1. Η ποσότητα του νερού στη δεξαμενή έχει επιγραφή Reservoir Contents.



Σχήμα 7.1 Διαδικασία ροής νερού

Το ποσό του διαθέσιμου νερού στη δεξαμενή είναι το Drainage Basin Contents. Για λόγους απλότητας, αναφερόμαστε σε όλες τις απώλειες νερού ως αποστράγγιση. Έτσι, υπάρχει μόνο μία μεταβλητή απόφασης, η απελευθέρωση του φράγματος, το οποίο φαίνεται στο κέντρο του σχ. 7.1. Το Φράγμα εγκλείει νερό από ένα σημαντικό τμήμα του ποταμού, και η μέση ετήσια καθαρή κατακράτηση, λαμβανομένων υπόψη των απωλειών λόγω εξάτμισης, είναι 0,5 εκατ. Πόδια/στρέμμα. Η διαδικασία λειτουργίας του φράγματος είναι να διατηρήσει ένα μακροπρόθεσμο μέσο όρο ενός εκατομμύριου στρέμματος νερού, αν και η πραγματική ποσότητα του νερού στη δεξαμενή μπορεί να ποικίλει πάνω από βραχυπρόθεσμα ανάλογα από τη βροχόπτωση και άλλες συνθήκες. Οι ανάγκες για κατανάλωση είναι 0,5 εκατ. στρεμμάτα ανά έτος νερό.

Εάν υπάρχει πλημμύρα σε μια περιοχή, τότε η δεξαμενή μπορεί να παγιδεύσει νερό στις περιόδους υψηλής ροής και σταδιακά να το απελευθερώσει επί παρατεταμένο χρονικό διάστημα. Εάν υπάρχουν περίοδοι ξηρασίας, τότε η δεξαμενή μπορεί να σώσει το νερό κατά τη διάρκεια αρκετών ετών και να το απελευθερώσει κατά τη διάρκεια της ξηρασίας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σε αυτή την κατάσταση, όπως και σε οποιαδήποτε διαδικασία που συνεπάγεται ροή του υλικού, το υλικό που ρέει πρέπει να συντηρείται όσο είναι το συνολικό ποσό του υλικού που ρέει στη διαδικασία πρέπει, μακροπρόθεσμα, κατά μέσο όρο για να το ίδιο ποσό που ρέει έξω από τη διαδικασία. Σε αντίθετη περίπτωση, το υλικό επ' αόριστον θα συνεχίζει να συσσωρεύεται κάπου στη διαδικασία και τελικά θα γίνει μεγαλύτερο

της χωρητικότητας αποθήκευσης . Δεδομένου ότι υπάρχει μια διαδοχική ροή του νερού μέσα από τη διαδικασία που φαίνεται στο Σχήμα 7.1 , η απαίτηση ότι το υλικό που πρέπει να διατηρηθεί μέσα σημαίνει ότι οι μεγάλοι μέσοι όροι για εισροή και απελευθέρωση και εκροή πρέπει όλοι να είναι ίδιοι.

### **Τύπο Μοντέλων Αποφάσεων**

Η συζήτηση σχετικά με τους εμπειρογνώμονες νωρίτερα σε αυτό το κεφάλαιο δείχνει ότι ακόμα και οι ειδικοί σε ένα πεδίο χρησιμοποιούν σχετικά απλές διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Ως εκ τούτου , είναι συχνά σκόπιμο να χρησιμοποιούμε απλά μοντέλα για να αντιπροσωπεύουμε διαδικασίες λήψης αποφάσεων σε μοντέλα προσομοίωσης .Υπάρχουν εκεί δύο κύρια ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν στην κατασκευή τέτοιων μοντέλων

1. Ποιοι παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο απόφασης
2. Πώς θα πρέπει να συνδυάζονται οι παράγοντες αυτοί . Ερευνούμε τα δύο αυτά θέματα παρακάτω.

Πολλές διαδικασίες λήψης αποφάσεων λαμβάνουν υπόψη πολλούς παράγοντες, είναι σαφές ότι οποιαδήποτε λογική διαδικασία λήψης αποφάσεων για οτιδήποτε απελευθερώνεται θα πρέπει να εξεταστεί τόσο επίπεδο του ταμιευτήρα όσο τον αντίκτυπο των ροών έξω από τη δεξαμενή. Στην περίπτωση αυτή, και αυτό είναι χαρακτηριστικό από πολλές καταστάσεις λήψης αποφάσεων , υπάρχουν ρητοί ή υπονοούμενοι στόχοι όσον αφορά τους δύο παράγοντες . Για τη στάθμη του ταμιευτήρα δεν θέλουμε την ποσότητα του νερού στη δεξαμενή να γίνει τόσο μεγάλη ώστε μια ξαφνική αύξηση στην εισροή να οδηγήσει στην απειλή της υπερπήδησης του φράγματος. Επίσης, δεν θέλουμε η στάθμη του νερού στη δεξαμενή να γίνει πάρα πολύ χαμηλή , διότι αν η ξηρασία εμφανίζεται όταν η στάθμη της δεξαμενής είναι χαμηλή μπορεί να μην είμαστε σε θέση να παράσχουμε νερό

Όσον αφορά τις εκροές δεν θέλουμε να είναι υπερβολικά υψηλές ή να προκαλέσουν πλημμύρα, και επίσης δεν θέλουμε να είναι πάρα πολύ χαμηλές.. Ένας τρόπος για να αντιμετωπιστεί αυτό είναι να προσπαθήσουμε να διατηρήσουμε μία σταθερή τιμή για το περιεχόμενο της βάσης αποστράγγισης. Αν αυτή γίνεται πολύ υψηλή, τότε η πλημμύρα θα συμβεί , και εάν γίνει πάρα πολύ χαμηλή , θα υπάρξει ανεπάρκεια νερού.

Έτσι , για να συνοψίσουμε , οι στόχοι μας είναι να διατηρηθούν σε σταθερά επίπεδα οι δύο μεταβλητές Reservoir Contents και Drainage Basin Contents στο σχήμα 7.1 . Κάποιος μπορεί να απεικονίσει μια ποικιλία από διαφορετικές ποσοτικές μορφές για τις λειτουργίες λήψης αποφάσεων που αντιμετωπίζουν πολλαπλούς στόχους . Οι απλούστεροι είναι δύο 1 ) ένας μέσος όρος των παραγόντων , ίσως με διαφορετικά βάρη για κάθε παράγοντα , ή 2 ) ένα προϊόν των παραγόντων . Αυτές οι μορφές ,που χρησιμοποιούνται και οι δύο σε μοντέλα προσομοίωσης , και έχουν αποδειχτεί επαρκείς να μοντελοποιούν μια ποικιλία διαφορετικών διαδικασιών λήψης απόφασης στον πραγματικό κόσμο.

### 7.3 Σταθμισμένος μέσος όρος στα μοντέλα αποφάσεων

Οι ιδέες στις οποίες βασίζεται το σταθμισμένο μέσο όρο μοντέλο απόφασης για μία μεταβλητή ροής είναι απλές.

- Ένα τμήμα της ροής χρησιμοποιείται για να προσπαθήσει να διατηρήσει κάποιο στόχο με σχέση με καθένα από τους παράγοντες απόφασης, και αν η ροή αποκλίνει από ό,τι απαιτείται για να διατηρηθεί αυτός ο στόχος, τότε αυτό το τμήμα της ροής θα πρέπει να προσαρμοστεί.
- Αυτές οι προσαρμογές γίνονται πάνω από μια χρονική περίοδο (δηλαδή, κατά μέσο όρο) ώστε να αποφεύγονται οι ασυνέχειες, καθώς επίσης και να εξομαλύνουν παροδικές αλλαγές στις συνθήκες, λόγω τυχαίων παραγόντων.
- Η συνολική ροή αποτελείται από ένα άθροισμα των τμημάτων που έχουν ανατεθεί στην επίτευξη καθενός από τους στόχους.
- Διαφορετικά βάρη μπορούν να εκχωρηθούν για την επίτευξη του στόχου ανάλογα με τη σχετική τους σημασία.

Το σχήμα 7.2α δείχνει ένα απόθεμα και το διάγραμμα ροής αντιπροσωπεύει ένα σταθμισμένο μέσο όρο υπόδειγμα απόφασης για τη μεταβλητή απελευθέρωσης. Αυτό έχει αναπτυχθεί από το 7.1 διάγραμμα με την προσθήκη μιας ποικιλίας βοηθητικών μεταβλητών, οι περισσότερες από τις οποίες σχετίζονται με την απόφαση απελευθέρωσης. Στην επάνω αριστερή γωνία του διαγράμματος, Long Term Average Inflow είναι μία σταθερά η οποία παρέχει το μέσο ποσοστό ροής στο Big Stormy Reservoir. Από τις πρώτες συζητήσεις μας, γνωρίζουμε ότι αυτό είναι 0.5 εκατομμύρια στρέμματα ανά έτος. Αυτό χρησιμοποιείται για να θέσει ως στόχο την ποσότητα του νερού στο Big Stormy Reservoir, η οποία υποδεικνύεται στο διάγραμμα ως Reservoir Target. Θα υποθέσουμε ότι ο στόχος είναι δύο φορές ο Long Term Average Inflow. Δηλαδή, η δεξαμενή λειτουργεί για να διατηρήσει κατά μέσο όρο δύο χρόνια ροής. Υπάρχει επίσης ένας στόχος για το ποσό στο προσβάσιμο νερό, το οποίο υποδεικνύεται στην άνω δεξιά γωνία του σχήματος από τη μεταβλητή Drainage Basin Target. Ο στόχος αυτός έχει οριστεί να διατηρεί μία σταθερή ποσότητα του νερού μακροπρόθεσμα. Όπως σημειώνεται παραπάνω, η ετήσια αποστράγγιση από την κοιλάδα είναι 50 τοις εκατό της ποσότητας νερού στη λεκάνη. Γνωρίζουμε επίσης από την προηγούμενη συζήτησή μας ότι αυτός ο μέσος όρος αποστράγγισης πρέπει να ισούται με το Long Term Average Inflow, η οποία είναι 0,5 εκατ. στρέμματα /πόδια.

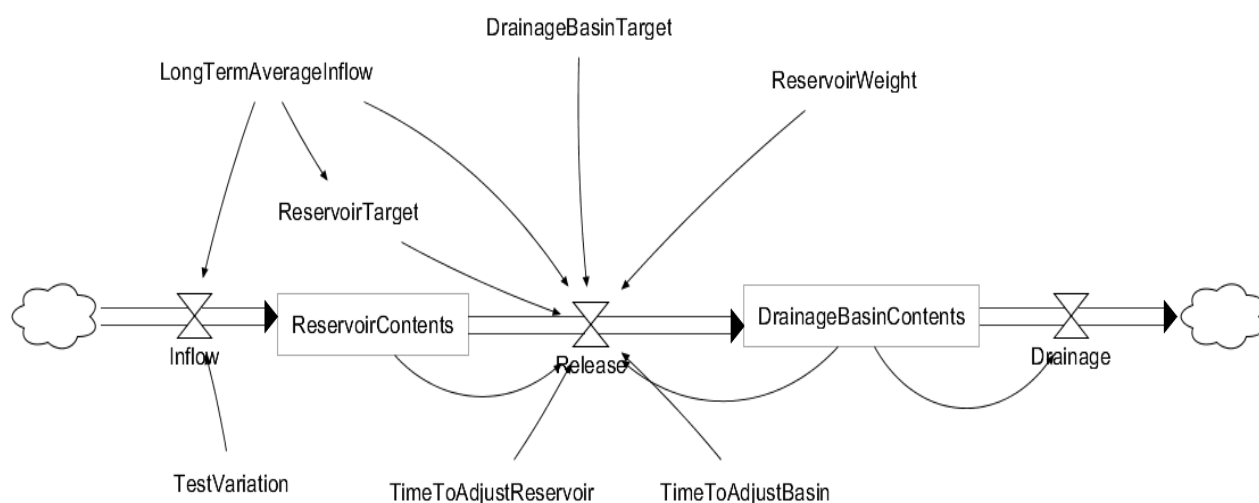
Οι δύο σταθερές Time To Adjust Reservoir και Time To Adjust Basin, που παρουσιάζονται στο κάτω κέντρο του σχήματος 7.2, σχετίζονται με τον μέσο όρο της περιόδου που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση των αποκλίσεων από τους στόχους σε σχέση με τα περιεχόμενα της δεξαμενής και το περιεχόμενο της δεξαμενής αποστράγγισης. Τέλος, η σταθερά Reservoir Weight στο άνω κέντρο του σχήματος αντιπροσωπεύει το βάρος που έχει ανατεθεί σε ένα στόχο για την διατήρηση μιας σταθερής τιμής για το Reservoir Constant, σε σχέση με τη διατήρηση μια σταθερής τιμής για τη Drainage Basin Contents. Όπως σημειώθηκε παραπάνω, με ένα σταθμισμένο μέσο όρο κανόνας απόφασης, η ροή απεικονίζεται να χωρίζεται σε διάφορα μέρη που προστίθενται και αποτελούν το σύνολο ροών.

Για τη δεξαμενή, ο μακροπρόθεσμος μέσος όρος ροής στη δεξαμενή είναι Long Term Average Inflow, και ως εκ τούτου, η απελευθέρωση πρέπει να είναι ίση με

αυτό . Ο όρος διόρθωσης για αποκλίσεις από το στόχο για την ποσότητα του νερού στην δεξαμενή μπορεί στη συνέχεια να κατασκευαστεί σε τρία βήματα : Πρώτον , σημειώνουμε ότι αυτή η διόρθωση όρου πρέπει να είναι μηδέν , όταν η αξία του Reservoir Contents ισούται με την reservoir target . Ως εκ τούτου , ο όρος διόρθωσης θα πρέπει να είναι ανάλογος με

Reservoir Contents – Reservoir Target .

Δηλαδή, αν υπάρχει περισσότερο νερό στη δεξαμενή από το στόχο, τότε η απελευθέρωση θα πρέπει να αυξηθεί, ενώ αν υπάρχει λιγότερο νερό από ό, τι το στόχο, στη συνέχεια η απελευθέρωση , θα πρέπει να μειωθεί.



Σχήμα 7.2a Διάγραμμα ροής

1.  $\text{Drainage} = 0.5 * \text{Drainage BasinContents}$
2.  $\text{Drainage Basin Contents} = \text{Integral}(\text{Release} - \text{Drainage})$   
Initial Value = 1
3. Stop Time = 4
4.  $\text{Inflow} = \text{Long Term Average Inflow}$
5. Start Time = 0
6. Long Term Average Inflow = 0.5
7.  $\text{Release} = \text{Long Term Average Inflow}$   
+  $\text{Reservoir Weight} * (\text{Reservoir Contents} - \text{Reservoir Target})$   
/  $\text{Time to Adjust Reservoir}$   
+  $(1 - \text{Reservoir Weight})$   
\*  $(\text{Drainage Basin Target} - \text{Drainage Basin Contents})$   
/  $\text{Time To Adjust Basin}$
8.  $\text{Reservoir Contents} = \text{Integral}(\text{Inflow} - \text{Release})$   
Initial Value = 1
9.  $\text{Reservoir Target} = 2 * \text{Long Term Average Inflow}$
10. Reservoir Weight = 0.5
11. Test Variation = STEP(0.1,0.5)
12. Step length = 0.01
13. Time to Adjust Basin = 0.05
14. Time to adjust Reservoir = 0.5

Σχήμα 7.2b εξισώσεις

Ωστόσο, αν η έκφραση στις εξίσωσεις 7.1 χρησιμοποιήθηκε ως όρος διόρθωσης για αποκλίσεις από το στόχο της δεξαμενής, αυτό θα σήμαινε ότι οποιαδήποτε απόκλιση θα μπορούσε αμέσως να διορθωθεί. Αυτό μάλλον δεν είναι εφικτό λόγω των φυσικών περιορισμών σχετικά με το φράγμα, και μπορεί επίσης να μην είναι επιθυμητή, επειδή κάθε μικρή τυχαία διακύμανση στη στάθμη του ταμιευτήρα θα έχει ως αποτέλεσμα ταλάντωση στην «απελευθέρωση». Έτσι, η διόρθωση θα είναι κατά μέσο όρο κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου η εξής:

$$\frac{\text{Reservoir Contents} - \text{reservoir taret}}{\text{TIME TO ADJUST RESERVOIR}} \quad (1)$$

Αυτό σημαίνει ότι αν η διόρθωση ήταν να συνεχιστεί με τον ίδιο ρυθμό, θα λάβει χρονικό διάστημα ίσο με το Time To Adjust Reservoir για την πλήρη αφαίρεση της απόκλισης. (Στην πραγματικότητα, το επίπεδο του ταμιευτήρα θα αλλάξει με το χρόνο, και ως εκ τούτου η πραγματική περίοδος διόρθωσης θα είναι πιθανώς διαφορετική από το Time To Adjust Reservoir.

Ένας άλλος τρόπος για να απεικονιστεί αυτό είναι:

$$\text{RESERVOIR ADJUSTMENT FACTOR} = \frac{1}{\text{TIME TO ADJUST RESERVOIR}} \quad (2)$$

Και η προηγούμενη εξίσωση γίνεται :

$$\text{RESERVOIR ADJUSTMENT FACTOR} \times (\text{Reservoir Contents} - \text{reservoir target})$$

Από αυτό βλέπουμε ότι η Reservoir Adjustment Factor είναι η παρτίδα που παρεκτρέπεται από το στόχο και διορθώνεται στη μονάδα του χρόνου. Τελικά, για να ολοκληρωθεί ο παράγοντας διόρθωσης για τον στόχο ταμίευσης, η έκφραση της εξίσωσης (1), που πολλαπλασιάζεται από τη Reservoir Weight, που είναι ένας αριθμός 0 ή 1, και λαμβάνει υπόψη την σημαντικότητα του στόχου.

$$\text{RESERVOIR WEIGHT} \times \frac{\text{Reservoir Contents} - \text{reservoir target}}{\text{TIME TO ADJUST RESERVOIR}} \quad (3)$$

Μία παρόμοια διαδικασία μπορεί να καθορίσει τον διορθωτικό παράγοντα ο οποίος είναι :

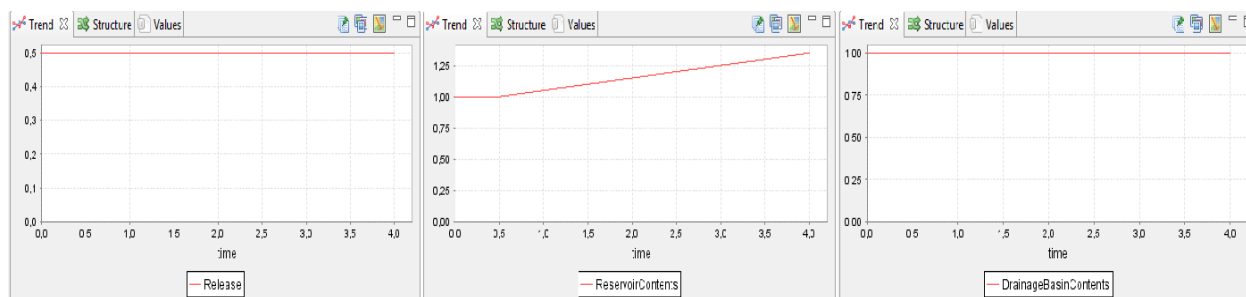
$$(1 - \text{RESERVOIR WEIGHT}) \times \frac{\text{DRAINAGE BASIN TARGET} - \text{Drainage Basin Contents}}{\text{TIME TO ADJUST BASIN}} \quad (4)$$

## 7.4 Μεταβλητός στόχος

Το μοντέλο απόφασης που συζητήθηκε στην τελευταία ενότητα υποθέτει ότι οι μακροχρόνιοι μέσοι όροι είναι γνωστοί και είναι σταθεροί, και επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κανόνες απόφασης. Τι θα συμβεί αν αυτές οι μακροπρόθεσμες μέσες τιμές δεν είναι γνωστές; Το μοντέλο στο Σχήμα 7.4 δείχνει έναν τρόπο για την αντιμετώπιση αυτού. Οι διαφορές των διαγραμμάτων ροής και αποθεμάτων του σχήματος 7.4 με αυτό του σχήματος 7.2 είναι στην πάνω αριστερή γωνία του σχήματος. Μια νέα μεταβλητή Short Term Average Inflow έχει εισαχθεί, και τώρα χρησιμοποιείται ως είσοδος για την απόφαση, αντί της Long Term Average Inflow.

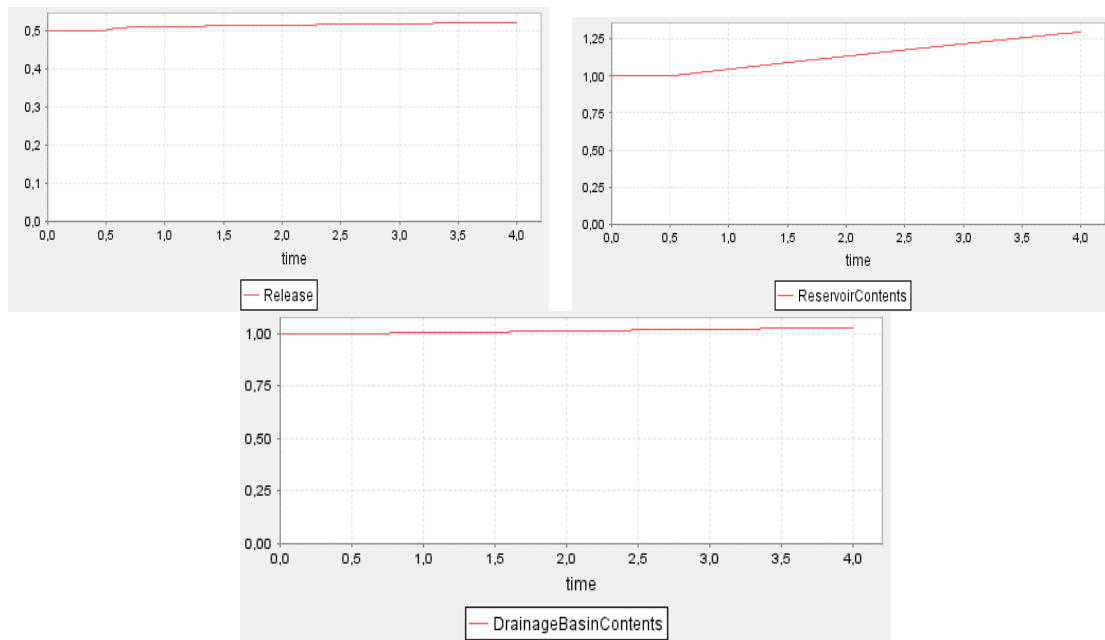
Αυτός ο βραχυπρόθεσμος μέσος όρος εισόδου υπολογίζεται με την εξομάλυνση της εισόδου χρησιμοποιώντας μια πρώτης τάξης εκθετική εξομάλυνση με σταθερά χρόνου της Long Term Average Inflow. Έτσι σε αυτή τη προσέγγιση μοντελοποίησης ο στόχος υπολογίζεται από δεδομένα που έχουν παραχθεί κατά τη λύση του μοντέλου και δεν έχουν προεπιλεγθεί. Γι αυτό το λόγο ο στόχος μπορεί να ποικίλει καθώς τα δεδομένα αλλάζουν.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μεταβλητού στόχου φαίνεται στο σχήμα 7.5. Οι σημειώσεις των Run0, RUN5 και RUN10 είναι το ίδιο στο σχήμα 7.3. Να σημειωθεί ότι σε αυτή την περίπτωση, όταν όλο το βάρος έχει τεθεί για το στόχο της δεξαμενής (RUN10) υπάρχει ένα κάπως αντιφατικό αποτέλεσμα σε σχέση με την «απελευθέρωση». Μετά την εισροή στη δεξαμενή στο χρόνο 0.5, η απελευθέρωση πέφτει στην πραγματικότητα για περίπου ένα χρόνο. Αυτό συμβαίνει επειδή ο στόχος του Reservoir Content μεγαλώνει όσο η ροή στη δεξαμενή αυξάνεται, όπως φαίνεται από την εξίσωση 11 του Σχήματος 7.4b, και ως εκ τούτου, περισσότερο νερό απαιτείται στη δεξαμενή για την επίτευξη του στόχου.

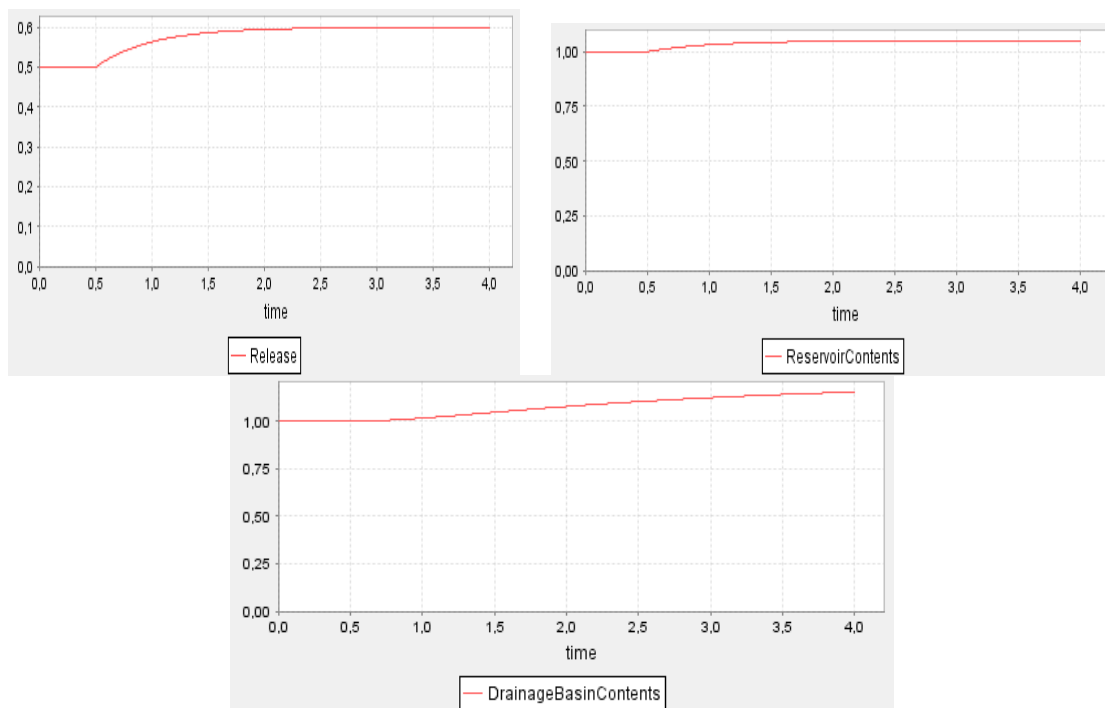


a. Reservoir Weight = 0 (RUN0)



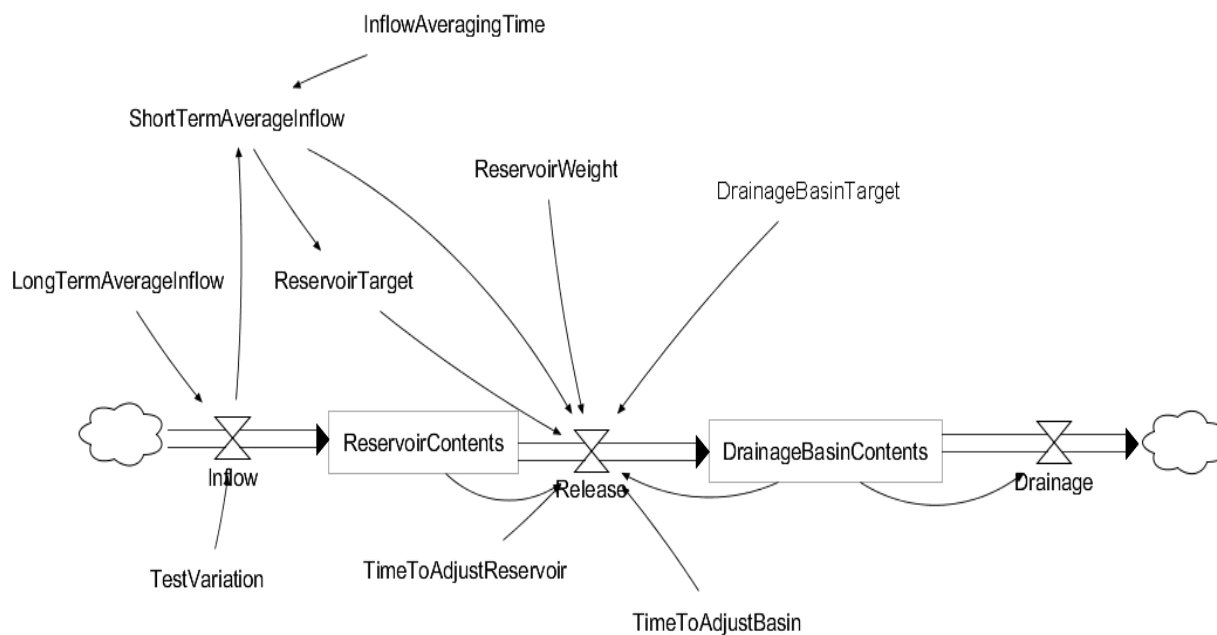


b. Reservoir Weight = 0.5 (RUN5)



c. Reservoir Weight = 1 (RUN10)

Σχήμα 7.3 Δυναμικό για διαφορετικό Reservoir Weight

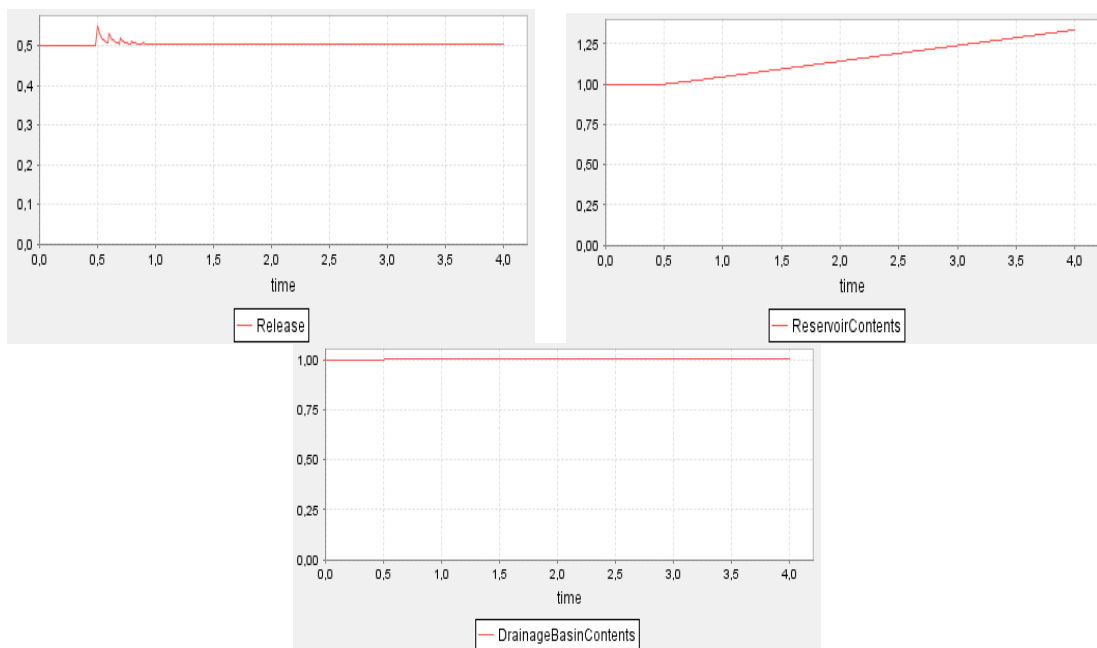


α. Διάγραμμα

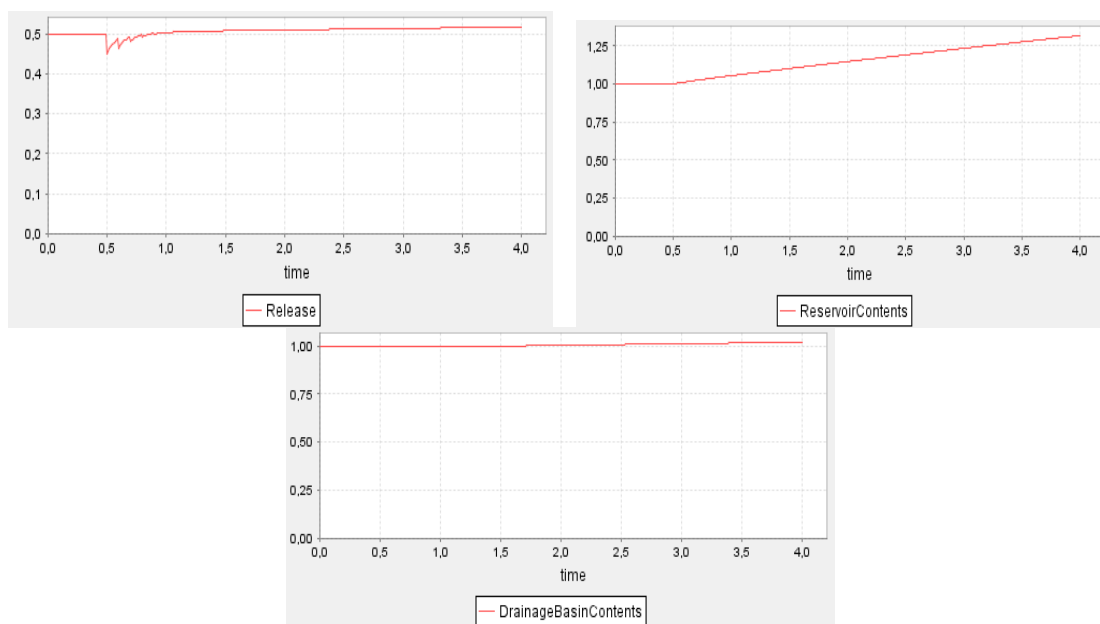
1.  $\text{Drainage} = 0.5 * \text{Drainage BasinContents}$
2.  $\text{Drainage Basin Contents} = \text{Integral}(\text{Release} - \text{Drainage})$   
Initial Value = 1
3. Stop Time = 4
4.  $\text{Inflow} = \text{Long Term Average Inflow} + \text{Test Variation}$
5.  $\text{Inflow Averaging Time} = 0.5$
6. Start Time = 0
7.  $\text{Long Term Average Inflow} = 0.5$
8.  $\text{Release} = \text{Long Term Average Inflow}$   
+  $\text{Reservoir Weight} * (\text{Reservoir Contents} - \text{Reservoir Target})$   
/  $\text{Time to Adjust Reservoir}$   
+  $(1 - \text{Reservoir Weight})$   
\*  $(\text{Drainage Basin Target} - \text{Drainage Basin Contents})$   
/  $\text{Time To Adjust Basin}$
9.  $\text{Reservoir Contents} = \text{Integral}(\text{Inflow} - \text{Release})$   
Initial Value = 1
10.  $\text{Reservoir Target} = 2 * \text{Long Term Average Inflow}$
11.  $\text{Reservoir Weight} = 0.5$
12.  $\text{Test Variation} = \text{STEP}(0.1, 0.5)$
13. Step length = 0.01
14. Time to Adjust Basin = 0.05
15. Time to adjust Reservoir = 0.5

β. Εξισώσεις

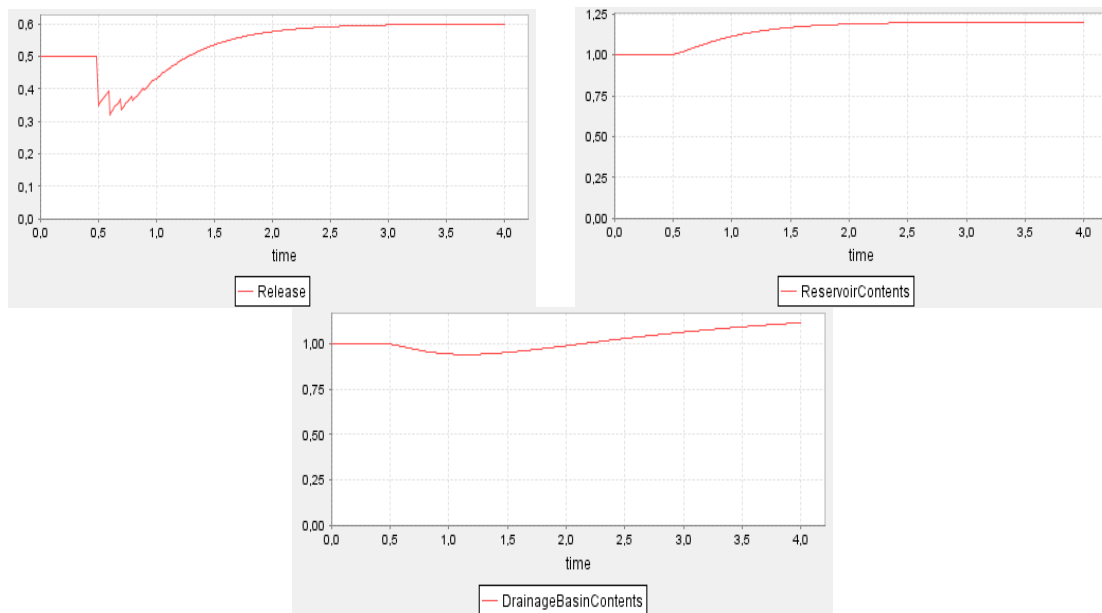
Σχήμα 7.4 Κανόνες λήψης αποφάσεων μεταβλητών στόχων



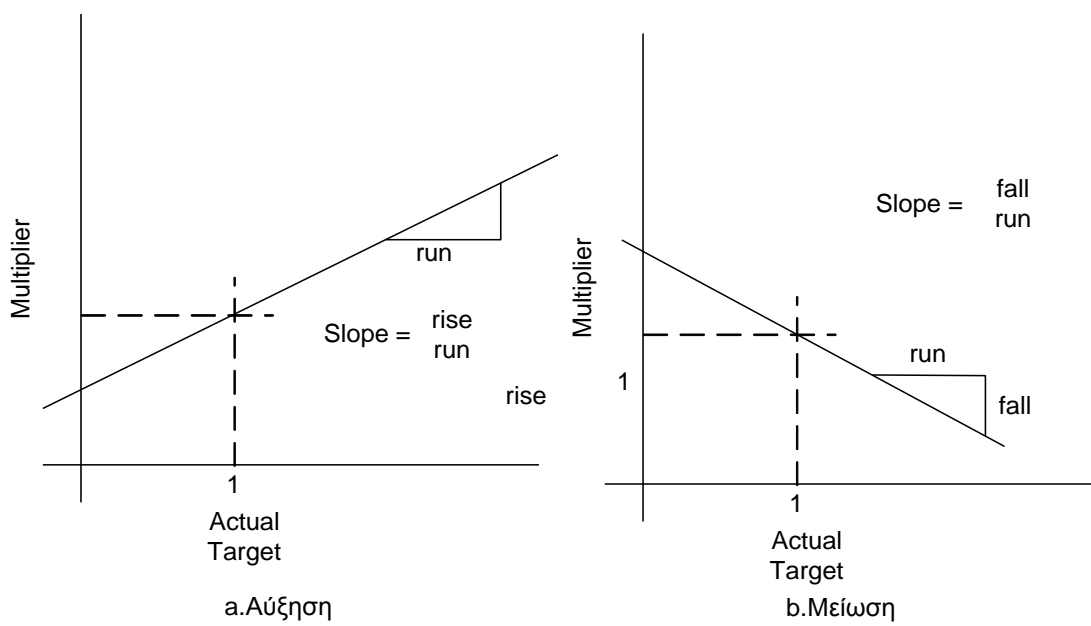
a. Reservoir Weight = 0 (RUN0)



b. Reservoir Weight = 0.5 (RUN5)



b. Reservoir Weight = 1 (RUN10)  
Σχήμα 7.5



Σχήμα 7.6 Πολλαπλασιαστές

## 7.5 Πολλαπλασιαστικός κανόνας απόφασης

Μια άλλη προσέγγιση για τους κανόνες απόφασης στη μοντελοποίηση είναι να χρησιμοποιήσουμε μια πολλαπλασιαστική μορφή. Με τη σταθμισμένη προσθετική μορφή, οι διορθωτικοί όροι προστίθενται σε μια βάση εισροής ροής, ενώ με την πολλαπλασιαστική μορφή, οι συντελεστές διόρθωσης χρησιμοποιούνται για να πολλαπλασιάσουν τη βάση του ρυθμού ροής. Οι συντελεστές διόρθωσης απεικονίζονται στο σχήμα 7.6. Το αριστερό γράφημα εφαρμόζεται σε μια κατάσταση όπου αν η μεταβλητή που μας ενδιαφέρει είναι πάνω από το στόχο η ροή πρέπει να αυξηθεί. Το δεξί γράφημα στο σχήμα 7.6 εφαρμόζεται σε μια κατάσταση όπου αν η μεταβλητή που μας ενδιαφέρει είναι υψηλότερη από την τιμή του στόχου της, η ροή πρέπει να μειωθεί.

Αποδεικνύεται ότι είναι χρήσιμο να ομαλοποιήσουμε τις μεταβλητές διαιρώντας τις με τις τιμές-στόχους, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.6. Όταν γίνει αυτό, μια κατάσταση όπου μια κανονικοποιημένη μεταβλητή είναι ίση με το ένα θα λειτουργήσει ως πολλαπλασιαστής του ενός. Αυτό συμβαίνει ότι, όταν η τιμή μιας μεταβλητής είναι ίση με την τιμή-στόχο της, δεν θα υπάρξει διόρθωση σύμφωνα με το βασικό σενάριο ροής.

Η κλίση της κανονικοποιημένης καμπύλης, όπως ορίζεται στα διαγράμματα του σχήματος 7.6, στη συνέχεια, ορίζει την ισχύ της αντίδρασης της ροής που εμφανίζεται για ένα συγκεκριμένο ποσοστό απόκλισης σε μια μεταβλητή από την τιμή στόχο της. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση, τόσο μεγαλύτερη απόκριση για ένα συγκεκριμένο ποσοστό απόκλισης μεταβλητής.

Έτσι εξάγουμε την εξίσωση από τον πολλαπλασιαστή σαν μία συνάρτηση της μεταβλητής Target και της απόκλισης.

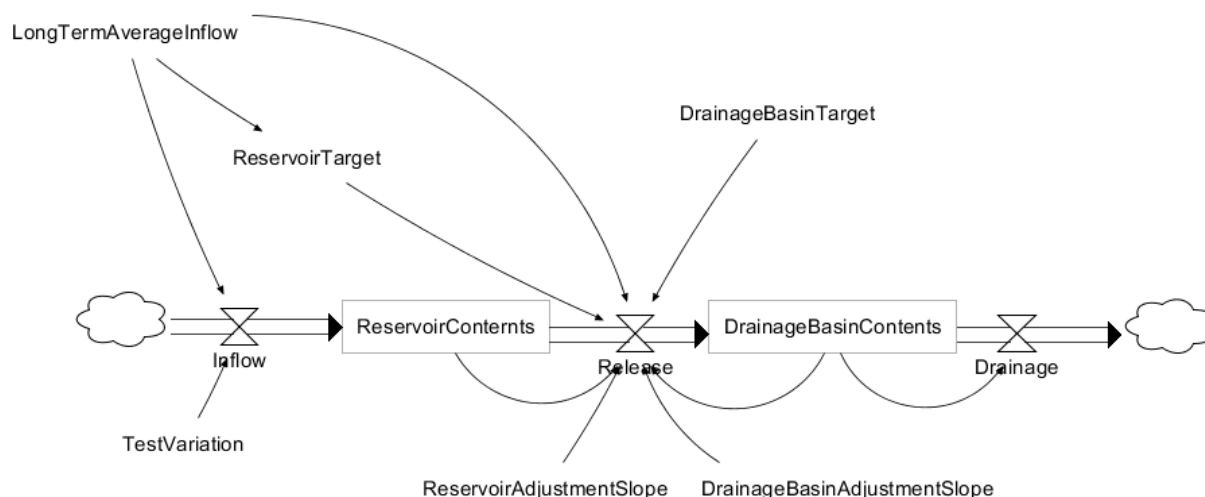
Για την αύξηση 7.6.a

$$\text{Multiplier} = \text{slope} \times \frac{\text{actual}}{\text{Target}} + (1 - \text{slope})$$

Για την μείωση 7.6.b

$$\text{Multiplier} = 1 + \text{slope} - \text{slope} \times \frac{\text{actual}}{\text{Target}}$$

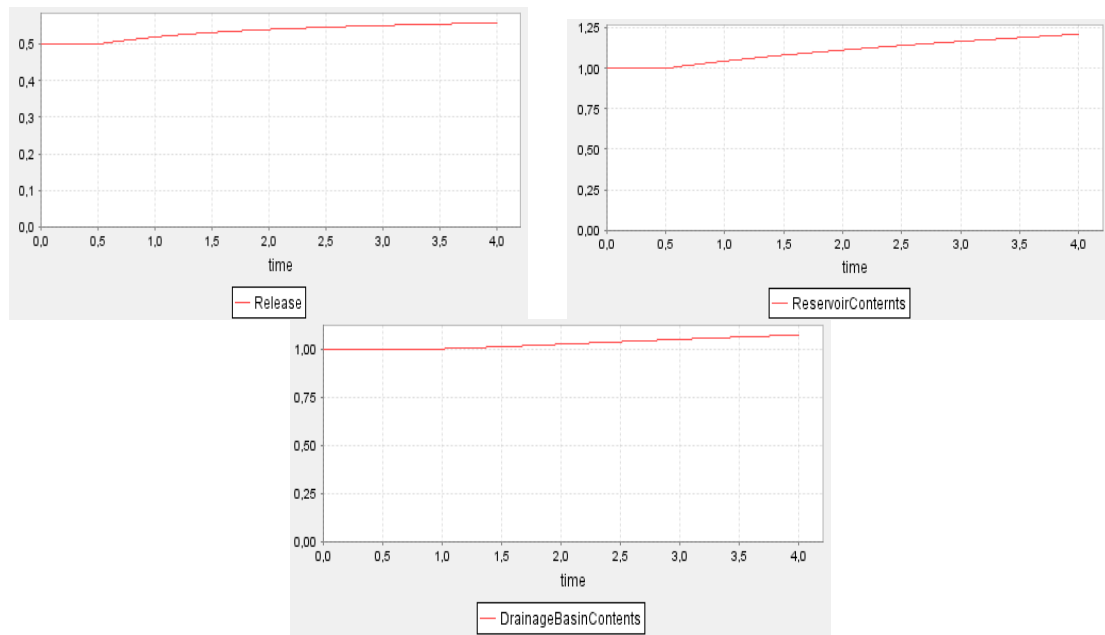
Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της προσέγγισης με πολλαπλασιαστικούς κανόνες απόφασης της reservoir φαίνονται στο σχήμα 7.7. Σημειώνουμε ότι αυτό το παράδειγμα είναι η πολλαπλασιαστική έκδοση του σταθμισμένου μέσου όρου παράδειγμα στο σχήμα 7.2. Εάν είναι επιθυμητό, ένας μεταβλητός στόχος προσέγγισης μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση πολλαπλασιαστή κατά τρόπο ανάλογο με αυτό που παρουσιάζεται παραπάνω για το σταθμισμένο μέσο όρο κανόνα απόφασης. Η απόδοση των σταθμισμένων μέσων και πολλαπλασιαστικών κανόνων λήψης αποφάσεων θα είναι παρόμοιοι για μικρές αποκλίσεις από την επιθυμητή ροή, εφόσον οι σταθερές στο τα δύο μοντέλα είναι κατάλληλα προσαρμοσμένες. Για μεγαλύτερες διακυμάνσεις, ο πολλαπλασιαστικός κανόνας μπορεί να οδηγήσει σε μια πιο επιθετική απάντηση από το σταθμισμένο μέσο όρο, διότι οι απαντήσεις για τις δύο μεταβλητές αλληλεπιδρούν με πολλαπλασιαστικό τρόπο. Αυτός ο τύπος αποφάσεων μπορεί να είναι κατάλληλος για τη μοντελοποίηση κάποιων μοντέλων και παρουσιάζεται στο σχήμα 7.7 και 7.8.



α. Διάγραμμα

1.  $\text{Drainage} = 0.5 * \text{Drainage Basin Contents}$
2.  $\text{Drainage Basin Adjustment Slope} = 1$
3.  $\text{Drainage Basin Contents} = \text{Integral}(\text{Release} - \text{Drainage})$   
Initial Value = 1
4.  $\text{Drainage Basin Target} = 1$
5.  $\text{Stop Time} = 4$
6.  $\text{Inflow} = \text{Long Term Average Inflow} + \text{Test Variation}$
7.  $\text{Start Time} = 0$
8.  $\text{Long Term Average Inflow} = 0.5$
9.  $\text{Release} = \text{Long Term Average Inflow}$   
 $* (\text{Reservoir Adjustment Slope}$   
 $* \text{Reservoir Contents} / \text{Reservoir Target})$   
 $+ (1 - \text{Reservoir Adjustment Slope})$   
 $* (1 + \text{Drainage Basin Adjustment Slope}$   
 $- \text{Drainage Basin Adjustment Slope}$   
 $* (\text{Drainage Basin Contents} / \text{Drainage Basin target}))$
10.  $\text{Reservoir Contents} = \text{Integral}(\text{Inflow} - \text{Release})$   
Initial Value = 1
11.  $\text{Reservoir Adjustment Slope} = 1$
12.  $\text{Reservoir Target} = 2 * \text{Long Term Average Inflow}$
13.  $\text{Reservoir Weight} = 0.5$
14.  $\text{Test Variation} = \text{STEP}(0.1, 0.5)$
15.  $\text{Step length} = 0.01$

b. Εξισώσεις  
Σχήμα 7.7



Σχήμα 7.8

## Μη Γραμμικότητες

Μία διαδικασία λέγεται ότι είναι γραμμική εάν η απόκριση της διαδικασίας είναι ανάλογη με είσοδο που δόθηκε σε αυτή. Για παράδειγμα, αν διπλασιαστεί το ποσό που κατατέθηκε σε ένα συμβατικό λογαριασμό ταμιευτηρίου, τότε θα λάβουμε τον διπλάσιο του τόκου. Ομοίως, εάν εργαζόμαστε δέκα τοις εκατό περισσότερες ώρες, μπορούμε να ελπίζουμε να ολοκληρώσουμε δέκα τοις εκατό περισσότερη δουλειά. Αυτές είναι γραμμικές αντιδράσεις. Μοντέλα που υποθέτουν ότι η διαδικασία είναι γραμμική έχουν μελετηθεί εκτενώς, επειδή τα μαθηματικά για τέτοια μοντέλα είναι σχετικά απλά, και τα γραμμικά μοντέλα μπορεί να αντιπροσωπεύουν επαρκώς την συμπεριφορά πολλών ρεαλιστικών διαδικασιών.

Πολλές επιχειρηματικές διαδικασίες είναι όμως μη γραμμικές, ειδικά όταν πιέζονται στα άκρα. Για παράδειγμα, ενώ μπορεί να είναι αλήθεια ότι αν εργαζόμαστε δέκα τοις εκατό περισσότερες ώρες θα ολοκληρώσουμε δέκα τοις εκατό περισσότερη δουλειά, μάλλον δεν είναι αλήθεια ότι αν εργαστούμε διπλάσιες ώρες θα επιτύχουμε διπλάσια δουλειά. Πολλοί έχουν προσπαθήσει να το κάνουν αυτό, αλλά η κόπωση οδηγεί σε μείωση της παραγωγικότητας. Αυτή είναι μια μη γραμμική απόκριση. Ομοίως, η διαθέσιμη παραγωγική ικανότητα μπορεί να περιορίσει την ποσότητα του προϊόντος που μπορεί να πωλείται, σε σχέση με το ύψος των πωλήσεων ή τον βαθμό της ζήτησης των πελατών.

Σε άλλες περιπτώσεις, όπως στους φόρους εισοδήματος ή τα κυμαινόμενα επιτόκια για τους λογαριασμούς της αγοράς χρήματος, μη γραμμικές αποκρίσεις έχουν σκόπιμα σχεδιαστεί για το σύστημα. Με τους φόρους εισοδήματος, το ποσό του φόρου μεγαλώνει ταχύτερα από την αύξηση των εσόδων, και σε ένα τραπεζικό λογαριασμό το επιτόκιο μπορεί να αυξηθεί περισσότερο από ότι θα αυξανόταν αναλογικά καθώς μεγαλώνει το υπόλοιπο του λογαριασμού.

### 8.1 Μη γραμμικές αποκρίσεις

Το σχήμα 8.1 δείχνει ένα διάγραμμα αποθεμάτων και ροών για τις μεταβλητές Savings Balance για ένα συμβατικό λογαριασμό ταμιευτηρίου με τόκους, όπου ο τόκος (interest) αφήνεται να συσσωρευτεί στο λογαριασμό για 20 χρόνια. Το επιτόκιο είναι 5% για κάθε χρόνο, και το τελικό ποσό 900 Ευρώ. Μετά από 20 χρόνια έχει γίνει λίγο παραπάνω από 2400 Ευρώ. Η απόκριση είναι γραμμική και σχετίζεται με το ποσό το αρχικό του λογαριασμού.

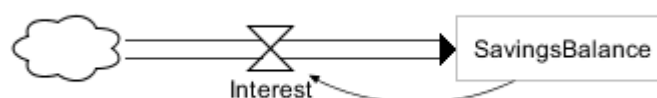


## Χρησιμοποιώντας IF THEN ELSE σε ΜΗ Γραμμικά Μοντέλα

Ορισμένοι λογαριασμοί χρηματαγοράς έχουν επιτόκιο το οποίο εξαρτάται από την ισορροπία στον λογαριασμό. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι το επιτόκιο είναι 5% και καταβάλλεται ετησίως για κάθε δολάριο στο λογαριασμό μέχρι \$ 1.000, και το επιτόκιο του δέκα τοις εκατό (0,10) καταβάλλονται ετησίως για κάθε δολάριο στο λογαριασμό πάνω από \$ 1.000. Στη συνέχεια, το επιτόκιο δίνεται από

$$interest = \begin{cases} 0.05 \times Savings\ Balance, Savings\ Balance < 1000\$ \\ 0.05 \times 1000 \\ 0.05 \times 1000 + 0.10 \times (Savings\ Balance - 1000), otherwise \end{cases}$$

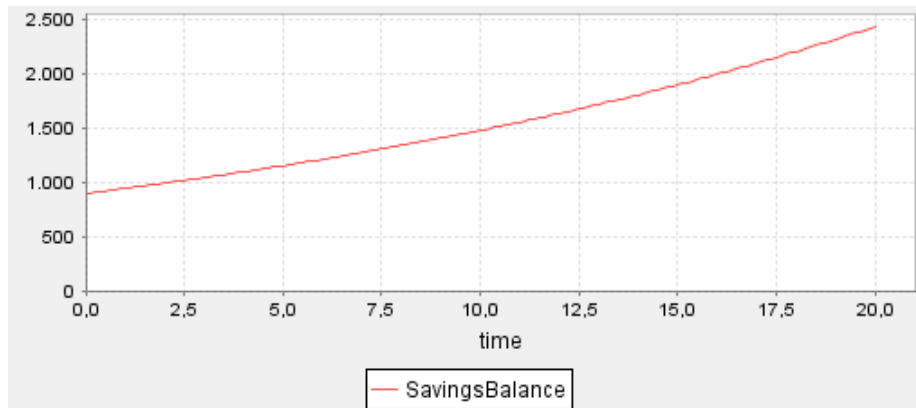
Μια κάπως γενικευμένη εκδοχή αυτού του μοντέλου παρουσιάζεται στο σχήμα 8.2 . Στο σχήμα 8.2 , το Savings Balance του οποίου το επιτόκιο αλλάζει καθορίζεται από τη σταθερά BREAKPOINT (η οποία είναι 1000 για το παράδειγμα αυτό ) , το επιτόκιο που καταβάλλεται για κάθε δολάριο κάτω BREAKPOINT καθορίζεται από μία σταθερά LOW RATE (που είναι 0,05 ) , καθώς και το επιτόκιο που καταβάλλεται για κάθε δολάριο πάνω από το BREAKPOINT καθορίζεται από τη σταθερά HIGH RATE ( που είναι 0,10 ). Από το σχήμα 8.2 , βλέπουμε ότι το Saving Balance μετά από 20 χρόνια είναι πάνω από 3.400\$ , το οποίο περισσότερο από ό, τι με τους συμβατικούς λογαριασμούς ταμιευτηρίου του σχήματος 8.1. Μια λεπτομερής εξέταση της εξόδου του μοντέλου δείχνει ότι το Savings Balance υπερβαίνει το BREAKPOINT αξίας \$ 1.000 κατά τη διάρκεια του δεύτερου έτους , και μετά από αυτό τα χρήματα λογαριασμού της αγοράς δημιουργεί μεγαλύτερο επιτόκιο από τα συμβατικά επιτόκια λογαριασμό ταμιευτηρίου . Είναι εύκολο να τροποποιήσουμε το μοντέλο στο σχήμα 8.2 για να αποδείξουμε ότι αυτή η διαδικασία είναι μη γραμμική. Ειδικότερα το ποσό των τόκων από το λογαριασμό δεν είναι ανάλογο με το αρχικό Savings Balance. Ως ένα παράδειγμα , μπορούμε να βεβαιωθούμε ότι , όταν το αρχικό Savings Balance διπλασιάζεται στα \$ 1,800 , και το τελικό Savings Balance μετά από είκοσι χρόνια τριπλασιάζεται σχεδόν από περίπου \$ 3.500 στα σχεδόν \$ 10.000. Αυτό συμβαίνει επειδή η τροποποιημένη αρχική ισορροπία των \$ 1800 είναι μεγαλύτερη από \$ 1.000. Το IF THEN ELSE χαρακτηριστικό είναι ένας ευέλικτος τρόπος για να διαμορφώσει αυτό το είδος της μη γραμμική απόκριση. Για παράδειγμα, είναι δυνατό να φωλιάζει ένα δεύτερο IF THEN ELSE μέσα στο πρώτο για να χειριστεί μια κατάσταση όπου υπάρχει ένα δεύτερο σημείο breakpoint στην οποία το επιτόκιο κέρδισε για κάθε δολάριο και πάλι αλλαγές.



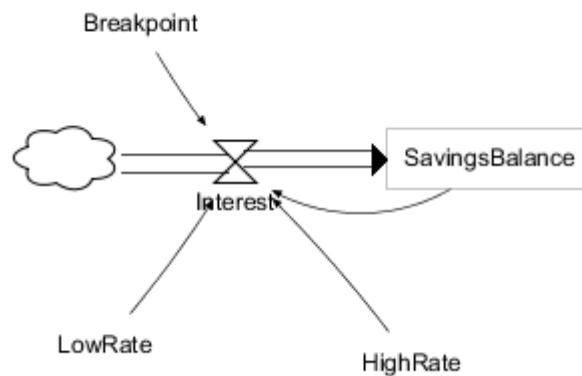
α.Διάγραμμα

1. Stop Time = 20
2. Start Time = 0
3. Interest = 0.05 \* Savings Balance
4. Long Term Average Inflow = 0.5
5. Savings Balance = Integral(Interest)  
Initial Value = 900
6. Step length = 0.125

b Εξισώσεις



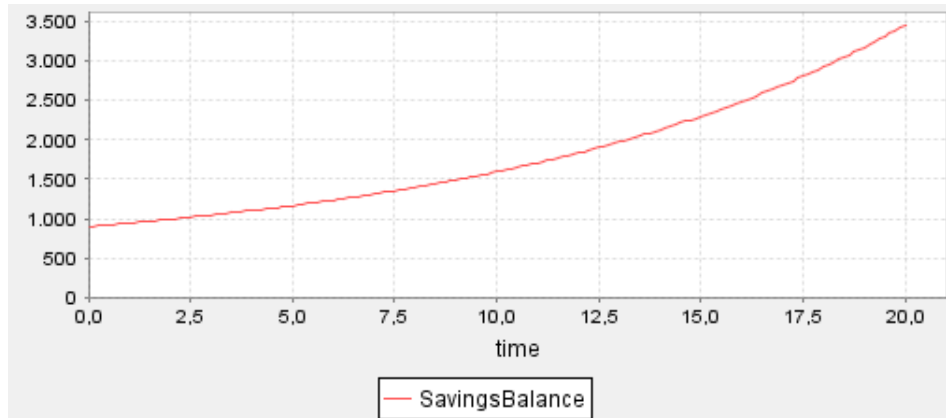
Σχήμα 8.1 μοντέλο για λογαριασμό ταμιευτηρίου



a.Διάγραμμα

1. Breakpoint = 1000
2. Stop Time = 20
3. Start Time = 0
4. High Rate = 0.1
5. Interest =  
**If** Savings Balance < Breakpoint **then** Low Rate \* Savings Balance **else**  
Low Rate \* Breakpoint + High Rate \* (Savings Balance - Breakpoint)
6. Low Rate = 0.05
7. Savings Balance = Integral(Interest)  
Initial Value = 900
8. Step length = 0.125

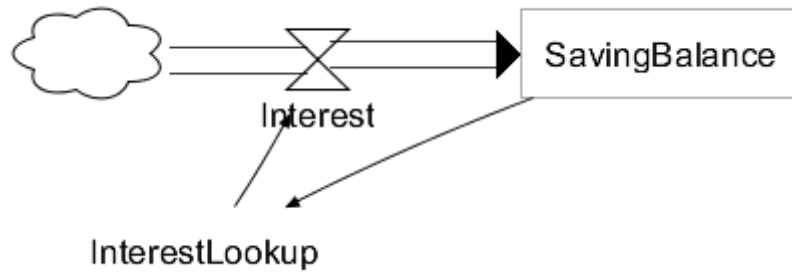
b Εξισώσεις



Σχήμα 8.2 μοντέλο για λογαριασμό ταμιευτηρίου με χρήση συνθήκης

### Χρησιμοποιώντας Λειτουργίες αναζήτησης

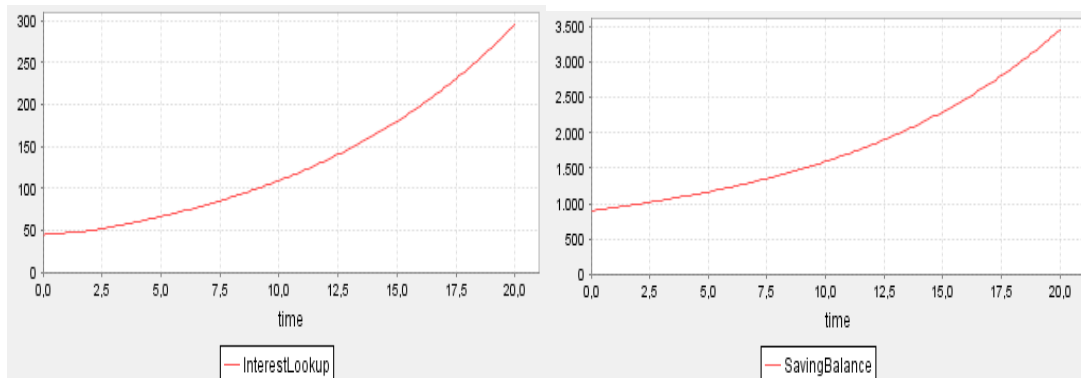
Εκτός από την IF THEN ELSE λειτουργία , μια άλλη προσέγγιση στη μοντελοποίηση μη γραμμικών αποκρίσεων παρέχεται από πολλές γλώσσες προσομοίωσης χρησιμοποιώντας «αναζήτηση λειτουργιών» (συνάρτηση With Lookup στο Simantics) . Ένα μοντέλο για ένα λογαριασμό χρηματαγοράς που χρησιμοποιεί μια λειτουργία αναζήτησης φαίνεται στο Σχήμα 8.3 . Με την προσέγγιση αυτή , η μη γραμμική συνάρτηση ( που είναι ο τόκος για αυτό το παράδειγμα) διαμορφώνεται με την εισαγωγή διαφόρων ζευγών σημείων . Το πρόγραμμα προσομοίωσης , στη συνέχεια, δημιουργεί μια καμπύλη μεταξύ αυτών των σημείων που χρησιμοποιείται για να καθορίσει τις αναγκαίες τιμές για την προσομοίωση. Η εξίσωση που αφορά τη λειτουργία αναζήτησης , ονομάζεται INTEREST LOOKUP. Αυτή η λειτουργία καθορίζεται από τα τρία ζεύγη σημείων ( 0 , 0 ) , ( 1000 , 50 ) , και ( 2000 , 150 ) . Τα σημεία αυτά ορίζουν ότι υπάρχει 0\$ από τόκους ετησίως για το Savings of Balance των \$ 0 , \$ 50 από τους δεδουλευμένους τόκους ετησίως του Savings of Balance των \$ 1.000 , και \$ 150 από τους δεδουλευμένους τόκους ετησίως του Savings of Balance των \$ 2.000 . Έτσι, η πλήρη λειτουργία αναζήτησης φαίνεται στο Σχήμα 8.3 . Μια πρόχειρη εξέταση των σχημάτων 8.2 και σχημάτων 8.3 δείχνει ότι τα μοντέλα αυτά είναι τα ίδια , και ως εκ τούτου θα πρέπει να δείχνουν την ίδια Savings of Balance .Ωστόσο , μια σύγκριση του σχήματος 8.2 με το Σχήμα 8.3 δείχνει ότι η καμπύλη του Savings of Balance είναι διαφορετική. Τι έχει συμβεί ; Η διαφορά μεταξύ των καμπύλων δείχνεται στο σχήμα 8.2 και το σχήμα 8.3 απεικονίζει μια πιθανή δυσκολία με τη χρήση συναρτήσεων αναζήτησης . Η λειτουργία αναζήτησης καθορίζεται σε ένα εύρος τιμών για την Savings of Balance από τα \$ 0 έως \$ 2.000. Ωστόσο , η πραγματική Savings of Balance υπερβαίνει τα 2.000 δολάρια κατά τη διάρκεια του δέκατου τρίτου έτους .



α. Διάγραμμα

1. Stop Time = 20
2. Start Time = 0
3. High Rate = 0.1
4. Interest = Interest Lookup
5. Interest Lookup = With Lookup(Savings Balance)  
Lookup Table = {{0,0},{1000,50},{2000,150}}
6. Savings Balance = Integral(Interest)  
Initial Value = 900
7. Step length = 0.125

β. Εξισώσεις



Σχήμα 8.3 μοντέλο για λογαριασμό ταμειυτηρίου με συνάρτηση αναζήτησης

## Σύγκριση του IF THEN ELSE και των συναρτήσεων αναζήτησης.

Οι IF THEN ELSE και οι συναρτήσεις αναζήτησης έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για τη μοντελοποίηση συναρτήσεων. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.2, είναι δυνατόν να περιλαμβάνουν σταθερές σε μία IF THEN ELSE λειτουργία, έτσι ώστε η ανάλυση ευαισθησίας να μπορεί να διεξαχθεί άμεσα όσον αφορά τις σταθερές του μοντέλου BREAKPOINT, LOW RATE και HIGH RATE. Αυτό δεν μπορεί να γίνει τόσο άμεσα, όταν χρησιμοποιείται μια συνάρτηση αναζήτησης.

Από την άλλη πλευρά, μια λειτουργία αναζήτησης μπορεί εύκολα να κατασκευαστεί για καταστάσεις όπου υπάρχουν περισσότερες από ένα breakpoint. Ενώ αυτό μπορεί να γίνει και με φωλιασμένες IF THEN ELSE, αυτό όμως μπορεί να οδηγήσει σε σύνθετες συναρτήσεις.

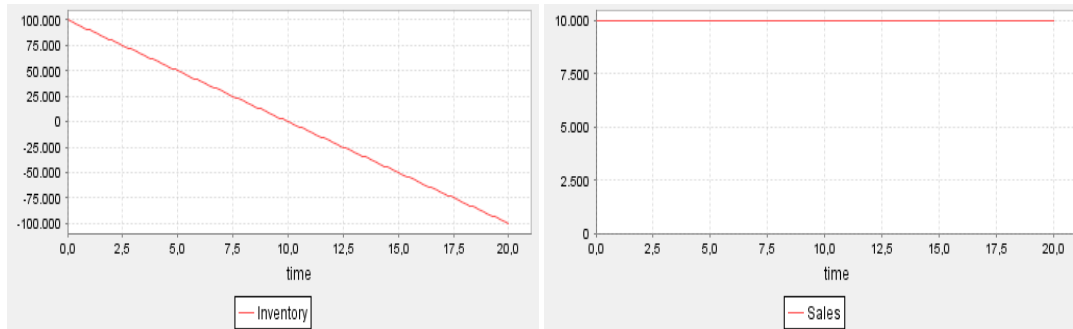
### 8.2 Περιορισμένοι πόροι

Μια άλλη κοινή αιτία των μη γραμμικών αποκρίσεων σε μια επιχειρηματική διαδικασία είναι οι περιορισμοί πόρων, όπως οι περιορισμοί στο διαθέσιμο προσωπικό ή της παραγωγικής ικανότητας. Η εικόνα 8.4 απεικονίζει μια πρώτη προσπάθεια σε ένα μοντέλο αυτού του τύπου όπου υπάρχει απόθεμα των 100.000 μονάδων που διατίθενται προς πώληση, και ένα ποσοστό πωλήσεων 10,000 μονάδες την εβδομάδα. Το απόθεμα πέφτει στο μηδέν σε δέκα εβδομάδες, αλλά οι πωλήσεις συνεχίζονται αμείωτες, με ρυθμό 10.000 μονάδες ανά εβδομάδα. Ενώ μία ανεκτέλεστη παραγγελία μπορεί να αυξηθεί για μια στιγμή, όταν το προϊόν δεν είναι διαθέσιμο, οι πωλήσεις είναι πιθανό να πέσουν καθώς οι πελάτες δεν μπορούν να πάρουν το προϊόν. Ο περιορισμός σχετικά με τον αριθμό των μονάδων διαθέσιμων που θα πρέπει να πουλήσουν συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο. Το σχήμα 8.5 δείχνει μία τροποποίηση του μοντέλου που χρησιμοποιεί IF THEN ELSE συνάρτηση για να κλείσει τις πωλήσεις όταν το απόθεμα πλησιάζει στο μηδέν.

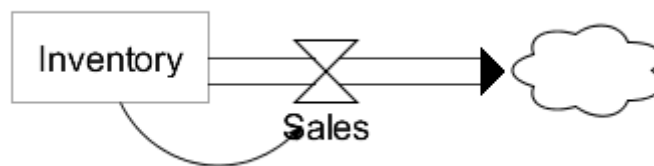


1. Stop Time = 20
2. Start Time = 0
3. Inventory = Integral(-sales)  
Initial Value = 100000
4. Step length = 0.125

b Εξισώσεις



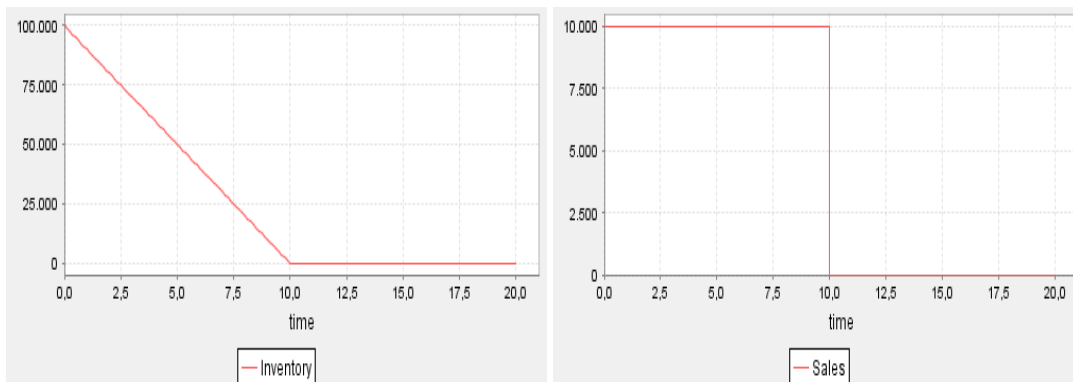
Σχήμα 8.4 αρχικό μοντέλο για πωλήσεις



α. Διάγραμμα

5. Stop Time = 20
6. Start Time = 0
7. Inventory = Integral(-sales)  
Initial Value = 100000
8. Sales = **if** Inventory > 0 **then** 10000 **else** 0
9. Step length = 0.125

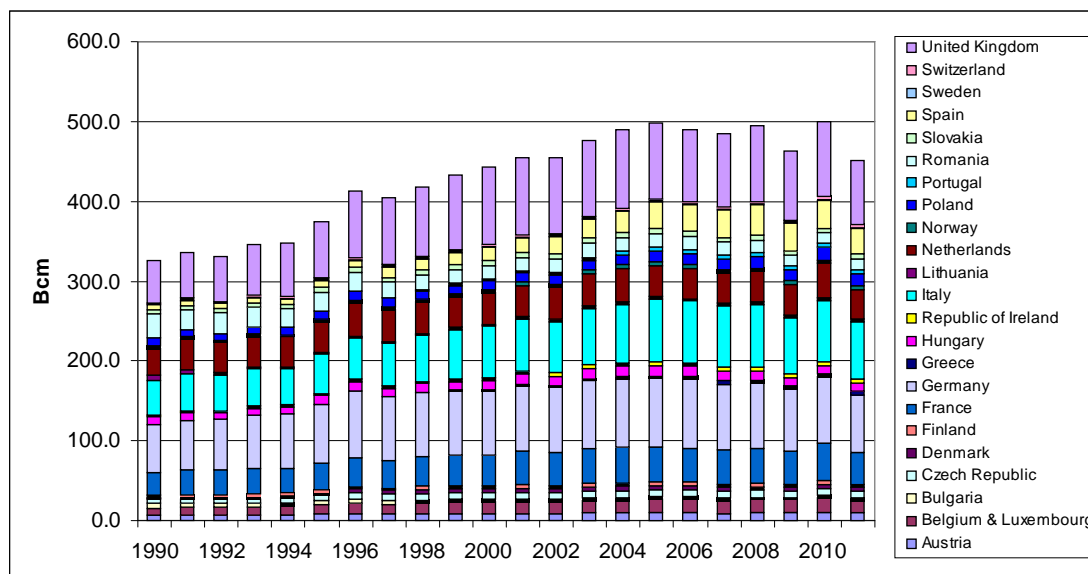
β. Εξισώσεις



Σχήμα 8.5 με χρήση συνθήκης

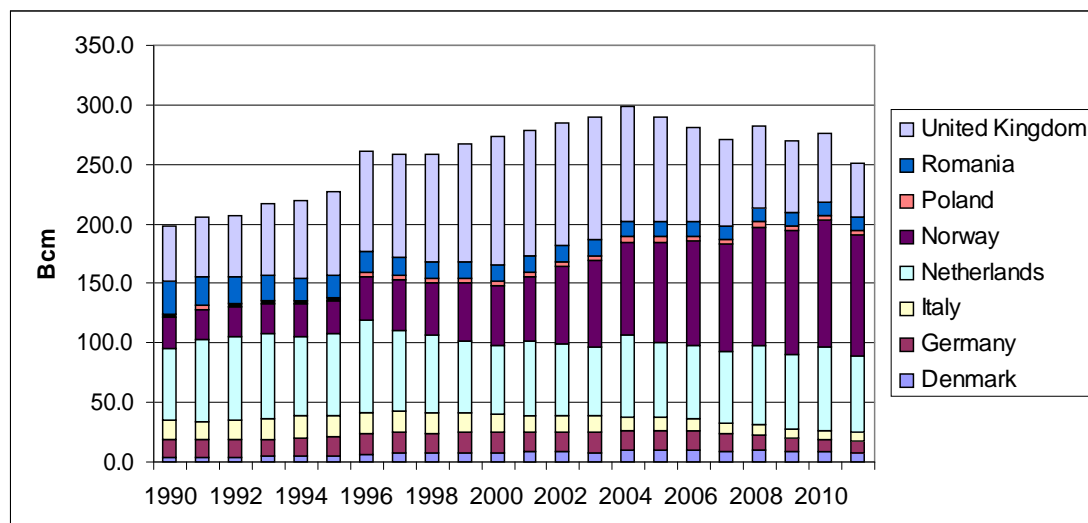
## Φυσικό Αέριο

Η ευρωπαϊκή κατανάλωση φυσικού αερίου αυξήθηκε με μέσο ετήσιο ρυθμό 4,3% από το 1995 έως το 2000 και του 2,1% από το 2000 έως το 2007. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση της βιομηχανικής παραγωγής, τη θέρμανση των κατοικιών και των αναγκών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο τομέας της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σημείωσε τη μεγαλύτερη αύξηση, λόγω της επέκτασης της δυναμικότητας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν αέριο.



Σχήμα 9.1 Κατανάλωση φυσικού αερίου στην Ευρώπη(πηγή:BP Statistical Review of World Energy 2012)

Μέρος της ζήτησης για φυσικό αέριο στην Ευρώπη εξυπηρετείται από την εγχώρια παραγωγή, η οποία - με εξαίρεση τη Νορβηγία - χαρακτηρίζεται από μια συνεχή μείωση, ιδιαίτερα στο Ηνωμένο Βασίλειο



Σχήμα 9.2 Παραγωγή φυσικού αερίου στην Ευρώπη(πηγή:BP Statistical Review of World Energy 2012)

Για την εξυπηρέτηση των αναγκών φυσικού αερίου που δεν μπορούν να καλυφθούν από την εγχώρια παραγωγή της, η Ευρώπη (EE-27) χρησιμοποιεί και τους αγωγούς και υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) φορτίων .

EU-27 imports from:		Pipeline (bcm)	LNG (bcm)
<b>Eurasia</b>	Russian Federation	115.52	
<b>North Africa</b>	Algeria	32.84	16.79
	Nigeria	-	15.65
	Egypt	-	4.32
	Libya	2.34	0.08
<b>Atlantic</b>	Trinidad & Tobago	-	3.86
	Peru	-	1.94
<b>Middle East</b>	Qatar	-	43.36
	Yemen	-	1.15
	Oman	-	0.17
<b>Total Pipeline</b>		<b>150.7</b>	
<b>% of trade</b>		<b>63.3</b>	
<b>Total LNG</b>			<b>87.32</b>
<b>% of trade</b>			<b>36.7</b>
<b>Total EU-27 natural gas imports</b>		<b>238.02</b>	

Σχήμα 3.Εισαγωγές φυσικού αερίου στην EU-27(πηγή:BP Statistical Review of World Energy 2012)

Η σταθμισμένη μέση τιμή εισαγωγής του φυσικού αερίου είναι συνάρτηση του συνδυασμού των δύο επικρατέστερων μηχανισμών αγοράς (δηλ. των μακροπρόθεσμων συμβάσεων και των άμεσων αγορών), καθώς και οι δύο φορείς παροχής (δηλαδή αγωγών φυσικού αερίου και LNG) ότι μια συγκεκριμένη χώρα ή περιφέρεια έχει εγκρίνει.

### 9.1 Οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις: Αγωγός φυσικού αερίου

Οι αγωγοί φυσικού αερίου από τη Ρωσική Ομοσπονδία και τη Βόρεια Αφρική - κυρίως από τις Gazprom και Sonatrach - αγοράζεται στο πλαίσιο μακροπρόθεσμων συμβάσεων που περιέχουν κοινή ποσότητα και τους όρους τιμών. Ο όγκος που πρέπει να πωληθεί / αγοραστεί σε ένα χρόνο ονομάζεται η ετήσια ποσότητα της σύμβασης (ACQ). Αν κάποιος πολλαπλασιάζει αυτόν τον αριθμό με τον αριθμό των ετών της σύμβασης, κάποιος θα πάρει το συνολικό ποσό του φυσικού αερίου, τα οποία μπορούν να ληφθούν σε όλη τη διάρκεια της σύμβασης. Ο ετήσιος όγκος ευελιξίας ρυθμίζεται από ένα διάστημα γύρω από το ACQ, π.χ., ο αγοραστής έχει δεσμευθεί να λάβει ή να πληρώσει ένα μέρος του ACQ, και μπορεί να έχει συγκεκριμένες επιλογές για ετήσιο όγκο που ξεπερνά το ACQ.

Take-or-pay είναι μια κοινή διάταξη στις συμβάσεις του φυσικού αερίου, η οποία ορίζει ότι, αν ο αγοραστής παραλείψει να λάβει τη συμφωνημένη ποσότητα σε ένα δεδομένο έτος (με την προϋπόθεση ότι ο πωλητής ήταν σε θέση να παραδώσει το φυσικό αέριο) για λόγους άλλους εκτός ανωτέρας βίας, πρέπει να πληρώσει τον πωλητή για την ποσότητα ως εάν είχαν λάβει το αέριο. Το επίπεδο take or pay είναι



συνήθως το 85% του ACQ. Πρόσθετη ευελιξία για τον αγοραστή παρέχεται από το δικαίωμα να λάβει σε μεταγενέστερο χρόνο αέριο που έχει καταβληθεί, αλλά δεν έχει ληφθεί (Make Up Αερίου), και το δικαίωμα να μειώσει τη μελλοντική παράδοση, αν οι ποσότητες φυσικού αερίου υπερβαίνουν τις δεσμεύσεις σε μερικά χρόνια (Carry Forward αερίου). Τυπικές ρήτρες έχουν ένα μηχανισμό διπλής δόσης, δηλαδή το make-up φυσικού αερίου θα πρέπει να καταβληθεί όταν διορίζονται με αναλογία τιμής  $a$  μεγαλύτερη του μηδεν και όταν καλείται πίσω με μια αναλογία τιμής  $1-a$ . (Løland και Lindqvist (2008) έκθεση).

Η τιμή του αερίου που παραδίδεται καθορίζεται από μία συνάρτηση των τιμών του φυσικού αερίου. Ο τύπος συνδέει την τρέχουσα τιμή του φυσικού αερίου με την τιμή των σχετικών υποκατάστατων ενέργειας. Κατ' αρχήν, ο τύπος της τιμής αποτελείται από δύο μέρη, μια σταθερή τιμή βάσης (ορισμένου χρόνου) και ένα συμπλήρωμα σύνδεση της τιμής του φυσικού αερίου με εναλλακτικές μορφές ενέργειας (μεταβλητής διάρκειας). Η τιμή βάσης αντανακλά την αξιολόγηση της τιμής του αερίου κατά τη στιγμή της σύναψης της σύμβασης. Στη συνέχεια, κάθε μία από τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας αποδίδουν ένα ορισμένο βάρος που αντανακλά την κατάσταση του ανταγωνισμού μεταξύ του φυσικού αερίου και των υποκατάστατων αυτού.

Οι προσαρμογές των τιμών για τα υποκατάστατα βασίζονται στη διαφορά μεταξύ των παρούσων και ιστορικών τιμών. Οι τρέχουσες τιμές υπολογίζονται ως μέσες τιμές για την περίοδο αναφοράς, που κυμαίνονται συνήθως 3-9 μήνες, με άλλα λόγια είναι ο αριθμητικός μέσος όρος των ημερήσιων τιμών του υποκατάστατου για περιόδους τριών έως εννέα μηνών πριν. Για παράδειγμα, την 1η Οκτωβρίου στην τρέχουσα τιμή μήνα θα αντανακλούν τις μέσες τιμές τριών έως εννέα μηνών πριν, δηλαδή οι τιμές κατά τον Ιανουάριο έως τον Ιούλιο. Αυτό συνεπάγεται μια κάποια καθυστέρηση στις προσαρμογές των τιμών, τόσο προς τα πάνω και προς τα κάτω. Η μεταβολή των τιμών των ενεργειακών εμπορευμάτων πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή μετατροπής της ενέργειας, προκειμένου να καταστεί το υποκατάστατο του φυσικού αερίου να μετράται με κοινές μονάδες. Στη συνέχεια, οι μεμονωμένοι όροι πολλαπλασιάζονται με παράγοντες. Το αποτέλεσμα μετά από παράγοντες είναι συνήθως υψηλό, π.χ., 0.85 ή 0.90. Έτσι, οι τιμές του φυσικού αερίου σε αυτές τις συμβάσεις ανταποκρίνονται εξαιρετικά στις μεταβολές των τιμών στα υποκατάστατα.

Ευρωπαϊκές μακροπρόθεσμες συμβάσεις περιλαμβάνουν ρήτρα " αναθεώρησης των τιμών " για να ληφθούν υπόψη οι αλλαγές στις συνθήκες της αγοράς καθ' όλη την καθορισμένη διάρκεια της σύμβασης. Η ρήτρα αυτή επιτρέπει κάποιου είδους τιμαριθμική αναπροσαρμογή και πρέπει να τροποποιηθεί μετά από μια συμφωνημένη χρονική περίοδο, συνήθως κάθε τρία χρόνια. Πολλές συμβάσεις έχουν επίσης μια ειδική ρήτρα που επιτρέπει τόσο ο αγοραστής όσο και ο πωλητής να ζητήσουν την επανεξέταση της τιμής εκτός του συμφωνηθέντος χρόνου επανεξέτασης, είτε μία φορά ανά τρία έτη ή μία φορά κατά τη διάρκεια της συμφωνίας. Εάν αυτή η επιλογή είναι βιώσιμη εξαρτάται όμως από το αν ή όχι και οι δύο μεριές, συμφωνούν ότι η τιμή πρέπει να επαναφέρεται λόγω αλλαγής των οικονομικών συνθηκών που δεν βρίσκονται υπό τον έλεγχο του αγοραστή ή τον έλεγχο του πωλητή. Ένας γενικός τύπος των τιμών δίδεται κατωτέρω (Asche et al, 2002):

$$P = P_o + \sum_j a_j \cdot (AE_j - AE_{j0}) \cdot EK_j \cdot \lambda_j$$

όπου είναι  $P$  είναι η τιμή του φυσικού αερίου,  $P_o$  είναι η βασική τιμή,  $a_j$  είναι το βάρος στο στοιχείο κλιμάκωσης για υποκατάστατα  $j$ ,

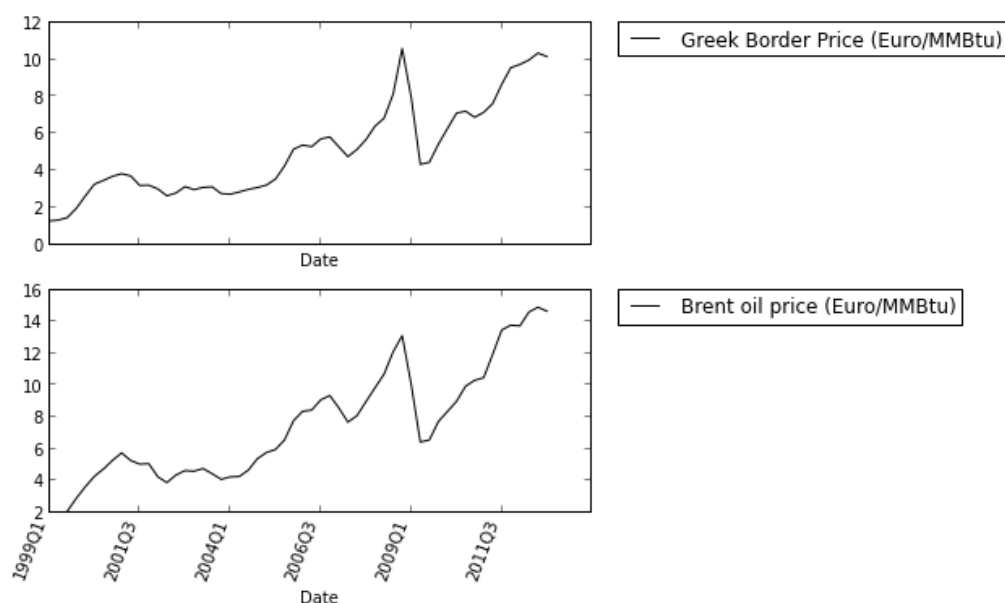
$$\begin{matrix} \square \square a_j & \square \square \square AE_j^j \\ \square \square AE_{j0} & \square \square \end{matrix}$$

είναι

η μεταβολή της τιμής για υποκατάστατο  $j$  (πραγματική μείον ιστορική τιμή),  $EK_j$  είναι συντελεστής μετατροπής ενέργειας και  $lj_j$  είναι ο παράγοντας των επιπτώσεων των μεταβολών των τιμών των υποκατάστατων  $j$  (π.χ. το πέρασμα μέσω του παράγοντα).

Το θέμα ποιο από τα προϊόντα - και σε τι αναλογίες - θα πρέπει να θεωρηθεί ρεαλιστικό υποκατάστατο για το φυσικό αέριο στις εθνικές αγορές ενέργειας, εξακολουθεί να υπόκειται σε περιοδική επαναδιαπραγμάτευση. Σύμφωνα με την έρευνα του κλάδου της Γενικής Διεύθυνσης Ανταγωνισμού (τομεακή έρευνα Ενέργειας της ΕΕ, 2007), το 2004, προϊόντα πετρελαίου - συγκεκριμένα το βαρύ μαζούτ και το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης - παρέμεινε το κυρίαρχο καύσιμο για την τιμαριθμική αναπροσαρμογή της Ευρώπης συμβάσεων παροχής φυσικού αερίου. Από την ανάλυση περισσότερων από 500 συμβάσεων που καλύπτουν πάνω από 400 Bcm των προμηθειών φυσικού αερίου προς τις χώρες της ΕΕ για το ημερολογιακό έτος 2004, η ΓΔ Ανταγωνισμού διαπίστωσε ότι το βαρύ μαζούτ και το πετρέλαιο ντίζελ, αντιπροσώπευαν σχεδόν το 75 τοις εκατό της τιμαριθμικής αναπροσαρμογής των τιμών. Οι ρωσικές συμβάσεις φυσικού αερίου ήταν κατά μέσο όρο για το πετρέλαιο εσωτερικής καύσης 53% και για το πετρέλαιο θέρμανσης 39%.

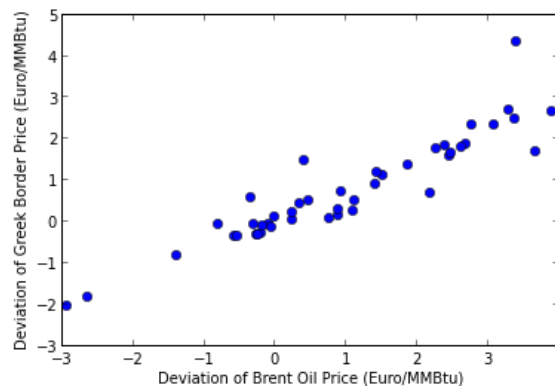
Οι λεπτομέρειες των συμβάσεων προμήθειας φυσικού αερίου είναι εμπιστευτικές πληροφορίες. Όμως μπορεί κανείς να εξαγάγει χρήσιμα αποτελέσματα από την παρακολούθηση των τιμών των εισαγωγών στην Ευρώπη. Ως παράδειγμα, η παρακάτω εικόνα απεικονίζει την τιμή εισαγωγής του αγωγού φυσικού αερίου από τη Ρωσική Ομοσπονδία (Gazprom) στην Ελλάδα (βουλγαρικά σύνορα), παράλληλα με τις τιμές του αργού πετρελαίου για την ίδια περίοδο, ως κινητός μέσος όρος των 2 τετραμήνων (6 μήνες) και έχει μετατοπιστεί κατά 1 τρίμηνο (3 μήνες).



Σχήμα 9.4 Συσχέτιση του ελληνικού ορίου τιμής με την επιβραδυνόμενη τιμή του αργού πετρελαίου

Η πρωιοδότηση της τιμής του πετρελαίου έχει διάφορες εξηγήσεις . Το πετρέλαιο μπορεί να εξυπηρετήσει πολλούς σκοπούς και είναι μια πιο ευέλικτη πηγή ενέργειας . Το κόστος μεταφοράς είναι επίσης σημαντικά χαμηλότερο για το πετρέλαιο , παρά τις βελτιώσεις στην τεχνολογία υγροποιημένου φυσικού αερίου έχει μειωθεί το κόστος μεταφοράς του φυσικού αερίου σε μεγάλες αποστάσεις , η απαιτούμενη επένδυση είναι πολύ υψηλότερη από ό, τι για τη μεταφορά πετρελαίου και υγροποιημένου φυσικού αερίου που μπορούν να παραδίδονται μόνο σε περιοχές με εγκαταστάσεις επαναεριοποίησης . Κατά συνέπεια , οι προμήθειες φυσικού αερίου , σε μεγαλύτερο βαθμό , είναι εγκλωβισμένες σε περιφερειακές και κατακερματισμένες αγορές , πράγμα που σημαίνει μεγαλύτερη διαπραγματευτική δύναμη των πελατών . Η συσχέτιση ανάμεσα στις δύο χρονοσειρές είναι πολύ υψηλή ( 0.985 ) . Με τη διαφορίση των χρονολογικών σειρών , κάποιος μπορεί να πετύχει τον μέσο όρο μεταξύ των πρώτων διαφορών της οριακής τιμής του φυσικού αερίου και με χρονική υστέρηση των τιμών του αργού πετρελαίου που ισούται με 0,824 με μια προσαρμοσμένη τιμή ίση με 81 % . Στην πράξη , η εξέλιξη της πραγματικής αναλογίας εξαρτάται από τις αξιολογήσεις των τιμών που λαμβάνουν χώρα καθ 'όλη τη διάρκεια της σύμβασης.

Ένας εναλλακτικός τρόπος για την εκτίμηση του λόγου , που εκφράζει την ενδεχόμενη επανεξέταση των τιμών είναι να υπολογίσει κανείς τη διαφορά μεταξύ της τιμής του φυσικού αερίου στα σύνορα και του κινητού μέσου όρου των 3 ετών, καθώς και τη διαφορά μεταξύ της τιμής υστέρησης των πετρελαίου και του κινητού μέσου όρου 3 -χρόνων . Η παλινδρόμηση μεταξύ των δύο χρονοσειρών δίνει μια αναλογία 0.717 με προσαρμοσμένη τιμή ίση με 86 %.



Σχήμα 9.5 .Συσχέτιση μεταξύ παρεκτροπής από μακροπρόθεσμα μέση τιμή αργού πετρελαίου με ελληνικές οριακές τιμές.

## 9.2 Οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις: LNG

Η παγκόσμια αγορά είναι κατακερματισμένη μεταξύ των δύο μεγάλων ωκεάνιων του Ειρηνικού και του Ατλαντικού. Η αγορά της Ασίας-Ειρηνικού είναι μεγαλύτερη από την αγορά του Ατλαντικού, οφείλεται στο γεγονός ότι οι οικονομίες αυτές κυρίως η Ιαπωνία, η Νότια Κορέα και Ταϊβάν - είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου εξαρτώμενες από τις εισαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου για την προμήθεια φυσικού αερίου τους.

Pacific Basin	LNG Imports (bcm)	Atlantic Basin	LNG Imports (bcm)
Japan	106.95	United Kingdom	25.31
South Korea	49.31	Spain	24.16
India	17.10	France	14.57
China	16.62	USA	10.01
Taiwan	16.31	Italy	8.75
Thailand	0.98	Belgium	6.57
		Turkey	6.23
		Portugal	3.01
		Greece	1.29
		Netherlands	0.78
<b>Total</b>	<b>207.27</b>	<b>Total</b>	<b>100.68</b>

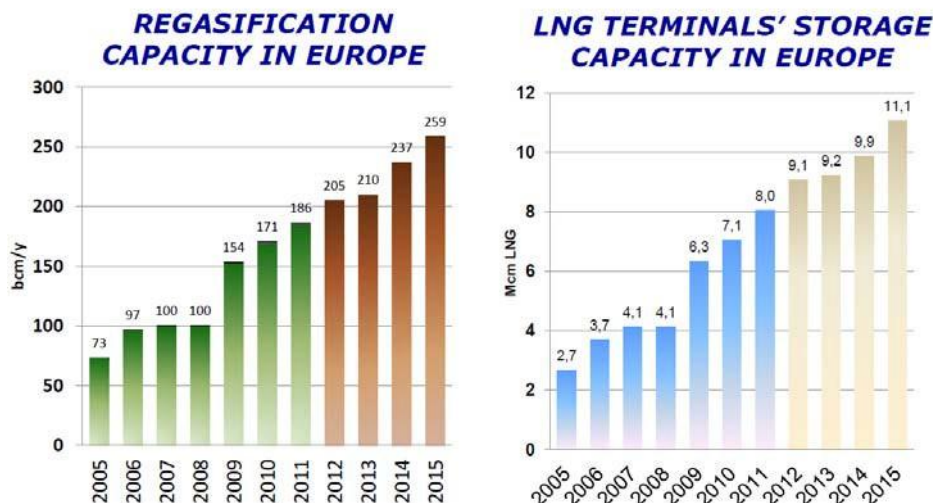
Σχήμα 9.6 Εισαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου ανά χώρα το 2011 (πηγή:BP Statistical Review of World Energy 2012)

Επειδή η Μέση Ανατολή βρίσκεται μεταξύ των δύο ωκεανών, εξάγει σε δύο αγορές, με το Κατάρ να είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας στον κόσμο του LNG.

Pacific Basin	LNG Exports (bcm)	Middle East	LNG Exports (bcm)	Atlantic Basin	LNG Exports (bcm)
Malaysia	33.26	Qatar	102.6	Nigeria	25.89
Indonesia	29.15	Oman	10.92	Trinidad & Tobago	18.88
Australia	25.93	Yemen	8.94	Algeria	17.12
Brunei	9.39	United Arab Emirates	7.96	Russian Federation	14.39
				Egypt	8.58
				Equatorial Guinea	5.27
				Peru	5.12
				Norway	3.97
				Libya	0.08
<b>Total</b>	<b>97.73</b>	<b>Total</b>	<b>130.42</b>	<b>Total</b>	<b>99.3</b>

Σχήμα 7. Εξαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου ανά χώρα το 2011 (πηγή:BP Statistical Review of World Energy 2012)

Η Ευρώπη είδε μια σημαντική αύξηση του μεριδίου των εισαγωγών υγροποιημένου φυσικού αερίου κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Το μέγεθος της αύξησης των εισαγωγών υγροποιημένου φυσικού αερίου στο μέλλον θα εξαρτηθεί σε κάποιο βαθμό από το επίπεδο της οικονομικής ανάκαμψης και ανάπτυξης της Ευρώπης είναι σε θέση να επιτύχει κατά την επόμενη δεκαετία. Η αυξημένη δραστηριότητα εισαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου έχει συνοδευτεί από την αύξηση της δυναμικότητας επαναεριοποίησης και αποθήκευσης σε τερματικούς σταθμούς υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ευρώπη.



Σχήμα 9.8 Ευρωπαϊκή υποδομή υγροποιημένου φυσικού αερίου (πηγή: GLE Investment Database)

Ένα έργο ΥΦΑ (Υγροποιημένο φυσικό αέριο) αποτελεί μια «αλυσίδα» επενδύσεων σε συνδέσμους που περιλαμβάνουν την ανάπτυξη του αγωγού προς την ακτή, την εγκατάσταση υγροποίησης, το δεξαμενόπλοιο μεταφοράς και την τελική εγκατάσταση / επαναεριοποίησης. Κάθε στοιχείο είναι συγκεκριμένο και η επένδυση είναι συνήθως προπληρωμένη και φορτωμένη, έτσι ώστε τα έσοδα να μην αρχίσουν να ρέουν μέχρι να ολοκληρωθεί το έργο. Ως εκ τούτου, στο επίκεντρο των έργων ήταν η μακροπρόθεσμη σύμβαση μεταξύ του αγοραστή και του πωλητή του ΥΦΑ - γνωστή ως συμφωνία πώλησης και αγοράς (SPA). Η λογική επιμερισμού του κινδύνου της SPA ενσωματώνεται στη φράση «ο αγοραστής αναλαμβάνει τον κίνδυνο του όγκου και ο πωλητής αναλαμβάνει τον κίνδυνο των τιμών». Ως εκ τούτου, οι περισσότερες συμβάσεις που διαθέτουν take-or-pay διατάξεις για τη διασφάλιση αγοραστή σε κάποιο ελάχιστο επίπεδο - ο αγοραστής είναι συνήθως υποχρεωμένος να λάβει τουλάχιστον το 90% της ετήσιας ποσότητας της σύμβασης.

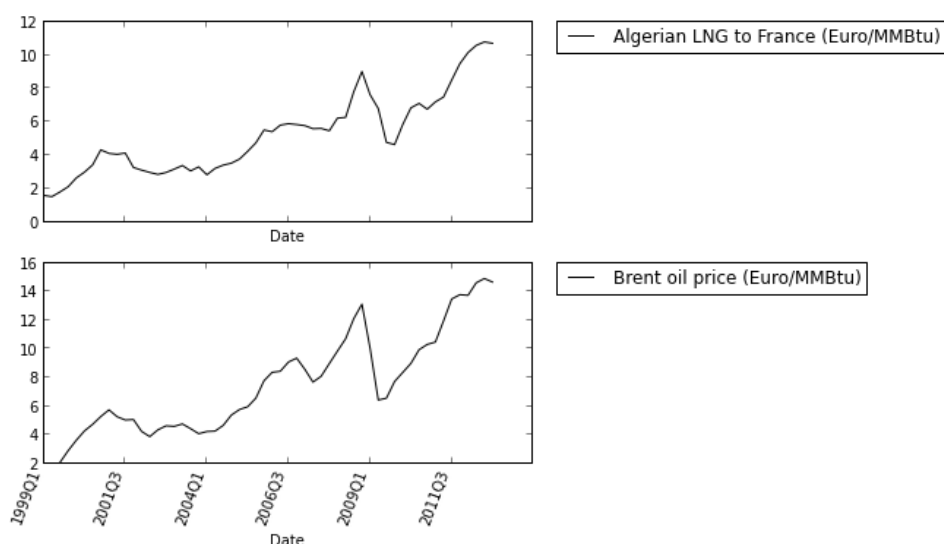
Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι ποσοτικών δεσμεύσεων: οι συμβάσεις μείωσης προμηθειών και οι πιο κοινές συμβάσεις προμηθειών. Σύμφωνα με τις συμβάσεις μείωσης προμηθειών, που ονομάζονται επίσης συμβάσεις εξόδου παραγωγής, η εταιρεία παραγωγής αφιερώνει το σύνολο της παραγωγής της σε έναν αγοραστή. Αντίθετα, οι κοινές συμβάσεις προμηθειών δεσμεύονται από τον πωλητή να παράσχει ένα σταθερό όγκο αερίου στον αγοραστή ορισμένου χρόνου, συνήθως 20 με 25 χρόνια. Ο πωλητής είναι υπεύθυνος για την προμήθεια του φυσικού αερίου, είτε από τα δικά του αποθέματα ή από τρίτους, αν τα δικά του αποθέματα δεν επαρκούν για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων. Επιπλέον, περιλαμβάνουν πρόσθετους όρους αποστολής, σύμφωνα με τους οποίους μπορεί να λάβει χώρα μια παράδοση:

- Free On Board βάση, όπου ο αγοραστής παίρνει στην ιδιοκτησία του υγροποιημένο φυσικό αέριο, καθώς αυτό φορτώνεται σε πλοία στις εγκαταστάσεις εξαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου. Ο αγοραστής είναι υπεύθυνος για την παράδοση ΥΦΑ, είτε με δικά του πλοία ή με ναυλωμένα σκάφη. Στην τιμή πώλησης δεν περιλαμβάνονται τα έξοδα

μεταφοράς.

- Cost Insurance Freight, όπου ο αγοραστής παίρνει τη νόμιμη κυριότητα του ΥΦΑ σε κάποιο σημείο κατά τη διάρκεια του ταξιδιού από το λιμάνι φόρτωσης στο λιμάνι υποδοχής. Ο πωλητής είναι υπεύθυνος για την παράδοση Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου, και η σύμβαση στην τιμή πώλησης περιλαμβάνει ασφάλιση και του κόστους μεταφοράς.
- Delivered Ex Ship, όπου ο αγοραστής παίρνει στην ιδιοκτησία του ΥΦΑ στο λιμάνι υποδοχής. Ο πωλητής είναι υπεύθυνος για την παράδοση ΥΦΑ, και η συμβεβλημένη τιμή πώλησης περιλαμβάνει ασφάλιση και του κόστους μεταφοράς.

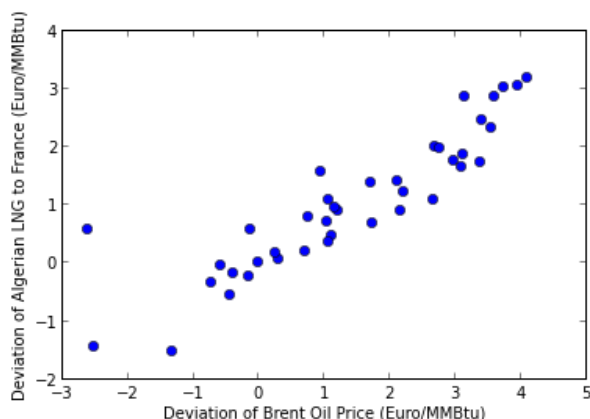
Οι τιμές βάσει μακροπρόθεσμων συμβάσεων συνδέονται με τις επιβραδυνόμενες τιμές του αργού πετρελαίου και πετρελαϊκών προϊόντων. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει την τιμή εισαγωγής ΥΦΑ από την Αλγερία στη Γαλλία (Fos-Tonkin των τερματικών σταθμών υγροποιημένου φυσικού αερίου Montoir-de-Bretagne), παράλληλα με τη τιμή του αργού πετρελαίου για την ίδια περίοδο, ως κινητός μέσος όρος των 2 τετραμήνων (6 μήνες) και μετατέθηκε μπροστά από 1 τρίμηνο (3 μήνες).



Σχήμα 9.9 Συσχέτιση των τιμών αλγεριανού υγροποιημένου φυσικού αερίου και των τιμών του αργού πετρελαίου

Η συσχέτιση ανάμεσα στις δύο χρονοσειρές είναι πολύ υψηλή (0,975). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι οριακές τιμές είναι υψηλότερες από αυτές της περίπτωσης Free On Board (το αλγερινό υγροποιημένο φυσικό αέριο στη Γαλλία παρέχεται από συμβάσεις με τους όρους παράδοσης Free On Board), δεδομένου ότι τα έξοδα αποστολής θα πρέπει επίσης να καλύπτονται.

Με τον υπολογισμό της διαφοράς μεταξύ της τιμής ΥΦΑ και του κινητού μέσου όρου των 3 ετών, καθώς και τη διαφορά μεταξύ της τιμής υστέρησης του αργού πετρελαίου και του ζετούς κινητού μέσου όρου και στη συνέχεια εκτελώντας μια παλινδρόμηση μεταξύ των δύο χρονολογικών σειρών, προσεγγιστικά είναι 0.652 .



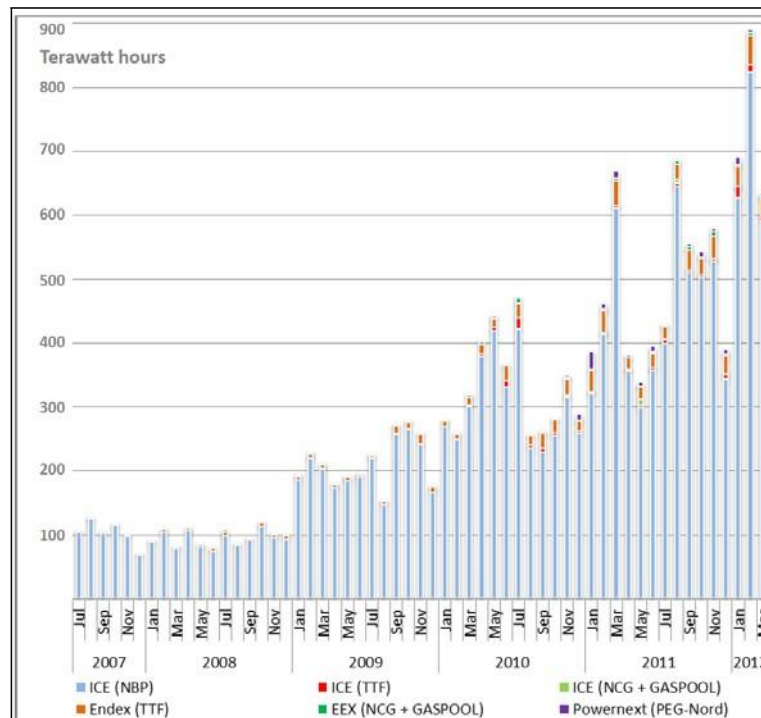
Σχήμα 9.10 Συσχέτιση μεταξύ της απόκλισης από αργό πετρέλαιο και αλγερινό υγροποιημένο φυσικό αέριο στις τιμές της Γαλλίας

### 9.3 Βραχυπρόθεσμο φυσικό αέριο

Στην εμπορία φυσικού αερίου, η έννοια του «βραχυπρόθεσμου» αναφέρεται στην αγορά για τις βραχυπρόθεσμες συμφωνίες της παράδοσης φυσικού αερίου που διευθετούνται. Προσδιορίζει την παράδοση κατά τη διάρκεια της επόμενης εργάσιμης ημέρας.

Οι κόμβοι διαπραγμάτευσης φυσικού αερίου δημιουργούν μια ισορροπία της προσφοράς και της ζήτησης, προκειμένου να βρεθεί μια τιμή για την προμήθεια φυσικού αερίου σε μια συγκεκριμένη θέση για μια συγκεκριμένη ημερομηνία. Αυτοί οι κόμβοι καλύπτουν ένα δίκτυο περιοχής με διάφορα σημεία εισόδου και εξόδου που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παράδοση του φυσικού αερίου. Ως εκ τούτου, οι πωλητές πρέπει μόνο να βεβαιωθούν ότι το αέριο φθάνει σε ένα από τα σημεία εισόδου του δικτύου και δεν έχει σημασία από ποιο σημείο εξόδου των κόμβων το αέριο αγοράζεται.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 2000, η ΕΕ θέσπισε μια σειρά νομοθετικών μέτρων, με στόχο τη δημιουργία μιας πιο ανταγωνιστικής και απελευθερωμένης δομής της αγοράς του φυσικού αερίου. Το νέο κανονιστικό πλαίσιο σε συνδυασμό με την ταχεία ανάπτυξη της προσφοράς ΥΦΑ από το Κατάρ και άλλους προμηθευτές οδήγησε σε αυξημένη δραστηριότητα στα κέντρα εμπορίας αερίου της Βόρειας Ευρώπης.



Σχήμα 9.11. Η δραστηριότητα σε εξαγωγές του φυσικού αερίου στην Ευρώπη. (πηγή: International Exchange)

Η εμπορία φυσικού αερίου στην Ευρώπη μπορεί να διαιρεθεί σε δύο ( 2 ) κύριους τομείς :

- **Ηνωμένο Βασίλειο.** Στο Ηνωμένο Βασίλειο , το 60 % των συμβάσεων παροχής φυσικού αερίου πωλούνται στην «εθνική τιμή ισορροπίας» (National Balancing Point) . Το NBP καλύπτει ολόκληρο το βρετανικό δίκτυο μεταφοράς και εμπορικών δραστηριοτήτων της, που ξεκίνησε το 1996 . Το περισσότερο φυσικό αέριο εισέρχεται στο σύστημα NBP μέσω των πέντε τερματικών σταθμών στη παραλία της Βόρειας Θάλασσας , αλλά υπάρχουν επίσης δύο άμεσες συνδέσεις αγωγών στην Ευρώπη ( Interconnector και Balgzand Bacton Line)
- **Βορειοδυτική Ευρώπη .** Η περιοχή κατά κύριο λόγο τροφοδοτείται με πετρέλαιο με μακροπρόθεσμες συμβάσεις . Ωστόσο , στην εξισορρόπηση και τις συναλλαγές που λαμβάνουν χώρα στους κόμβους της , την πιο κυρίαρχη θέση στο μερίδιο αγοράς έχουν οι εγκαταστάσεις μεταφοράς στην Ολλανδία ( Title Transfer Facilities ) . Η TTF είναι ένα εικονικό κέντρο που καλύπτει το ολλανδικό δίκτυο αγωγών . Είναι συνδεδεμένο με την NBP μέσω του Balgzand Bacton γραμμή ( BBL ) , το οποίο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά αερίου από Balgazand στην Ολλανδία με τον ακροδέκτη Bacton στο Ηνωμένο Βασίλειο.





Σχήμα 9.12 Χάρτης δικτύου φυσικού αερίου στην Ευρώπη

Το BBL είναι αγωγός που τέθηκε σε λειτουργία το Δεκέμβριο του 2006 και αύξησε τις σχέσεις μεταξύ του Ηνωμένου Βασιλείου και των ηπειρωτικών αγορών φυσικού αερίου.



Σχήμα 13.Χάρτης αγωγού BBL

Επιπλέον, υπάρχουν δύο κόμβοι διέλευσης κομβικών σημείων αερίου στην Βορειοδυτική Ευρώπη: το Zeebrugge στο Βέλγιο (Zeebrugge Hub - ZEE) και το Baumgarten στην Αυστρία (CEGH). Αυτά τα κέντρα να διευκολύνουν τη διέλευση μεγάλων ποσοτήτων φυσικού αερίου για περαιτέρω μεταφορά. Μπορούν να χειριστούν το 45% περίπου της ζήτησης στις κατάντη χώρες και παρέχουν αέριο στο σταθμό ZEE ο οποίος συνδέεται στενά με το NBP, το οποίο είναι φυσικά συνδεδεμένο με τον αγωγό Interconnector UK. Λόγω της γεωγραφικής της θέσης του, μπορούν να επωφεληθούν από τις ροές φυσικού αερίου χώρες προς και από τη Γαλλία, τη Βρετανία, τη Νορβηγία, την Ολλανδία, τη Γερμανία και στο γειτονικό τερματικό σταθμό υδροποιημένου φυσικού αερίου του Βελγίου. Περίπου το ένα τρίτο όλων των ρωσικών προμηθειών φυσικού αερίου προς τη Δυτική Ευρώπη έρχεται μέσω Baumgarten για περαιτέρω μεταφορά στην Αυστρία, τη Γερμανία, την Ιταλία, τη Σλοβενία και την Ουγγαρία. Τέλος, υπάρχουν δύο νεότερα κέντρα στη Γερμανία (η Gaspool Balancing Υπηρεσίες Hub και το NetConnect - NCG), καθώς και τα σημεία d' Echange de Gaz (PEG) στη Γαλλία.



Σχήμα 14. Χάρτης αγωγών στην Ευρώπη

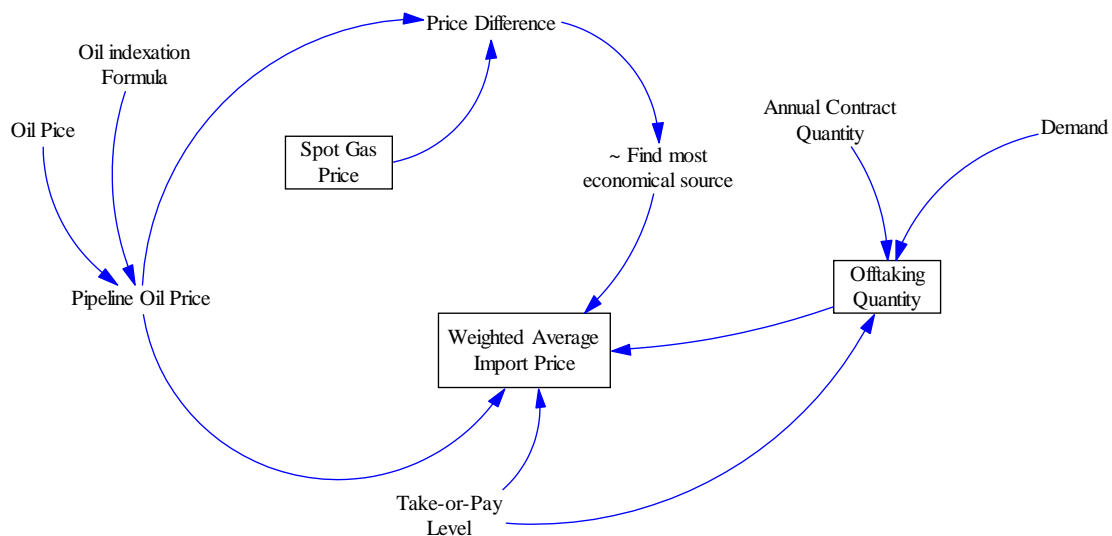
Σύμφωνα με την (Harmsen και Jerma, 2011), οι κόμβοι στη βόρειο-δυτική Ευρώπη μπορούν να θεωρηθούν ότι αποτελούν μία ολοκληρωμένη αγορά για το φυσικό αέριο. Οι ειδικοί ανέλυσαν τις κινήσεις των τιμών στις έξι προαναφερθείσες βορειοδυτικές ευρωπαϊκές αγορές φυσικού αερίου (δηλαδή NBP, TTF, ZEE, Gaspool, NCG και PEG) και ανακάλυψαν ότι υπάρχουν ισχυρές συσχετίσεις που δείχνουν ότι οι αγορές λειτουργούν ως ένα ολοκληρωμένο σύνολο. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι μακροπρόθεσμα ο σχετικός νόμος της μίας τιμής (LOP) που πραγματοποιήθηκε για

τα 15 ζεύγη των κόμβων κατά την περίοδο από τις 23 Απριλίου 2007 έως 7 Μαΐου 2010 διατηρήθηκε. Με βάση αυτή την παρατήρηση, η επακόλουθη ανάλυση χρησιμοποιεί μόνο την τιμή NBP ως «παρούσα τιμή φυσικού αερίου». Οι εμπορικοί κόμβοι παρέχουν ένα σαφή μηχανισμό για την ευελιξία όγκου και περιλαμβάνονται στις μακροπρόθεσμες συμβάσεις προμηθειών. Αυτή η ευελιξία οδηγεί σε δύο περιπτώσεις κανονισμών μεταξύ παρόντος φυσικού αερίου και φυσικού αερίου με δείκτη.

- Η παρούσα τιμή (spot) του φυσικού αερίου είναι χαμηλότερη από την τιμή του φυσικού αερίου που η τιμή του καθορίζεται από το πετρέλαιο (index). Σε αυτήν την περίπτωση, οι εταιρείες φυσικού αερίου, που συναλλάσσονται στους κόμβους, θα αγοράσουν περισσότερο παρόν φυσικό αέριο και αγοράσουν λιγότερο αέριο index με αποτέλεσμα αν φεύγει αέριο από τον κόμβο προκαλώντας αύξηση στην παρούσα τιμή του φυσικού αερίου. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου είτε η τιμή του φυσικού αερίου έχει αυξηθεί ώστε να ισούται με την τιμή που έχει το φυσικό αέριο που η τιμή του εξαρτάται από το πετρέλαιο (index) ή η προμήθεια του φυσικού αερίου που η τιμή του εξαρτάται από το πετρέλαιο έχει μειωθεί στο επίπεδο take-or-pay της και η διαδικασία διαπραγματεύσεων δεν μπορεί να προχωρήσει περαιτέρω, δηλαδή χωρίς να παραβιάσει τους όρους της σύμβασης προμήθειας.
- Η παρούσα τιμή του φυσικού αερίου είναι υψηλότερη από την τιμή του φυσικού αερίου που καθορίζεται από τους δείκτες της τιμής του πετρελαίου. Σε αυτήν την περίπτωση, οι εταιρείες φυσικού αερίου στις συναλλαγές τους, στους κόμβους θα αγοράζουν λιγότερο φυσικό αέριο το οποίο έχει παρούσα τιμή και αγοράζουν περισσότερο αέριο (δείκτη) . Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μικρότερη εξαγωγή αερίου έξω από τους κόμβους (και ακόμη στην περίπτωση αποστολής αερίου(index) αναπροσαρμόζεται στους κόμβους, προκαλώντας την τιμή να πέσει. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου είτε η τιμή του φυσικού αερίου η παρούσα έχει πέσει και ισούται είτε με την τιμή του φυσικού αερίου (index) ή η προμήθεια αυτού του φυσικού αερίου (index) έχει αυξηθεί σε ετήσια Ποσότητα Σύμβαση του (ACQ) επίπεδου και η διαδικασία των διαπραγματεύσεων μπορεί να προχωρήσει περαιτέρω.

Make-up (είναι ορολογία που αναφέρεται στην ευελιξία του αγοραστή να λάβει αργότερα το φυσικό αέριο το οποίο έχει προπληρώσει) και η μεταφορά ρητρών παρέχει στους αγοραστές επιπλέον ευελιξία. Από το 2008 και μετά, η πτώση της ζήτησης μετά τη χρηματοπιστωτική κρίση με την επακόλουθη οικονομική ύφεση, παράλληλα με τη σημαντική αύξηση των LNG ρέει προς την Ευρώπη δημιούργησε μια σημαντική αποσύνδεση των ευρωπαϊκών τιμών του φυσικού αερίου από την τιμή του πετρελαίου. Στην περίπτωση αυτή, οι κάτοχοι της σύμβασης προκαλούν την καθυστέρηση της παράδοσης του φυσικού αερίου όσο το δυνατόν περισσότερο για χάρη της ελαχιστοποίησης ζημιών. Αξιοποιώντας τη ρήτρα make-up, οι κάτοχοι της σύμβασης μπορεί να αναβάλουν αποτελεσματικά την παροχή φυσικού αερίου, όταν αυτό είναι πάρα πολύ ακριβό σε σχέση με τις τιμές της αγοράς, με την ελπίδα ότι οι μελλοντικές τιμές του φυσικού αερίου θα αυξηθούν, έτσι ώστε η άσκηση των δικαιωμάτων για σύμβαση να καθίσταται κερδοφόρα. Τα παραπάνω γεγονότα δημιουργούν ένα αποτέλεσμα σύγκλισης μεταξύ της τιμής του φυσικού αερίου σε κόμβους των συναλλαγών και την τιμή του φυσικού αερίου (index) . Αυτό

συνεπάγεται ότι η δυναμική του σχηματισμού του φυσικού αερίου μπορεί να αντιπροσωπεύεται με τον ακόλουθο διάγραμμα αιτιοκρατικού βρόχου.



Σχήμα 9.15 Η διαπραγμάτευση μεταξύ παρούσας τιμής (spot) κι εξαρτώμενης από το πετρέλαιο (index)

## 9.4 Αποθήκευση Φυσικού Αερίου

Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης φυσικού αερίου ζωτικής σημασίας και συμπληρωματικό στοιχείο του ευρωπαϊκού συστήματος μεταφοράς και διανομής φυσικού αερίου. Θα βοηθήσει να διατηρήσει την ικανότητα του το σύστημα μεταφοράς και διανομής για τη μεταφορά προμηθειών φυσικού αερίου, χωρίς διακοπή, καθώς και να εξισορροπήσει την απόκλιση μεταξύ της εποχιακής / ημερήσια διακύμανσης της κατανάλωσης φυσικού αερίου και την ακαμψία του εφοδιασμού με αέριο.

Βασική ορολογία:

- Η συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης φυσικού αερίου είναι ο μέγιστος όγκος του αερίου που μπορεί να αποθηκευτεί σε μια εγκατάσταση αποθήκευσης, σύμφωνα με το σχεδιασμό της, η οποία περιλαμβάνει τα φυσικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα.
- Αέριο βάσης είναι ο όγκος του αερίου που προορίζεται ως μόνιμο απόθεμα σε μια δεξαμενή αποθήκευσης για να διατηρηθεί επαρκής πίεση και τα ποσοστά διαθεσιμότητας καθ' όλη την περίοδο διάθεσης στην αγορά .
- Εργαζόμενο αέριο είναι ο όγκος του αερίου στη δεξαμενή πάνω από το επίπεδο του αερίου βάσης. Ισοδύναμα, είναι ο όγκος του φυσικού αερίου στη

δεξαμενή αποθήκευσης που μπορεί να εξαχθεί κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας της εγκατάστασης αποθήκευσης, δηλ. είναι διαθέσιμο στην αγορά. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης μπορεί να αποσύρουν βασικό φυσικό αέριο για τον εφοδιασμό της αγοράς σε περιόδους ιδιαίτερα μεγάλης ζήτησης, αν και εξ ορισμού, αυτό το αέριο δεν προορίζεται για τη χρήση αυτή.

Η δυναμικότητα απόσυρσης (ή απόρριψης, ποσοστό απόρριψης) είναι το μέτρο της ποσότητας του αερίου που μπορεί να παραδοθεί (αποσύρεται) από μια εγκατάσταση αποθήκευσης σε καθημερινή βάση. Η ικανότητα απόσυρσης μιας δεδομένης εγκατάστασης αποθήκευσης είναι μεταβλητή, και εξαρτάται από παράγοντες όπως η ποσότητα του αερίου στη δεξαμενή σε κάθε δεδομένη στιγμή, η πίεση εντός της δεξαμενής, ικανότητα συμπίεσης στη διάθεση του ταμιευτήρα, η διαμόρφωση και οι δυνατότητες των εγκαταστάσεων στην επιφάνεια που σχετίζεται με τη δεξαμενή, και άλλους παράγοντες. Σε γενικές γραμμές, η ικανότητα ανάκλησης μιας εγκατάστασης ποικίλλει άμεσα με το συνολικό ποσό του αερίου στον ταμιευτήρα: όταν είναι στο υψηλότερο σημείο της, η δεξαμενή είναι πιο πλήρης και μειώνεται το αέριο εργασίας

Η μέγιστη δυναμικότητα διάθεσης αναφέρεται στις προδιαγραφές κατά την περιγραφή των εγκαταστάσεων αποθήκευσης φυσικού αερίου.

- Η δυναμικότητα έγχυσης είναι το συμπλήρωμα της δυναμικότητας απόρριψης. Είναι η ποσότητα του αερίου που μπορεί να εγχυθεί σε μια εγκατάσταση αποθήκευσης σε καθημερινή βάση. Η ικανότητα έγχυσης μιας εγκατάστασης αποθήκευσης είναι επίσης μεταβλητή, και εξαρτάται από παράγοντες συγκρίσιμους με εκείνους που καθορίζουν την ικανότητα απόσυρσης. Αντίθετα, ο ρυθμός έγχυσης είναι αντιστρόφως ανάλογος με το συνολικό ποσό του φυσικού αερίου που αποθηκεύεται. Είναι στο χαμηλότερο σημείο της, όταν η δεξαμενή είναι πιο πλήρης και αυξάνεται καθώς εργαζόμενο αέριο αποσύρεται.

Τύποι υπόγειας αποθήκευσης:

- Το εξαντλημένο φυσικό αέριο που υπάρχει σε φυσικά υπόγειους σχηματισμούς που αρχικά περιείχε και παράγεται το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο ή και τα δύο. Η δυναμικότητα του αερίου εργασίας, εξαντλημένου φυσικού αερίου τείνει να είναι μεγαλύτερη από εκείνη των άλλων τύπων εγκαταστάσεων αποθήκευσης. Εντούτοις, η έγχυση και τη απόσυρση ποσοστιαία είναι συνήθως χαμηλό ποσοστό που το κάνει αμελητέο και η χρήση του περιορίζεται μόνο σε εποχιακή αποθήκευση παρά την αποθήκευση σε περιόδους αιχμής .
- Τα υπόγεια στρώματα νερού είναι υπόγεια πορώδη, διαπερατά πετρώματα που λειτουργούν ως φυσικές δεξαμενές νερού και μπορούν να επισκευαστούν για να χρησιμοποιηθούν ως εγκαταστάσεις αποθήκευσης φυσικού αερίου. Αυτή η μορφή αποθήκευσης είναι πιο ακριβή από τα εξαντλημένα κοιτάσματα επειδή απαιτεί υψηλό κόστος γεώτρησης, περισσότερο φυσικό αέριο και βελτίωση της παρακολούθησης των επιδόσεων. Αυτή η επιλογή χρησιμοποιείται μόνο όταν υπάρχουν λίγες κατάλληλες εναλλακτικές λύσεις και αυτό συμβαίνει μόνο καλείται χρειάζεται εποχική αποθήκευση και στρατηγική ικανότητα αποθήκευσης.
- Οι κοιλάτητες άλατος που σχηματίζονται από τα υπάρχοντα κοιτάσματα αλατιού. Η ανάπτυξη των κοιλοτήτων αλατιού είναι πιο δαπανηρή από ό, τι οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν εξαντλημένο αέριο σε μια μονάδα εργασίας με βάση την ικανότητα του φυσικού αερίου. Ωστόσο,

χαρακτηρίζονται από υψηλή ικανότητα απόρριψης και ευέλικτες λειτουργίες .

- Βραχώδη σπήλαια βασίζονται σε μία μάζα (κυρίως, κρυσταλλικά πετρώματα) για να χρησιμεύσει ως ένα δοχείο πίεσης και περιέχει φυσικό αέριο που αποθηκεύεται σε μέγιστες πιέσεις από περίπου 15 MPa έως 25 MPa.

Επιπλέον, η αποθήκευση ΥΦΑ χρησιμοποιείται όταν το ανάγλυφο της περιοχής δεν υποστηρίζει υπόγεια αποθήκευση ή όταν η χώρα της κατανάλωσης φυσικού αερίου εμπλέκεται στις εισαγωγές υδροποιημένου φυσικού αερίου.

Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης επιτρέπουν στην δυναμικότητα παραγωγής του φυσικού αερίου που πρόκειται να μετακινηθεί από το ένα σημείο στο χρόνο σε ένα άλλο . Το φυσικό αέριο που φθάνει στον προορισμό του , δεν είναι πάντα απαραίτητο αμέσως , έτσι εγχέεται σε υπόγειες εγκαταστάσεις αποθήκευσης , όπου μπορεί να παραμείνει για απεριόριστο χρονικό διάστημα . Η δυνατότητα αυτή χρησιμοποιείται εποχιακά, όπου μια μονάδα αποθηκεύει φυσικό αέριο για την κάλυψη στις διακυμάνσεις του εποχικού φορτίου , καθώς και υπηρεσίες σε περιόδους αιχμής, όπου οι εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν την δυναμικότητα του φυσικού αερίου για να ανταποκριθεί στις ταχέως μεταβαλλόμενες συνθήκες που επηρεάζουν τη ζήτηση του φυσικού αερίου .

Επιπλέον , η αποθήκευση αερίου επιτρέπει σε κάποιον να εκμεταλλευτεί τις διαφορές τιμών μεταξύ των διαφόρων χρονικών στιγμών. Ένας έμπορος μπορεί , για παράδειγμα , σε ένα κατάστημα το καλοκαίρι, όταν οι τιμές τείνουν να είναι χαμηλά να το αγοράσει και να το πουλήσει σε περίοδο αιχμής τον χειμώνα , όταν οι τιμές τείνουν να είναι υψηλά . Αυτό είναι γνωστό ως « εποχική κατανομή » .

Με άλλα λόγια, η δυναμικότητα αποθήκευσης είναι ισοδύναμη με την ιδιοκτησία των spreads των τιμών του φυσικού αερίου . Αντιπροσωπεύει το δικαίωμα , αλλά όχι την υποχρέωση , αντλεί το φυσικό αέριο σε χαμηλές τιμές και να αποσύρει αέριο σε υψηλές τιμές.

Μέσα σε κάθε δεδομένο έτος , η παρούσα τιμή (spot ) δεν ανταποκρίνεται άμεσα σε προσφορά ή τη ζήτηση . Προσαρμόζει το χάσμα μεταξύ των διαθέσιμων αποθεμάτων και την επιθυμητών αποθεμάτων. Η οικονομική θεωρία προβλέπει ότι για μεγαλύτερο από το μέσο όρο στα επίπεδα αποθήκευσης , οι τιμές θα πρέπει να είναι χαμηλότερες, λόγω πλεονάσματος των προμηθειών . Το αντίστροφο θα πρέπει να αναμένεται όταν τα επίπεδα αποθήκευσης είναι κάτω από τον μέσο όρο τους . Τα επίπεδα των αποθεμάτων στα βραχυπρόθεσμα συμβόλαια προσδιορίζονται από παράγοντες όπως εποχικότητα, γενικά πρότυπα στην παραγωγή και τη ζήτηση, και τις μεταβολές των τιμών που προκαλούνται από αυτές τις αλλαγές. Ye et . (2003) διερεύνησε τη σημασία της απόκλισης των αποθεμάτων μακριά από κάποιο αναμενόμενο ή κανονικό επίπεδο στην κατανόηση των πετρελαϊκών αγορών. Αναφέρονται σε αυτήν στην απόκλιση από την κανονική και την σχετικής απογραφή. Δεδομένου ότι η προσφορά και η ζήτηση πετρελαίου είναι λιγότερο ελαστική ως προς τις τιμές στα βραχυπρόθεσμα συμβόλαια από ότι στο σχετικό απόθεμα , αυτό το σχετικό απόθεμα είναι που παίζει το ρόλο της απορρόφησης απρόβλεπτων μεταβολών της ζήτησης και της προσφοράς. Η μελέτη που έδειξε ότι η ζήτηση για το σχετικό απόθεμα είναι αρνητική σχετικά με την τιμή.

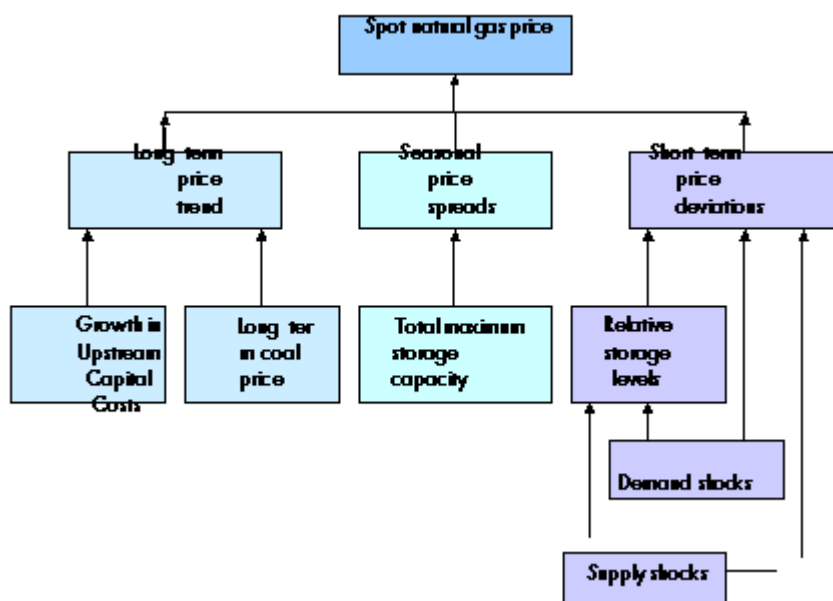


## 9.5 Οι βραχυπρόθεσμοι και μακροπρόθεσμοι όροι δυναμικότητας της παρούσας τιμής του φυσικού αερίου

Η παρούσα τιμή (spot) του φυσικού αερίου μπορεί να αναλυθεί στα ακόλουθα στοιχεία :

- Μια μακροπρόθεσμη τάση που συνδέεται αναπόφευκτα με την μακροπρόθεσμη εξέλιξη του κόστους παραγωγής και διανομής φυσικού αερίου , καθώς και την εξέλιξη των τιμών των πιθανών υποκατάστατων (κυρίως άνθρακας) .
- Η εποχικότητα της τιμής που σχετίζεται με τη διαθέσιμη συνολική δυναμικότητα αποθήκευσης . Λόγω των κύριων τομέων χρήσης - θέρμανσης χώρων , παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και βιομηχανικές διαδικασίες , η ζήτηση φυσικού αερίου είναι εποχιακή σε μεγάλο βαθμό , με τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν είναι καιρός / θερμοκρασία και την οικονομική δραστηριότητα . Κάποιος μπορεί να διαιρέσει τη ζήτηση στο καλοκαίρι ( Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο ) και το χειμώνα ( Νοέμβριο έως Μάρτιο ) περίοδο. Η εξάπλωση αποθήκευσης θα είναι η διαφορά ανάμεσα σε εποχιακό μέσο όρο του χειμώνα και το μέσο όρο της προηγούμενης περιόδου - καλοκαίρι . Αναμένεται ότι η αύξηση της διαφοράς αποθήκευσης είναι τόσο μια ένδειξη ελλείμματος δυναμικότητας αποθήκευσης και η κύρια κινητήρια δύναμη της αύξησης της δυναμικότητας.
- Οι βραχυπρόθεσμες αποκλίσεις που οδηγούνται από τις αποκλίσεις στην ομαλότητα ( δηλαδή κινητός μέσος όρος ) στις συνθήκες της ζήτησης , την αποθήκευση , καθώς και ελλείψεις της προσφοράς .

Μετά τη διάκριση μεταξύ των μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμων συμβολαίων που επηρεάζουν την τιμή του φυσικού αερίου, τα στοιχεία αυτά μπορούν να διαμορφωθούν (δηλαδή κατ'εκτίμηση) και να προσομοιωθούν σύμφωνα με τις σχέσεις που παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα:

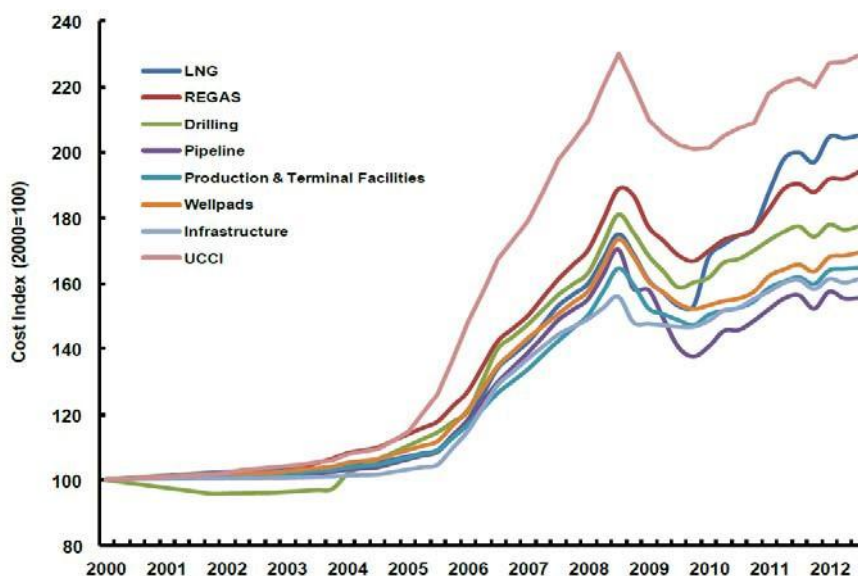


Σχήμα 9.16 Οι μεταβλητές που επηρεάζουν μακροπρόθεσμα και βραχυπρόθεσμα την παρούσα τιμή του φυσικού αερίου.

Μετά από μια δραματική αύξηση στη μέση της τελευταίας δεκαετίας, το κόστος άρχισε ανοδική τάση και πάλι στα τέλη του 2009 μετά από υποχώρησή για ένα χρόνο

μετά την κατάρρευση της χρηματοπιστωτικής αγοράς το 2008. Μεταξύ του τρίτου τριμήνου του 2009 και του τρίτου τρίμηνου του 2012, το κόστος κατασκευής νέων εγκαταστάσεων πετρελαίου και φυσικού αερίου, όπως αναφέρεται στην IHS CERA Upstream Capital Costs Index (UCCI) αυξήθηκε κατά 13 τοις εκατό - η μεγαλύτερη αύξηση από το 2007. Σύμφωνα με την IHS, το ανοδικό κόστος κεφαλαίου αναμένεται να αυξηθεί περαιτέρω 4-5 τοις εκατό το 2013.

Η μακροπρόθεσμη τάση των παρουσών (spot) τιμών του φυσικού αερίου αναμένεται να παραμείνει συνδεδεμένη με την εξέλιξη των ανοδικών κοστών κεφαλαίου. Με αυτό τον τρόπο, αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως επιχείρημα για όσον αφορά τις τιμές του φυσικού αερίου, όπως ενσωματώνονται με τις τιμές του αργού πετρελαίου. Η υπόθεση ενσωμάτωσης μεταξύ των δύο πρώτων υλών σημαίνει ότι είτε είναι υποκατάστατα ή μια μετατόπιση των πόρων παραγωγής από το ένα στο άλλο γίνεται αν η τιμή τους ξαφνικά γίνει σημαντικά μεγάλη (για παράδειγμα, οι παραγωγοί του αντισυμβατικού φυσικού αερίου μετατοπίσουν την παραγωγή τους από φυσικό αέριο σε πετρέλαιο, λόγω καλύτερης τιμολόγησης)..



Σχήμα 9.17 Ανάπτυξη σε ανοδικά κόστη κεφαλαίου (πηγή: IHS CERA)

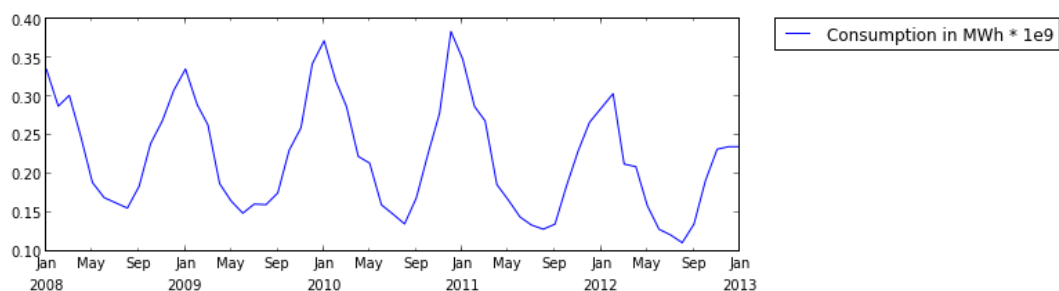
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η πιο σημαντική πηγή ζήτησης φυσικού αερίου προέρχεται από τη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Ευρώπη, η αύξηση των τιμών (spot) του φυσικού αερίου, σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές της ΕΕ, υπό τον όρο ένα σημαντικό μέρος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται από άνθρακα ως καύσιμο στους σταθμούς και όχι από αέριο. Bloomberg Industries εκτιμά ότι κατά το δεύτερο τρίμηνο του 2012, τα ευρωπαϊκά εργοστάσια άνθρακα που χρησιμοποιούνται ως καύσιμο επέστρεψαν κέρδος € 16,3 MWh, από € 9 πριν από ένα χρόνο, ενώ οι εγκαταστάσεις αερίου επέστρεψαν ζυγό αριθμό κερδών. Στην πραγματικότητα, στη Γαλλία και τη Γερμανία, τα θεωρητικά μικτά περιθώρια κέρδους από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας μετά την αγορά του αερίου που απαιτείται για την παραγωγή της, καθώς και τα δικαιώματα εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα - είναι αρνητικά.



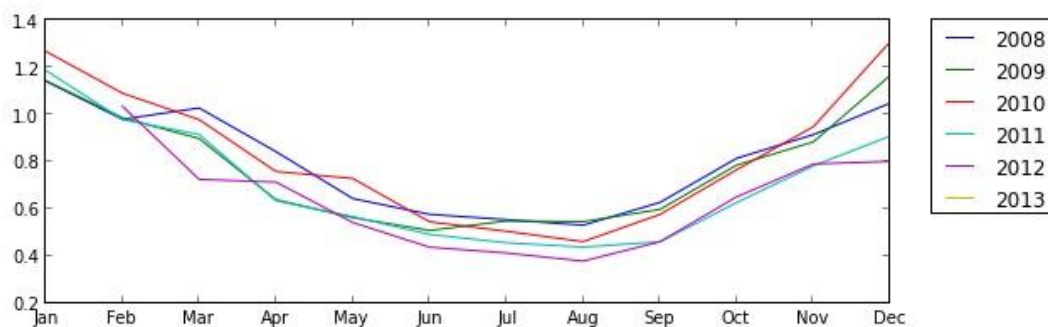
Τα παραπάνω δείχνουν ότι ο ανταγωνισμός μεταξύ του φυσικού αερίου και των τιμών του άνθρακα μπορεί να επηρεάσει από κοινού την τάση τους. Επιπλέον, δύο ενδιαφέροντες μακροπρόθεσμες εξελίξεις στην τεχνολογία άνθρακα είναι άνθρακα-σε-υγρό (CTL) και υπόγεια αεριοποίηση του άνθρακα (UCG). Τόσο CTL και UCG αυξάνουν τις ευκαιρίες για αλλαγή του τύπου καυσίμου, όταν η διαφορά μεταξύ του αερίου και του άνθρακα προκαλεί αύξηση των τιμών. Αν είναι οικονομικά εφικτό, οι τεχνολογίες αυτές θα ενισχύσουν την κοινή τάση του φυσικού αερίου και των τιμών του άνθρακα. Η εποχικότητα της κατανάλωσης φυσικού αερίου στην Βορειοδυτική Ευρώπη όπως μπορεί να δει κανείς στο παρακάτω διάγραμμα, βασίζονται σε στοιχεία για την κατανάλωση από τη βάση δεδομένων της Eurostat. Ωστόσο, σε μια απελευθερωμένη αγορά φυσικού αερίου, οι διαχειριστές αποθήκευσης αναμένεται να εκμεταλλευτούν προβλέψιμες διακυμάνσεις εποχιακής ζήτησης. Τα παρακάτω στοιχεία απεικονίζουν:

α) Τα χαρακτηριστικά της εποχικότητας της αποθήκευσης φυσικού αερίου, μέσω της ανάλυσης των αποθηκών υπόγειων του φυσικού αερίου Storengy στο Uelsen, Harsefeld και Dötlingen (Γερμανία).

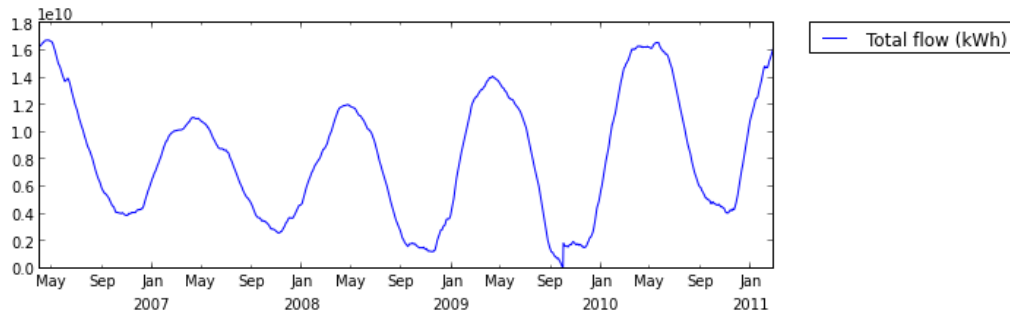
β) Η συμπεριφορά των επιπέδων αποθήκευσης των εγκαταστάσεων που συνδέονται με τους ακόλουθους κόμβους: UK National Balancing Point - NBP, Ολλανδικά Διευκόλυνση Τίτλος Transfer - TTF, Zeebrugge Hub - ZEE και Baumgarten (δεδομένα που λαμβάνονται από το Υποδομές Αερίου στην Ευρώπη - GIE, Συγκεντρωτικά αποθέματα φυσικού αερίου).



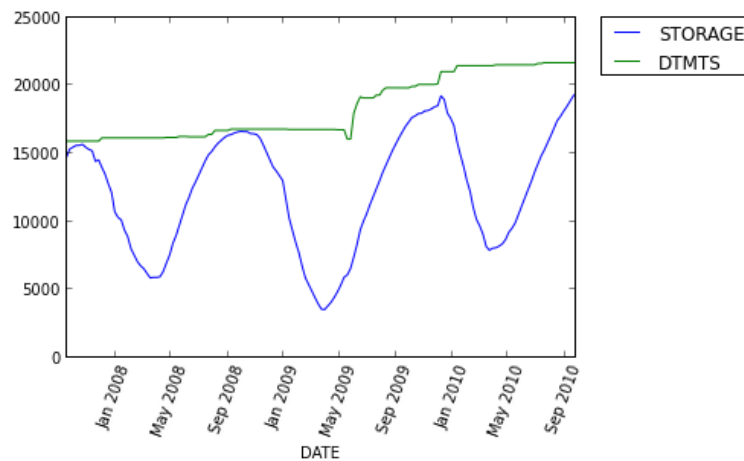
Σχήμα 9.18 Κατανάλωση φυσικού αερίου στην Βορειοδυτική Ευρώπη



Σχήμα 9.19 Εποχικότητα στην Κατανάλωση φυσικού αερίου στην Βορειοδυτική Ευρώπη

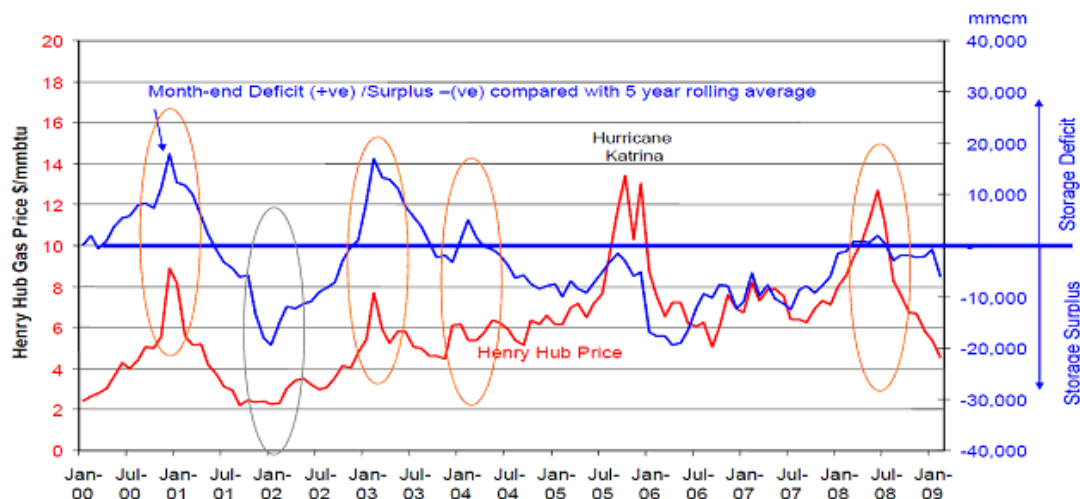


Σχήμα 9.20 Συνολική ροή υπόγειων αποθεμάτων στο Uelsen



Σχήμα 9.21 Επίπεδα αποθήκευσης σε εγκαταστάσεις που σχετίζονται με σταθμούς NBP, TTF

Ως εκ τούτου, μόνο οι απρόβλεπτες μεταβολές στη ζήτηση φυσικού αερίου αναμένεται να είναι σημαντικές για το σχηματισμό (spot) τιμής του φυσικού αερίου. Σε πρακτικό επίπεδο, όταν το πραγματικό απόθεμα είναι κάτω από το επιθυμητό, η τιμή θα πρέπει να αυξηθεί. Η αύξηση της τιμής προκαλεί τη ζήτηση να μειωθεί και φέρνει το απόθεμα πιο κοντά στην επιθυμητή τιμή. Η εικόνα που ακολουθεί δείχνει τις βασικές αρχές προσφοράς και ζήτησης κατά την περίοδο 2000 - 2005 στην αμερικανική αγορά φυσικού αερίου. Λαμβάνοντας υπόψη την υποκείμενη πορεία της τιμής του φυσικού αερίου κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, βραχυπρόθεσμα οι τιμές γίνονται μέγιστες και γούρνες αντιστοιχούν σε χρόνους όταν τα απόθεμα αποθήκευσης ήταν μικρότερο (έλλειμμα) ή μεγαλύτερο (πλεόνασμα), από τον κινητό μέσο όρο 5 ετών για το συγκεκριμένο μήνα. Έτσι, ελλείψει οποιουδήποτε μηχανισμού παροχής, βραχυπρόθεσμης, τιμών απόκρισης, η αγορά παίρνει την τρέχουσα θέση αποθήκευσης ως δείκτης του ισοζυγίου προσφοράς / ζήτησης



Σχήμα 9.22 Henry Hub τιμή φυσικού αερίου έναντι των σχετικών αποθεμάτων (πηγή :Rogers 2010)

Ακολουθώντας (Nick και Thoenes, 2013), η διαφορά μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας το 2009, οι ελλείψεις εφοδιασμού που προκάλεσε ο εμφύλιος πόλεμος στη Λιβύη το 2011 και η έλλειψη του ρωσικού φυσικού αερίου τον Φεβρουάριο του 2012 μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν παράγοντες για να προσδιορίσουν την επίδραση των ελλείψεων εφοδιασμού για την τιμή (spot) του φυσικού αερίου. Την ίδια στιγμή, ένα φαινόμενο αντισταθμιστικό προέρχεται από τις εισαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η αγορά των ΥΦΑ και βραχυπρόθεσμων συμβολαίων έχουν αυξηθεί εκθετικά τα τελευταία 10 χρόνια και τώρα αντιπροσωπεύουν το 20 τοις εκατό του συνόλου της παγκόσμιας αγοράς για το LNG. Ο συνολικός όγκος του ΥΦΑ που διαπραγματεύεται σε παγκόσμιο επίπεδο ανήλθε σε 2012 223 800 000 τόνους ετησίως).

Υπάρχει μια δυναμική σχέση μεταξύ της παγκόσμιας αγοράς (spot) ΥΦΑ και της διαμόρφωσης ευρωπαϊκής τιμής σε ένα κόμβο φυσικού αερίου. Το επίπεδο των ευρωπαϊκών τιμών του κόμβου σε σχέση με άλλες περιοχές του πλανήτη εξαρτάται από το αν δεν υπάρχει συμβόλαιο ή υπάρχει ευέλικτο συμβόλαιο, και είναι οριακή πηγή εφοδιασμού στην Ευρώπη. Αυτό οδηγεί επίσης τη σχέση σύνδεσης των τιμών μεταξύ της Ευρώπης και άλλων περιοχών. Ένα παράδειγμα είναι από το καλοκαίρι του 2012, όταν οι ευρωπαϊκοί κόμβοι παρείχαν ένα «μαλακό δάπεδο» για το πλεόνασμα φορτίων ΥΦΑ στην βραχυπρόθεσμη αγορά ΥΦΑ. Εφ' όσον ένας πάροχος όπως το Κατάρ παίρνει μια καλύτερη τιμή από τους ευρωπαϊκούς κόμβους από ό, τι στην Ασία, ΥΦΑ θα εισρεύσει στην Ευρώπη, προκαλώντας πίεση προς τα κάτω των τιμών. Με βάση τα προαναφερθέντα, αποκλίσεις από το μέσο όρο των εισαγωγών υγροποιημένου φυσικού αερίου στην ΕΕ (τα στοιχεία πάρθηκαν από την Eurostat) αναμένεται να επηρεαστούν από τις προηγούμενες αποκλίσεις στις τιμές του φυσικού αερίου, καθώς και να επηρεάσει τις μεταγενέστερες τιμές (spot).

## 9.6 Μελλοντικές προοπτικές για το φυσικό αέριο

Σε πρόσφατη έκθεση το φυσικό αέριο, η IEA (International Energy Agency) προβλέπει ότι η παγκόσμια αύξηση της ζήτησης φυσικού αερίου θα πρέπει να καθοδηγείται από ένα κύμα στην κατασκευή της παραγωγικής ικανότητας του φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται ως καύσιμο. Προβλέπουν ότι η ετήσια

κατανάλωση φυσικού αερίου από τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας μέσω αερίου θα αυξηθεί κατά 800 bcm σε πάνω από 2000 bcm το 2035 , μια αύξηση της τάξης του 65 % από τα επίπεδα του 2008 . Αυτό ισοδυναμεί με περισσότερες από 1500 νέες μονάδες 500 MW λειτουργεί με συντελεστή φορτίου 75 % .

Παραγωγή αερίου που χρησιμοποιείται ως καύσιμο είναι γενικά ελκυστική για πολλούς λόγους :

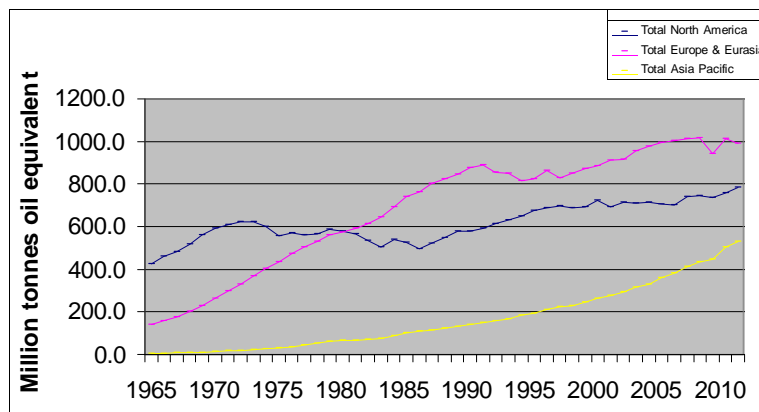
- Είναι μια ώριμη και χαμηλού κινδύνου τεχνολογία που μπορεί να παραδοθεί σε κέντρα ζήτησης με σχετικά σύντομους χρόνους παράδοσης.
- Διαθέτει συγκριτικά σύντομες περιόδους αποπληρωμής, το οποίο είναι σημαντικό για τους επενδυτές που αντιμετωπίζουν ευρείας εξάπλωσης ρυθμιστική αβεβαιότητα
- Είναι στην κατάλληλη θέση για να διευκολυνθεί η μετάβαση σε μείωση των εκπομπών σε διοξειδίου του άνθρακα , έχει πολύ μικρότερη ένταση εκπομπών σε σχέση με τις θερμικές εναλλακτικές λύσεις ( το αέριο παράγει λιγότερο από το ήμισυ των εκπομπών του ισοδύναμου σταθμού άνθρακα) .
- Είναι σε ιδανική θέση για να προσφέρει την ευελιξία που απαιτείται για τη διαχείριση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η αύξηση στη ζήτηση φυσικού αερίου από τον τομέα της ενέργειας θα αυξήσει τις απαιτήσεις για την ευελιξία του εφοδιασμού με αέριο . Η αύξηση της διακοπτόμενης παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές θα οδηγήσει επίσης μια αύξηση στην απαίτηση για ευελιξία ,βραχυπρόθεσμα, για εφοδιασμού με φυσικό αέριο . Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φυσικού αερίου μπορούν να διαδραματίσουν εξέχοντα ρόλο στην παροχή ευελιξίας για να αντισταθμιστούν οι διακυμάνσεις στην αιολική και η ηλιακή ενέργεια εξόδου . Ο βαθμός στον οποίο αυτή η ευελιξία του φυσικού αερίου απαιτείται από το ένα έτος στο επόμενο με τη σειρά του εξαρτάται από διακυμάνσεις σε εναλλακτικές πηγές, βραχυπρόθεσμης ευελιξίας , όπως τα επίπεδα αποθήκευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας .

Μια άλλη σημαντική συνέπεια της αύξησης της ζήτησης φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι μια όλο και πιο ισχυρή σχέση μεταξύ των τιμών του φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές περιφερειακές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας . Η επέκταση της δυναμικότητας του φυσικού αερίου σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις ευελιξίας από ανανεώσιμες πηγές είναι πιθανό να οδηγήσει σε αύξηση της επιρροής των μονάδων φυσικού αερίου που χρησιμοποιούνται ως καύσιμο για τον καθορισμό οριακών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας

Η αυξημένη απαίτηση για ευελιξία εφοδιασμού με φυσικό αέριο από τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας έχει οριστεί να συμπίπτει με την αυξημένη εξάρτηση της Ευρώπης και της Ασίας στις εισαγωγές υδροποιημένου φυσικού αερίου . Κίνητρα οικονομικά για να βελτιστοποιήσει τον προορισμό των φορτίων ΥΦΑ είναι ένα καθιερωμένο χαρακτηριστικό των συμβάσεων προμήθειας ΥΦΑ. Ως αποτέλεσμα η παράδοση του ΥΦΑ για την κάλυψη της ζήτησης θα εξαρτηθεί από την αγορά μέσω των τιμών και τη θέση των κατάλληλων φορτίων. Ο ρυθμός ανάπτυξης για το ΥΦΑ στην Ασία (Κίνα, Ινδία, Ιαπωνία Νότια Κορέα και Ταϊβάν) θα επηρεάσει σημαντικά τη διαθεσιμότητα του φυσικού αερίου για την Ευρώπη. Όπως είναι προφανές από τα στοιχεία για την κατανάλωση φυσικού αερίου στην BP Statistical Review of World Energy (2012), η τάση για κατανάλωση φυσικού αερίου στην Ασία είναι σημαντικά

ανοδική. Αυτό πρέπει να συνδυαστεί με το γεγονός ότι οι τιμές του φυσικού αερίου στην Ασία κυρίως από τις συμβάσεις που συνδέονται με την Ιαπωνία εκτελωνισμοί (ΜΣΕ) των τιμών του αργού πετρελαίου, καθιστούν έτσι την ασιατική αγορά προνομιούχα σε σχέση με το ευρωπαϊκή.



Σχήμα 9. 23 Συνολική τάση κατανάλωσης φυσικού αερίου

Επιπλέον, η μελλοντική πορεία της παραγωγής φυσικού αερίου στις ΗΠΑ θα έχει δραματικές επιπτώσεις για την Ευρώπη μέσω των επιπτώσεών της στην παγκόσμια διαθεσιμότητα ΥΦΑ .Αρκετές εγκαταστάσεις ΥΦΑ στο Gulf Coast και την ανατολική ακτή κάνουν μεγάλες επενδύσεις για να αυξήσουν την υγροποίηση και να επιτρέψουν εγχώρια παραγωγή φυσικού αερίου που θα εξάγεται στην Ευρώπη και την Ασία.

Μια άλλη πτυχή των μελλοντικών εξελίξεων είναι ο βαθμός στον οποίο οι μακροπρόθεσμες συμβάσεις προμήθειας φυσικού θα συνεχίσουν να αναπροσαρμόζονται με βάση το αργό πετρέλαιο. Η απόκλιση των (spot) τιμών του φυσικού αερίου κάτω από τις τιμές που αφορούν το φυσικό αέριο που η τιμή του προσαρμόζεται με βάση το πετρέλαιο 2009-2011 ,υπήρξαν από τα καθοριστικά γεγονότα που καθόρισαν την εξέλιξη των ευρωπαϊκών αγορών φυσικού αερίου ύστερα από την απελευθέρωση της αγοράς. Δύο βασικοί παράγοντες συνδυάστηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου να οδηγήσουν τις ευρωπαϊκές τιμές (spot) κάτω από την εναλλακτική λύση του φυσικού αερίου που αναπροσαρμόζεται με βάση το αργό πετρέλαιο.

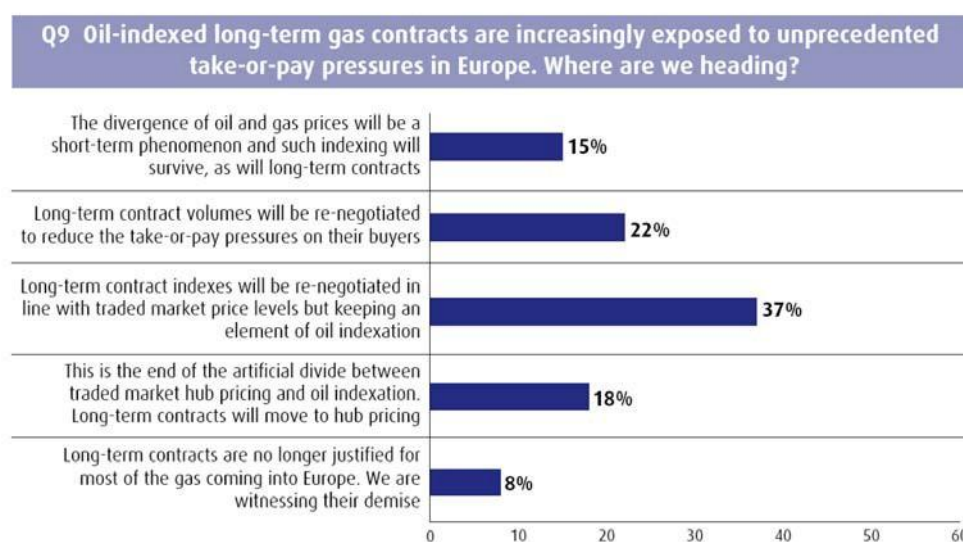
- 1) Υπήρξε μια ταχεία συρρίκνωση της ζήτησης φυσικού αερίου, ως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης που άφησε Ευρωπαίους επιχειρηματίες με πλεόνασμα φυσικού αερίου κατά τις take or pay συμβάσεις τους.
- 2) Ένας μεγάλος όγκος των μη συμφωνημένων εξαγωγών βρέθηκε στο προσκήνιο.

Αυτές οι συνθήκες προκάλεσαν σημαντική οικονομική πίεση σε Ευρωπαίους επιχειρηματίες αερίου (π.χ. E.ON, GDF), των οποίων το κόστος προσδιορίστηκε με έναν μεγάλο «πρέπει να» αγοραστεί σημαντικά περισσότερο ακριβό φυσικό αέριο η τιμή του οποίου εξαρτάται από το αργό πετρέλαιο. Ως εκ τούτου, μια σειρά από

αλλαγές που έχουν λάβει χώρα στις διατάξεις της σύμβασης και των μηχανισμών τιμολόγησης στην Ευρώπη είναι:

- Μείωση των ελάχιστων take or pay υποχρεώσεων που απορρέουν από της Gazprom κατά μέσο όρο 85% (E.ON AG, Botas: 90% έως 75%, Eni SpA: 85% έως 60% για 3 έτη)
- Ένα συστατικό του ανταγωνισμού αερίου προς αέριο προστέθηκε στους τύπους τιμολόγησης (E.ON AG, η GDF Suez SA, Eni SpA - Gazprom: 15% με βάση ένα σύνολο ευρωπαϊκών κόμβων αερίου, E.ON AG - Statoil: 25% ).

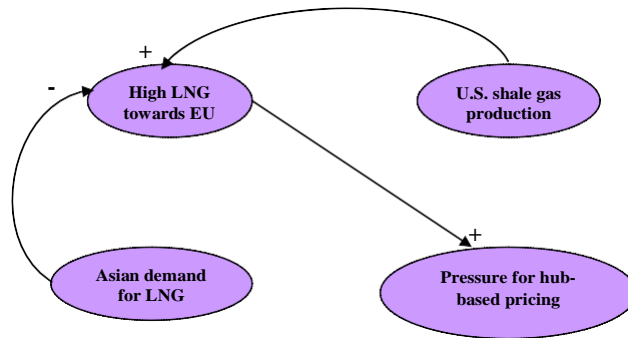
Η EON AG, μεγαλύτερη εταιρεία κοινής ωφελείας της Γερμανίας, έχασε 79 εκατομμύρια € στην επιχείρηση μέσα στο 2011 από την αγορά του φυσικού αερίου συνδέεται με τις τιμές του πετρελαίου και το πωλούν στην τιμή που επικρατεί ,παρούσα τιμή (spot) Η . RWE Supply & Trading, η αντίστοιχη μονάδα στο RWE, έχασε 336 εκατ. € το πρώτο εξάμηνο.



Σχήμα 9.24 Προσδοκίες στη βιομηχανία σχετικά με την τροφοδοσία φυσικού αερίου και τους μηχανισμούς τιμών

Το βασικό σενάριο υποθέτει ότι ο πιο πιθανός μηχανισμός για την τιμολόγηση του φυσικού αερίου στο μέλλον είναι αυτό που κρατά το παράδειγμα του πετρελαίου τιμαριθμικής αναπροσαρμογής, αλλά περιλαμβάνει επίσης ένα στοιχείο που αντανάκλα την τιμή spot σε κομβικά σημεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτό είναι σύμφωνο με τις προσδοκίες της βιομηχανίας, όπως προσδιορίζονται κατά τη διάρκεια του 24ου Ευρωπαϊκού Συνεδρίου Αερίου Φθινόπωρο .

Για τους σκοπούς μοντελοποίησης, εναλλακτικά, διερευνητικές σενάρια θα χρησιμοποιηθούν που θα αντιστοιχεί στην περίπτωση της υψηλής διαθεσιμότητας του φυσικού αερίου στην ΕΕ και μια στροφή προς την τιμολόγηση κόμβο με βάση τις συμβάσεις του φυσικού αερίου. Η αλληλεξάρτηση μεταξύ των παραγόντων που προαναφέρθηκαν απεικονίζεται στο σχήμα



Σχήμα 9.25 Η αλληλοσχέτιση μεταξύ παραγόντων και εξερευνητικών σεναρίων

**Η μελέτη αυτή βασίζεται στο παραδοτέο του Ευρωπαϊκού έργου APRISE στο οποίο συμμετέχει το εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης**

## Καθορισμός της Τιμής.

Είναι μια από τις πιο δύσκολες διαδικασίες, κάποια αγαθά έχουν πολύ σταθερές τιμές ενώ κάποια άλλα αλλάζουν πολύ εύκολα. Μία πρακτική (από πολλές) είναι όταν ο πωλητής(συνήθως) κοινοποιεί στον αγοραστή μη διαπραγματεύσιμες τιμές για κάποιο αγαθό. Είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη πρακτική στην λιανική πώληση (κάποιες φορές γίνεται και το αντίθετο από κάποιους πωλητές στο internet όπου περιμένουν από κάποιο αγοραστή να αξιολογήσει το προϊόν και αυτοί απαντάνε θετικά ή αρνητικά). Άλλη πρακτική είναι τα παζάρια όπου κάθε ξεχωριστός αγοραστής διαπραγματεύεται με κάθε ξεχωριστό πωλητή, Συνηθισμένο για ακίνητα. Τέλος υπάρχουν και οι δημοπρασίες κατά τις οποίες ένας αριθμός από πωλητές και αγοραστές συναντιόνται, η αγοροπωλησία κλείνει όταν ακουστεί μια τιμή από αγοραστή που ικανοποιεί τον πωλητή.

Για τα παραπάνω υπάρχουν και διαφορετικές προσεγγίσεις που περιέχουν διαφορετικούς κανόνες απόφασης. Πχ σε μια δημοπρασία στην Αγγλία οι πλειοδοτές ξέρουν τις πλειοδοσίες των άλλων και πολλές φορές και την ταυτότητά τους ενώ σε άλλες περιπτώσεις δημοπρασίας δεν γνωρίζουν τίποτα. Ακόμα σε πολλές περιπτώσεις η υπολογίζεται με ένα συγκεκριμένο ποσοστό κέρδους markup pricing (είναι η πρακτική να προστίθεται ένα συγκεκριμένο ποσοστό στην τιμή κόστους για να πάμε στην τιμή πώλησης). Ο σκοπός εδώ είναι να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο ρύθμισης τιμής με βάση τις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στους διαμορφωτές της αγοράς (Market makers)

Σε πολλά οικονομικά μοντέλα η τιμή υπολογίζεται με την τιμή ισορροπίας ρυθμιζόμενη από τη συνάρτηση της τρέχουσας ζήτησης και εφοδιασμού :

$$P=P^* \times f(\text{demand /supply})$$

Όπου η  $f()$  είναι επικλινής με ανοδική κλίση. Η τιμή ισορροπίας  $P^*$  είναι σταθερά που συνήθως υπολογίζεται με από τον μέσο όρο τιμών σε βάθος χρόνου. Όμως η τιμή ισορροπίας δεν μπορεί να είναι σταθερή γιατί αν γίνει μια αλλαγή στο κόστος παραγωγής θα μπορούσε να οδηγήσει την αγορά σε αστάθεια. Σε ένα πληθωριστικό περιβάλλον η τιμή ισορροπίας θα αυξάνεται συνεχώς κάτι που δεν μπορεί να γίνει αλλιώς παρά μόνο με μια μόνιμη ανισόροπα της ζήτηση με την παραγωγή. Γι αυτό είναι απαραίτητο να γίνει μια διαδικασία εύρεσης τιμής κατά την οποία οι συμμετέχοντες στην αγορά να ισορροπούν την ζήτηση με την παραγωγή.

Αν η τιμή ανέβει πάνω από τις τωρινές προβλέψεις και μείνει εκεί τότε επαναυπολογίζεται η τιμή ισορροπίας δηλαδή η αναμενόμενη τιμή από τους εμπόρους αναπροσαρμόζεται. Με άλλα λόγια η αναμενόμενη τιμή από τους εμπόρους προσαρμόζεται σταδιακά στην πραγματική τιμή αγοράς. Η υλοποίηση αυτού μπορεί να γίνει με την χρήση εκθετικής εξομάλυνσης της τιμής

$$P^*=SMOOTH(\text{Price}, \text{ExptAdjTime})$$

Δεδομένης όμως της αναμενόμενης τιμής των εμπόρων το ερώτημα είναι πως υπολογίζεται η πραγματική τιμή. Βραχυπρόθεσμες πιέσεις που προκύπτουν από ανισορροπίες στην ζήτηση και την παραγωγή ή από αλλαγές στα κόστη ή στις τιμές των ανταγωνιστών προκαλούν στους εμπόρους να κάνουν υψηλότερη ή χαμηλότερη προσφορά στην τιμή ανάλογα με την πεποίθησή τους για την τιμή ισορροπίας.

$$P=P^* \times f_1(\text{Cue}_1) \times f_2(\text{Cue}_2) \dots \times f_n(\text{Cue}_n)$$



Όπου τα Cue αναπαριστούν διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν όπως η ισορροπία ζήτησης/παραγωγής, το κόστος μονάδας, η τιμές των ανταγωνιστών και όποιες άλλες μπορούν να προκαλέσουν στους εμπόρους την αναπροσαρμογή της τιμής. Η τιμή ισορροπίας ( $P^*$ ) υπολογίζεται από παρελθούσα εμπειρία. Σε μια τέτοια διαδικασία καθορισμού της τιμής η τιμή αυξάνεται όσο η ζήτηση ξεπερνάει τον εφοδιασμό και πέφτει όσο υπάρχει πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα. Αυτή η διαδικασία βοηθάει τις αγορές να ανακαλύψουν την τιμή εκκαθάρισης χωρίς να χρειάζεται να γνωρίζουν τις προτιμήσεις των καταναλωτών και την δομή του κόστους των παραγωγών. Δηλαδή χωρίς να γνωρίζουν τις καμπύλες ζήτησης και εφοδιασμού και τα πιθανά ή πραγματικά υποκατάστατα.

Στο μοντέλο για τον καθορισμό της τιμής που παραθέτουμε παρακάτω η τιμή βασίζεται στην αναμενόμενη τιμή των εμπόρων (Traders Expected Price). Η πραγματική τιμή προσαρμόζεται προς τα κάτω ή προς τα πάνω επειδή υφίσταται διάφορες πιέσεις. Σε αυτό το μοντέλο οι προσαρμογές προκύπτουν από την ισορροπία ζήτησης και προσφοράς και τις πεποιθήσεις των εμπόρων για το κόστος παραγωγής

- Price = Traders' Expected Price  
\* Effect of Inventory Coverage on Price \* Effect of Cost in Price

Άλλοι παράγοντες που μπορεί να απομακρύνουν την τιμή από το επίπεδο ισορροπίας μπορεί να είναι νέα για κάποια καινούρια τεχνολογία, υποκατάστατα προϊόντα αλλαγές στην μακροοικονομία και άλλα. Σε αυτό το μοντέλο παραλείπονται όμως θα μπορούσαν εύκολα να μοντελοποιηθούν σαν θόρυβος.

Οι πεποιθήσεις των εμπόρων για την τιμή ισορροπίας προσαρμόζονται σε παρελθοντικές τιμές. Πρώτου βαθμού εξομάλυνση χρησιμοποιείτε με μια σταθερά χρόνου (Time to Adjust Traders' Expected Price).

- Traders' Expected Price = Integral(Change In Traders' Expected Price)  
Initial Value = 0
- Change In Traders' Expected Price =  
(Indicated Price – Traders' Expected Price)/  
Time to Adjust Traders' Expected Price
- Indicated Price = MAX(Price, Minimum Price)

Σημειώνεται ότι η αναμενόμενη τιμή (Expected Price) προσαρμόζεται στην αναφερόμενη τιμή (Indicated Price). Οι διαμορφωτές της αγοράς (*Market makers*) γνωρίζουν ότι η τιμή ισορροπίας δεν μπορεί να πέσει κάτω από το ελάχιστο κόστος για να βγει το προϊόν στην αγορά. Εδώ η ελάχιστη τιμή (Minimum Price) καθορίζεται από το αναμενόμενο μεταβλητό κόστος παραγωγής (η τιμή μπορεί να πέσει προσωρινά κάτω από το μεταβλητό κόστος αλλά μακροπρόθεσμα η παραγωγή θα σταματήσει αν οι παραγωγοί δεν μπορούν να καλύψουν τα λειτουργικά τους έξοδα).

- Minimum Price = Expected Variable Costs

Στη συζήτηση έως τώρα οι τιμές υποθέτουμε ότι ανταποκρίνονται στην ισορροπία της ζήτησης και της προσφοράς, χωρίς να καθορίζεται πως η ζήτηση και η προσφορά γίνεται αντιληπτή από τους συμμετέχοντες στην αγορά. Υπάρχουν αρκετές πιθανότητες. Στην αγορά εμπορευμάτων οι παραγωγοί ενδιαφέρονται περισσότερο για το επίπεδο των αποθεμάτων που πρέπει να αποθηκεύσουν και να

χρηματοδοτήσουν. Στην πλευρά της ζήτησης όμως οι καταναλωτές ενδιαφέρονται για την ικανότητα των εμπόρων να κάνουν σωστές αποστολές στην ώρα τους. Η αναλογία των διαθέσιμων αποθεμάτων με τις αποστολές (Inventory Coverage) μας δείχνει την απογραφή του κόστους μεταφοράς για τους παραγωγούς και τις δυνατότητας των αγοραστών να λαμβάνουν στην ώρα τους και αξιόπιστα. Σύμφωνα με εμπειρικά στοιχεία η τιμή ρυθμίζεται πάνω από την αναμενόμενη τιμή ισορροπίας όσο αναλογία των διαθέσιμων αποθεμάτων με τις αποστολές πέφτει.

- Effect of Inventory Coverage on Price =  

$$\frac{\text{Perceived Inventory Coverage}}{\text{Reference Inventory Coverage}}^{\text{Sens of Price to Inv Conv}}$$

Sensitivity of Price to Inventory Coverage: είναι αρνητικός αριθμός, όσο υψηλότερος είναι τόσο χαμηλότερες τιμές θα έχουμε.

Η τιμή εξαρτάται από την αντίληψη για την αναλογία των διαθέσιμων αποθεμάτων με τις αποστολές, γιατί ο στιγμιαίος ρυθμός αποστολής δεν είναι γνωστός. Χρειάζεται χρόνος για να μαζευτούν τα δεδομένα, για ευκολία η αντιληπτή αναλογία των διαθέσιμων αποθεμάτων με τις αποστολές (Perceived Inventory Coverage) μοντελοποιείται σαν εκθετική εξομάλυνση πρώτου βαθμού. Ο χρόνος στον οποίο θα γίνεται η εξομάλυνση (Coverage Perception Time) θα είναι μικρός για αγορές που υπάρχουν δεδομένα και έχουν υψηλή ευαισθησία στο κόστος αποθήκευσης και μεγαλύτερος για αγορές με λιγότερα δεδομένα διαθέσιμα και χαμηλή ευαισθησία στο κόστος αποθήκευσης.

- Perceived Inventory Coverage =  

$$\text{SMOOTH}(\text{Inventory Coverage}, \text{Coverage Perception Time})$$
- Inventory Coverage = Inventory /Shipments

Η τιμή θεωρούμε ότι αντιδρά στις αλλαγές των πεποιθήσεων των εμπόρων για το κόστος παραγωγής σε σχέση με την αναμενόμενη τιμή ισορροπίας. Η δύναμη αυτής της επίδρασης καθορίζεται από την ευαισθησία τιμής-κόστους (Sensitivity of Price to Cost).

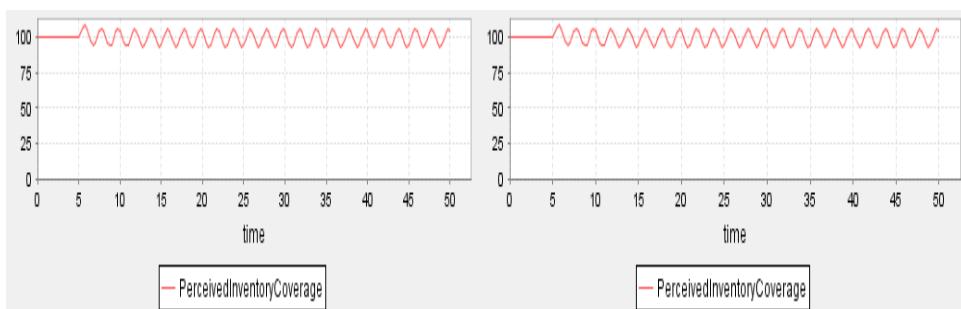
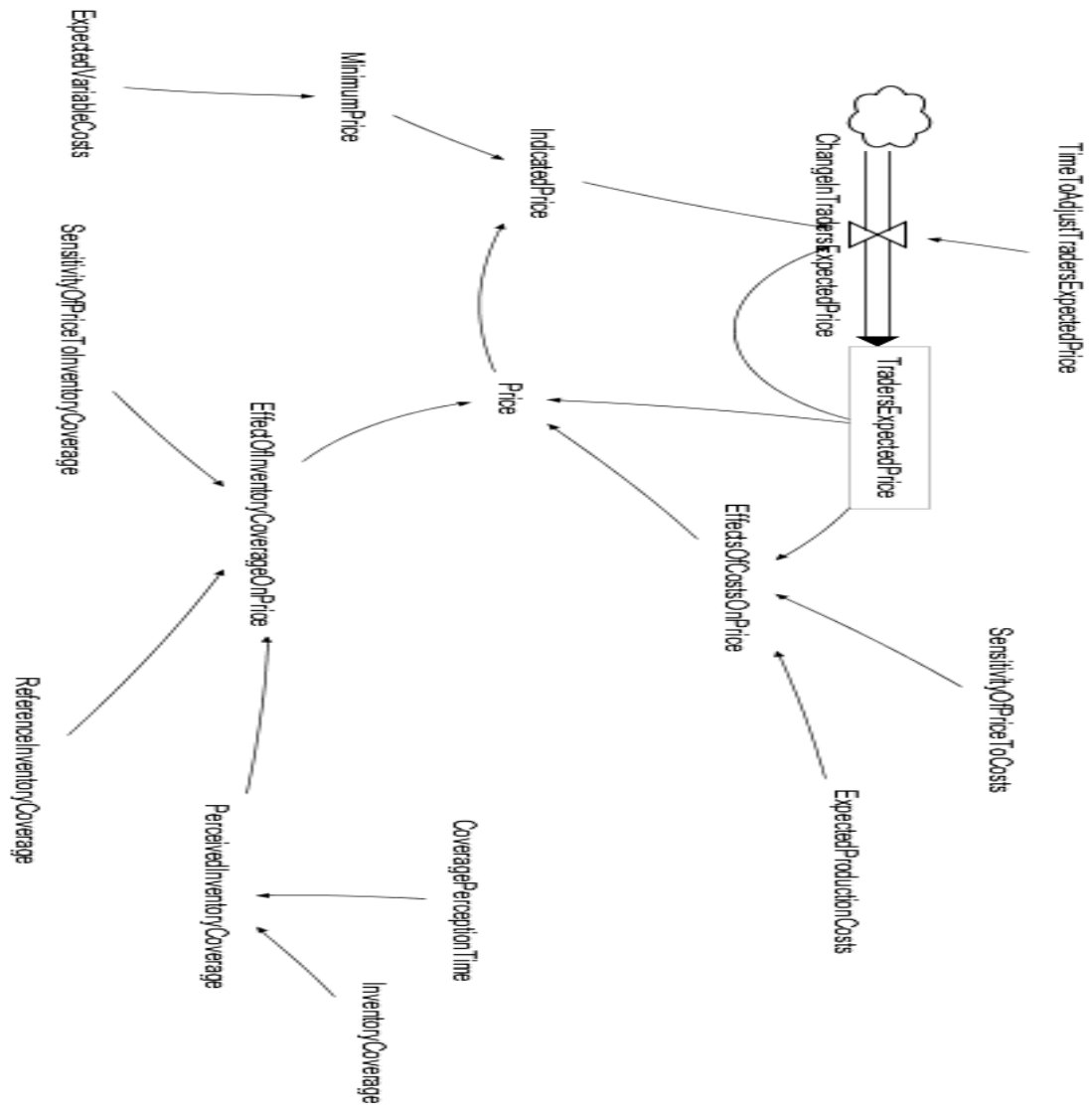
- Effect of Costs On Price =  

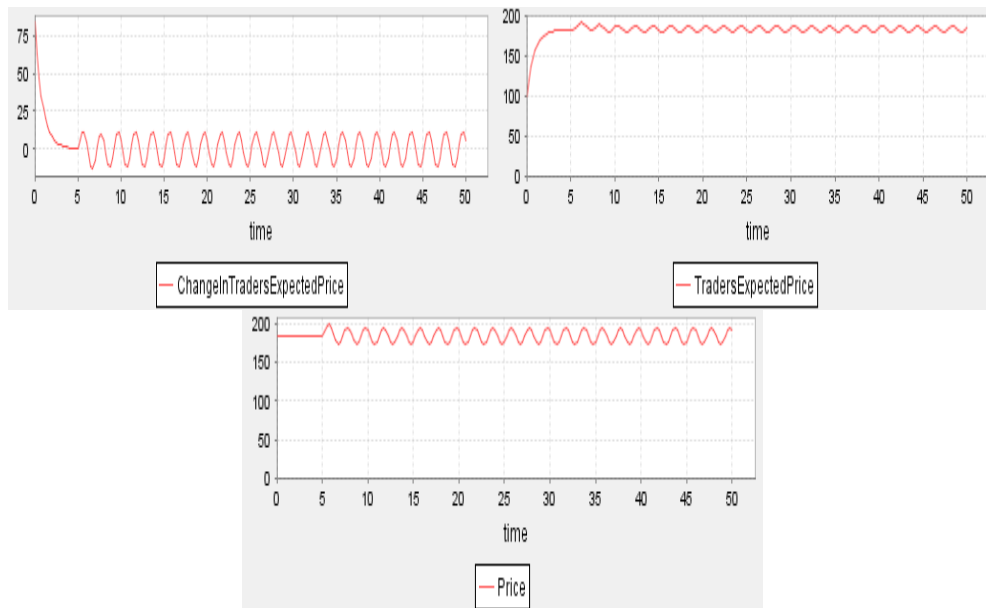
$$1 + \text{Sensitivity of Price to Costs} * (\text{Expected Production Costs} / \text{Traders Expected Price} - 1)$$

Εάν η ευαισθησία τιμής-κόστους είναι μηδέν τότε το κόστος δεν λαμβάνει μέρος στην διαδικασία καθορισμού της τιμής. Εάν είναι 1 τότε η πεποίθηση των εμπόρων για την τιμή ισορροπίας αγνοείται.

Το παραπάνω μοντέλο παρουσιάζεται παρακάτω έχοντας γίνει οι παρακάτω παραδοχές: όπου υπάρχει συνάρτηση έχει χρησιμοποιηθεί η  $f(x)=x$  το smoothing γίνεται στο διάστημα 1, το πείραμα εκτελείται για χρονικό διάστημα [0,50] και για βήμα 0.25. Τέλος η τιμή που μπαίνει σαν είσοδο είναι μια τυχαία συνάρτηση με το χρόνο.

- Price = Traders' Expected Price  
\* Effect of Inventory Coverage on Price \* Effect of Cost in Price
- Traders' Expected Price = Integral(Change In Traders' Expected Price)  
Initial Value = 100
- Change In Traders' Expected Price =  
(Indicated Price – Traders' Expected Price)/  
Time to Adjust Traders' Expected Price)
- Indicated Price = MAX(Price, Minimum Price)
- Minimum Price = Expected Variable Costs
- Expected Variable Costs =5
- Effect of Inventory Coverage on Price =  
(Perceived Inventory Coverage /  
Reference Inventory Coverage)<sup>Sens of Price to Inv Conv</sup>
- Sensitivity Of Price To Inventory Coverage = 0.96
- Reference Inventory Coverage = 0.9
- Perceived Inventory Coverage =  
SMOOTH(Inventory Coverage, Coverage Perception Time)
- Inventory Coverage = Inventory /Shipments
- Coverage Perception Time =1
- Effect of Costs On Price =  
1+ Sensitivity of Price to Costs \*  
(Expected Production Costs /Traders Expected Price -1)
- Stop Time = 50
- Start Time = 0
- Step length = 0.25





10.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης

## Διαμόρφωση της Ζήτησης

Η ζήτηση (αλλιώς ρυθμός παραγγελιών) στις αγορές μπορεί να μοντελοποιηθεί σε ποικίλα επίπεδα λεπτομέρειας. Παρακάτω παραθέτουμε ένα απλό μοντέλο.

Για το σκοπό του γενικού μοντέλου παίρνουμε σαν παραδοχή ότι η ζήτηση πέφτει όταν αυξάνεται η τιμή με μια καθυστέρηση όμως. Η καθυστέρηση αυτή περιλαμβάνει τον χρόνο που χρειάζονται οι πελάτες για να σχηματίσουν προσδοκίες για την τιμή και τον χρόνο που χρειάζεται για να αντιδράσουν (πχ να βρουν υποκατάστατα)

Η παραγγελίες μοντελοποιούνται σαν τη ζήτηση για την συγκεκριμένη αγορά και την επίδραση άλλων παραγόντων, εδώ μπαίνει ο θόρυβος και οι βραχυπρόθεσμες μεταβολές στην ζήτηση.

- Customer Orders = Industry Demand \* Other Factors Affecting Demand

Η ζήτηση για την αγορά (Industry Demand) προσαρμόζεται με μια χρονική υστέρηση που καθορίζεται από την τιμή του εμπορεύματος. Η καθυστέρηση θα μπορούσε να ήταν και υψηλότερου βαθμού αλλά για ευκολία χρησιμοποιούμε την εκθετική εξομάλυνση πρώτου βαθμού.

- Industry Demand =

SMOOTH( Indicated Industry Demand, Demand Adjustment Delay)

Η υποδηλωμένη ζήτηση της αγοράς (Indicated Industry Demand) καθορίζεται από την τιμή και μια τιμή αναφοράς(Reference Price) που συμβολίζει την τιμή των υποκατάστατων του προϊόντων. Για ευκολία την θεωρούμε γραμμική την καμπύλη της ζήτησης(Demand Curve Slope).

- Indicated Industry Demand =

MIN(Maximum Consumption,  
Reference Industry Demand \*

MAX(0,

1+ Demand Curve Slope\*(Price-Reference Price)/ Reference Industry Demand

)

)

Η συνάρτηση MAX εξασφαλίζει πως η ζήτηση δεν θα πέσει κάτω από το μηδέν όσο υψηλή και αν είναι η τιμή. Η συνάρτηση MIN εξασφαλίζει πως η ζήτηση παραμένει μικρότερη από μια προκαθορισμένη όσο μικρή και αν είναι η τιμή. Ανάμεσα σε αυτά τα όρια η καμπύλη της ζήτησης είναι γραμμική. Η κλίση της καμπύλης ζήτησης (Demand Curve Slope) έχει επιλεγεί στο να θέτει την ελαστικότητα της ζήτησης στην αρχική τιμή ισορροπίας.

- Demand Curve Slope =

-Reference Industry Demand \* Reference Industry Demand Elasticity /

Reference Price

Το παραπάνω μοντέλο παρουσιάζετε στο σχήμα 2 έχοντας γίνει οι παρακάτω παραδοχές: όπου υπάρχει συνάρτηση έχει χρησιμοποιηθεί η  $f(x)=x$ , για αρχική τιμή το smoothing γίνεται στο διάστημα 2, το πείραμα εκτελείται για χρονικό διάστημα [0,50] και για βήμα 0.25. Τέλος η τιμή που μπαίνει σαν είσοδο είναι μια τυχαία συνάρτηση με το χρόνο.

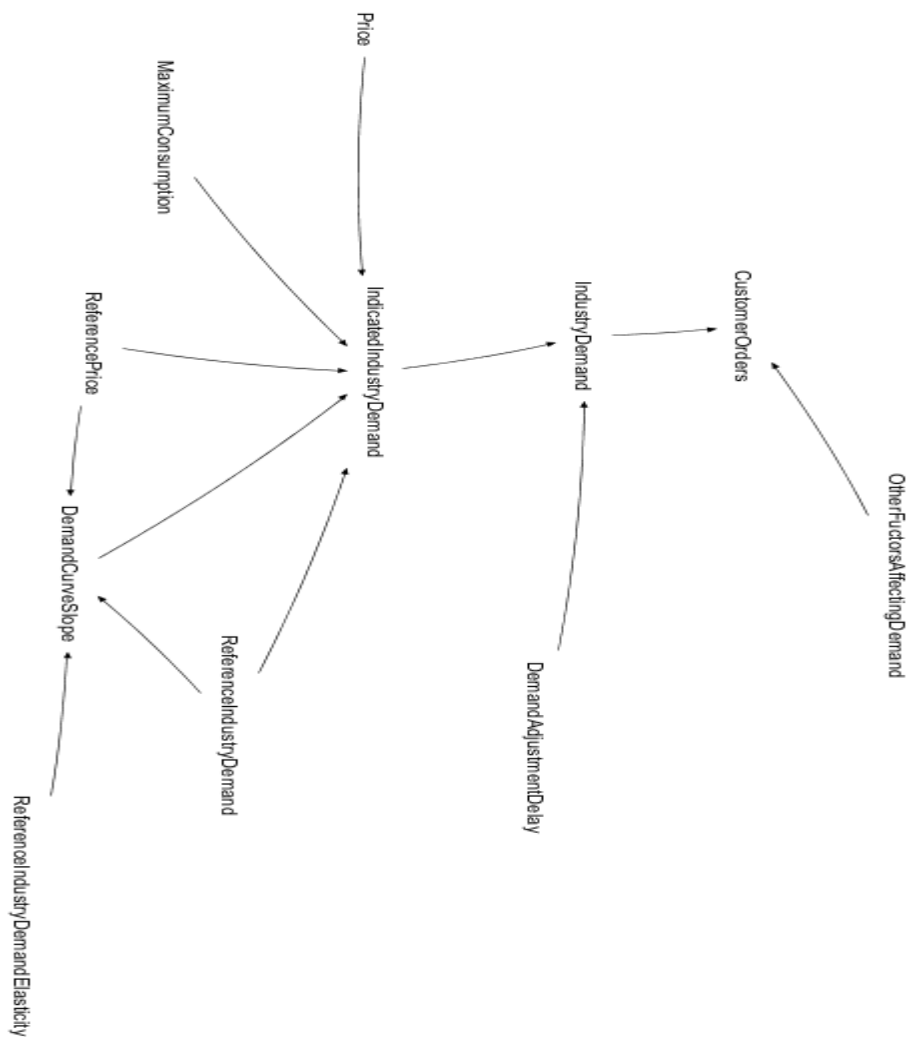
- Customer Orders = Industry Demand \* Other Factors Affecting Demand

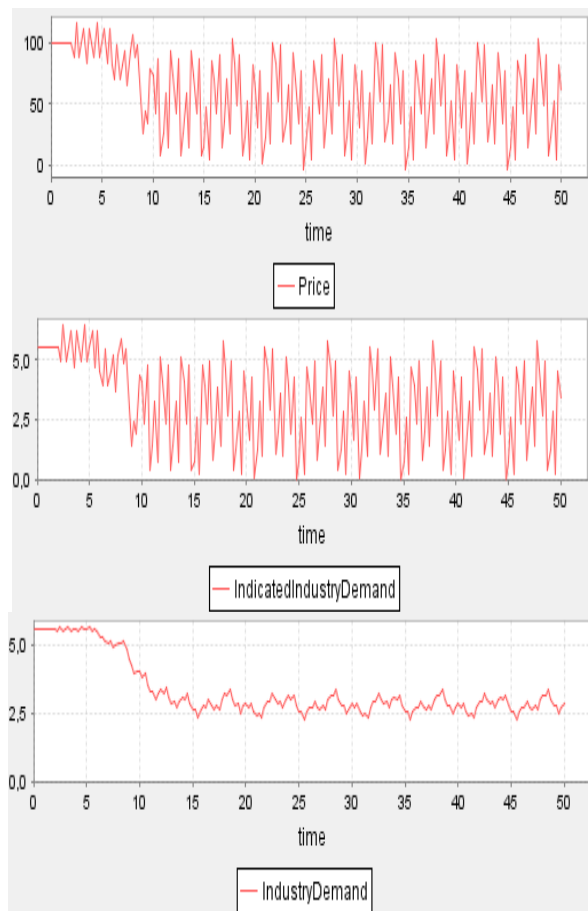
- Other Factor Affecting Demand = 1

- Industry Demand =

SMOOTH( Indicated Industry Demand, Demand Adjustment Delay)

- Demand Adjustment Delay = 2
- Indicated Industry Demand =  $\text{MIN}(\text{Maximum Consumption, Reference Industry Demand} * \text{MAX}(0, 1 + \text{Demand Curve Slope} * (\text{Price} - \text{Reference Price}) / \text{Reference Industry Demand}))$
- Demand Curve Slope =  $-\text{Reference Industry Demand} * \text{Reference Industry Demand Elasticity} / \text{Reference Price}$
- Maximum Consumption = 105
- Reference Price = 90
- Reference Industry Demand = 5
- Reference Industry Demand Elasticity = -1





Σχήμα 11.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης



## References

- Asche, F., P. Osmundsen and R. Tveterås (2002) "European Market Integration for Gas? Volume Flexibility and Political Risk", *Energy Economics* 24: 249-265
- Harmsen, R. and Jepma, C. "North West European gas market: integrated already", *European Energy Review*, 27 January 2011
- Løland, A. and Lindqvist, O. (2008) "Valuation of commodity-based swing options: a survey", Note SAMBA/38/80, Norwegian Computing Center
- Nick, S. and Thoenes, S. (2013) "What Drives Natural Gas Prices? – A Structural VAR Approach", *EWI Working Paper*, No 13/02
- Rogers, H. V. (2010) "LNG trade-flows in the Atlantic basin: trends and discontinuities", *Oxford Institute for Energy Studies*
- Rogers, H. V. (2012) "The Impact of a Globalising Market on Future European Gas Supply and Pricing: the Importance of Asian Demand and North American Supply", *Oxford Institute for Energy Studies*
- Ye, M., Zyren, J. and Shore, J. (2003) "Elasticity of demand for relative petroleum inventory in the short run", *Atlantic Economic Journal*, *International Atlantic Economic Society*, vol. 31(1), pages 87-102
- Robert S. Pindyck (2001) "*The Dynamics of Commodity Spot and Futures Markets: a Primer*"
- [http://en.wikipedia.org/wiki/System\\_dynamics](http://en.wikipedia.org/wiki/System_dynamics)
- Some Basic Concepts in System Dynamics. Jay W. Forrester Sloan School of Management Massachusetts Institute of Technology
- System Dynamics Methods. Craig W. Kirkwood, College of Business Arizona State University
- System Thinking ,John Boardman, Brian Sauser
- J. W. Forrester, *Industrial Dynamics*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1961.
- D. H. Kim, "Toolbox: Guidelines for Drawing Causal Loop Diagrams," *The Systems Thinker*, Vol. 3, No. 1, pp. 5-6 (February 1992).
- G. P. Richardson and A. L. Pugh III, *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO*, Productivity Press, Cambridge, Massachusetts, 1981.
- P. M. Senge, *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*, Doubleday Currency, New York, 1990.
- 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*, Doubleday Currency, New York, 1994.

G. P. Richardson and A. L. Pugh III, *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO*, Productivity Press, Cambridge, Massachusetts, 1981.

P. M. Senge, *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*, Doubleday Currency, New York, 1990.

W. E. Jarmain (ed.), *Problems in Industrial Dynamics*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1963.

Dawes, R. M. 1979. 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 Jovanovich, San Diego.

N. Roberts, D. F. Anderson, R. M. Deal, M. S. Garet, and W. A. Shafer, *Introduction to Computer Simulation: The System Dynamics Approach*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1983.