



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**  
**ΜΠΣ ΣΤΗΝ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**  
**ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ “LOGISTICS”**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ**  
***«ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ»***

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: κα ΣΟΦΙΑΝΟΠΟΥΛΟΥ ΣΤΥΛΙΑΝΗ**

**ΕΠΩΝΥΜΟ: ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΥ**

**ΟΝΟΜΑ: ΒΑΣΙΛΙΚΗ**

**Α.Μ.: ΜΠΛ /0347**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

- **Εισαγωγή** σελ. 4-9  
Εισαγωγικές Έννοιες – Ορισμοί

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

- 2.1. Αβεβαιότητα, Ρίσκο και Σφάλμα σελ. 10-17  
2.2. Πολυπλοκότητα, Αβεβαιότητα και Πραγματικός Κόσμος σελ. 17-18  
2.3. Αναπαριστώντας την Αβεβαιότητα σελ. 18-20  
2.4. Σφάλμα: Αβεβαιότητα μετρήσεων σελ. 20-22

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### **3.1. Θεωρία των πιθανοτήτων** σελ. 23-37

- 3.1.1. Διακριτές Κατανομές  
3.1.2. Συνεχής Κατανομές  
    3.1.2.1 Η Κανονική Κατανομή  
    3.1.2.2. Η Τριγωνική Κατανομή  
3.1.3. Εκτίμηση Αβεβαιοτήτων Τύπου A  
    3.1.3.1. Εκτίμηση αβεβαιότητας μονοσήμαντων (single-valued) ποσοτήτων  
    3.1.3.2. Εκτίμηση αβεβαιότητας για κατανεμημένες ποσότητες  
3.1.4. Εκτιμώντας αβεβαιότητες τύπου B

#### **3.2. Επιχειρησιακή Έρευνα** σελ. 37-42

- 3.2.1. Γραμμικός Προγραμματισμός  
3.2.2. Ακέραιος Προγραμματισμός  
3.2.3. Προβλήματα Μεταφοράς  
3.2.4 Μη Γραμμικός Προγραμματισμός  
3.2.5 Δυναμικός Προγραμματισμός

#### **3.3. Προσομοίωση** σελ. 42-43

<b>3.4. Μέθοδοι πρόβλεψης</b>	σελ.43-49
3.4.1. Μέθοδοι Προεκβολής ή Χρονοσειρών	
3.4.1.1. Η μέθοδος του κινούμενου μέσου	
3.4.1.2. Το μοντέλο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης	
3.4.1.3. Μοντέλα εκθετικής εξομάλυνσης	
3.4.2. Αιτιακές μέθοδοι προβλέψεων.	σελ. 50-52
3.4.3. Ποιοτικές μέθοδοι ή μέθοδοι κρίσης.	σελ. 52
3.4.4. Αξιοπιστία Μεθόδων Πρόβλεψης	σελ. 52-54
<b>3.5. Θεωρία των αποφάσεων</b>	σελ. 54-56
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	
4.1. Αβεβαιότητα και Ρίσκο σε Αλυσίδες Εφοδιασμού	σελ. 57-67
4.2. Πηγές Αβεβαιότητας	σελ. 67-75
4.3 Η προσέγγιση της Τριγωνικής Πολυπλοκότητας σε Αλυσίδες Εφοδιασμού	σελ. 75-81
4.5. Ο ρόλος του Αποθέματος ενάντια στην αβεβαιότητα	σελ. 81-82
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	
- Μελέτη Περίπτωσης	σελ. 83-101
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	
6.1. Επίλογος - Συμπεράσματα	σελ. 102-103
<b>Βιβλιογραφία</b>	σελ. 104-106

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Εισαγωγή

Οι επιχειρήσεις σήμερα, είναι αναγκασμένες να επιβιώνουν σ' ένα ιδιαίτερα ανταγωνιστικό διεθνές περιβάλλον το οποίο συνδυάζεται με συνεχείς εξελίξεις και αναβαθμίσεις στην τεχνολογία πληροφοριών. Σ' ένα τέτοιο περιβάλλον, η συνεργασία μεταξύ των επιχειρήσεων υπό τη μορφή επιχειρησιακών δικτύων φαίνεται ως αναπόφευκτη λύση στην προσπάθεια τους να ανταποκριθούν στις αλλαγές και τις προκλήσεις της σημερινής αγοράς. Είναι λοιπόν λογικό και αναμενόμενο να μελετάμε Εφοδιαστικές Αλυσίδες παρά ανεξάρτητες επιχειρήσεις.

Ο Christopher M ( 1992) τονίζει αυτή τη σκέψη λέγοντας «Στο μέλλον ο ανταγωνισμός δεν θα είναι μεταξύ ανεξάρτητων οργανισμών αλλά μεταξύ ανταγωνιζόμενων εφοδιαστικών αλυσίδων.»

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να αποδώσουμε έναν ορισμό για τον όρο Εφοδιαστική Αλυσίδα:

Μπορούμε να αναλογιστούμε μια Αλυσίδα Εφοδιασμού ως : «Ένα δίκτυο δραστηριοτήτων και διανομών, το οποίο εκτελεί τις λειτουργίες του εφοδιασμού των πρώτων υλών, τον μετασχηματισμό των υλών αυτών σε ημιτελή και τελικά προϊόντα και τέλος την διανομή των τελικών προϊόντων στους πελάτες». Οι Αλυσίδες Εφοδιασμού υπάρχουν τόσο στους βιομηχανοποιημένους οργανισμούς όσο και στους οργανισμούς παροχής υπηρεσιών, αν και η πολυπλοκότητα κάθε αλυσίδας μπορεί να ποικίλει και να διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από επιχείρηση σε επιχείρηση, (J. Blackhurst , T. Wu, P. O' Grady (2002))

Ένας άλλος ορισμός, δοσμένος από τους Handfield και Nichols (1999) αναφέρει ότι: «Οι Αλυσίδες Εφοδιασμού περιλαμβάνουν όλες εκείνες τις δραστηριότητες, οι οποίες συνδέονται με την διακίνηση και τον μετασχηματισμό των αγαθών από ακατέργαστα υλικά σε έτοιμο προϊόν έως τον τελικό καταναλωτή. Στον ορισμό αυτό εμπεριέχεται και η έννοια της «πληροφορίας», η οποία διαχέεται κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού».

Οι Sahin και Robinson (2002) όρισαν την Αλυσίδα Εφοδιασμού ως εξής: «Μια Αλυσίδα Εφοδιασμού αποτελείται από προμηθευτές, κατασκευαστές, διανομείς και λιανοπωλητές συνδεδεμένους μεταξύ τους σε ένα δίκτυο μεταφορών, πληροφοριών και χρηματοοικονομικών υποδομών. Ο αντικειμενικός σκοπός μιας

Αλυσίδα Εφοδιασμού είναι να παρέχει 'αξία' στο τελικό καταναλωτή σε όρους παροχής αγαθών και υπηρεσιών έτσι ώστε κάθε συμμετέχων στην αλυσίδα να αποκτά ένα αντίστοιχο κέρδος»

Οι Αλυσίδες Εφοδιασμού είναι ένα πολύ δυναμικό, στοχαστικό και πολύ – αντιπροσωπευτικό περιβάλλον. Για να λειτουργήσει κάποιος σ' ένα τέτοιο περιβάλλον, χρειάζεται να μπορεί να ανταπεξέρχεται στις διαρκώς μεταβαλλόμενες και δυναμικές συνθήκες της αγοράς, να κάνει διαρκείς εκτιμήσεις για έναν μεγάλο αριθμό εναλλακτικών αποφάσεων σε πραγματικές συνθήκες λαμβάνοντας κάθε φορά υπ' όψιν του τις αλλαγές της αγοράς καθώς και τις στρατηγικές που ακολουθούνται από τους ανταγωνιστές. Cem Canel (1995),

Ο δυναμικός χαρακτήρας των Αλυσίδων Εφοδιασμού, συνδυαζόμενος με τις συχνά απρόβλεπτες συνθήκες αγοράς, αναγκάζουν τις Αλυσίδες Εφοδιασμού να λειτουργούν κάτω από ισχυρές συνθήκες αβεβαιότητας και ρίσκου, με στόχο πάντα να διατηρούν γρήγορη ανταπόκριση στις απαιτήσεις των καταναλωτών συνδυάζοντας παράλληλα ανταγωνιστικά κόστη. Σύμφωνα με τον Davis T (1993) η «αβεβαιότητα» αναγνωρίζεται ως ένα στοιχείο «κλειδί», το οποίο επιδρά στην αποτελεσματικότητα μιας Αλυσίδας Εφοδιασμού.

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να αναδείξει τις κύριες αιτίες αβεβαιότητας που αντιμετωπίζουν οι Αλυσίδες Εφοδιασμού σήμερα και να προτείνει τρόπους αντιμετώπισης αυτού του τόσο δύσκολου αλλά κρίσιμου παράγοντα.

Όπως προαναφέρθηκε, μια Αλυσίδα Εφοδιασμού λειτουργεί σε ένα πολύ δυναμικό περιβάλλον. Ο όρος «Αλυσίδα Εφοδιασμού» και μόνον, περιλαμβάνει ένα δίκτυο αλληλένδετων σχέσεων μεταξύ καναλιών διακίνησης, αποθήκευσης, παραγωγής, εφοδιασμού, μεταφορών και πωλήσεων. Κάθε μέλος – κρίκος μιας Αλυσίδας Εφοδιασμού συνδέεται με άλλα μέλη αυτής μέσω της ροής των αγαθών προς μια κατεύθυνση, την ροή των εντολών και χρημάτων προς την αντίθετη κατεύθυνση και την ροή της πληροφορίας και στις δύο κατευθύνσεις. Οποιαδήποτε μεταβολή σε κάποιο μέλος της Αλυσίδας Εφοδιασμού συνήθως δημιουργεί αλυσιδωτές επιδράσεις και διαδίδεται κατά μήκος όλης της Αλυσίδας. Αυτές οι επιδράσεις αντανακλώνται σε κόστη πρώτων υλών, εργασίας, ημιτελών και τελικών προϊόντων καθώς και αποθεμάτων (πρώτων υλών, ημιτελών και τελικών προϊόντων κατά μήκος της αλυσίδας). Ο τρόπος με τον οποίο οι επιδράσεις αυτές διαδίδονται κατά μήκος του δικτύου εφοδιασμού καθορίζουν την «δυναμικότητα» της Αλυσίδας Εφοδιασμού. (Michael Milgate, (2001))

Σε μία τυπική Αλυσίδα Εφοδιασμού η πληροφορία αρχικά ρέει από τους τελικούς καταναλωτές προς τους διανομείς και τους κατασκευαστές για να φτάσει στους προμηθευτές, ενώ η ροή των αγαθών ακολουθεί την αντίθετη πορεία, από ακατέργαστες πρώτες ύλες η οποίες μετασχηματίζονται σε έτοιμα προϊόντα με παραλήπτες του τελικού καταναλωτές. Το πρόβλημα της διαχείρισης και του ελέγχου μιας αλυσίδας εφοδιασμού εστιάζεται κυρίως στην ενδογενή πολυπλοκότητα και αβεβαιότητα του συστήματος. Η πολυπλοκότητα αυτή αναδύεται από διάφορες αιτίες. Κατά πρώτον τα αγαθά και η πληροφορία που ρέουν σε μια αλυσίδα εφοδιασμού τις περισσότερες φορές σχηματίζουν ένα περίπλοκο δίκτυο αλληλένδετων δραστηριοτήτων στο οποίο συμμετέχουν παράλληλα πολλοί προμηθευτές, κατασκευαστές και διανομείς (Lee and Billington 1993, Lee and Whang 1998). Κατά δεύτερον κάθε μέλος μιας αλυσίδας εφοδιασμού μπορεί παράλληλα να συμμετέχει και σε άλλες αλυσίδες εφοδιασμού, κάθε μια εκ των οποίων έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες. Ο τρίτος λόγος που συμβάλει στην περιπλοκότητα των αλυσίδων εφοδιασμού είναι ο δυναμικός τους χαρακτήρας, με την αβεβαιότητα να κάνει την παρουσία της αισθητή σε πολλά καίρια θέματα, όπως τις απαιτήσεις των πελατών (ζήτηση τελικών προϊόντων), τη δυναμικότητα του συστήματος, τους χρόνους κατασκευής, διακίνησης και παράδοσης αγαθών, τα κόστη, την ποιότητα αγαθών και υπηρεσιών, την πληροφόρηση, κ.α. Η τέταρτη αιτία έχει να κάνει με το μεγάλο αριθμό συμμετεχόντων στη αλυσίδα, καθ' ένας εκ των οποίων έχει τους δικούς του στόχους, οι οποίοι μάλιστα μπορεί να έρχονται σε αντίθεση με τους στόχους των άλλων μελών. Συνοπτικά λοιπόν θα μπορούσαμε να πούμε ότι μία αλυσίδα εφοδιασμού είναι πολύπλοκη και γεννά αβεβαιότητα για τους παρακάτω λόγους:

- Ύπαρξη μεγάλων δικτύων αλληλένδετων συμμετεχόντων που περιλαμβάνουν προμηθευτές, κατασκευαστές και διανομείς σε συνήθως ευρεία γεωγραφική κλίμακα.
- Καθ' ένας από τους συμμετέχοντες μπορεί να είναι μέλος και άλλων αλυσίδων εφοδιασμού.
- Δυναμικός χαρακτήρας και αβέβαιη φύση των αλυσίδων εφοδιασμού.
- Κάθε μέλος της αλυσίδας παρακινείται από τους δικούς του αντικειμενικούς σκοπούς, πολιτικές και φιλοδοξίες.

(J. Blackhurst , T. Wu, P. O' Grady (2002))

Η αναγκαιότητα ενός αποτελεσματικού τρόπου διοίκησης εφοδιασμού γίνεται όλο και περισσότερο επιτακτική στις περισσότερες επιχειρήσεις σήμερα, οι οποίες δεν μπορούν να αγνοήσουν το γεγονός ότι οι πελάτες αυξάνουν όλο και περισσότερο τις απαιτήσεις και τις προσδοκίες τους από τους προμηθευτές τους. Έτσι η αποδοτικότητα των επιχειρήσεων στους απαιτούμενους χρόνους παράδοσης αποτελεί ολοένα και περισσότερο ένα θεμελιώδες «κλειδί» για την επιτυχία. Οι μάνατζερ γνωρίζουν ότι λανθασμένες ενέργειες σ' ένα τμήμα της Αλυσίδας Εφοδιασμού επηρεάζει την απόδοση όλης της αλυσίδας. Για τον λόγο αυτό πρέπει να υπάρχει ένας ολοκληρωμένος έλεγχος και εντατική συνεργασία μεταξύ των μερών που αποτελούν την Αλυσίδα Εφοδιασμού.

Όλοι οι βιομηχανικοί οργανισμοί, με σκοπό να παραμείνουν ανταγωνιστικοί, έρχονται αντιμέτωποι με συνεχείς προκλήσεις για την μείωση των χρόνων ανάπτυξης προϊόντων, την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων με παράλληλη μείωση στα κόστη παραγωγής και στους χρόνους παράδοσης. Κατά συνέπεια, οι προκλήσεις αυτές δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν από μεμονομένες αλλαγές σε ενδοεπιχειρησιακά τμήματα, αλλά αντίθετα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από σχέσεις και τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ διαφορετικών οργανικών τμημάτων. Η μετάβαση προς μια παγκόσμια αγορά και οικονομία αναγκάζει τις επιχειρήσεις όλο και περισσότερο να κλίνουν προς συγκεκριμένες υψηλής προστιθέμενης αξίας βιομηχανοποιημένες δραστηριότητες. Έτσι οι προκλήσεις αυτές μετασχηματίζονται σε προβλήματα όπως η εγκαθίδρυση και διατήρηση αποτελεσματικής ροής των αγαθών κατά μήκος όλης της αλυσίδας των παραγόμενων προϊόντων. Η ανταγωνιστικότητα ενός οργανισμού είναι ισχυρά συνδεδεμένη με την δυναμικότητα της Αλυσίδας Εφοδιασμού στην οποία συμμετέχει και η αναγνώριση από τις επιχειρήσεις του γεγονότος αυτού οδηγεί σε σημαντικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο οι οργανισμοί αλληλεπιδρούν με τους εταίρους τους στην Αλυσίδα Εφοδιασμού.

Παραδοσιακά, το μάρκετινγκ, η διανομή, ο σχεδιασμός, η παραγωγή και οι προμήθειες λειτουργούσαν ως ανεξάρτητοι οργανισμοί μέσα σε μια επιχείρηση. Το κάθε τμήμα είναι λογικό να έχει τους δικούς του αντικειμενικούς στόχους, οι οποίοι όμως πολλές φορές έρχονται σε αντίθεση με τους στόχους των άλλων τμημάτων. Ο στόχος του τμήματος μάρκετινγκ για υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης πελατών (και μέγιστες πωλήσεις) συχνά έρχεται σε αντίθεση με τους στόχους της παραγωγής και της διανομής. Πολλοί βιομηχανικοί οργανισμοί είναι σχεδιασμένοι με σκοπό την

μεγιστοποίηση της παραγωγής παραμερίζοντας έτσι την επίδραση που έχει στα επίπεδα των αποθεμάτων και τις δυνατότητες διανομής. Επίσης τα συμβόλαια προμηθειών πολλές φορές γίνονται δίνοντας ελάχιστη βαρύτητα σε ιστορικά πρότυπα αγορών και προμηθειών.

Τα αποτελέσματα αυτών των ανεξάρτητων δραστηριοτήτων των τμημάτων ενός οργανισμού αλλά και των διαφόρων μελών που αποτελούσαν μια αλυσίδα εφοδιασμού, έκαναν επιτακτική την ανάγκη για την δημιουργία ενός μηχανισμού μέσω του οποίου τα διαφορετικά αυτά τμήματα θα ενσωματώνονταν σ' ένα ολοκληρωμένο σύνολο που θα λειτουργούσε με κοινούς στόχους. Αυτός ο μηχανισμός αποδίδεται στην εφαρμογή της Διοίκησης της Αλυσίδας Εφοδιασμού που σκοπό έχει την ενοποίηση και ολοκλήρωση των διαφορετικών τμημάτων ενός οργανισμού μετατρέποντας την διαφορετικότητα σε αλληλένδετες σχέσεις και εξαρτήσεις των μερών ενός ενοποιημένου συνόλου.

Ένας πρώτος ορισμός του όρου Διοίκηση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply Chain Management – SCM) δόθηκε από τους Jack G. A. Van de Vorst και Adrie J. M. Beulens και αναφέρει ότι: « Διοίκηση της Αλυσίδας Εφοδιασμού είναι ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός, που αφορά τον συντονισμό και έλεγχο όλων των επιχειρησιακών δραστηριοτήτων σε μια αλυσίδα εφοδιασμού με σκοπό την επίτευξη μέγιστης αξίας για τον καταναλωτή σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση του κόστους και την ικανοποίηση των απαιτήσεων και στόχων των ενδιαφερόμενων μερών».

“Supply Chain Management (SCM) is the integrated planning co-ordination and control of all business processes and activities in the supply chain to deliver superior consumer value at minimum cost to the end-customer while satisfying requirements of other stakeholders”

Υπό τον παραπάνω ορισμό μπορούμε να θεωρήσουμε την ολοκληρωμένη Διοίκηση μιας Αλυσίδας Εφοδιασμού ως ένα ισχυρό εργαλείο μέσω του οποίου μπορούμε να διαχειριστούμε την αβεβαιότητα που σχετίζεται με κάθε τμήμα της αλυσίδας.

Η αβεβαιότητα λοιπόν, που αναπόφευκτα υπάρχει και θα υπάρχει στη λειτουργία κάθε Αλυσίδας Εφοδιασμού, δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί με παρεμβάσεις και σχέδια δράσεων σε μεμονομένα τμήματα της αλυσίδας. Και αυτό



διότι η αντιμετώπιση ή μείωση της αβεβαιότητας σ' ένα μόνο τμήμα της αλυσίδας μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της αβεβαιότητας του επόμενου ή άλλων τμημάτων – κρίκων της αλυσίδας. Θα πρέπει επομένως στην μελέτη για τα αίτια και την δημιουργία της αβεβαιότητας σε μια αλυσίδα εφοδιασμού, να αντιμετωπίζουμε αυτή ως ένα ενιαίο σύνολο και όχι απλά ως το άθροισμα μεμονομένων τμημάτων. Επιπλέον σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα διοίκησης μιας αλυσίδας εφοδιασμού κάθε οντότητα μπορεί να αντιληφθεί καλύτερα τις απαιτήσεις και τα προβλήματα των άλλων τμημάτων της αλυσίδας, επιτρέποντας έτσι τη βελτιωμένη λήψη αποφάσεων και κατά συνέπεια την αποδοτικότερη λειτουργία των διαδικασιών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1. Αβεβαιότητα, Ρίσκο και Σφάλμα

Οι όροι αβεβαιότητα και ρίσκο πολύ συχνά χρησιμοποιούνται εναλλακτικά ο ένας με τον άλλον. Το ρίσκο φαίνεται ως ένας ευφημισμός της αβεβαιότητας. Είναι σημαντικό όμως να έχουμε ένα ξεκάθαρο ορισμό για τους δύο αυτούς όρους έτσι ώστε να μπορούμε να αναγνωρίσουμε τις κύριες αρχές που εμπλέκονται σε κάθε περίπτωση. Οι παρακάτω ορισμοί έχουν υιοθετηθεί από την μελέτη των Byrne και Cadman (1984):

**Αβεβαιότητα:** Οτιδήποτε δεν είναι γνωστό όσον αφορά το αποτέλεσμα ενός εγχειρήματος (ή μιας διαδικασίας) την στιγμή κατά την οποία παίρνεται η απόφαση για το εγχείρημα αυτό.

**Ρίσκο:** Η μέτρηση των απωλειών που αναγνωρίζονται ως ένα πιθανό αποτέλεσμα μιας απόφασης.

Η αβεβαιότητα μπορεί να αναγνωριστεί κατά πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Βασικά πρόκειται για «έλλειψη πληροφορίας», η οποία είναι δυνατόν να αποκτηθεί ή όχι (Rowe, 1994). Ο Zimmerman (2000) έχει προτείνει τον παρακάτω ορισμό περί αβεβαιότητας: «Η αβεβαιότητα υποδεικνύει ότι σε μια συγκεκριμένη κατάσταση ένα πρόσωπο δεν διαθέτει εκείνη την πληροφορία, η οποία είναι ποσοτικά και ποιοτικά κατάλληλη για να περιγράψει, να καθορίσει ή να προβλέψει αιτιοκρατικά και αριθμητικά ένα σύστημα, καθώς επίσης και την συμπεριφορά του ή άλλα χαρακτηριστικά του».

Ο Galbraith (1973) όρισε την αβεβαιότητα ως: «Η διαφορά μεταξύ της ποσότητας της πληροφορίας, η οποία απαιτείται για την εκτέλεση ενός έργου και της ποσότητας της πληροφορίας, την οποία πρακτικά (κατέχει) διαθέτει η επιχείρηση».

Η αβεβαιότητα μπορεί επίσης να ταξινομηθεί με πολλούς τρόπους. Ο Zimmerman ταξινόμησε τα αίτια της αβεβαιότητας σε: έλλειψη πληροφορίας, πληθώρα πληροφορίας, αντιτιθέμενες – ασύμβατες αποδείξεις, αμφιβολία, μέτρηση, υποκειμενική πίστη. Από την άλλη μεριά, ο Rowe ταξινόμησε την αβεβαιότητα ως μετρική (metrical) δηλαδή μέτρηση της διακύμανσης της αβεβαιότητας, δομική (αβεβαιότητα λόγω της πολυπλοκότητας των συστημάτων), χρονική (αβεβαιότητα όσον αφορά το μέλλον ή παρελθοντικές καταστάσεις) και ερμηνευτική (αβεβαιότητα που προκύπτει στην προσπάθεια να εξηγήσουμε αβέβαια αποτελέσματα). Οι Ferson

και Ginzburg (1996) χρησιμοποίησαν μόνο δυο κατηγορίες αβεβαιότητας, την «άγνοια» και την «μεταβλητότητα». Σύμφωνα με τον δικό τους ορισμό, η άγνοια μπορεί να μειωθεί με περαιτέρω μελέτη ή χρησιμοποιώντας καλύτερες τεχνικές μέτρησης, ενώ η μεταβλητότητα ή διακύμανση παραμένει η ίδια είτε κάνουμε επιπλέον μελέτες είτε όχι. (Annika S. Kangas and Jyrki Kangas (2002)),

Οι Nick French και Laura Gabrielli (2004) υποστηρίζουν ότι η αβεβαιότητα είναι ένα πραγματικό και παγκόσμιο φαινόμενο σε κάθε εκτίμηση που γίνεται. Οι αιτίες της αβεβαιότητας είναι ορθολογικές και μπορούν να αναγνωριστούν. Μπορούν επίσης να περιγραφούν με πρακτικό τρόπο και πάνω απ' όλα η διαδικασία της αναγνώρισης και περιγραφής της αβεβαιότητας θα βοηθήσει πολλούς ενδιαφερόμενους, προσφέροντας μεγαλύτερη αξιοπιστία στην δουλειά του εκτιμητή. Michael Mallinson and Nick French (2000).

Όπως προαναφέρθηκε, η αβεβαιότητα υπάρχει λόγω έλλειψης πληροφορίας και φτωχής ή ακατάλληλης πληροφορίας για την εισαγωγή δεδομένων που χρειαζόμαστε σε κάθε ανάλυση. Σε όρους εκτιμητικής αναφερόμαστε σε εισαγωγή μεταβλητών, δηλαδή συγκρίσιμη πληροφορία. Αν δεν είμαστε σε θέση να επιβεβαιώσουμε την ακρίβεια των δεδομένων που εισάγουμε, τότε το αποτέλεσμα της εκτίμησης είναι μερικώς αβέβαιο. Αν όμως μπορούμε να εφαρμόσουμε (προσδιορίσουμε) πιθανότητες στις εισαγόμενες μεταβλητές, το γεγονός αυτό θα μας επιτρέψει να καθορίσουμε μια διακύμανση πιθανών αποτελεσμάτων. Τότε το αποτέλεσμα που θα πάρουμε είναι μια μέτρηση του ρίσκου (Byrne, 1995). Έτσι, κατά παράδοξο τρόπο, το ρίσκο εμφανίζεται κλασσικά ως ένα καθορισμένο είδος αβεβαιότητας και για το λόγο αυτό οι δύο όροι χρησιμοποιούνται εναλλακτικά. Μια αιτία για αυτήν την έλλειψη διαχωρισμού μεταξύ των δύο εννοιών είναι ότι στην πραγματικότητα οι καταστάσεις δεν είναι ριψοκίνδυνες, είναι μερικώς αβέβαιες και είναι δυσκολότερο να αιτιολογήσει κανείς λογικά την χρήση τεχνικών για τόσο απροσδιόριστες συνθήκες.

Το αποτέλεσμα μιας εκτίμησης είναι βέβαιο μόνο αν μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια το μέλλον. Δεδομένου ότι αυτό είναι αδύνατον, θα υπάρχει πάντα ένα στοιχείο ρίσκου στο ότι η «πραγματική» τιμή θα διαφέρει από την «προβλεπόμενη» κατά την εκτίμηση της μεταβλητής που μας ενδιαφέρει να μετρήσουμε. Αν διεξάγαμε μια και μοναδική μέτρηση (εκτίμηση), η τελική τιμή θα παραγόταν χωρίς να έχουμε αντίληψη της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει τις εισαγόμενες μεταβλητές και έτσι δεν θα μπορούσαμε να μετρήσουμε στο αποτέλεσμα

το βαθμό του ρίσκου. Αν θέλουμε λοιπόν να βελτιώσουμε την μέθοδο μέτρησης, θα πρέπει να διεξάγουμε την εκτίμηση της τιμής που μας ενδιαφέρει, κατά ένα περιορισμένο αριθμό επαναλήψεων έτσι ώστε να μπορούμε να αλλάξουμε τις τιμές των εισαγόμενων μεταβλητών, επαναπροσδιορίζοντας κάθε φορά την παραγόμενη τιμή με σκοπό να εξάγουμε έναν αριθμό «πιθανών» αποτελεσμάτων ή τιμών. Η ανάλυση αυτή καλείται και ανάλυση ευαισθησίας, η οποία όμως χρησιμοποιεί έναν περιορισμένο αριθμό εναλλακτικών τιμών και εισαγόμενων μεταβλητών. Ένα πιο βελτιωμένο μοντέλο θα ήταν αυτό της «προσομοίωσης», το οποίο δίνει μεγαλύτερο αριθμό πιθανών αποτελεσμάτων.

Ο βαθμός στον οποίο το ρίσκο υπάρχει σε κάθε κατάσταση εξαρτάται από τον βαθμό στον οποίο γνωρίζουμε και κατανοούμε τους αβέβαιους εκείνους παράγοντες που επηρεάζουν την κατάσταση ή τις αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν.

Γενικά, υπάρχουν τρεις τύποι μεταβλητών:

- Ελεγχόμενες μεταβλητές, οι οποίες έχουν σταθερές ή καθορισμένες τιμές, ή οι τιμές τους μπορούν να αλλάξουν μέσα σ' ένα γνωστό εύρος και μπορούμε να τις χειριστούμε με μια ανάλυση ευαισθησίας.
- Μεταβλητές που δεν μπορούν να ελεγχθούν και οι οποίες έχουν απρόβλεπτες ή αβέβαιες τιμές.
- Μεταβλητές που μπορούν μερικώς να ελεγχθούν ή εξαρτώνται από τις τιμές άλλων μεταβλητών ενός συστήματος.

Κάθε ανάλυση, η οποία προσβλέπει να καθορίσει το ρίσκο και την αβεβαιότητα σε μία μέτρηση δεν μπορεί να αγνοήσει αυτήν την διάκριση μεταξύ των μεταβλητών. (Peter Byrne, 1995)

Οι Wang Quing Yin και Ren Biao στη δική τους ανάλυση περί αβέβαιας πληροφορίας και αβέβαιων συστημάτων κατέδειξαν τέσσερα είδη αβέβαιας πληροφορίας:

1. Τυχαία πληροφορία (Random information): Εξαιτίας τυχαίων συμπτωματικών παρεμβολών και ακατάλληλων (μη επαρκών) συνθηκών γνώσης το αποτέλεσμα μιας δοκιμής είναι αβέβαιο. Η κατάσταση αυτή καλείται «τυχαιότητα» (randomness) και η πληροφορία, η οποία εμπεριέχει τυχαιότητα, καλείται τυχαία πληροφορία.

2. Ασαφής πληροφορία (Fussy information): Εξαιτίας της πολυπλοκότητας των πραγμάτων, τα λογικά τους όρια μπορεί να είναι αμφίβολα και η αρχή τους μη ξεκάθαρα προσδιορίσιμη. Αυτή η αόριστη φύση των πραγμάτων καλείται ασάφεια (fuzziness) και η πληροφορία ,η οποία περιέχει ασάφεια, καλείται ασαφής πληροφορία.

3. Ανεξακρίβωτη πληροφορία (unascertained information): Όταν παίρνουμε αποφάσεις, η απαιτούμενη πληροφορία μπορεί να μην είναι ούτε τυχαία ούτε ασαφής. Όμως, λόγω των περιορισμών που τίθενται από τις υποκειμενικές συνθήκες του αποφασίζοντος, οι αποφάσεις μπορεί να έχουν ένα διαστρεβλωμένο νόημα πληροφοριών. Πρόκειται για την πληροφορία, η οποία ελέγχεται από τον λήπτη της απόφασης, και έτσι δεν είναι κατάλληλη για να εξαχθούν σαφή συμπεράσματα και ποσοτικές σχέσεις. Η αβέβαιη πληροφορία, η οποία υπόκειται εξ ολοκλήρου στην υποκειμενική αντίληψη, καλείται ανεξακρίβωτη πληροφορία. (Waing, 1990).

4. Γκριζα πληροφορία (grey information): Εξαιτίας παρεμβολών και περιορισμών στην λήψη πληροφοριών, μπορούμε μόνο μερικώς να αποκτήσουμε την πληροφορία που απαιτείται για την γνώση ενός συστήματος και το εύρος της ποσότητας πληροφοριών. Αυτού του είδους την πληροφορία, η οποία είναι μερικώς γνωστή στον άνθρωπο, καλείται γκριζα πληροφορία.

Τέσσερις κατηγορίες μαθηματικών προσεγγίσεων έχουν αναπτυχθεί για την μελέτη των παραπάνω ειδών αβέβαιων πληροφοριών, και αυτά είναι: οι πιθανότητες (probability), τα fuzzy mathematics, τα unascertained mathematics, και τα grey mathematics.

Εξετάζοντας περαιτέρω προσεγγίσεις στο θέμα αυτό, βρίσκουμε τη μελέτη των McNeill και Freiberger (1993), οι οποίοι πρότειναν τους παρακάτω τύπους αβεβαιότητας:

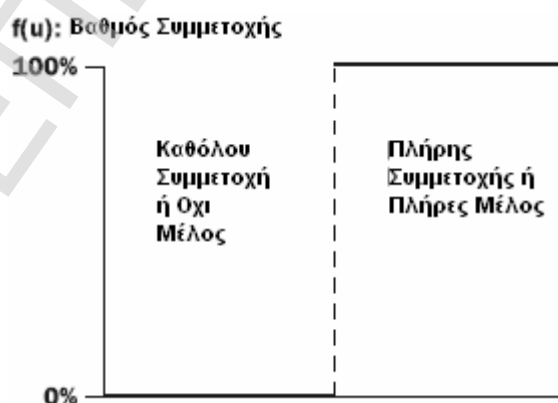
1. Ασάφεια (fuzziness).
2. Αμφιβολία (ambiguity) προερχόμενη από ασυμφωνία.
3. Αμφιβολία προερχόμενη από μη συγκεκριμενοποίηση.

## 1. Ασάφεια (Fuzziness)

Ασάφεια είναι η αβεβαιότητα, η οποία προέρχεται από την αοριστία των πραγμάτων. Πολλές καθημερινές μας φράσεις είναι περισσότερο αόριστες και αβέβαιες παρά ακριβείς. Για παράδειγμα, οι φράσεις «Πληρωμή μέσα σε 30 ημέρες από την αγορά» και «Έσοδα πωλήσεων πάνω από 20.000.000€» περιέχουν στοιχεία ασάφειας.

Υπό μια ευρεία έννοια λοιπόν, ως ασάφεια (fuzziness) μπορούμε να θεωρήσουμε το αντίθετο της ακρίβειας. Οτιδήποτε δεν μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια, δηλαδή σύμφωνα με κάποιους κοινά αποδεκτούς κανόνες και κριτήρια, και οτιδήποτε δεν έχει ξεκάθαρα σύνορα στο χώρο ή στον χρόνο μπορεί να θεωρηθεί φορέας ασάφειας, Vlad Dimitrov (2003). Υπό στενή έννοια αυτό που καλούμε ασάφεια (fuzziness) σχετίζεται με τον ορισμό ασαφών συνόλων (fuzzy sets), όπως αυτός διατυπώθηκε από τον Zadeh το 1965. Ως σύνολο μπορούμε να θεωρήσουμε μια ομάδα στοιχείων, τα οποία μοιράζονται κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Σύμφωνα λοιπόν με τον Zadeh, το κατά ποίο βαθμό ένα στοιχείο είναι μέλος ενός συνόλου μετριέται από μια συνάρτηση, η οποία καλείται συνάρτηση συμμετοχής (membership function), της οποίας οι τιμές είναι μεταξύ του 1 (πλήρης μέλος) και 0 (καθόλου μέλος).

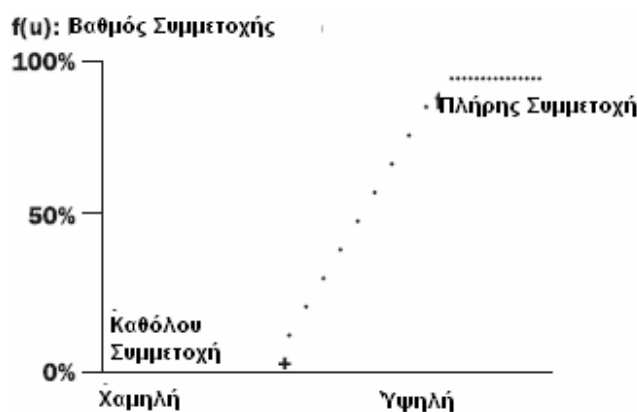
Στην περίπτωση όπου δύο σύνολα είναι ξεκάθαρα, και αυτό διότι έχουν ξεκάθαρα σύνορα μεταξύ τους, τότε μπορούμε να πούμε ότι μια πληροφορία σ' ένα ξεκάθαρο σύνολο είναι ακριβής και το ξεκάθαρο σύνολο έχει ευδιάκριτα σύνορα (βλεπε σχήμα 1).



Σχήμα 1

Όμως τις περισσότερες φορές τα σύνολα δεν έχουν ευδιάκριτα σύνορα μεταξύ τους. Όπως η ασαφής πληροφορία δεν είναι ακριβής, έτσι και ένα ασαφές σύνολο δεν έχει ευδιάκριτα σύνορα, έτσι για μια πληροφορία ή ένα στοιχείο ο βαθμός από μέλος σε μη μέλος αλλάζει σταδιακά σε αντίθεση με τα ξεκάθαρα σύνολα, τα οποία όπως είπαμε έχουν ευδιάκριτα σύνορα και η αλλαγή από μέλος σε μη μέλος είναι ασυνεχής. Για κάθε στοιχείο  $s$  ένα ασαφές σύνολο (fuzzy set) εκτιμάται ο βαθμός κατά τον οποίο είναι μέλος  $s$  ένα συγκεκριμένο σύνολο με βάση μια συνάρτηση  $f(u)$  (membership function), η οποία είναι όμως συνεχής.

Στο σχήμα 2 απεικονίζεται η συνάρτηση  $f(u)$ , η οποία περιγράφει το βαθμό στον οποίο ένα στοιχείο είναι μέλος ενός ασαφούς συνόλου.



Σχήμα 2

Πηγή: George Thomas Friedlob and Lydia L.F. Schleifer, (1999)

## 2. Αμφιβολία (ambiguity) προερχόμενη από ασυμφωνία

Η αμφιβολία ουσιαστικά αυξάνει το εύρος των πιθανών εξηγήσεων – ερμηνειών, καθώς αναφέρεται σε σχέσεις μεταβλητών που δεν είναι ένα προς ένα. Μια λέξη ή πρόταση καλείται αμφίβολη (διφορούμενη) εάν μπορεί να ερμηνευτεί με περισσότερους από έναν τρόπους. Η αμφιβολία διακρίνεται από την αοριστία, της οποίας τα νοηματικά σύνορα είναι ακαθόριστα. Για παράδειγμα σε μια κατανομή πιθανότητας  $p(x)$ , κάθε μέτρηση πιθανότητας γίνεται για μια συγκεκριμένη εναλλακτική (μεταβλητή) από ένα σύνολο αμοιβαίων αποκλειόμενων εναλλακτικών. Κάθε  $p(x)$  εκφράζει τον «βαθμό» κατά τον οποίο -βασιζόμενο σε αποδείξεις και στοιχεία- μια συγκεκριμένη εναλλακτική είναι η σωστή. Έτσι, οι βαθμοί αυτοί που

εκφράζονται σε μια κατανομή πιθανότητας, είναι σε «σύγκρουση» ο ένας με τον άλλον. Για παράδειγμα, μια πιθανότητα του 90% στο ότι τα έσοδα μιας επιχείρησης είναι πάνω από 1.000.000€, έρχεται σε αντίθεση με την πιθανότητα του 10% του ότι τα έσοδα δεν είναι πάνω από 1.000.000€ (George Thomas Friedlob and Lydia L.F. Schleifer (1999))

Έτσι η θεωρία των πιθανοτήτων μπορεί να μοντελοποιήσει μόνο καταστάσεις στις οποίες υπάρχουν αντικρουόμενοι «βαθμοί πίστεως» για αμοιβαία αποκλειόμενες εναλλακτικές. Εάν υπάρχουν άλλες όψεις όσον αφορά την αβεβαιότητα (π.χ. ασάφεια), δεν μπορούν να συλληφθούν από την θεωρία των πιθανοτήτων (Klir, 1991).

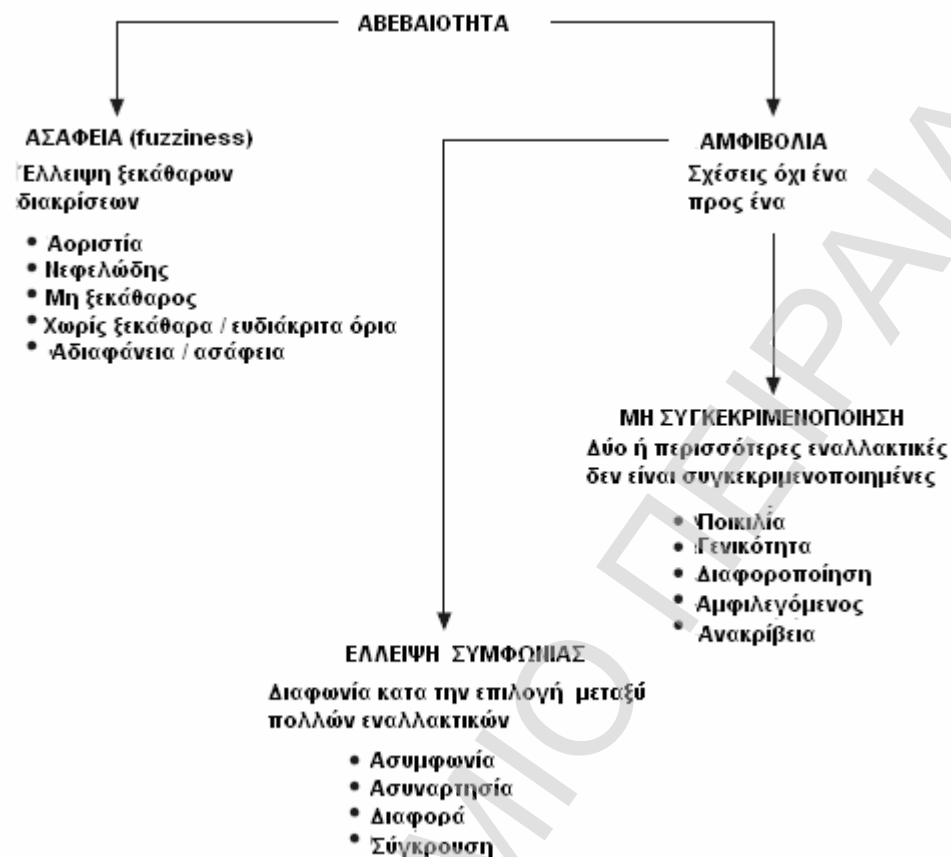
### *3. Αμφιβολία προερχόμενη από μη συγκεκριμενοποίηση*

Λέγοντας μη συγκεκριμενοποίηση εννοούμε την έλλειψη πληροφόρησης, η οποία προέρχεται από την μη ξεκάθαρη δήλωση ή διάκριση εναλλακτικών. Η μη συγκεκριμενοποίηση χαρακτηρίζεται από βασικά μεγέθη σχετικών ομάδων (sets) εναλλακτικών. Όσες περισσότερες πιθανές εναλλακτικές έχει μια κατάσταση, τόσο λιγότερο συγκεκριμένη η κατάσταση αυτή είναι, (George Thomas Friedlob and Lydia L.F. Schleifer (1999)). Μια κατάσταση είναι απολύτως συγκεκριμενοποιημένη (καθορισμένη) αν και μόνον αν υπάρχει μια μόνο πιθανή εναλλακτική, (Klir, 1991). Λόγω του ότι κάθε πιθανότητα σε μια συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων είναι απολύτως (συγκεκριμένη) καθορισμένη σε μια συγκεκριμένη εναλλακτική, η θεωρία των πιθανοτήτων δεν μπορεί να αντιληφθεί την μη συγκεκριμενοποίηση (Klir 1991).

Στο σχήμα 3 βλέπουμε τους τρεις τύπους αβεβαιότητας που πρότειναν οι Klir και Yuan το 1995 μαζί με σύντομες περιγραφές και μια χρήσιμη λίστα συνονύμων.



### Οι τρεις βασικοί τύποι αβεβαιότητας



Πηγή : Klir and Yuan (1995)

Σχήμα 3

## 2.2. Πολυπλοκότητα, Αβεβαιότητα και Πραγματικός Κόσμος

Υπάρχει μια σχέση μεταξύ πολυπλοκότητας και αβεβαιότητας: Όσο η πολυπλοκότητα αυξάνει, τόσο αυξάνει και η αβεβαιότητα. Έτσι όσο τα επιχειρησιακά συστήματα γίνονται όλο και περισσότερο πολύπλοκα, τόσο δύσκολο για τους μάνατζερς είναι να είναι σίγουροι για το ο,τιδήποτε. Κανείς στην Microsoft δεν μπορούσε να είναι βέβαιος για το πόσα λάθη περιείχαν τα Windows 95 όταν βγήκαν προς πώληση. Ο Albert Einstein έχει πει: «Μέχρι στιγμής όσο τα μαθηματικά αναφέρονται στην πραγματικότητα, δεν είναι βέβαια, και όσο τα μαθηματικά είναι βέβαια, δεν αναφέρονται στην πραγματικότητα».

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι οι επιχειρήσεις είναι αδύναμες απέναντι στην αβεβαιότητα. Ερωτήσεις όπως «Θα πουλήσει το νέο προϊόν;», «Είναι ο εναλλακτικός προμηθευτής αξιόπιστος;», «Υπάρχει κατάλληλη ασφάλεια των υπολογιστών;»,

δηλώνουν την καθημερινή αβεβαιότητα που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις. Η ζωή είναι πολύπλοκη και η πολυπλοκότητα είναι μη – συμβατή με την βεβαιότητα και την ακρίβεια. Στον νόμο του, περί μη – συμβατότητας ο L. Zadeh δηλώνει: «Όσο η πολυπλοκότητα αυξάνει, οι ακριβείς δηλώσεις χάνουν το νόημά τους, και οι δηλώσεις με νόημα χάνουν την ακρίβειά τους». Ήταν το 1965 όταν ο Zadeh καταδεικνύοντας την έλλειψη ακρίβειας συνέλαβε την ιδέα της ασαφούς λογικής (fuzzy logic), την πρώτη νέα μέθοδο που αντιμετώπισε την αβεβαιότητα μετά από την ανάπτυξη της θεωρίας των πιθανοτήτων. Μηχανικοί και στελέχη που πρέπει να πάρουν αποφάσεις, χρησιμοποιούν την θεωρία της ασαφούς λογικής και την θεωρία των πιθανοτήτων, προϊόντα και τα δύο της μελέτης του Zadeh, με σκοπό να μελετήσουν και να μειώσουν την αβεβαιότητα σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών σήμερα, από την κατασκευή περίπλοκων μηχανών έως την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Η τεχνητή νοημοσύνη αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από ένα δίκτυο ασαφών συνόλων και κατανομών πιθανοτήτων. Έτσι πολλές πλέον επιστημονικές και επιχειρησιακές περιοχές έρχονται αντιμετώπιες με την ιδέα ότι «όλα είναι σχετικά ενός βαθμού», (Kosko, 1993).

### 2.3. Αναπαριστώντας την Αβεβαιότητα

Πώς, λοιπόν, εκλογικεύουμε την αβεβαιότητα; Το πρώτο βήμα είναι να την αναπαραστήσουμε. Ίσως η πιο κοινή αναπαράσταση χρησιμοποιεί πιθανότητες αλλά σίγουρα δεν είναι η μόνη. Οπότε πως μπορούμε να αναπαραστήσουμε την αβεβαιότητα; Η αναπαράσταση αυτή έχει γίνει θέμα μεγάλης διαμάχης. Για τους οπαδούς των πιθανοτήτων, υπάρχει ένα μόνο κατάλληλο μοντέλο για να μετρήσουμε την αβεβαιότητα, και αυτό είναι οι πιθανότητες.

Αλλά, η χρήση πιθανοτήτων δεν είναι πάντοτε αποτελεσματική. Κατά πρώτον, οι αριθμοί, τα στοιχεία δηλαδή, δεν είναι πάντα διαθέσιμα. Κατά δεύτερον, η δέσμευση σε αριθμούς συνεπάγεται ότι δύο γεγονότα πρέπει να είναι συγκρίσιμα σε όρους πιθανοτήτων: είτε ένα γεγονός είναι πιο πιθανό από ένα άλλο, είτε έχουν ίση πιθανότητα να συμβούν. Δεν είναι λοιπόν δυνατόν να υποστηρίξουμε ότι δύο γεγονότα δεν είναι συγκρίσιμα σε όρους πιθανοτήτων. Έτσι, είναι λογικό να έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία και άλλοι, διαφορετικοί τρόποι αναπαράστασης της αβεβαιότητας όπως η μαθηματική ανάλυση διαστημάτων (interval analysis), η θεωρία της ασάφειας (fuzzy analysis) κ.α. Παρακάτω θα εξετάσουμε συνοπτικά τις προσεγγίσεις αυτές στον τρόπο με τον οποίο αναπαριστούν την αβεβαιότητα:

- ο Ανάλυση διαστημάτων (interval analysis)

Η μαθηματική ανάλυση διαστημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπαραστήσει την αβεβαιότητα των δεδομένων που προκύπτει εξ' αιτίας της ανακρίβειας και των σφαλμάτων στις μετρήσεις και εξ' αιτίας της ύπαρξης διαφορετικών εναλλακτικών μεθόδων για την εκτίμηση παραμέτρων. Η μαθηματική ανάλυση διαστημάτων αντικαθιστά μια καθορισμένη τιμή από ένα διάστημα τιμών μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης τιμής. Για παράδειγμα ένας χρόνος παράδοσης (lead time) 12 ημερών μπορεί να αντικατασταθεί από το διάστημα [5,18], όπου 5 είναι ο ελάχιστος και 18 ο μέγιστος χρόνος παράδοσης. Σε μία ανάλυση διαστημάτων, ένα διάστημα απεικονίζεται ως:

$$X \equiv [x_1, x_2] \equiv \{x \in R, x_1 \leq x \leq x_2\}$$

όπου  $x_1$ ,  $x_2$  είναι η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή αντίστοιχα. Το κύριο πλεονέκτημα της ανάλυσης διαστημάτων είναι ότι μπορεί να αντιμετωπίσει προβλήματα αβεβαιότητας τα οποία δεν μπορούν να μελετηθούν με τη θεωρία των πιθανοτήτων. Επίσης είναι χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου οι κατανομές πιθανοτήτων των υπό παρατήρηση μεταβλητών δεν είναι γνωστές. Παρ' όλα αυτά η μέθοδος αυτή δεν παρέχει κατάλληλη πληροφόρηση για τη φύση της παραγόμενης αβεβαιότητας ενός συστήματος.

- ο Η Θεωρία της Ασάφειας

Η θεωρία της Ασάφειας έχει ως σκοπό να αναπαραστήσει μαθηματικά την αοριστία -ασάφεια και την αβεβαιότητα σε ένα σύστημα. Η θεωρία της ασάφειας αναπτύχθηκε όπως προαναφέρθηκε από τον Zadeh (1965) ως γενίκευση της κλασικής θεωρίας των συνόλων. Έτσι λοιπόν σε ένα κλασικό σύνολο, ένα στοιχείο είτε είναι μέλος του συνόλου (βαθμός συμμετοχής 1) είτε όχι (βαθμός συμμετοχής 0). Σε ένα ασαφές σύνολο ένα στοιχείο έχει ένα βαθμό στον οποίο συμμετέχει στο σύνολο, ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0 (δεν συμμετέχει καθόλου στο σύνολο) και του 1 (πλήρες μέλος του συνόλου).

- ο Στατιστικές Μέθοδοι

Η Στατιστική Ανάλυση είναι βασισμένη στη θεωρία των πιθανοτήτων. Η προσεγγίσεις μέσω της στατιστικής ανάλυσης λειτουργούν με το να αποδίδουν

συναρτήσεις πυκνότητας πιθανοτήτων στα δεδομένα. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν ανεπαρκή δεδομένα, το οποίο είναι συχνό φαινόμενο στις διαδικασίες των αλυσίδων εφοδιασμού, θα πρέπει να καταφύγουμε στην χρήση πιθανοτήτων. Χρησιμοποιώντας μια στατιστική προσέγγιση κάθε αβεβαιότητα συσχετίζεται με μια αντίστοιχη πιθανότητα του γεγονότος που μας ενδιαφέρει. Η πιθανότητα ενός γεγονότος μπορεί να ερμηνευτεί σε όρους συχνότητας που λαμβάνει χώρα το γεγονός αυτό. Η ανάλυση με τη χρήση πιθανοτήτων χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα όπου οι κατανομές των πιθανοτήτων συγκεκριμένων παραμέτρων είναι διαθέσιμες. Ο αντικειμενικός σκοπός των κατανομών πιθανοτήτων είναι εκτός από να εκτιμήσουν την εξαγόμενη συνάρτηση πιθανότητας, να περιγράψουν τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του μοντέλου (Isukarulli 1999).

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το να διοικεί κάποιος κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας είναι ένα από τα πιο δύσκολα πράγματα που αντιμετωπίζουν τα σημερινά στελέχη, ακόμα και όταν οι συνθήκες ή οι καιροί χαρακτηρίζονται ως «ευνοϊκοί». Η διεθνοποίηση των αγορών, η ψηφιοποίηση και οι ανεξέλεγκτες καπιταλιστικές αγορές έχουν συμβάλει στο να μετατρέψουν παραδοσιακά εργαλεία στρατηγικής, όπως η έρευνα αγοράς, η ανάλυση αλυσίδας αξιών και η ανάλυση προεξόφλησης χρηματικών ροών, να γίνονται όλο και λιγότερο χρήσιμα. Καμία τεχνική ή μοντέλο δεν μπορεί να μειώσει την αβεβαιότητα στο μηδέν. Παρ' όλα αυτά όμως τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται μπορούν να βοηθήσουν τα στελέχη να εντοπίσουν τα επίπεδα της αβεβαιότητας που πρέπει να αντιμετωπίσουν και να εφαρμόσουν έτσι κατάλληλες τεχνικές και να πάρουν αντίστοιχες αποφάσεις. Η χρήση αυτών των εργαλείων βοηθάει εν τέλει τα στελέχη να μειώσουν το ρίσκο που παίρνουν όταν λαμβάνουν στρατηγικές αποφάσεις ακόμα και στις πιο αβέβαιες συνθήκες.

#### 2.4. Σφάλμα: Αβεβαιότητα μετρήσεων

Όταν βασίζουμε τις αποφάσεις μας σε μετρήσεις, υπάρχει πιθανότητα τα σφάλματα που εμπεριέχουν οι μετρήσεις να επηρεάσουν τις αποφάσεις που λαμβάνουμε. Ένας από τους πρωταρχικούς σκοπούς μιας ανάλυσης αβεβαιότητας είναι να παρέχει μια βάση για την μέτρηση αυτής της επιρροής, καθώς και τις πιθανότητες που έχουμε να πάρουμε μια λανθασμένη απόφαση. Η προσέγγιση αυτή είναι ζωτικής σημασίας σε μετρήσεις που έχουν να κάνουν με το εμπόριο, την υγεία

και το φυσικό περιβάλλον στις οποίες μια λανθασμένη απόφαση έχει σοβαρές επιπτώσεις στο αποτέλεσμα. Οι αναλύσεις αβεβαιότητας όμως είναι συχνά πολύ δύσκολες, και για τους περισσότερους από εμάς, δοκιμάζουν τα όρια της κατανόησης μας στα άκρα, όταν επιχειρούμε να εφαρμόσουμε μετρήσεις πάνω στην αβεβαιότητα. Όσο μικρότερη είναι η αβεβαιότητα που απαιτείται σε μια μέτρηση, τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να είναι και η προσπάθεια κατανόησης από τον εκτιμητή. Για τον λόγο αυτό οι λεπτομερείς και οι εκλογικευμένες αναλύσεις αβεβαιότητας έχουν ένα επιπλέον σκοπό: Να παρέχουν μια μέτρηση της αντιληπτικής μας ικανότητας και κατανόησης.

Επιπλέον των εργαλείων που χρησιμοποιούνται για την αβεβαιότητα, μια ολοκληρωμένη ανάλυση αβεβαιότητας απαιτεί και την κατανόηση της «μέτρησης», συνήθως υπό την μορφή μαθηματικών μοντέλων των ποικίλων παραγόντων επιρροής που προκαλούν τα σφάλματα.

Καλούμε «αβεβαιότητα μέτρησης» την παράμετρο εκείνη που σχετίζεται με ένα αποτέλεσμα μιας μέτρησης και η οποία χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών οι οποίες λογικά αποδίδονται στη μέτρηση αυτή.

Ένας απλός τρόπος εκτίμησης της αβεβαιότητας είναι να διεξάγουμε πολλές μετρήσεις και να χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα αυτά για να εκτιμήσουμε ένα εύρος πιθανών τιμών. Οι αβεβαιότητες που υπολογίζονται με αυτόν τον τρόπο, χρησιμοποιώντας δηλαδή πραγματικές μετρήσεις και στατιστική ανάλυση, καλούνται αβεβαιότητες τύπου A.

Μια εναλλακτική μέθοδος που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να προσεγγίσουμε την αβεβαιότητα και η οποία χρησιμοποιείται όταν το στατιστικό δείγμα και οι μετρήσεις που περνούμε είναι αναποτελεσματικές, είναι να λάβουμε υπ' όψη μας άλλου είδους πληροφορίες για να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να περιλαμβάνουν πληροφορίες από το φυσικό περιβάλλον, πληροφορίες από εγχειρίδια, ή διάφορες εμπειρικές γνώμες σε αντίστοιχες περιπτώσεις μελέτες. Οι αβεβαιότητες αυτών των περιπτώσεων καλούνται αβεβαιότητες τύπου B. Μπορεί να είναι υποκειμενικές και πολλές φορές εμπεριέχουν ένα αριθμό υποκειμενικών υποθέσεων τις οποίες πολλές φορές δεν μπορούμε να ελέγξουμε.

Ένας από τους κυρίως παράγοντες που συνεισφέρει στη διασπορά των μετρήσεων είναι το σφάλμα μέτρησης. Παρ' όλα αυτά θα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί στο να μην μπερδεύουμε το σφάλμα μέτρησης με την αβεβαιότητα. Το

σφάλμα επηρεάζει κάθε μέτρηση, ενώ η αβεβαιότητα χαρακτηρίζει τη διασπορά πολλών μετρήσεων, κάποιες εκ των οποίων μπορεί να οφείλονται σε σφάλμα.

Όταν διεξάγουμε μια μέτρηση, συνήθως αναγνωρίζουμε δύο τύπους σφαλμάτων. Ο πιο συχνός τύπος είναι το «τυχαίο σφάλμα» το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την τυχαία σειρά εμφάνισης των τιμών. Ο δεύτερος τύπος σφάλματος ο οποίος καλείται «συστηματικό σφάλμα» προκαλεί κατά μέσο όρο σε όλα τα δεδομένα μια στατιστική απόκλιση από την πραγματική τιμή της μέτρησης.

Τα συστηματικά σφάλματα συνήθως σχετίζονται με μη-καλιμπραρισμένο εξοπλισμό, με ακατάλληλες συνθήκες μέτρησης, με ακατάλληλους ορισμούς και εσφαλμένες θεωρητικές υποθέσεις, με μη αποτελεσματική εφαρμογή των υποθέσεων-θεωριών, με μη αντιπροσωπευτικά δείγματα, και με περιβαλλοντικές επιρροές.

Παρακάτω δίνονται οι ορισμοί για το συστηματικό και το τυχαίο σφάλμα καθώς και για τη διόρθωση (Correction).

#### **Συστηματικό Σφάλμα (Systematic error).**

«Η μέση τιμή ενός μεγάλου αριθμού επαναληπτικών μετρήσεων της ίδιας μεταβλητής (measurand) μείον την πραγματική τιμή της μεταβλητής». (J.V. Nicholas and D.R. White (2001))

#### **Τυχαίο σφάλμα (Random error)**

«Το αποτέλεσμα μιας μέτρησης μείον την μέση τιμή ενός μεγάλου αριθμού επαναληπτικών μετρήσεων» Υποτίθεται ότι εφαρμόζονται οι κατάλληλες διορθώσεις για τη μείωση σημαντικών συστηματικών σφαλμάτων όπου είναι πρακτικό. (J.V. Nicholas and D.R. White (2001))

#### **Διόρθωση (Correction)**

«Η τιμή που προστίθεται αλγεβρικά στο μη διορθωμένο αποτέλεσμα μιας μέτρησης για να αντισταθμίσει το συστηματικό σφάλμα» (J.V. Nicholas and D.R. White (2001))

Το σφάλμα το οποίο αναδεικνύεται από μια ολοκληρωμένη διόρθωση, μιας συστηματικής επιρροής δεν μπορεί να είναι με ακρίβεια γνωστό, έτσι αντιμετωπίζεται ως τυχαίο σφάλμα. Με αυτόν τον τρόπο η αβεβαιότητα στη διόρθωση συνεισφέρει στη διασπορά των τιμών όπου λογικά αποδίδονται στην υπό παρατήρηση μεταβλητή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Στη συνέχεια της παρούσας μελέτης θα γίνει μια αναφορά στα βασικότερα εργαλεία που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά από τις επιχειρήσεις για την κατανόηση και αντιμετώπιση της αβεβαιότητας. Οι θεωρίες που έχουν αναπτυχθεί καταδεικνύουν την προσπάθεια του ανθρώπου να εκλογικεύσει την έννοια της «αβεβαιότητας» έτσι ώστε μέσα από θεωρητικά και πρακτικά μοντέλα να μπορέσει να απαντήσει σε καίρια ζητήματα και καθημερινά προβλήματα.

### **3.1. Θεωρία των πιθανοτήτων**

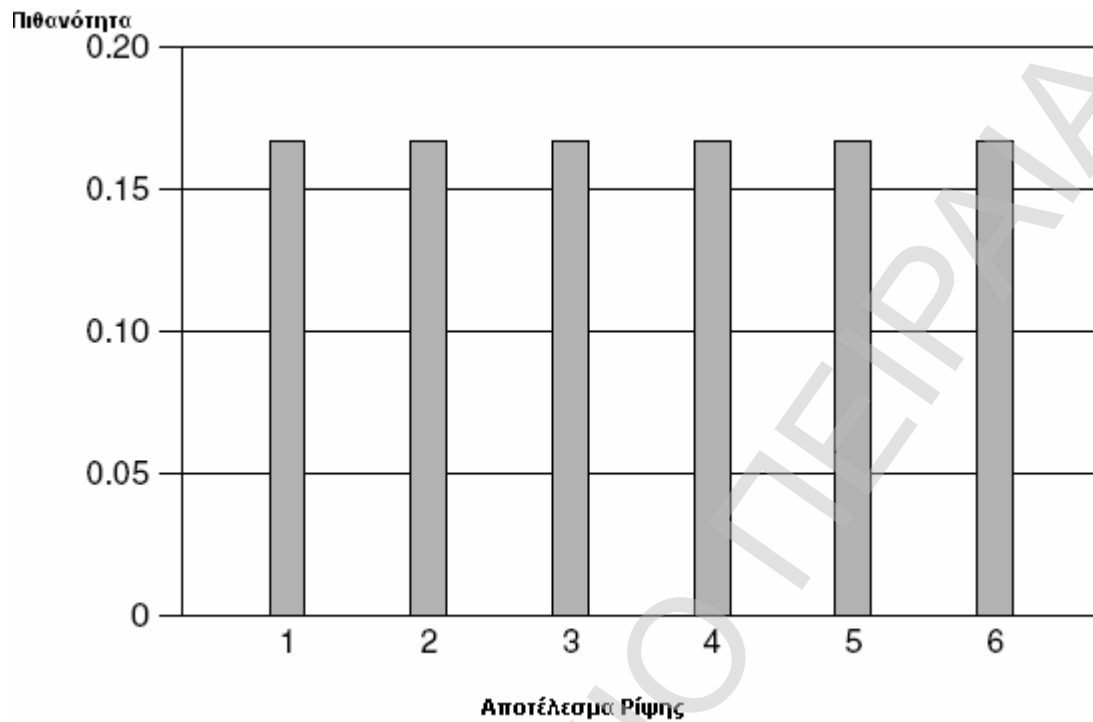
Η θεωρία των πιθανοτήτων είναι ένα από τα πιο πολυχρησιμοποιημένα εργαλεία στην μέτρηση της αβεβαιότητας. Επιτρέπει στον χρήστη να εντοπίσει ένα εύρος αποτελεσμάτων για τις πιο σημαντικές μεταβλητές που τον ενδιαφέρουν και να εφαρμόσει πιθανότητες σε αυτές τις μεταβλητές. Πρόκειται για τη πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο για το χαρακτηρισμό της αβεβαιότητας σε φυσικά συστήματα, ιδιαίτερα όταν οι εκτιμήσεις για τη κατανομή των πιθανοτήτων των αβέβαιων παραμέτρων είναι διαθέσιμες. Η αβεβαιότητες που σχετίζονται με την εισαγωγή δεδομένων σε ένα σύστημα συνήθως περιγράφονται από συναρτήσεις κατανομής πιθανοτήτων και ο αντικειμενικός σκοπός είναι να εκτιμήσουμε την εξαγόμενη συνάρτηση κατανομής πιθανότητας (Papoulis 1991, Klir 1994, Isukapulli 1999).

Στη συνέχεια θα γίνει μια απλή αναφορά σε μερικές χρήσιμες κατανομές που εμφανίζονται σε πρακτικές εφαρμογές αντιμετώπισης της αβεβαιότητας, καθώς και τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους.

#### *3.1.1 Διακριτές Κατανομές*

Για τις διακριτές κατανομές, ο αριθμός των πιθανών αποτελεσμάτων για μια μέτρηση είναι πεπερασμένος και κάθε αποτέλεσμα είναι διακριτό. Στο σχήμα 4, για παράδειγμα, φαίνονται οι πιθανότητες για τους αριθμούς που αναμένονται από την ρίψη ενός ζαριού. Στην περίπτωση αυτή υπάρχουν μόνο έξι πιθανά αποτελέσματα,

δηλαδή οποιοσδήποτε αριθμός από το 1 έως το 6, και η συνολική πιθανότητα είναι 100%.



Σχήμα 4

**Τα πιθανά αποτελέσματα από την ρίψη ενός ζαριού, ένα παράδειγμα διακριτής κατανομής**

Το κέντρο της κατανομής υπολογίζεται ως η μέση τιμή και αποδίδεται από το σύμβολο  $\mu$ .

$$\mu = \sum_{i=1}^N X_i P(X_i),$$

όπου  $P(X_i)$  είναι η πιθανότητα να έχουμε το αποτέλεσμα  $X_i$  και  $N$  είναι ο αριθμός των μετρήσεων.

Το εύρος της κατανομής χαρακτηρίζεται από την διακύμανση και υπολογίζεται ως με βάση την εξίσωση

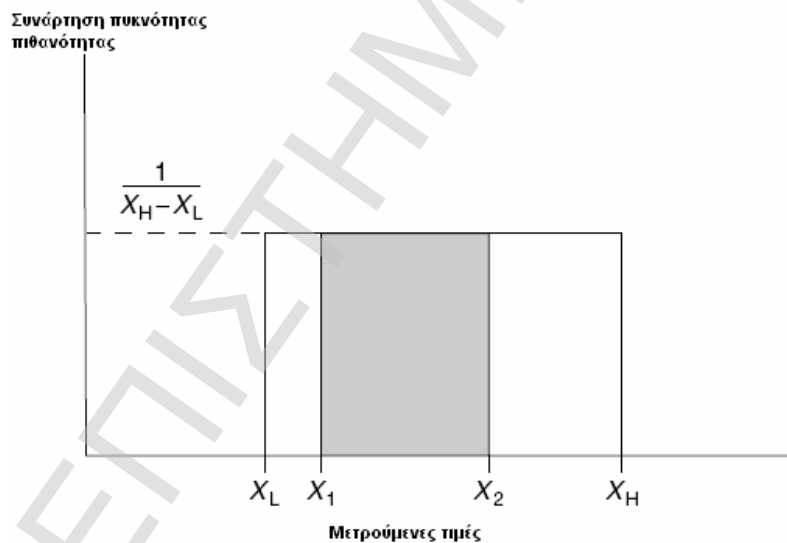


$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2 P(X_i).$$

Το σύμβολο  $\sigma$  καλείται τυπική απόκλιση της κατανομής (standard deviation) και συνήθως είναι ευθέως ανάλογη του εύρους. (J.V. Nicholas and D.R. White (2001))

### 3.1.2 Συνεχείς Κατανομές

Λόγω του ότι οι περισσότερες από τις μετρήσεις που διεξάγουμε γίνονται πάνω σε μετρικές κλίμακες, οι ποσότητες τις οποίες μετράμε δεν είναι διακριτές, αλλά συνεχείς. Για παράδειγμα, τα ύψη διαφορετικών ανθρώπων ποικίλουν περισσότερο κατά συνεχή τρόπο, παρά αν λάβουμε υπόψιν μας ένα πεπερασμένο αριθμό σταθερών τιμών. Ένα παράδειγμα συνεχούς κατανομής φαίνεται στο Σχήμα 5.



**Σχήμα 5**

**Η τριγωνική κατανομή, ένα παράδειγμα συνεχούς κατανομής**

Λόγω του ότι υπάρχει ένας μη πεπερασμένος αριθμός πιθανών αποτελεσμάτων, η πιθανότητα κάθε συγκεκριμένου αποτελέσματος καταλήγει στο μηδέν. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να σκεφτόμαστε σε όρους πιθανοτήτων ευρέσεως αποτελεσμάτων μέσα σε μία κλίμακα τιμών. Όπως ακριβώς η συνολική πιθανότητα

για τις διακριτές κατανομές ισούται με 100%, έτσι και η συνολική περιοχή κάτω από την καμπύλη που περιγράφει μια συνεχή κατανομή είναι ίση με το 1 ή το 100%. Η καμπύλη αυτή καλείται συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας,  $p(x)$ . Η πιθανότητα ευρέσεως ενός αποτελέσματος μέσα σε μια περιοχή μεταξύ των τιμών  $X_1$  και  $X_2$  δίνεται από το εμβαδόν της περιοχής κάτω από την  $p(x)$  μεταξύ των  $X_1$  και  $X_2$ .

Για την Τριγωνική Κατανομή που φαίνεται στο Σχήμα 5, η πιθανότητα ευρέσεως ενός αποτελέσματος  $X$  μεταξύ  $X_1$  και  $X_2$  είναι:

$$P(X_1 < x < X_2) = \int_{X_1}^{X_2} p(x)dx.$$

η οποία είναι ο λόγος (η αναλογία) της περιοχής μεταξύ  $X_1$  και  $X_2$  δια ολόκληρη την περιοχή.

Για τις συνεχείς κατανομές η μέση τιμή υπολογίζεται ως:

$$\mu = \int_{-\infty}^{+\infty} xp(x)dx$$

και η διακύμανση ισούται με

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 p(x)dx$$

(J.V. Nicholas and D.R. White (2001))

### 3.1.2.1 Η Κανονική Κατανομή

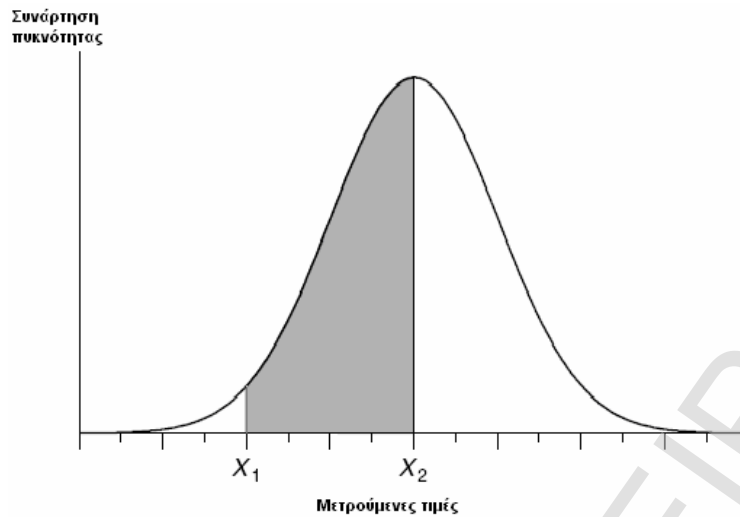
Πρόκειται για μια από τις σπουδαιότερες συνεχείς κατανομές τόσο από θεωρητική πλευρά, όσο και από την πλευρά δυνατότητας εφαρμογών για την επίλυση πρακτικών προβλημάτων. Η Κανονική Κατανομή (άλλοι χρησιμοποιούμενοι όροι είναι: Κατανομή Καμπάνα ή Κατανομή Gauss) είναι μια κατανομή, η οποία είναι συμμετρική γύρω από μια κεντρική κλίση. Μια συμμετρική κατανομή θα χαρακτηρίζεται από: την μέση τιμή, την διασπορά και την τυπική απόκλιση. Οι

παράμετροι δε της κανονικής κατανομής είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση, έτσι πολλές φορές η κατανομή αυτή συμβολίζεται και ως  $N(\mu, \sigma^2)$ . Η πιθανότερη τιμή θα αναπαρίσταται από την μέση τιμή και η αβεβαιότητα από το εύρος των τιμών γύρω από την μέση τιμή (διακύμανση). Υπάρχει ίση πιθανότητα ότι η παρατηρούμενη τιμή θα είναι πάνω ή κάτω της κεντρικής υποθετικής τιμής. Η πλειοψηφία (99,74%) των πιθανών παρατηρήσεων θα κυμαίνονται μέσα σε + ή - τρεις τυπικές αποκλίσεις ( $3\sigma$ ) από την μέση τιμή. Η τυπική απόκλιση είναι ένα μέτρο του πλάτους των τιμών που διασκορπίζονται γύρω από την μέση τιμή. Η ακριβής τυπική απόκλιση θα ποικίλει σύμφωνα με την αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει την μέση τιμή. Όσο υψηλότερη είναι η αβεβαιότητα, τόσο υψηλότερη τιμή παίρνει η τυπική απόκλιση. Παρ' όλα αυτά υπάρχει μια μικρή πιθανότητα, ότι η προς παρατήρηση τιμή θα βρίσκεται εκτός του εύρους των τριών τυπικών αποκλίσεων και καθώς η κατανομή είναι ανοικτή στα άκρα, είναι πιθανό ότι η προς παρατήρηση τιμή θα βρεθεί στα άκρα που τείνουν στο άπειρο της κανονικής κατανομής.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (probability density function) δίνεται από τον τύπο:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

όπου  $\mu$  και  $\sigma$  είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση αντίστοιχα της κατανομής. Το Σχήμα 6 απεικονίζει ένα σχεδιάγραμμα της κανονικής κατανομής (normal probability density function). Το σχήμα «καμπάνας» υποδεικνύει ότι τα αποτελέσματα κοντά στη μέση τιμή είναι περισσότερο πιθανά από τα αποτελέσματα που βρίσκονται σε απόσταση από αυτήν. Όπως με την τριγωνική κατανομή, η πιθανότητα ευρέσεως ενός αποτελέσματος μέσα σ' ένα διάστημα είναι ανάλογη της περιοχής κάτω από την καμπύλη.



Σχήμα 6

Η Κανονική Κατανομή

Οι πιθανότητες για διαφορετικά διαστήματα υπολογίζονται με βάση τον Πίνακα της Κανονικής Κατανομής που φαίνεται στο σχήμα 7.



k	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.00	0.80	1.60	2.39	3.19	3.99	4.78	5.58	6.38	7.17
0.1	7.97	8.76	9.55	10.34	11.13	11.92	12.71	13.50	14.28	15.07
0.2	15.85	16.63	17.41	18.19	18.97	19.74	20.51	21.28	22.05	22.82
0.3	23.58	24.34	25.10	25.86	26.61	27.37	28.12	28.86	29.61	30.35
0.4	31.08	31.82	32.55	33.28	34.01	34.73	35.45	36.16	36.88	37.59
0.5	38.29	38.99	39.69	40.39	41.08	41.77	42.45	43.13	43.81	44.48
0.6	45.15	45.81	46.47	47.13	47.78	48.43	49.07	49.71	50.35	50.98
0.7	51.61	52.23	52.85	53.46	54.07	54.67	55.27	55.87	56.46	57.05
0.8	57.63	58.21	58.78	59.35	59.91	60.47	61.02	61.57	62.11	62.65
0.9	63.19	63.72	64.24	64.76	65.28	65.79	66.29	66.80	67.29	67.78
1.0	68.27	68.75	69.23	69.70	70.17	70.63	71.09	71.54	71.99	72.43
1.1	72.87	73.30	73.73	74.15	74.57	74.99	75.40	75.80	76.20	76.60
1.2	76.99	77.37	77.75	78.13	78.50	78.87	79.23	79.59	79.95	80.29
1.3	80.64	80.98	81.32	81.65	81.98	82.30	82.62	82.93	83.24	83.55
1.4	83.85	84.15	84.44	84.73	85.01	85.29	85.57	85.84	86.11	86.38
1.5	86.64	86.90	87.15	87.40	87.64	87.89	88.12	88.36	88.59	88.82
1.6	89.04	89.26	89.48	89.69	89.90	90.11	90.31	90.51	90.70	90.90
1.7	91.09	91.27	91.46	91.64	91.81	91.99	92.16	92.33	92.49	92.65
1.8	92.81	92.97	93.12	93.28	93.42	93.57	93.71	93.85	93.99	94.12
1.9	94.26	94.39	94.51	94.64	94.76	94.88	95.00	95.12	95.23	95.34
2.0	95.45	95.56	95.66	95.76	95.86	95.96	96.06	96.15	96.25	96.34
2.1	96.43	96.51	96.60	96.68	96.76	96.84	96.92	97.00	97.07	97.15
2.2	97.22	97.29	97.36	97.43	97.49	97.56	97.62	97.68	97.74	97.80
2.3	97.86	97.91	97.97	98.02	98.07	98.12	98.17	98.22	98.27	98.32
2.4	98.36	98.40	98.45	98.49	98.53	98.57	98.61	98.65	98.69	98.72
2.5	98.76	98.79	98.83	98.86	98.89	98.92	98.95	98.98	99.01	99.04
2.6	99.07	99.09	99.12	99.15	99.17	99.20	99.22	99.24	99.26	99.29
2.7	99.31	99.33	99.35	99.37	99.39	99.40	99.42	99.44	99.46	99.47
2.8	99.49	99.50	99.52	99.53	99.55	99.56	99.58	99.59	99.60	99.61
2.9	99.63	99.64	99.65	99.66	99.67	99.68	99.69	99.70	99.71	99.72
3.0	99.73	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.5	99.95	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0	99.994	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.5	99.9993	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.0	99.99994	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Σχήμα 7

Πίνακας Κανονικής Κατανομής

Η κανονική κατανομή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σαν εργαλείο, καθώς η κατανομή πολλών τυχαίων επιδράσεων αθροιζόμενη συχνά τείνει να γίνει κανονική. Αυτό σημαίνει ότι πολλές φυσικές διαδικασίες που περιέχουν μεγάλο αριθμό επιδράσεων, όπως π.χ. οι μεταβολές στην θερμοκρασία λόγω αναταράξεων στις μετρήσεις, τείνουν να έχουν κανονική κατανομή.

Καθώς η Κανονική Κατανομή είναι η πιο κοινά κατανοητή κατανομή σε όρους στατιστικής λόγω του ότι μπορεί να μοντελοποιηθεί με αναφορά μόνο στη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, δεν ταιριάζει απολύτως με τις πραγματικές διαδικασίες της αγοράς. Προφανώς ο εκτιμητής θα ήταν ικανοποιημένος να καθορίσει την πιο πιθανή (μέση) τιμή για μια μεταβλητή, αλλά δεν θα λάμβανε πιθανώς υπ' όψιν του το εύρος τιμών γύρω από την μέση τιμή ως ποσοστό απόκλισης, που είναι η κανονική έκφραση της τυπικής απόκλισης. Έτσι ο εκτιμητής είναι περισσότερο πιθανόν να σκεφτεί σε όρους απόλυτων τιμών και στις δύο πλευρές γύρω από την μέση τιμή.

(J.V. Nicholas and D.R. White (2001))

#### 3.1.2.2. Η Τριγωνική Κατανομή

Η αναπαράσταση μέσω της τριγωνικής κατανομής είναι περισσότερο προσαρμοσμένη στη λογική διαδικασία του εκτιμητή, καθώς απαιτεί από αυτόν να παρέχει τρεις απόλυτες τιμές: την πιο πιθανή, τη μέγιστη και την ελάχιστη. Πρόκειται για μία κλειστή κατανομή η οποία μπορεί να είναι συμμετρική ή ασύμμετρη. Είναι πολύ χρήσιμη σαν εργαλείο διότι οι απαιτήσεις της σε πληροφορία καθρεπτίζουν την πιθανή λογική διαδικασία ενός ειδικού, στην περίπτωση αυτή του εκτιμητή. Παρ' όλα αυτά όμως το πλεονέκτημα της Τριγωνικής Κατανομής το οποίο είναι η απλότητά της είναι παράλληλα και το μεγάλο μειονέκτημά της. Στην πραγματικότητα οι παρατηρούμενες κατανομές τείνουν προς μία Κανονική Κατανομή και έτσι με το να επιβάλουμε σαφή όρια στο εύρος τιμών υποδεικνύει ότι οι παρατηρούμενες τιμές δεν θα συγκεντρώνονται γύρω από την μέση τιμή και έτσι τα αποτελέσματα είναι πιθανόν να εκτείνονται σε μεγαλύτερη περιοχή. Σε όρους στατιστικής η Τριγωνική Κατανομή τυπικά υπερεκτιμά την διακύμανση.

Άλλες χρησιμοποιούμενες κατανομές είναι η **longnormal**, η κατανομή Βήτα κ.α. (Nick French and Laura Gabrielli (2004)).

Στις περισσότερες όμως πρακτικές περιπτώσεις δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε την ακριβή κατανομή των μετρήσεων. Κατά συνέπεια δεν είναι δυνατόν να υπολογίσουμε ακριβείς τιμές για την μέση τιμή  $\mu$  και την απόκλιση  $\sigma^2$ . Η εναλλακτική λύση που έχουμε είναι να εκτιμήσουμε τις τιμές τους μέσω ενός συνόλου μετρήσεων. Η καλύτερη εκτίμηση της μέσης τιμής μιας κατανομής είναι ο αριθμητικός μέσος  $m$ , που δίνεται από την σχέση

$$m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i,$$

Όπου  $x_i$  ισούται με τις  $N$  μετρήσεις του  $x$ . Η καλύτερη εκτίμηση – υπολογισμός της απόκλισης καλείται δειγματική απόκλιση,  $s^2$  και ισούται με:

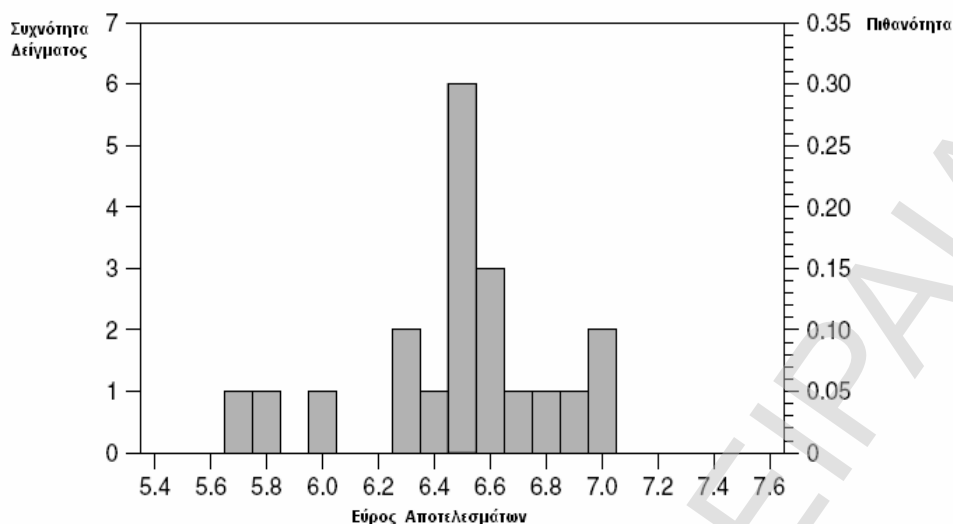
$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - m)^2$$

όπου  $s$  είναι η πειραματική τυπική απόκλιση.

Οι παραπάνω εξισώσεις έχουν εφαρμογή τόσο στις διακριτές όσο και τις συνεχείς κατανομές. Τα λατινικά σύμβολα  $m$  και  $s^2$  χρησιμοποιούνται για την διάκριση των δειγματικών τιμών από αυτές που βασίζονται στην θεωρία και αποδίδονται από τα σύμβολα  $\mu$  και  $\sigma^2$ .

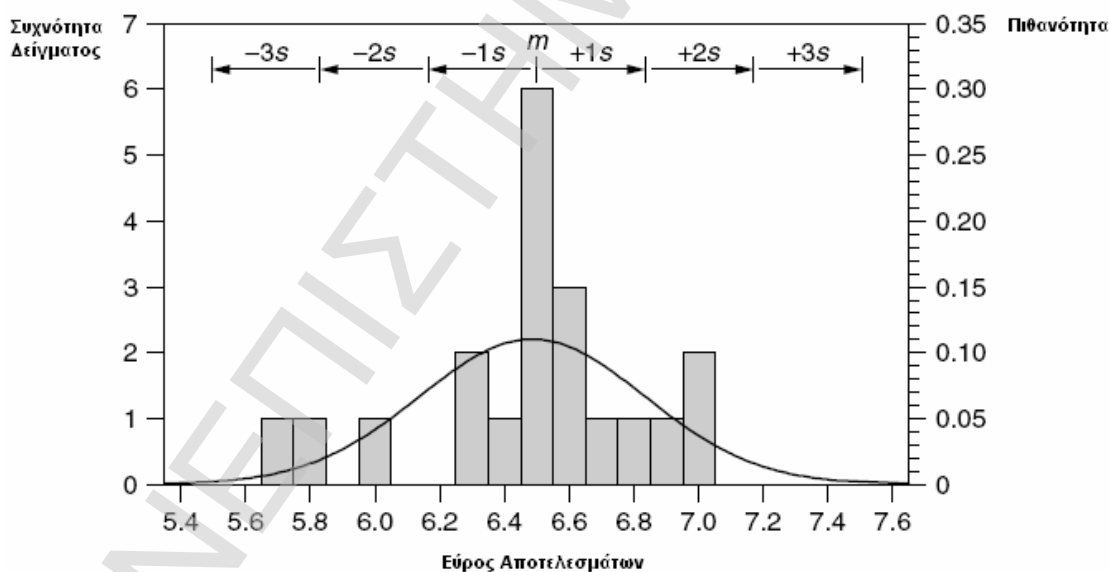
### 3.1.3. Εκτίμηση Αβεβαιοτήτων Τύπου A.

Ας θεωρήσουμε το ιστόγραμμα ενός μικρού αριθμού μετρήσεων που φαίνεται στο σχήμα 8.



**Σχήμα 8**

Θα μπορούσαμε προσεγγιστικά να απεικονίσουμε το ιστόγραμμα του Σχήματος 8 επικαλυπτόμενο με μια κανονική κατανομή με την ίδια μέση τιμή και απόκλιση. Παρ'όλο που το ιστόγραμμα διαφέρει αρκετά από την κανονική κατανομή σε εμφάνιση, υπακούει όμως σε μεγάλο βαθμό στους κανόνες της κατανομής αυτής.



**Σχήμα 9**

Λόγω του ότι η τυπική απόκλιση είναι ανάλογη του πλάτους της κατανομής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ιδιότητα αυτή για να χαρακτηρίσουμε την διασπορά των μετρήσεων. Υπάρχουν δυο περιπτώσεις που πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας.

### 3.1.3.1 Εκτίμηση αβεβαιότητας μονοσήμαντων (single-valued) ποσοτήτων.

Πολλές φορές η μέτρηση που επιθυμούμε να πάρουμε επηρεάζεται από καθαρά τυχαίες διακυμάνσεις, όπως για παράδειγμα οι ηλεκτρικοί ή μηχανικοί θόρυβοι. Η συμβατική μέθοδος για την μείωση των παρεμβολών των θορύβων είναι η εφαρμογή ενός φίλτρου για την μείωση των διακυμάνσεων. Η διαδικασία υπολογισμού της μέσης τιμής έχει την ίδια επίδραση που έχει το φίλτρο για παράδειγμα στις τυχαίες φυσικές παρεμβολές των θορύβων. Ένα πλεονέκτημα της χρήσης της μέσης τιμής είναι ότι μπορούμε να εκτιμήσουμε την αβεβαιότητα λόγω των υπολειπόμενων παρεμβολών στην μέση τιμή. Κατά συνέπεια η μέτρηση μπορεί να καταγραφεί ως η μέση τιμή με μια αβεβαιότητα η οποία δίνεται από την σχέση:

$$\text{uncertainty} = s_m$$

Η αβεβαιότητα η οποία εκφράζεται χρησιμοποιώντας την τυπική απόκλιση με αυτόν τον τρόπο είναι γνωστή ως ‘τυπική αβεβαιότητα’ (Standard Uncertainty). Η αβεβαιότητα στην επιστημονική βιβλιογραφία πολύ συχνά αναφέρεται ως τυπική αβεβαιότητα ή μπορεί να αναφέρεται και ως αβεβαιότητα 1σ (one sigma uncertainty).

Παρ’ όλα αυτά το εύρος το οποίο χαρακτηρίζεται από την τυπική απόκλιση, τυπικά εμπερικλείει μόνο το 68% όλων των μετρήσεων και υπάρχουν αρκετές μετρήσεις σε υπολογιστικό περιβάλλον οι οποίες απαιτούν αβεβαιότητες που να περιλαμβάνουν μεγαλύτερο ποσοστό μετρήσεων.

Όπου απαιτείται υψηλότερος βαθμός εμπιστοσύνης τα αποτελέσματα καταγράφονται με μια διευρυμένη αβεβαιότητα μέσω της σχέσης.

$$\text{uncertainty} = k \times s_m$$

όπου k είναι ο πολλαπλασιαστικός παράγοντας ο οποίος αυξάνει το εύρος για να συμπεριλάβει μεγαλύτερη αναλογία μετρήσεων. Ο παράγοντας k είναι γνωστός και ως “coverage factor”, και επιλέγεται έτσι ώστε το εύρος τους διαστήματος εμπιστοσύνης να περιλαμβάνει ένα προκαθορισμένο ποσοστό των μετρήσεων.



Προσεγγιστικές τιμές του  $k$  μπορούν να υπολογιστούν από τον πίνακα της κανονικής κατανομής. Για παράδειγμα, για  $k = 1,96$  η τιμή αυτή χαρακτηρίζει την αβεβαιότητα μέσω ενός διαστήματος εμπιστοσύνης το οποίο αναμένεται να περιλαμβάνει 95% όλων των αποτελεσμάτων. Η δήλωση «περιλαμβάνει το 95% των μετρήσεων» δηλώνει το επίπεδο εμπιστοσύνης για την αβεβαιότητα. Θα πρέπει βέβαια το  $k$  να είναι υψηλό έτσι ώστε να περιλαμβάνονται όλες οι μετρήσεις.

Στην πράξη υπάρχει ένας συνεχής συμβιβασμός και για  $k = 2$  (95%), για  $k = 3$  (99%) αποτελούν κοινές επιλογές.

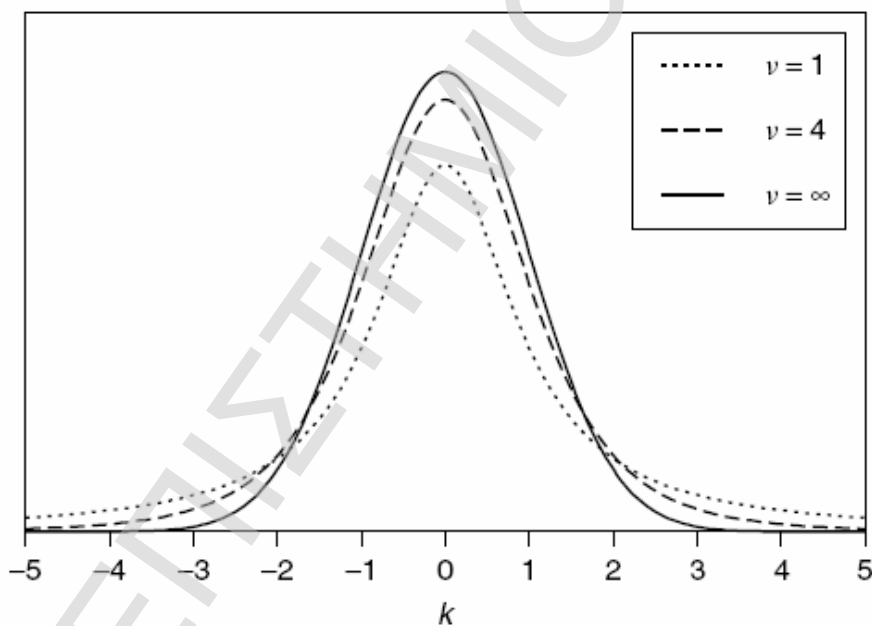
Παρ' όλα αυτά, ο παράγοντας, προερχόμενος από την κανονική κατανομή είναι προσεγγιστικός και συνήθως υποβαθμίζει την αβεβαιότητα. Όταν χρησιμοποιούμε τους πίνακες της κανονικής κατανομής, υποθέτουμε ότι γνωρίζουμε την μέση τιμή και την απόκλιση με ακρίβεια. Οι εξισώσεις για την διακύμανση και την διακύμανση στο δειγματικό μέσο, καταδεικνύουν ότι η εικόνα της κατανομής που προκύπτει από τις μετρήσεις είναι από μόνη της αβέβαιη. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούμε να είμαστε τόσο βέβαιοι όσο υποδεικνύουν οι πίνακες της κανονικής κατανομής. Ο τρόπος για να επανορθώσουμε αυτήν την απώλεια εμπιστοσύνης – βεβαιότητας, είναι να αυξήσουμε το  $k$  έτσι ώστε να υπολογίσουμε για μεγαλύτερη αβεβαιότητα. (J.V. Nicholas and D.R. White (2001))

#### *H κατανομή student -t*

Για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας στο δειγματικό μέσο και τη διακύμανση, οι παράγοντες  $k$  θα πρέπει να βρεθούν μέσω μιας ειδικής κατανομής, γνωστής ως κατανομή student-t. Οι πίνακες για αυτή την κατανομή είναι παρόμοιοι με τους πίνακες της κανονικής κατανομής, με την διαφορά ότι βασίζονται επιπλέον στον αριθμό των μετρήσεων. Ο τρίτος παράγοντας στην περίπτωση αυτή είναι ο παράγοντας  $v$  που συμβολίζει (ισούται με) «τον αριθμό των βαθμών ελευθερίας» ο οποίος αντιστοιχεί στον αριθμό των κομματιών της πληροφορίας που χρησιμοποιείται κάθε φορά για τον υπολογισμό της διακύμανσης. Όπου απαιτούνται  $N$  μετρήσεις για τον υπολογισμό της μέσης τιμής, υπάρχουν  $N-1$  βαθμοί ελευθερίας. Αποτελεσματικότερα, αν ένα κομμάτι πληροφορίας χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μέσης τιμής, απομένουν  $N-1$  κομμάτια. Έτσι εξηγείται ο όρος  $N-1$  στον παρονομαστή της εξίσωσης

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - m)^2$$

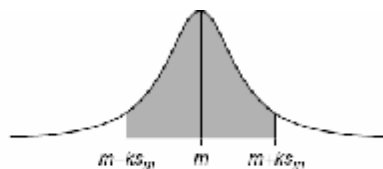
Το σχήμα 10 εμφανίζει την κατανομή student για διάφορα επίπεδα του  $\nu$ . Η πιο σημαντική εικόνα στο σχήμα της καμπύλης είναι τα μακριά άκρα στις κατανομές για μικρές τιμές του  $\nu$  (λίγες μετρήσεις). Με σκοπό να δημιουργήσουμε ένα δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης οι παράγοντες  $k$  για τις κατανομές με μακριά άκρα, θα πρέπει να είναι μεγαλύτεροι έτσι ώστε να εμπερικλείουν την ίδια περιοχή, ή ισοδύναμα να έχουν το ίδιο επίπεδο εμπιστοσύνης. Η κατανομή student  $-t$  αρχίζει να μοιάζει όλο και περισσότερο με την κανονική κατανομή όσο οι βαθμοί ελευθερίας αυξάνουν. Για άπειρο αριθμό βαθμών ελευθερίας η κανονική κατανομή και η κατανομή Student  $-t$  είναι ίδιες. (J.V. Nicholas and D.R. White (2001))



**Σχήμα 10**

**Η κατανομή student για διαφορετικές τιμές του  $\nu$ , ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας.**

$P$  is the percentage probability of finding  $\mu$  within  $\sigma \pm k\sigma_n$



$\sigma \backslash P$	50%	68.3%	95.0%	95.5%	99.0%	99.7%
1	1.000	1.84	12.7	14.0	63.7	236
2	0.817	1.32	4.30	4.53	9.92	19.2
3	0.765	1.20	3.18	3.31	5.84	9.22
4	0.741	1.14	2.78	2.87	4.60	6.62
5	0.727	1.11	2.57	2.65	4.03	5.51
6	0.718	1.09	2.45	2.52	3.71	4.90
7	0.711	1.08	2.36	2.43	3.50	4.53
8	0.706	1.07	2.31	2.37	3.36	4.28
9	0.703	1.06	2.26	2.32	3.25	4.09
10	0.700	1.05	2.23	2.28	3.17	3.96
11	0.697	1.05	2.20	2.25	3.11	3.85
12	0.695	1.04	2.18	2.23	3.05	3.76
13	0.694	1.04	2.16	2.21	3.01	3.69
14	0.692	1.04	2.14	2.20	2.98	3.64
15	0.691	1.03	2.13	2.18	2.95	3.59
16	0.690	1.03	2.12	2.17	2.92	3.54
17	0.689	1.03	2.11	2.16	2.90	3.51
18	0.688	1.03	2.10	2.15	2.88	3.48
19	0.688	1.03	2.09	2.14	2.86	3.45
$\infty$	0.675	1.00	1.96	2.00	2.58	3.00

Σχήμα 11

Η κατανομή student-t: τιμές του  $k$  για δεδομένα επίπεδα εμπιστοσύνης,  $P$ , ως συνάρτηση του αριθμού των βαθμών ελευθερίας,  $\nu$ .

Όπου χρησιμοποιούνται  $N$  μετρήσεις για το καθορισμό  $\rho$  παραμέτρων, ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας ισούται με  $\nu = N - \rho$ .

### 3.1.3.2. Εκτίμηση αβεβαιότητας για κατανεμημένες ποσότητες.

Όταν χρησιμοποιούμε την τυπική απόκλιση της μέσης τιμής,  $S_m$ , για να χαρακτηρίσουμε την αβεβαιότητα υποθέτουμε ότι η ποσότητα που μας ενδιαφέρει έχει μια μοναδική -ορθά- καθοριστική τιμή. Παρ' όλα αυτά, πολλές φορές οι ποσότητες που μας ενδιαφέρει να μετρήσουμε, δεν έχουν μια και μοναδική τιμή αλλά είναι κατανεμημένες.

Στην περίπτωση αυτή η αβεβαιότητα οφείλεται κυρίως σε δύο παράγοντες: στην αβεβαιότητα κατά την εκτίμηση της διόρθωσης της μέσης τιμής και την διασπορά του υπολειπόμενου συστηματικού σφάλματος. Το άθροισμα αυτών των δύο αβεβαιοτήτων οδηγεί σε μία τυπική αβεβαιότητα  $(1 + N)^{1/2}$  φορές μεγαλύτερη από αυτήν για τις μονοσήμαντες ποσότητες. (J.V. Nicholas and D.R. White (2001))

### 3.1.4. Εκτιμώντας αβεβαιότητες τύπου B.

Οι αβεβαιότητες τύπου Β είναι αυτές που δεν προσδιορίζονται με στατιστικά μέσα. Στην περίπτωση αυτή οι εκτιμήσεις μας μπορούν να βασιστούν σε θεωρητικά μοντέλα μετρήσεων, σε πληροφορίες από μελέτες και εγχειρίδια, σε εμπειρικές μετρήσεις, ακόμα και στο ένστικτο και την εμπειρία του εκτιμητή. Η ανάγκη για την εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου Β προκύπτει όταν πραγματοποιούμε μοναδικές μετρήσεις και κοινώς όταν εφαρμόζουμε διορθώσεις για την ελαχιστοποίηση γνωστών σφαλμάτων.

Όπως και με τις αβεβαιότητες τύπου Α, το κλειδί είναι να χτίσουμε μία την εικόνα μιας κατάλληλης κατανομής. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει πέντε θεμελιώδη στάδια:

- 1) Αναγνώριση της αιτίας που δημιουργεί επιπτώσεις στο αποτέλεσμα
- 2) Συλλογή πληροφοριών για τις επιπτώσεις
- 3) Περιγραφή των επιπτώσεων αυτών υπό την μορφή μιας κατανομής
- 4) Καθορισμός μιας μέσης τιμής και μιας διακύμανσης για την κατανομή αυτή
- 5) Υπολογισμός του διαστήματος εμπιστοσύνης

Το πρώτο στάδιο, η αναγνώριση δηλαδή των επιπτώσεων που προκαλούν την διασπορά των τιμών συνήθως είναι το πιο δύσκολο. Όταν αναγνωριστεί η αιτία και οι αντίστοιχες επιπτώσεις που προκαλεί, τότε το επόμενο βήμα είναι να συλλέξουμε όσο περισσότερη πληροφορία είναι διαθέσιμη. Η διαδικασία αυτή μπορεί να περιλαμβάνει δεδομένα σε φύλλα μετρήσεων, αποτελέσματα από σχετικές μετρήσεις, ή απλά εμπειρικά δεδομένα. Το στάδιο αυτό είναι ανάλογο με την συλλογή μετρήσεων στην εκτίμηση αβεβαιοτήτων τύπου Α.

Βασιζόμενοι στις παραπάνω πληροφορίες μπορούμε να σχηματίσουμε μια εικόνα της κατανομής. Αν η αιτία προκαλεί ως επίπτωση τυχαίο σφάλμα τότε η κατανομή χαρακτηρίζει το εύρος αυτού του σφάλματος. Αν το σφάλμα είναι συστηματικό τότε η κατανομή χαρακτηρίζει τον βαθμό της «άγνοιάς» μας, δηλαδή το εύρος στο ποίο πιστεύουμε ότι είναι πιθανόν να ανήκει.

Στη συνέχεια θα χρειαστεί να προσεγγίσουμε την κατανομή που δημιουργήθηκε με κάποια από τις γνωστές κατανομές, όπως η Τριγωνική ή η Κανονική Κατανομή. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να υπάρχει αρκετή και κατάλληλη πληροφορία για να αναγνωρίσουμε την πραγματική κατανομή, η οποία μπορεί να είναι για παράδειγμα η Poisson, η διωνυμική ή η Χ τετράγωνο. Η χρήση

της κατανομής Student-t μπορεί να είναι χρήσιμη για να χαρακτηρίσουμε την αβεβαιότητα στην περιγραφή της κατανομής.

Όταν έχουμε πλέον περιγράψει την κατανομή μπορούμε να υπολογίσουμε την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση. Τέλος, σημαντικό είναι να έχουν καταγραφεί όλες οι υποθέσεις και οι λογικές που καθόρισαν όλες τις εκτιμήσεις μας έτσι ώστε η εκλογίκευση που κάναμε να είναι ξεκάθαρη και αναμφίβολη. Η καταγραφή εξασφαλίζει ότι η εκτίμηση μπορεί να ανιχνευτεί αν κριθεί απαραίτητο και κυρίως μπορεί να βελτιωθεί σε μεταγενέστερο στάδιο καθώς νέες πληροφορίες μπορεί να είναι διαθέσιμες. (J.V. Nicholas and D.R. White (2001))

Η Θεωρία των πιθανοτήτων έχει εφαρμοστεί σε εφαρμογές διαχείρισης Αλυσίδων Εφοδιασμού που περιλαμβάνουν θέματα επιλογής κατάλληλων προμηθευτών (Muralidharan *et al.* 2001) και Διαχείρισης Αποθέματος (Porteus 1990).

### **3.2. Επιχειρησιακή Έρευνα**

Η Επιχειρησιακή Έρευνα έχει χρησιμοποιηθεί πολύ συχνά ως εργαλείο σε διαδικασίες Λήψης Αποφάσεων όσον αφορά περίπλοκα συστήματα τα οποία λειτουργούν κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας, όπως είναι οι Αλυσίδες Εφοδιασμού. Μέσω της Επιχειρησιακής Έρευνας ο εκτιμητής μπορεί να βρει μία βέλτιστη λύση σ' ένα περίπλοκο πρόβλημα, ή ένα σετ εναλλακτικών λύσεων στο πρόβλημα αυτό.

Η Επιχειρησιακή Έρευνα εφαρμόζεται σε προβλήματα τα οποία έχουν να κάνουν με την χρησιμοποίηση και το συνδιασμό δραστηριοτήτων μέσα σε μια επιχείρηση. Οι τεχνικές και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι ποικίλες. Ενδεικτικά αναφέρουμε μερικές από αυτές όπως:

- Ο Μαθηματικός Προγραμματισμός
- Η Θεωρία Αναμονής
- Η Προσομοίωση
- Ο Στοχαστικός Προγραμματισμός
- Η Θεωρία των Αποθεμάτων
- Ο Δυναμικός Προγραμματισμός κ.α.

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης θα παραθέσουμε ενδεικτικά τις βασικές αρχές μερικών, ίσως πιο συχνά χρησιμοποιούμενων, εργαλείων.

Μια σημαντική, απο πλευράς εφαρμογής, μέθοδος είναι αυτή του Μαθηματικού Προγραμματισμού, ο οποίος ανάλογα με την περίπτωση του προβλήματος διακρίνεται σε κατηγορίες όπως:

- Ο Γραμμικός Προγραμματισμός
- Προβλήματα Μεταφοράς
- Ακέραιος Προγραμματισμός
- Μη Γραμμικός Προγραμματισμός κ.α.

### 3.2.1. Γραμμικός Προγραμματισμός

Δεδομένου ενός προβλήματος με μεταβλητές  $x_j$ , επιδιώκουμε να βρούμε μία βέλτιστη λύση στο πρόβλημα, η οποία μπορεί να αντιπροσωπεύει την μεγιστοποίηση ενός προσδοκώμενου κέρδους ή την ελαχιστοποίηση ενός κόστους, βάση μιας Αντικειμενικής Συνάρτησης η οποία κατασκευάζεται με βάση τις μεταβλητές και τους συντελεστές του προβλήματος υπο μελέτη.

Βάση λοιπόν του Γραμμικού Προγραμματισμού είναι το Υπόδειγμα του Γραμμικού Προγραμματισμού όπου χτίζεται η Αντικειμενική Συνάρτηση και το οποίο περιγράφεται από τη σχέση:

$$\min (\max) Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

με περιορισμούς  $\sum_j a_{ij} x_j \geq b_i$  ή  $\leq b_i$  με  $x_j \geq 0$  και  $i = 1, 2, \dots, m$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

Στη παραπάνω σχέση τα σύμβολα ορίζονται ως εξής:

Z: Η Αντικειμενική Συνάρτηση

$x_j$ : Η μεταβλητή  $j$

$c_j$ : Ο συντελεστής της μεταβλητής  $j$  στην Αντικειμενική Συνάρτηση

$a_{ij}$ : Ο συντελεστής της μεταβλητής  $j$  στον περιορισμό  $i$

$b_i$ : Ο σταθερός όρος του περιορισμού  $i$

$n$ : Το πλήθος των μεταβλητών απόφασης

$m$ : Το πλήθος των περιορισμών δομής

Η πιο γνωστή μέθοδος επίλυσης στο πρόβλημα του Γραμμικού Προγραμματισμού είναι η μέθοδος Simplex. Πρόκειται για μία αλγεβρική επαναληπτική μέθοδο με την οποία λύνεται με ακρίβεια οποιοδήποτε πρόβλημα της κατηγορίας αυτής. Το κυριότερο πλεονέκτημά της είναι ότι μπορεί να δώσει επίλυση σε προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού τα οποία έχουν μεγάλο αριθμό μεταβλητών. Με τη βοήθεια μάλιστα κατάλληλων προγραμμάτων σε Η/Υ μπορούμε πολύ γρήγορα να πάρουμε μια βέλτιστη λύση, αν υπάρχει, με πεπερασμένο αριθμό επαναλήψεων τρέχοντας κάθε φορά τον αλγόριθμο.

Οι Anshuman Gupta και Costas Maranas (2003) χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο Γραμμικού Προγραμματισμού για να απεικονίζουν όλα τα κόστη που λαμβάνουν χώρα από τις δραστηριότητες σε μια Αλυσίδα Εφοδιασμού, λαμβάνοντας υπ' όψιν τους στο μοντέλο και την αβεβαιότητα στη ζήτηση των τελικών προϊόντων.

### 3.2.2. Ακέραιος Προγραμματισμός

Διαφέρει από το Γραμμικό Προγραμματισμό στο ότι κάποιες μεταβλητές απόφασης πρέπει να παίρνουν ακέραιες τιμές. Στη περίπτωση όπου σ' ένα πρόβλημα Γραμμικού Προγραμματισμού όλες οι μεταβλητές απόφασης περιορίζονται να παίρνουν ακέραιες τιμές, τότε το πρόβλημα ονομάζεται πρόβλημα Ακέραιου Προγραμματισμού. Όταν όμως μερικές μεταβλητές περιορίζονται να είναι ακέραιες τότε το πρόβλημα ονομάζεται πρόβλημα Μικτού Ακέραιου Προγραμματισμού.

Σε πολλά πρακτικά προβλήματα χρησιμοποιούνται ακέραιες μεταβλητές για να δηλώσουν ποιιά απόφαση (μεταξύ ορισμένου αριθμού εναλλακτικών αποφάσεων) πρέπει να ληφθεί. Αυτές οι μεταβλητές είναι γνωστές ως μεταβλητές (0-1).

Όσον αναφορά την μέθοδο επίλυσης τέτοιων προβλημάτων, σε αντίθεση με το Γραμμικό Προγραμματισμό όπου υπάρχει η μέθοδος Simplex, κανένας αντίστοιχος αλγόριθμος Ακέραιου Προγραμματισμού δεν έχει προταθεί. Διαφορετικές μέθοδοι

εφαρμόζονται σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με τη φύση και τη δομή του προβλήματος. Ο πλέον ίσως επιτυχημένος αλγόριθμος για την επίλυση προβλημάτων Ακέραιου Προγραμματισμού είναι η μέθοδος «κλάδου και φράγματος» και τα περισσότερα εμπορικά προγράμματα χρησιμοποιούν τη μέθοδο αυτή. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή γίνεται μια συστηματική εξερεύνηση του χώρου των εφικτών λύσεων και σταδιακά, μέσα από τη διαδικασία, αποκλείονται κάποιες περιοχές οι οποίες δεν περιέχουν τη βέλτιστη λύση. Βασική αρχή της μεθόδου είναι ο διαχωρισμός του χώρου των εφικτών λύσεων σε κυρτά υποσύνολα και η εύρεση ενός άνω φράγματος στην Αντικειμενική Συνάρτηση για κάθε υποσύνολο. Όταν βρεθεί μια ακέραια λύση με τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης όχι χειρότερη από το άνω φράγμα όλων των υποσυνόλων του χώρου των εφικτών λύσεων, τότε έχουμε βρεί τη βέλτιστη λύση. Πρακτικά ο διαχωρισμός αυτός του συνόλου των εφικτών λύσεων γίνεται διαδοχικά με τη δημιουργία κλαδιών σε ένα δέντρο-γράφημα. Εναλλακτική της μεθόδου «κλάδου και φράγματος» είναι η μέθοδος των «επίπεδων τομών». Η διαδικασία που ακολουθεί η μέθοδος αυτή είναι ότι αρχικά επιλύει το πρόβλημα σαν πρόβλημα Γραμμικού Προγραμματισμού αφαιρώντας την απαίτηση για ακέραιες τιμές στις μεταβλητές. Στη περίπτωση που η λύση που προκύπτει είναι ακέραια προφανώς ικανοποιεί το ακέραιο πρόβλημα. Στην αντίθετη περίπτωση νέοι περιορισμοί (επίπεδες τιμές) προστίθενται, κατά συστηματικό τρόπο στο πρόβλημα. Η λύση στο νέο, περιορισμένο, πρόβλημα, μπορεί να είναι ακέραια, και έτσι με τη συνέχιση της διαδικασίας επιτυγχάνουμε ακέραιη λύση στο αρχικό πρόβλημα.

Ο Tsiakis *et al.* (2001) μοντελοποίησε το δίκτυο μιας Αλυσίδας Εφοδιασμού που αποτελούνταν από πολλά επίπεδα – τμήματα, κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας της ζήτησης, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο βελτιστοποίησης ενός μοντέλου Μεικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού, λαμβάνοντας υπ' όψιν και τις αβεβαιότητες που σχετίζονταν με τη ζήτηση των προϊόντων.

### 3.2.3. Προβλήματα Μεταφοράς



Η Επιχειρησιακή Έρευνα έχει συνεισφέρει στην επίλυση προβλημάτων μεταφοράς που αντιμετωπίζουν καθημερινά οι επιχειρήσεις, μέσω της επίλυσης κατάλληλων αλγορίθμων προτείνοντας βέλτιστες διαδρομές σε πολύπλοκα προβλήματα μεταφοράς. Η Συνάρτηση μέσω της οποίας εκφράζεται ένα πρόβλημα μεταφοράς απεικονίζεται από την σχέση:

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

με περιορισμούς προσφοράς

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq s_i \quad , \text{ με } i = 1, 2, \dots, m$$

και περιορισμούς ζήτησης:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq d_j \quad , \text{ με } j = 1, 2, \dots, n$$

και  $x_{ij} \geq 0$  για όλα τα  $i$  και  $j$

Στη παραπάνω σχέση υποθέτουμε ότι υπάρχουν  $m$  δυνατοί προορισμοί για την μεταφορά μιας μονάδας  $x_{ij}$  από τη πηγή  $i$  στο προορισμό  $j$ , με μοναδιαίο κόστος μεταφοράς  $c_{ij}$ . Το σύμβολο  $s_i$  συμβολίζει την μέγιστη δυναμικότητα (περιορισμός προσφοράς) των πηγών, ενώ το σύμβολο  $d_j$  συμβολίζει τη ζήτηση των προορισμών (περιορισμός ζήτησης). Μέσα από την επίλυση του αλγόριθμου επιζητούμε να βρούμε την βέλτιστη διαδρομή που καλύπτει με το μικρότερο δυνατό κόστος την ικανοποίηση της ζήτησης στους προορισμούς.

Οι Stefan Chanas και Dorota Kuchta (1998) μελέτησαν το πρόβλημα μεταφοράς σε περιπτώσεις όπου κυριαρχούν ασαφείς και αβέβαιοι συντελεστές, ενώ μια περαιτέρω προσέγγιση στη μελέτη αυτή δόθηκε από τους Ludmiła Dymowa και Marek Dolata οι οποίοι στη δική τους προσέγγιση δεν ελαχιστοποίησαν μόνο το συνολικό κόστος μεταφοράς αλλά μεγιστοποίησαν επιπλέον το συνολικό κέρδος για το διανομέα υπό τις ίδιες συνθήκες αβεβαιότητας.

### 3.2.4. Μη Γραμμικός Προγραμματισμός

Ο μη γραμμικός προγραμματισμός ασχολείται με προβλήματα βελτιστοποίησης όπου οι περιορισμοί και η αντικειμενική συνάρτηση είναι μη γραμμικές συναρτήσεις των μεταβλητών. Η γενική διατύπωση του προβλήματος είναι: Ζητείτε να βρεθεί το διάνυσμα των μεταβλητών  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , το οποίο ελαχιστοποιεί τη συνάρτηση  $f(x)$  με περιορισμούς  $g_i(x) \geq 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , όπου  $f(x)$  και  $g_i(x)$  είναι μη γραμμικές συναρτήσεις των μεταβλητών  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Οι Cohen και Lee (1989) πρότειναν ένα μοντέλο μη γραμμικού προγραμματισμού το οποίο επικεντρώνεται στη λειτουργία ενός δικτύου που αποτελείται από προμηθευτές, εργοστάσια και αγορές.

### 3.2.5. Δυναμικός Προγραμματισμός

Πρόκειται για μια μαθηματική τεχνική η οποία έχει χρησιμοποιηθεί στη λήψη διαδοχικών αλληλοσυνδεόμενων αποφάσεων. Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια συστηματική διαδικασία καθορισμού ενός συνδυασμού αποφάσεων που μεγιστοποιεί το συνολικό αποτέλεσμα. Αντίθετα με τις τεχνικές που αναφέρθηκαν παραπάνω, στη περίπτωση του Δυναμικού Προγραμματισμού δεν υπάρχει μια τυπική μαθηματική μορφοποίηση των προβλημάτων. Η μέθοδος αποτελεί για προσέγγιση επίλυσης του εκάστοτε προβλήματος σε γενική μορφή και οι συγκεκριμένες μαθηματικές εξισώσεις που αναπτύσσονται κάθε φορά απεικονίζουν τις καταστάσεις που αφορούν το συγκεκριμένο προς επίλυση πρόβλημα.

Οι Scott Buffet και Nathan Scott στη μελέτη τους «An Algorithm for Procurement in Supply Chain Management» πρότειναν ένα αλγόριθμο με τη χρήση δυναμικού προγραμματισμού ο οποίος μπορεί να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων στις διαδικασίες επιλογής προμηθειών σε αλυσίδες εφοδιασμού.

### 3.3. Προσομοίωση

Η προσομοίωση είναι μια περαιτέρω ανάπτυξη της ανάλυσης πιθανοτήτων. Μπορεί να προσδιοριστεί ως η διαδικασία δημιουργίας ενός μοντέλου στον H/Y, για παράδειγμα μια αναπαράσταση ενός υπάρχοντος ή προτεινόμενου συστήματος με σκοπό να αναγνωρίσουμε και να κατανοήσουμε τους παράγοντες εκείνους που ελέγχουν και επηρεάζουν το σύστημα. Κάθε σύστημα το οποίο μπορεί να περιγραφεί ποσοτικά μέσα από εξισώσεις ή κανόνες μπορεί να προσομοιωθεί. Σε μια δυναμική προσομοίωση το υπό μελέτη σύστημα αλλάζει και εξελίσσεται με το χρόνο και έτσι ο

αντικειμενικός στόχος της μοντελοποίησης ενός τέτοιου συστήματος είναι να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο είναι πιθανόν να εξελιχθεί, να προβλέψουμε την μελλοντική του συμπεριφορά και παράλληλα να προσδιορίσουμε πως θα μπορούσαμε να επηρεάσουμε την μελλοντική του συμπεριφορά. Μια αλυσίδα εφοδιασμού μπορεί να περιγραφεί ως ένα δυναμικό σύστημα το οποίο αλλάζει και εξελίσσεται με τον χρόνο. Με την προσομοίωση μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο στον Η/Υ το οποίο να περιγράφει όλα τα συμμετέχοντα μέλη στην αλυσίδα εφοδιασμού, π.χ. προμηθευτές, κατασκευαστές, διανομείς, πελάτες κ.λ.π.), καθώς επίσης και τις σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ τους. Τα μοντέλα προσομοίωσης έχουν χρησιμοποιηθεί πολύ συχνά, όχι μόνο για να περιγράψουν ένα σύστημα αλυσίδων εφοδιασμού, αλλά κυρίως για να κατανοήσουμε και ακόμα περισσότερο να προβλέψουμε τις αλλαγές που επηρεάζουν το σύστημα καθώς και τις επιπτώσεις τους στην αλυσίδα.

Οι μέθοδοι Προσομοίωσης έχουν εφαρμοστεί για τη μοντελοποίηση συστημάτων αλυσίδων εφοδιασμού όπως για παράδειγμα στη μελέτη των Towill *et all.* (1992) όπου ένα βιομηχανικό μοντέλο δυναμικής προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμήσει το σχεδιασμό αλυσίδων εφοδιασμού.

### **3.4. Μέθοδοι πρόβλεψης**

Ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων πρόβλεψης έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιείται έτσι ώστε οι σύγχρονες επιχειρήσεις να μπορούν να λαμβάνουν αποφάσεις και να ενεργούν κάτω από πολλαπλές συνθήκες αβεβαιότητας. Οι προβλέψεις καθώς και η μοντελοποίηση της αγοράς αποτελούν σήμερα σημαντικές δραστηριότητες σε κάθε επιχείρηση και υποστηρίζουν καθημερινές λειτουργίες τους που αφορούν τον προγραμματισμό προσωπικού, την παραγωγή και τα logistics.

Γενικά οι μέθοδοι προβλέψεων κατηγοριοποιούνται σε τρεις τύπους.

#### **3.4.1. Μέθοδοι προεκβολής ή χρονοσειρών:**

Με βάση αυτή την κατηγορία μεθόδων, στοιχεία από τον παρελθόν χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να κάνουμε μια πρόβλεψη για το κοντινό μέλλον. Ο σκοπός είναι να αναγνωρίσουμε τον τρόπο με τον οποίο οι τιμές μιας μεταβλητής

εξελίχθηκαν στο παρελθόν έτσι ώστε να κάνουμε μια πρόβλεψη για τον μέλλον. Οι μέθοδοι αυτοί δίνουν γενικά αξιόπιστα αποτελέσματα εφόσον όμως ο χρονικός ορίζοντας πρόβλεψης είναι γενικά μικρός. Κάθε χρονοσειρά συντίθεται από ένα ή και περισσότερα από τα ακόλουθα στοιχεία:

1. Το οριζόντιο στοιχείο: χαρακτηρίζει στατικές χρονοσειρές, δηλαδή σειρές τιμών οι οποίες διακυμαίνονται γύρω από μια μέση τιμή χωρίς να υπάρχει συστηματική τάση για αύξηση ή μείωση τους.
2. Το στοιχείο τάσης: χαρακτηρίζει χρονοσειρές όπου συμβαίνουν συστηματικές αλλαγές δηλαδή αύξηση ή μείωση της μέσης τιμής της υπο-παρατήρηση μεταβλητής με την πάροδο του χρόνου.
3. Εποχικό στοιχείο: χαρακτηρίζει χρονοσειρές όπου η διακύμανση των τιμών οφείλεται στην ύπαρξη κάποιου εποχικού στοιχείου, όπως για παράδειγμα ο καιρός σε πολλά γεωργικά προϊόντα.
4. Κυκλικό στοιχείο: Μοιάζει με το εποχικό στοιχείο με την διαφορά ότι το εποχικό στοιχείο χαρακτηρίζεται από σταθερή περιοδικότητα ενώ στο κυκλικό στοιχείο τόσο η περιοδικότητα όσο και ο κύκλος δεν εμφανίζουν σταθερότητα.

Ένας αριθμός διαφορετικών χρονοσειρών έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιείται με βάση ποια από τα παραπάνω στοιχεία χαρακτηρίζουν και με ποιο τρόπο το πρότυπο που ακολουθεί η προς πρόβλεψη μεταβλητή.

Οι χρονοσειρές κατηγοριοποιούνται με βάση τις παρακάτω μεθόδους:

#### 3.4.1.1. Η μέθοδος του κινούμενου μέσου.

Με βάση αυτή τη μέθοδο η προς πρόβλεψη τιμή  $F_t$  της υπο παρατήρηση μεταβλητής για την χρονική περίοδο  $t$  είναι ίση με την μέση τιμή των τιμών  $D_{t-1}, \dots, D_{t-N}$ , οι οποίες αναπαριστούν τις τιμές της μεταβλητής κατά τις  $N$  αμέσως προηγούμενες περιόδους.

$$\text{Έτσι } F_t = \frac{D_{t-1} + D_{t-2} + \dots + D_{t-N}}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=t-N}^{t-1} D_i$$

Για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου αρχικά επιλέγουμε τον αριθμό των  $N$  περιόδων τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για να υπολογίσουμε τον κινούμενο μέσο. Όσο μεγαλύτερο είναι το  $N$  τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η εξομάλυνση στις τυχαίες διακυμάνσεις της τιμής της μεταβλητής. Για την επόμενη  $(t+1)$  περίοδο μπορούμε να υπολογίσουμε την προβλεπόμενη μεταβλητή μέσω της σχέσης:

$$F_{t-1} = F_t + \frac{D_t - D_{t-N}}{N}$$

Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι θα πρέπει να αποθηκεύουμε ένα μεγάλο αριθμό δεδομένων έτσι ώστε να μπορούμε να κάνουμε προβλέψεις για πολλές μεταβλητές, καθώς και ότι η μέθοδος δεν θα δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα αν τα στοιχεία περιλαμβάνουν τάση, εποχικότητα ή κυκλικότητα.

#### 3.4.1.2. Το μοντέλο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης.

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εκθετική μείωση της βαρύτητας που δίνεται στα στοιχεία του παρελθόντος. Κατά συνέπεια τα πιο πρόσφατα στοιχεία λαμβάνονται σε μεγαλύτερο ποσοστό υπ' όψιν.

Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί η ευκολία εφαρμογής σε σχέση με την μέθοδο του κινούμενου μέσου καθώς οι απαιτήσεις σε υπολογιστικούς χρόνους και αποθήκευση δεδομένων είναι μικρές, αφού αποθηκεύονται λιγότερα στοιχεία και η πρόβλεψη αναπροσαρμόζεται κάθε φορά καθώς καινούργια δεδομένα γίνονται γνωστά. Επιπλέον η μέθοδος χαρακτηρίζεται από την εξομάλυνση των τυχαίων διακυμάνσεων που μπορεί να παρουσιάζουν τα διάφορα στοιχεία των χρονοσειρών (οριζόντιες τάσης, κυκλικό, εποχικό)

Το απλούστερο μοντέλο είναι αυτό της απλής εκθετικής εξομάλυνσης και εφαρμόζεται όταν τα δεδομένα δεν έχουν στοιχεία τάσης, εποχικότητα, ή κυκλικότητα. Κατά συνέπεια υπάρχει μια μέση τιμή της υπο παρατήρηση μεταβλητής γύρω από την οποία κυμαίνονται, εξ αιτίας τυχαίων παραγόντων, οι τιμές της. Το μοντέλο χρησιμοποιεί την πρόβλεψη καθώς και την αντίστοιχη πραγματική τιμή της μεταβλητής για την τρέχουσα περίοδο, για να προβλέψει την τιμή της μεταβλητής κατά τις επόμενες περιόδους. Ξεκινώντας από την σχέση  $F_{t-1} = F_t + \frac{D_t - D_{t-N}}{N}$

μπορούμε να την τροποποιήσουμε ως  $F_{t+1} = F_t + \frac{D_t - F_t}{N}$  αν υποθέσουμε ότι έχουμε ως διαθέσιμα στοιχεία μόνο την πιο πρόσφατη τιμή της μεταβλητής  $D_t$ , καθώς και την πρόβλεψη  $F_t$  για την παρούσα περίοδο. Την θέση της τιμής της μεταβλητής για την περίοδο  $t - N$  ( $D_{t-N}$ ), την οποία δεν γνωρίζουμε, μπορεί να πάρει προσεγγιστικά η πρόβλεψη  $F_t$  από την προηγούμενη περίοδο. Έτσι έχουμε:

$$F_{t+1} = F_t + \frac{D_t - F_t}{N} = \frac{1}{N}D_t + \left(1 - \frac{1}{N}\right)F_t$$

Η παραπάνω σχέση δηλώνει ότι για την πρόβλεψη της περιόδου  $t + 1$  λαμβάνεται υπ' όψη η πιο πρόσφατη τιμή  $D_t$  ως μεταβλητής με βαρύτητα  $1/N$  και η πιο πρόσφατη πρόβλεψη με βαρύτητα  $(1 - 1/N)$ . Αν τώρα αντικαταστήσουμε το  $1/N$  με το σύμβολο  $a$  έχουμε :

$$F_{t+1} = aD_t + (1 - a)F_t$$

$$F_{t+1} = F_t + a(D_t - F_t),$$

$$F_{t+1} = F_t + ae_t$$

Όπου  $e_t$  το σφάλμα πρόβλεψης κατά την προηγούμενη περίοδο. Όταν το  $a$  έχει τιμή κοντά στο μηδέν τότε το σφάλμα πρόβλεψης κατά την τελευταία περίοδο (επομένως και η τελευταία τιμή της μεταβλητής που παρατηρήθηκε) συμμετέχει σε μικρό ποσοστό στη διαμόρφωση της πρόβλεψης. Κατά συνέπεια η επίδραση ενός μικρού  $a$  είναι ανάλογη με την χρήση ενός μεγάλου αριθμού περιόδων  $N$  κατά την εφαρμογή της μεθόδου του κινούμενου μέσου.

Στην εξίσωση  $F_{t+1} = aD_t + (1 - a)F_t$  ο συντελεστής  $a$  ονομάζεται σταθερά εξομάλυνσης και παίρνει τιμές από 0 έως 1, (στην πράξη συνήθως μεταξύ 0,01 και 0,3).

### 3.4.1.3. Μοντέλα εκθετικής εξομάλυνσης.

Το μοντέλο της απλής εκθετικής εξομάλυνσης που περιγράψαμε πιο πάνω είναι κατάλληλο μόνο για προβλέψεις όπου η χρονοσειρά χαρακτηρίζεται μόνο από το οριζόντιο στοιχείο. Στην περίπτωση όμως που μαζί με το οριζόντιο στοιχείο ενσωματώνονται και στοιχεία τάσης ή και εποχικότητας τότε το παραπάνω μοντέλο

δεν μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα. Για τις περιπτώσεις αυτές έχουν αναπτυχθεί μοντέλα τα οποία είναι ικανά να λαμβάνουν υπ' όψη τις επιδράσεις αυτών των στοιχείων σε διάφορους συνδυασμούς.

Στους συνδυασμούς αυτούς το στοιχείο τάσης μπορεί να είναι γραμμικό ή πολλαπλασιαστικό. Στην περίπτωση που είναι γραμμικό η τάση εκφράζεται ως αύξηση ή μείωση κατά μια ποσότητα (βήμα) η οποία κυμαίνεται γύρω από μια σταθερή μέση τιμή και κατά την οποία μεταβάλλεται η τιμή της μεταβλητής από περίοδο σε περίοδο. Όταν το στοιχείο τάσης είναι πολλαπλασιαστικό, τότε η τάση εκφράζεται αντίστοιχα, ως ποσοστό, κατά το οποίο αυξάνεται η τιμή της μεταβλητής και το οποίο επίσης κυμαίνεται γύρω από μια μέση τιμή.

Το εποχικό στοιχείο μπορεί επίσης να είναι γραμμικό ή πολλαπλασιαστικό, ενώ η εποχικότητα δηλαδή η ποσότητα κατά την οποία μεταβάλλεται η τιμή της μεταβλητής από περίοδο σε περίοδο εκφράζεται με ένα δείκτη, ο οποίος μεταβάλλεται αντίστοιχα από περίοδο σε περίοδο.

Τα μοντέλα εκθετικής εξομάλυνσης που χρησιμοποιούνται πιο συχνά στην πράξη είναι:

i. Το μοντέλο εκθετικής εξομάλυνσης με γραμμική τάση (μοντέλο Holt).

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται στην περίπτωση όπου σε μια χρονοσειρά εκτός από το οριζόντιο στοιχείο, υπάρχει και το στοιχείο της τάσης. Στην περίπτωση ειδικά όπου η τάση είναι γραμμική, η διαφορά  $D_{t+1} - D_t$ , μεταξύ δυο διαδοχικών τιμών της υπό παρατήρηση μεταβλητής οφείλεται, εκτός από τις διακυμάνσεις που χαρακτηρίζουν το οριζόντιο στοιχείο, και στην συστηματική τάση για αύξηση ή μείωση (δηλ. πρόσθεση ή αφαίρεση κάποιας ποσότητας στο οριζόντιο στοιχείο), που χαρακτηρίζει την χρονοσειρά. Αυτή η διαφορά που οφείλεται στην γραμμική τάση, αποτελεί μια χωριστή χρονοσειρά, η οποία αποτελείται από τιμές του βήματος της τάσης και οι οποίες κυμαίνονται γύρω από μια μέση τιμή. Η εξομάλυνση των διαφορών στην τιμή του βήματος, που εμφανίζεται από περίοδο σε περίοδο, μπορεί να γίνει με μια σταθερά εξομάλυνσης  $b$ . Έτσι η σχέση  $F_{t+1} = aD_t + (1-a)F_t$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί προσθέτοντας το εξομαλυμένο βήμα της τάσης  $T_t$  στην προηγούμενη πρόβλεψη:

$$S_{t+1} = aD_t + (1-a)(S_t + T_t)$$

Η παραπάνω σχέση δίνει την πρόβλεψη για την τιμή του οριζόντιου στοιχείου της μεταβλητής για την επόμενη περίοδο. Αντίστοιχα η πρόβλεψη της τιμής του (εξομαλυμένου) βήματος της τάσης  $T_{t+1}$  για την επόμενη περίοδο μπορεί να προκύψει μέσω της σχέσης :

$$T_{t+1} = b(S_{t+1} - S_t) + (1 - b)T_t$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πρόβλεψη της τιμής του οριζόντιου στοιχείου για την επόμενη περίοδο  $S_{t+1}$ , απαιτείται για τον υπολογισμό της πρόβλεψης του βήματος της ίδιας περιόδου  $t$ . Η προβλεπόμενη τιμή της μεταβλητής για την επόμενη περίοδο δίνεται τελικά από την σχέση:

$$F_{t+1} = S_{t+1} + T_{t+1} ,$$

και για την  $t + m$  περίοδο:

$$F_{t+m} = S_{t+1} + mT_{t+1}$$

ii. Το μοντέλο εκθετικής εξομάλυνσης με εποχικότητα.

Στην περίπτωση αυτή, η χρονοσειρά χαρακτηρίζεται εκτός από το οριζόντιο στοιχείο και από εποχικές διακυμάνσεις. Το μοντέλο στηρίζεται σε ένα δείκτη εποχικότητας,  $I_t$ , ο οποίος μπορεί να προκύψει αν για παράδειγμα πάρουμε την πραγματική μηνιαία ζήτηση για ένα προϊόν και τη διαιρέσουμε με την ετήσια μέση τιμή της μηνιαίας ζήτησης. Κατά συνέπεια ο δείκτης αυτός εκφράζει πόσο πάνω ή κάτω από το μέσο όρο του έτους κινήθηκε η ζήτηση του προϊόντος τον αντίστοιχο μήνα.

Στο μοντέλο αυτό, διακυμάνσεις παρουσιάζονται όχι μόνο στον οριζόντιο στοιχείο από μήνα σε μήνα, αλλά και στο δείκτη εποχικότητας κάθε μήνα, από χρόνο σε χρόνο. Έτσι η εξομάλυνση θα πρέπει να γίνεται και ως προς τα δυο στοιχεία.

Για την εφαρμογή του μοντέλου, η τιμή  $D_t$  της πραγματικής ζήτησης για τον τρέχοντα μήνα, διαιρείται με το δείκτη εποχικότητας, του προηγούμενου έτους  $I_{t-1}$  όπου  $L=12$ . Η σχέση με βάση την οποία εξομαλύνεται η τιμή του οριζόντιου στοιχείου κατά την τρέχουσα περίοδο είναι:

$$S_t = a \frac{D_t}{I_{t-L}} + (1 - a)S_{t-1}$$



Η εξομάλυνση των τιμών του δείκτη εποχικότητας για κάθε μήνα γίνεται βάση τη σχέση:

$$I_t = c \frac{D_t}{S_t} + (1-c)I_{t-L}$$

Όπου  $c$ , είναι η σταθερά εξομάλυνσης για τους δείκτες εποχικότητας. Έτσι η πρόβλεψη για την επόμενη περίοδο θα γίνει λαμβάνοντας υπ όψη και τα δύο στοιχεία με βάση τη σχέση:

$$F_{t+1} = S_t I_{t-L+1}$$

και για  $m$  περιόδους

$$F_{t+m} = S_t I_{t-L+m}$$

iii. Το μοντέλο εκθετικής εξομάλυνσης με τάση και εποχικότητα (μοντέλο Winders).

Στην περίπτωση που συνυπάρχουν το οριζόντιο στοιχείο με τα στοιχεία τάσης και εποχικότητας χρησιμοποιούμε το μοντέλο Winders, σύμφωνα με το οποίο η εξομάλυνση των τριών στοιχείων γίνεται με βάση τις παρακάτω σχέσεις

Εξομάλυνση Οριζόντιου Στοιχείου  $S_t = a \frac{D_t}{I_{t-1}} + (1-a)(S_{t-1} + T_{t-1})$

Εξομάλυνση Στοιχείου Τάσης  $T_t = b(S_t - S_{t-1}) + (1-b)T_{t-1}$

Εξομάλυνση Εποχικού Στοιχείου  $I_t = c \frac{D_t}{S_t} + (1-c)I_{t-L}$

Έτσι η πρόβλεψη για  $F_{t+1}$  για την επόμενη περίοδο γίνεται με βάση τη σχέση:

$$F_{t+1} = (S_t + T_t)I_{t-L+1}$$

και για  $m$  περιόδους

$$F_{t+m} = (S_t + mT_t)I_{t-L+m}$$

### 3.4.2. Αιτιακές μέθοδοι προβλέψεων.

Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται στην υπόθεση ότι η προς πρόβλεψη μεταβλητή (π.χ. η ζήτηση για ένα προϊόν) είναι συνάρτηση ενός ή περισσότερων ανεξάρτητων παραγόντων (όπως για παράδειγμα η τιμή, η διαφήμιση κ.α.) Στη περίπτωση αυτή αποβλέπουμε στο να εντοπίσουμε μια σχέση ανάμεσα στην εξαρτημένη (προς πρόβλεψη) μεταβλητή και στους ανεξάρτητους παράγοντες. Με βάση αυτή την σχέση, οι μελλοντικές τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής μπορούν να προβλεφθούν, αν έχουμε διαθέσιμη μια πρόβλεψη για τους ανεξάρτητους παράγοντες. Στην πράξη χρησιμοποιούνται 2 τύποι αιτιακών μοντέλων:

- Ø Η ανάλυση συσχέτισης ή παλινδρόμηση
- Ø Οι οικονομετρικές μέθοδοι.

Στην ανάλυση συσχέτισης ή παλινδρόμηση, κατασκευάζουμε μια εξίσωση η οποία εκφράζει την εξαρτημένη μεταβλητή ως συνάρτηση των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Οι οικονομετρικές μέθοδοι προβλέψεων αποτελούν επέκταση της ανάλυσης παλινδρόμησης και περιλαμβάνουν ένα σύστημα εξισώσεων παλινδρόμησης.

Για παράδειγμα το σύστημα :

Πωλήσεις =  $f_1$  (ΑΕΠ, τιμή πώλησης, διαφήμιση)

Κόστος παραγωγής =  $f_2$ (Επίπεδα παραγωγής και αποθεμάτων)

Έξοδα πωλήσεων =  $f_3$  (διαφήμιση, λοιπά έξοδα πωλήσεων)

Τιμή πωλήσεων =  $f_4$ ( κόστος και έξοδα πωλήσεων)

αποτελεί ένα οικονομετρικό μοντέλο

Στην ανάλυση απλής συσχέτισης ή παλινδρόμησης υποθέτουμε ότι η προς πρόβλεψη (εξαρτημένη) μεταβλητή, εξαρτάται από μια ανεξάρτητη μεταβλητή και η σχέση που συνδέει τις δύο αυτές μεταβλητές είναι γραμμική, της μορφής

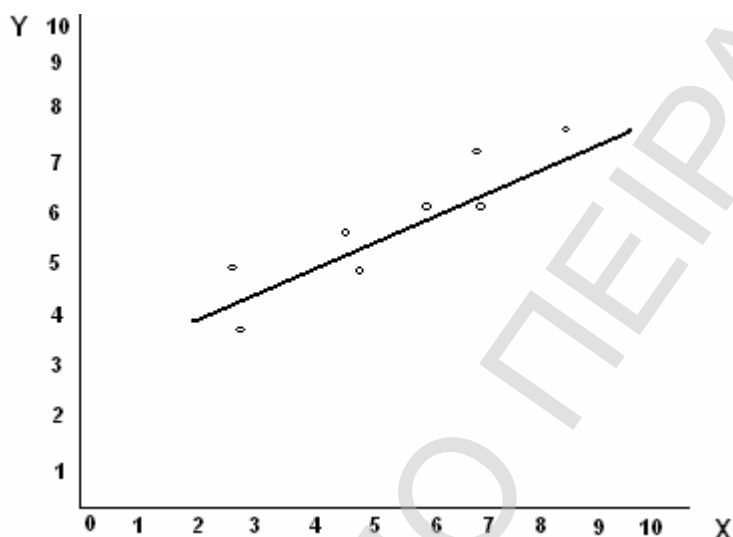
$$Y = \alpha + \beta X$$

όπου:  $\alpha$  = η τομή της ευθείας ( $Y = \alpha$ ) για  $X = 0$

$\beta$  = ο συντελεστής που μετράει την κλίση της ευθείας.

Κατά συνέπεια η ύπαρξη γραμμικής σχέσης μεταξύ των  $Y$  και  $X$  συνεπάγεται ότι κάθε αύξηση ή μείωση της τιμής της μεταβλητής  $X$ , συνεπάγεται μεταβολή της τιμής της μεταβλητής  $Y$  κατά μια ποσότητα που ισούται με την μεταβολή της  $X$  επί το

συντελεστή β. Σημαντικό ζήτημα στην ανάλυση συσχέτισης είναι να προσδιοριστεί ο βαθμός της γραμμικής συσχέτισης των δυο μεταβλητών για να μπορεί να γίνει φυσικά η υπόθεση της γραμμικής εξίσωσης η οποία θα μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα σε προβλέψεις.



Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εύρεση της ευθείας είναι η μέθοδος των ελάχιστων τετραγώνων. Ένα δεύτερο σημαντικό ζήτημα είναι να καθορίσουμε το μέγεθος της διασποράς των σημείων γύρω από την ευθεία  $Y = a + \beta X$  που έχουμε υπολογίσει, καθώς είναι ένα μέτρο της αξιοπιστίας της πρόβλεψης που γίνεται με την χρήση αυτής της μεθόδου. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούμε το Τυπικό Σφάλμα Συσχέτισης ΤΣΣ, που ορίζεται ως:

$$ΤΣΣ = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n - 2}}$$

Η γραμμικότητα της σχέσης, δηλαδή ο βαθμός στον οποίον ισχύει η υπόθεση ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών Y και X, μετριέται με τον συντελεστή προσδιορισμού  $r^2$  ο οποίος ορίζεται από την σχέση:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{\sum(Y - m_Y)^2} = \frac{a\sum Y + b\sum XY - nm_{Y^2}}{\sum Y^2 - nm_{Y^2}}$$

Ο συντελεστής προσδιορισμού παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1 και αποτελεί μέτρο της καταλληλότητας χρήσης της γραμμικής σχέσης που προκύπτει με βάση τα παραπάνω. Αν για παράδειγμα η απόκλιση μεταξύ των πραγματικών τιμών του  $Y$  και των αντίστοιχων εκτιμήσεων ήταν 0, τότε θα προέκυπτε  $r^2=1$ . Αν ο συντελεστής συσχέτισης προσδιορισμού έχει τιμή κοντά στο 0, τότε η ευθεία  $\underline{Y} = a + b\underline{X}$  εξηγεί ελάχιστα τις αποκλίσεις και δεν είναι κατάλληλη για να εξηγήσει την σχέση μεταξύ των δυο μεταβλητών.

Παρόμοιο μέτρο αποτελεί και ο συντελεστής συσχέτισης  $r$ . Ο συντελεστής μετράει το βαθμό της σχέσης που υπάρχει μεταξύ των δύο μεταβλητών και ισούται με την τετραγωνική ρίζα του συντελεστή προσδιορισμού. Οι τιμές του  $r$  κυμαίνονται μεταξύ -1 και +1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται το  $r$  στο 0 τόσο μικρότερη είναι η συσχέτιση των δυο μεταβλητών. Για  $r = +1$  (θετική συσχέτιση) ή για  $r = -1$  (αρνητική συσχέτιση), θεωρούμε ότι οι μεταβλητές έχουν απόλυτη συσχέτιση.

#### 3.4.3. Ποιοτικές μέθοδοι ή μέθοδοι κρίσης.

Οι μέθοδοι αυτοί βασίζονται σε υποκειμενικές εκτιμήσεις κυρίως στελεχών οι οποίες συνδυάζονται με ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία που είναι διαθέσιμα. Βρίσκουν κυρίως εφαρμογή σε προβλέψεις για την μελλοντική εξέλιξη μιας αγοράς, της τεχνολογίας κ.α.

#### 3.4.4. Αξιοπιστία Μεθόδων

Η αξιοπιστία μιας μεθόδου πρόβλεψης μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την απόκλιση που παράγεται από τη διαφορά μεταξύ προβλεπόμενης και πραγματικής τιμής της μεταβλητής. Η διαφορά αυτή, η οποία καλείται και σφάλμα πρόβλεψης μπορεί να μετρηθεί με διάφορες μεθόδους. Ας υποθέσουμε ότι το σφάλμα πρόβλεψης είναι η διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής  $D_t$  και της προβλεπόμενης τιμής  $F_t$  της μετρούμενης μεταβλητής στον χρόνο  $t$ . Έτσι έχουμε:

$$e_t = D_t - F_t$$

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε εναλλακτικά τις παρακάτω μετρήσεις:

i. Μέσο σφάλμα (ΜΣ) =  $\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e_t$ , όπου το  $N$  παριστάνει το πλήθος των στοιχείων

σε  $N$  χρονικές περιόδους υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι έχουμε προβλέψει και εξακριβώσει τιμές για την μετρούμενη μεταβλητή. Για να πετύχουμε καλύτερη

ακρίβεια στην μέθοδο πρόβλεψης που χρησιμοποιούμε, το μέσο σφάλμα (ΜΣ) θα πρέπει να είναι κοντά στο μηδέν. Υψηλή θετική τιμή του ΜΣ σημαίνει ότι η χρησιμοποιούμενη μέθοδος παράγει προβλεπόμενες τιμές ( $F_t$ ) μικρότερες από τις πραγματικές τιμές ( $D_t$ ), ενώ υψηλές αρνητικές τιμές του ΜΣ υποδεικνύουν ότι  $F_t > D_t$ . Το μειονέκτημα του ΜΣ έγκειται στο ότι οι θετικές αποκλίσεις εξουδετερώνονται από τις αρνητικές, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι μπορούμε να έχουμε ένα μικρό ΜΣ ακόμα και στην περίπτωση όπου υπάρχουν πολύ μεγάλες θετικές και αρνητικές αποκλίσεις.

ii. Μέση Απόλυτη απόκλιση (ΜΑΑ) =  $\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |e_t|$ . Η μέση τυπική απόκλιση δίνει παρόμοιες πληροφορίες με το ΜΣ, ενώ παράλληλα είναι απαλλαγμένη από το μειονέκτημα για το ΜΣ που αναφέρθηκε παραπάνω.

iii. Μέσο τετραγωνικό Σφάλμα (ΜΤΣ) =  $\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e_t^2$ . Το ΜΤΣ δίνει παρόμοιες πληροφορίες με την ΜΑΑ, ενώ παράλληλα «τιμωρεί» τις υψηλότερες αποκλίσεις καθώς κάθε απόκλιση ( $e_t$ ) υψώνεται στο τετράγωνο.

iv. Τυπική απόκλιση σφαλμάτων (ΤΑΣ) =  $\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N e_t^2}{N-1}}$ . Η ΤΑΣ παρέχει πληροφορίες όσον αναφορά την απόκλιση των απόλυτων τιμών των σφαλμάτων από την μέση τιμή τους.

v. Ποσοστιαίο Σφάλμα (ΠΣ) =  $\frac{e_t}{D_t} \times 100$ . Μετράει το ποσοστιαίο σφάλμα για μια περίοδο.

vi. Μέσο ποσοστιαίο σφάλμα. (ΜΠΣ) =  $\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{e_t}{D_t} \times 100$ . Μετράει το μέσο ποσοστιαίο σφάλμα (ΜΠΣ) επί τοις 100 για N περιόδους.

vii. Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (ΜΑΠΣ) =  $\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{e_t}{D_t} \times 100 \right|$ . Μετράει το πόσο «έξω» πέφτουν οι προβλέψεις ως ποσοστό της πραγματικής τιμής της υπό παρατήρηση μεταβλητής.

Πηγή: Παπλής Κ. (1995)

Οι μέθοδοι πρόβλεψης έχουν γίνει σημαντικό πεδίο έρευνας τόσο στην επιστημονική βιβλιογραφία όσο και πρακτικά στις καθημερινές δραστηριότητες των επιχειρήσεων. Ο Edward J. Marien (2001) στη μελέτη του: 'Demand Planning and Sales Forecasting: A Supply Chain Essential' τονίζει τη σημαντικότητα που έχει για την αποδοτική λειτουργία μιας αλυσίδας εφοδιασμού ο αποτελεσματικός προγραμματισμός της ζήτησης και η διαδικασία προβλέψεων.

### 3.5. Θεωρία των αποφάσεων

Η θεωρία των αποφάσεων είναι μια γενική προσέγγιση στην λήψη αποφάσεων, όταν τα αποτελέσματα τα οποία σχετίζονται με τις εναλλακτικές αποφάσεις που έχουμε στη διάθεσή μας είναι αβέβια ή περιέχουν ρίσκο. Είναι ένα βοηθητικό εργαλείο στη διάθεση των στελεχών όταν καλούνται να πάρουν αποφάσεις σχετικά με διαδικασίες, θέματα δυναμικότητας και τοποθεσίας, λόγω του ότι οι αποφάσεις για τέτοια θέματα αφορούν ένα αβέβαιο μέλλον. Χρησιμοποιώντας τη Θεωρία των Αποφάσεων ο εκτιμητής μπορεί να έχει διάφορες εναλλακτικές χρησιμοποιώντας την παρακάτω διαδικασία:

- i. Κατασκευή λίστας των εφικτών εναλλακτικών. Αρχικά λοιπόν κατασκευάζεται μια λίστα με όλες τις δυνατές εναλλακτικές λύσεις στο πρόβλημα. Μια εναλλακτική που χρησιμοποιείται πάντοτε ως βάση είναι η λήψη καμίας ενέργειας. Επίσης μια βασική υπόθεση είναι ότι ο αριθμός των εναλλακτικών είναι πεπερασμένος. Για παράδειγμα, στην διαδικασία λήψη απόφασης για την εγκατάσταση μιας καινούργιας αποθήκης σε μια εγκεκριμένη περιοχή ο εκτιμητής θα μπορούσε θεωρητικά να λάβει υπ' όψη του κάθε σημείο συντεταγμένων στο χάρτη. Στη πραγματικότητα όμως θα πρέπει να λάβει υπ' όψη του ένα μικρότερο, αλλά πιο ρεαλιστικό αριθμό εναλλακτικών.
- ii. Καταγραφή των γεγονότων –εναλλακτικά καλείται και καταστάσεις φύσης (states of nature)- τα οποία έχουν επίδραση στο αποτέλεσμα της εναλλακτικής αλλά δεν είναι υπό τον έλεγχο του εκτιμητή. Τα γεγονότα πρέπει να είναι αμοιβαία αποκλειόμενα, πράγμα που σημαίνει ότι δεν αλληλοκαλύπτονται και περιλαμβάνουν όλα τα ενδεχόμενα γεγονότα.
- iii. Υπολογισμός της απόδοσης για κάθε εναλλακτική σε κάθε γεγονός. Τυπικά η απόδοση αναπαριστά συνολικά έσοδα ή συνολικό κόστος.

iv. Εκτίμηση της πιθανότητας για κάθε γεγονός, χρησιμοποιώντας είτε παρελθόντα στοιχεία, είτε την γνώμη ειδικών στελεχών ή κάποια μέθοδο πρόβλεψης. Είναι απαραίτητο αυτός που λαμβάνει την απόφαση να εκφράζει τις εκτιμήσεις του σε πιθανότητες, έτσι ώστε να εξασφαλίσει ότι αθροίζουν στο 1. Έπειτα μπορεί να αναπτύξει εκτιμήσεις πιθανοτήτων από παρελθόντα στοιχεία, αν αυτά μπορούν να θεωρηθούν καλός δείκτης για το μέλλον.

v. Τελικά ο εκτιμητής επιλέγει ένα κανόνα αποφάσεων για να εκτιμήσει τις εναλλακτικές που έχει, όπως για παράδειγμα επιλογή της εναλλακτικής με το χαμηλότερο προσδοκώμενο κόστος. Ο κανόνας βάση του οποίου θα παρθεί η απόφαση, εξαρτάται από την ποσότητα της πληροφορίας που έχει στη διάθεση του όσο αφορά τις πιθανότητες των γεγονότων καθώς και την στάση του απέναντι στο ρίσκο.

Κάτω από τις διαδικασίες της θεωρίας των αποφάσεων, οι αποφάσεις εξετάζονται μέσα από τρεις διαφορετικές καταστάσεις: την αβεβαιότητα, την βεβαιότητα, και ο ρίσκο.

1. Λήψη αποφάσεων κάτω από συνθήκες βεβαιότητας. Πρόκειται για την απλούστερη κατάσταση, όπου ο εκτιμητής, γνωρίζει ποιο γεγονός πρόκειται να συμβεί. Με βάση τη θεωρία των αποφάσεων ο κανόνας είναι να επιλέξουμε την εναλλακτική που δίνει τη καλύτερη απόδοση για το γεγονός αυτό. Στην περίπτωση που η απόδοση εκφράζεται με έσοδα, η καλύτερη εναλλακτική είναι αυτή που αποδίδει το υψηλότερο έσοδο, ενώ αν εκφράζεται σε κόστος, τότε η καλύτερη εναλλακτική είναι αυτή που αποδίδει το χαμηλότερο κόστος. Στην πραγματικότητα όμως είναι σπάνιο να υπάρχουν συνθήκες πλήρης βεβαιότητας, έτσι ώστε ο εκτιμητής να πάρει τη βέλτιστη απόφαση.

2. Λήψη αποφάσεων κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας. Στην περίπτωση αυτή υποθέτουμε ότι αυτός που αποφασίζει μπορεί να καταγράψει τα πιθανά γεγονότα που πρόκειται να συμβούν, αλλά δεν μπορεί να εκτιμήσει τις πιθανότητες τους και κατά συνέπεια το ενδεχόμενο ρίσκο. Η θεωρία των Αποφάσεων προτείνει έναν από τους τέσσερις παρακάτω κανόνες.

- a. Maximin – Επιλογή της εναλλακτικής που θεωρείται «η καλύτερη από τις χειρότερες». Ο κανόνας αυτός ταιριάζει στα απαισιόδοξα στελέχη που περιμένουν την χειρότερη περίπτωση για κάθε εναλλακτική.

- b. Maximax. – Επιλογή της εναλλακτικής που είναι η καλύτερη από τις καλύτερες. Ο κανόνας αυτός ταιριάζει στα αισιόδοξα στελέχη οι οποίοι έχουν υψηλές προσδοκίες.
- c. Laplace – Επιλογή της εναλλακτικής με το καλύτερο σταθμικό αποτέλεσμα. Για την εύρεση του καλύτερου σταθμικού αποτελέσματος (weighted payoff) , αυτός που παίρνει τις αποφάσεις μπορεί να αποδώσει ίση χρησιμότητα (ή αντίστοιχα ίση πιθανότητα) σε κάθε γεγονός. Αν υπάρχουν  $n$  γεγονότα, η χρησιμότητα (ή πιθανότητα) του καθενός είναι ίση με  $1/n$ . Έτσι αθροίζουν στο 1 και ο κανόνας αυτός ταιριάζει στους πιο ρεαλιστικούς.
- d. Minimax regret - Επιλογή εναλλακτικής με την καλύτερη «χειρότερη απώλεια». Στην περίπτωση αυτή υπολογίζουμε ένα πίνακα απωλειών (ή ευκαιριακού κόστους) στον οποίο οι γραμμές αναπαριστούν τις εναλλακτικές και οι στήλες γεγονότα. Μια απώλεια (regret) είναι η διαφορά μεταξύ μιας δεδομένης ανταμοιβής (payoff) και της καλύτερης ανταμοιβής στην ίδια στήλη. Για ένα γεγονός δείχνεται πόσο μας κοστίζει η επιλογή μιας εναλλακτικής σε σχέση με αυτή που είναι η καλύτερη για το γεγονός. Η απώλεια μπορεί να είναι χαμένα κέρδη, η αυξημένα κόστη, ανάλογα με την περίπτωση.

### 3. Λήψη αποφάσεων κάτω από συνθήκες ρίσκου.

Η θεωρία των αποφάσεων στην περίπτωση αυτή υποθέτει ότι ο εκτιμητής μπορεί εκτός από το να καταγράφει τα γεγονότα, να εκτιμήσει τις πιθανότητες τους. Στη περίπτωση αυτή ο εκτιμητής, έχει στη διάθεση του σίγουρα λιγότερη πληροφόρηση απ' ό,τι στην περίπτωση που θα λάμβανε μια απόφαση υπό συνθήκες βεβαιότητας. Για αυτή την ενδιάμεση κατάσταση χρησιμοποιείται ευρέως ο κανόνας της προσδοκώμενης αξίας. Η προσδοκώμενη αξία για μια εναλλακτική βρίσκεται με το να δώσουμε ανάλογη βαρύτητα (weight) σε κάθε ανταμοιβή με την αντίστοιχή της πιθανότητα. Η εναλλακτική με την καλύτερη προσδοκώμενη αξία (υψηλότερα κέρδη – χαμηλότερο κόστος) επιλέγεται.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1. Αβεβαιότητα και Ρίσκο σε Αλυσίδες Εφοδιασμού

Η Αβεβαιότητα υπάρχει σε κάθε κύτταρο μιας Αλυσίδας Εφοδιασμού (Lee and Billington, 1995). Τυπικά κάθε Αλυσίδα εφοδιασμού μπορεί να χαρακτηριστεί από «πολυπλοκότητα» και «έμφυτη αβεβαιότητα» στις διαδικασίες της. Κατά συνέπεια η προσπάθεια να μοντελοποιήσουμε μια Αλυσίδα Εφοδιασμού είναι ένα δύσκολο αντικείμενο έρευνας, πόσο μάλλον όταν η μοντελοποίηση πρέπει να λάβει υπ' όψιν της και το παράγοντα της αβεβαιότητας.

Δύο κύριες πηγές που έχουν αποδειχθεί ότι δημιουργούν αβεβαιότητα σε μία Αλυσίδα Εφοδιασμού είναι η Ζήτηση και οι Χρόνοι παράδοσης στους πελάτες (εσωτερικούς και εξωτερικούς), ενώ μια επιπλέον αβεβαιότητα που προβληματίζει κάθε επιχείρηση είναι το πώς η τρέχουσα τεχνογνωσία, οι διαθέσιμοι πόροι και το ανθρώπινο δυναμικό της αλυσίδας θα διατηρηθούν ή θα τροποποιηθούν κατάλληλα έτσι ώστε να αποδώσουν αποτελεσματικά και στο μέλλον. (Jukka Hallikas, Iris Karvonen, Urho Pulkkinen, Veli-Matti Virolainen, Marku Tuominen, 2004 )

Οι Hallikas J. et al, στο άρθρο τους 'Risk Management processes in supplier networks' (2004), αναλύουν επίσης το ρίσκο σε μια αλυσίδα εφοδιασμού στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες:

1) Πολύ χαμηλή ή ακατάλληλη Ζήτηση: Προβλήματα σε μία επιχείρηση που σχετίζονται με τη ζήτηση μπορούν να οφείλονται σε μειωμένη ζήτηση τελικών προϊόντων λόγω των οικονομικών τάσεων που επικρατούν στην αγορά ή σε αλλαγές που σχετίζονται και έχουν επίπτωση με το παραγόμενο προϊόν. Είναι επίσης πιθανών η ζήτηση για το προϊόν στην αγορά να μην είναι μειωμένη αλλά ο κατασκευαστής να χάνει τη θέση του στην αγορά (λόγω ανταγωνισμού, ενδοεπιχειρησιακών προβλημάτων, κ.α.). Επιπλέον η επιτυχία του Κατασκευαστή δεν εγγυάται παράλληλα και την επιτυχία του προμηθευτή καθώς ο τελευταίος μπορεί να αντικατασταθεί από ανταγωνιστές στην αγορά αν αυτοί μπορούν να εφοδιάσουν με καλύτερο τρόπο το Κατασκευαστή.

Πολύ υψηλή Ζήτηση μπορεί επίσης να είναι ριψοκίνδυνη αν η επιχείρηση δεν είναι ικανή να προσαρμόσει το δυναμικό της και τις λειτουργίες της στην αύξηση της ζήτησης.

2) Προβλήματα κατά την εκπλήρωση των παραδόσεων στους πελάτες: Σε ένα ιεραρχικό δίκτυο παραδόσεων, κάθε ενεργή επιχείρηση είναι υπεύθυνη για τις παραδόσεις προϊόντων και υπηρεσιών στο επόμενο ιεραρχικό επίπεδο. Κατά συνέπεια κάθε επιχείρηση σε μια αλυσίδα εφοδιασμού θα πρέπει να ελέγχει αποτελεσματικά όχι μόνο τις δικές της παραδόσεις αλλά και αυτές των προμηθευτών της. Καθώς η τιμή είναι τις περισσότερες φορές προκαθορισμένη πριν τη παράδοση, τα κύρια ζητήματα που πρέπει να ελεγχθούν είναι η ποιότητα παράδοσης και ο χρόνος.

3) Διαχείριση κόστους και τιμολόγηση: Η γνώση της ζήτησης και η εκπλήρωση των παραδόσεων δεν είναι από μόνα τους αποτελεσματικά για να είναι μια επιχείρηση κερδοφόρα. Θα πρέπει να είναι ικανή να διαχειρίζεται αποτελεσματικά το κόστος των δραστηριοτήτων της, (σταθερό και μεταβλητό). Οι αυξημένες δραστηριότητες και ευθύνες πολλές φορές απαιτούν και αυξημένες επενδύσεις, κατά συνέπεια το ρίσκο από τις επενδύσεις αυτές αυξάνει. Σε κύκλους υψηλής ζήτησης προϊόντων οι επιχειρήσεις είναι επιρρεπείς στο να ριψοκινδυνεύουν την ικανότητα τους για τον έλεγχο του κόστους των δραστηριοτήτων και των επενδύσεών τους.

4) Αδυναμία όσον αναφορά τη πρόσβαση σε πρώτες ύλες, την ανάπτυξη της επιχείρησης και την ευελιξία στις αλλαγές του περιβάλλοντος. Η διαθεσιμότητα Α΄ Υλών στα επιθυμητά επίπεδα (χρόνος, τόπος, ποσότητα, ποιότητα και τιμή) αποτελούσε πάντοτε παράγοντα κλειδί για τη απόδοση και την αποτελεσματικότητα κάθε Αλυσίδας Εφοδιασμού. Από την άλλη μεριά δεν θα πρέπει να παραβλέπουμε το γεγονός ότι οι αγορές και τα προϊόντα αλλάζουν συνέχεια και νέοι ανταγωνιστές εμφανίζονται διαρκώς. Αν μια επιχείρηση θέλει να παραμείνει στην Αλυσίδα Εφοδιασμού που δραστηριοποιείται θα πρέπει να ακολουθεί τις τάσεις της αγοράς, να αναπτύσσεται και να δημιουργεί νέα τεχνογνωσία αν είναι απαραίτητο. Πολλοί κατασκευαστές θεωρούν την ικανότητα για ανάπτυξη ως ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια κατά την επιλογή των προμηθευτών τους. Παρ' όλα αυτά κάθε επιχείρηση αναλαμβάνει εξ' ολοκλήρου μόνη της το ρίσκο των επενδύσεων σε αλλαγές και

περαιτέρω ανάπτυξη, γι' αυτό κάθε επένδυση θα πρέπει να βασίζεται σε προσεκτικό σχεδιασμό και σκέψη για το μέλλον και τους στόχους της επιχείρησης και όχι απλά στις επιθυμίες της 'επιχείρησης πελάτη'.

Με βάση τις πολλές προσεγγίσεις που έχουν γίνει στο θέμα της αβεβαιότητας, μπορούμε να θεωρήσουμε την αβεβαιότητα σε μια Αλυσίδα Εφοδιασμού ως τη διαφορά μεταξύ Προσδοκιών και Αποτελέσματος. Η αλήθεια πάντως είναι ότι η διαφορά αυτή έχει επιπτώσεις σε κάθε επιχείρηση που αφορούν:

- Οικονομικές Επιπτώσεις, δηλαδή οικονομικό και ευκαιριακό κόστος.
- Κόστος Διόρθωσης (που επιβαρύνει τις πρώτες Ύλες και το Απόθεμα).
- Ανεπιθύμητες παράπλευρες επιπτώσεις (π.χ. φήμη της επιχείρησης).

Η αβεβαιότητα σε μια Αλυσίδα Εφοδιασμού μπορεί επίσης να κατηγοριοποιηθεί ως 'εσωτερική' και 'εξωτερική'. Η εσωτερική αβεβαιότητα αναφέρεται στο εσωτερικό περιβάλλον της Αλυσίδας Εφοδιασμού και γεννιέται από την ανθρώπινη συμπεριφορά, τα πληροφοριακά συστήματα και τις εσωτερικές λειτουργίες-δραστηριότητες κατά μήκος της Αλυσίδας. Η εξωτερική αβεβαιότητα παράγεται από της διακυμάνσεις στην αγορά και τη ζήτηση και γενικά είναι πολύ πιο δύσκολο να τη διαχειριστούμε και να την προβλέψουμε.

Με βάση το χρονικό ορίζοντα όπου διάφοροι τύποι αβεβαιότητας επηρεάζουν μια Αλυσίδα Εφοδιασμού οι Subrahmanyam, Perky and Reklaitis (1994) κατηγοριοποίησαν αυτούς τους τύπους σε βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες αβεβαιότητες. Οι βραχυπρόθεσμες αβεβαιότητες μπορεί να περιλαμβάνουν ημερήσιες διακυμάνσεις σε διαδικασίες, ακυρωμένες / επείγουσες παραγγελίες, αστοχίες εξοπλισμού και μηχανών, κ.α., ενώ οι μακροπρόθεσμες αβεβαιότητες αναφέρονται για παράδειγμα σε διακυμάνσεις των τιμών Α΄ Υλών / τελικών προϊόντων, σε εποχιακές διακυμάνσεις της ζήτησης, σε αλλαγές των ρυθμών παραγωγής που λαμβάνουν χώρα κατά διαστήματα, κ.α.

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το σημερινό επιχειρηματικό περιβάλλον είναι ευάλωτο λόγω της αβεβαιότητας που κυριαρχεί. Χωρίς ξεκάθαρες τάσεις για τις οικονομικές, νομικές και πολιτικές αλλαγές πολλές επιχειρήσεις αισθάνονται ανασφαλής όσον αναφορά το πώς θα πρέπει να αντιδράσουν στο προσκήνιο των διεθνών αλλαγών των δικτύων διανομών και των παγκοσμίων αγορών.

Η ανασφάλεια που επικρατεί στις επιχειρήσεις σίγουρα είναι βάσιμη. Για το λόγο αυτό πρωταρχικός στόχος για κάθε επιχείρηση θα πρέπει να είναι η διατήρηση ισχυρών σχέσεων με τους πελάτες ιδιαίτερα στη σημερινή εποχή όπου το διαθέσιμο εισόδημα και το ηθικό των καταναλωτών είναι μειωμένα.

Τα τελευταία χρόνια πολλές επιχειρήσεις έχουν προσπαθήσει να απλοποιήσουν τις διαδικασίες τους με παράλληλη μείωση του κόστους μέσω της εξωτερίκευσης διαδικασιών (outsourcing) όπως η διανομή, η αποθήκευση, ακόμα και η παραγωγή. Όμως παρ' όλο που μέσω της εξωτερίκευσης των διαδικασιών σε μία επιχείρηση, επιτυγχάνεται μείωση του λειτουργικού κόστους, από την άλλη μεριά, η εξωτερίκευση διαδικασιών προσθέτει πολυπλοκότητα στις διαδικασίες και την επικοινωνία με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο βαθμός της αβεβαιότητας, λόγω των πολλαπλών τμημάτων διαχείρισης (μέσα και έξω από την επιχείρηση) που εμπλέκονται. Η εξωτερίκευση των διανομών, της αποθήκευσης, της παραγωγής, η παρακολούθηση του αποθέματος από τους προμηθευτές (Vendor Managed Inventory – VMI) και η διαδικασία της συνεχούς αναπλήρωσης του αποθέματος, αυξάνουν την εξάρτηση της επιχείρησης από εξωτερικούς επιχειρησιακούς συνεργάτες με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο βαθμός πολυπλοκότητας της επικοινωνίας και να είναι περισσότερο πιθανό να δημιουργούνται μέσα στην επιχείρηση καταστάσεις επικοινωνιακού χάους.

Οι σύγχρονες αλυσίδες εφοδιασμού συνδυάζουν πολλά συμμετέχοντα μέλη (προμηθευτές, κατασκευαστές, διανομείς, κ.α.), πολύπλοκες διαδικασίες και σύγχρονα πληροφοριακά συστήματα διαχείρισης και λήψης αποφάσεων. Αλλά οι πελάτες σήμερα περιμένουν πλήρη ενημέρωση για όλα τα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού και απαιτούν αδιάκοπη και ομαλή ροή των προϊόντων, J. Blackhurst , T. Wu, P. O' Grady (2002). Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα στις επιχειρησιακές διαδικασίες, και το τρέχον οικονομικό και πολιτικό περιβάλλον επιβάλλουν στις επιχειρήσεις να είναι προετοιμασμένες κάθε στιγμή να αντιμετωπίσουν πολλαπλούς βαθμούς ρίσκου.

Σήμερα η ροή των αγαθών και πληροφοριών σε μία Αλυσίδα Εφοδιασμού δεν είναι συνεχής και γραμμική, αλλά αναπαριστάται από πολύπλοκα δίκτυα πολλαπλών διαδρομών και συμμετεχόντων μερών. Οι διαφορές σε επιχειρησιακές διαδικασίες, πληροφοριακά συστήματα, κουλτούρες και πολιτικές που επικρατούν ανάμεσα στα διαφορετικά μέλη της Αλυσίδας αυξάνουν την πολυπλοκότητα και τη δυσκολία εκτέλεσης ακόμα και των απλών καθημερινών διαδικασιών, δημιουργώντας

καταστάσεις αβεβαιότητας και χάους. Συνέπεια των παραπάνω είναι και η δυσκαμψία των επιχειρήσεων στο να προβούν σε αλλαγές όταν χρειάζεται, αφού θα πρέπει να προσαρμοστεί στις αλλαγές αυτές ολόκληρο το δίκτυο εφοδιασμού.

Πώς λοιπόν θα πρέπει οι επιχειρήσεις να είναι πάντοτε σε ετοιμότητα όταν κανείς δεν ξέρει τι να περιμένει; Πώς οι επιχειρήσεις θα μπορέσουν να διατηρηθούν σε αλυσίδες εφοδιασμού αποτελεσματικού κόστους ενώ παράλληλα πρέπει να εκπληρώνουν στο ακέραιο τις παραγγελίες των πελατών τους; Πολλές επιχειρήσεις έχουν ξοδέψει πολύ χρόνο, χρήμα και ενέργεια με σκοπό να βελτιώσουν τα συστήματα προγραμματισμού και προβλέψεων σε μία προσπάθεια να αποφύγουν προβλήματα όπως ανεπιθύμητα stock outs, πλεονάζον απόθεμα και καθυστερημένες παραδόσεις. Αυτές οι προσπάθειες για τη μείωση του εσωτερικού ρίσκου σε ευμετάβλητες αλυσίδες εφοδιασμού, απέδωσαν μέτρια επιτυχία ενώ αποδείχθηκαν δαπανηρές. Δυστυχώς η αγοραστική συμπεριφορά του σύγχρονου καταναλωτή είναι πολύ ευμετάβλητη, ειδικά σε περιόδους οικονομικής και πολιτικής αβεβαιότητας. Η επιτυχία ενός τέλει σχεδίου δεν είναι ρεαλιστική και για το λόγο αυτό τα εργαλεία σχεδιασμού και προγραμματισμού στις αλυσίδες εφοδιασμού δεν απέδωσαν τα αποτελέσματα που υπόσχονταν.

Στο τομέα της τεχνολογίας ηγέτες αγορών όπως για παράδειγμα η Cisco και η Intel κατέγραφαν εκατομμύρια δολαρίων σε απόθεμα όταν η ζήτηση μειώθηκε. Το παράδειγμα αυτό αποδεικνύει ότι ακόμα και η πιο επιτυχημένες εταιρείες δεν είναι απόλυτα θωρακισμένες στις απρόβλεπτες αλλαγές της αγοράς. Οι προσπάθειες και οι επενδύσεις με στόχο πιο αποτελεσματικό προγραμματισμό απέφεραν λιγότερα αποτελέσματα από τα επιθυμητά λόγω του ότι δεν μπόρεσαν να καταστήσουν αποτελεσματική την ολοκληρωμένη ενσωμάτωση επιχειρησιακών διαδικασιών και συστημάτων πληροφόρησης μεταξύ των συμμετεχόντων μερών στην αλυσίδα εφοδιασμού (μέσα και έξω από την επιχείρηση). Οι απρογραμμάτιστες αλλαγές σε μία επιχείρηση κοστίζουν, παρ' όλα αυτά συμβαίνουν καθημερινά σε όλες τις επιχειρήσεις. Για παράδειγμα μία καθυστερημένη παράδοση μπορεί να επιφέρει stock outs, μια χαμένη παραγγελία θα οδηγήσει σε μείωση του επιπέδου εξυπηρέτησης του πελάτη και δυσφήμιση της επιχείρησης, όμως η επιχείρηση η οποία θα διαφοροποιηθεί από τους ανταγωνιστές της είναι αυτή που είναι προετοιμασμένη να αντιδράσει γρήγορα σε αναπάντεχες περιπτώσεις αλλαγών και κρίσεων.

Τα πλεονέκτημα εφαρμογής τεχνικών just in time δεν μπορούν να αντισταθμίσουν την πιθανότητα απρόβλεπτων διακοπών και αλλαγών και έτσι πολλές

επιχειρήσεις αναγκάζονται να διατηρούν αποθέματα και να μην εξωτερικεύουν διαδικασίες σε μακρινή απόσταση από την επιχείρηση για να μπορούν να προστατέψουν την ομαλή ροή των προϊόντων τους στην αλυσίδα εφοδιασμού. Παρ' όλα αυτά πάντοτε υπάρχει η ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση του αποθέματος καθώς αυτό μπορεί να καταστραφεί, να απαξιωθεί ή να χαλάσει, ενώ παράλληλα η αποθήκευση του και μόνο κοστίζει στην επιχείρηση. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι μακροπρόθεσμα η διατήρηση αποθεμάτων δεν αποτελεί την ιδανική λύση κατά της μείωσης του ρίσκου, αλλά εξομαλύνει περιοδικές εκρήξεις της ζήτησης ή αναπάντεχων προβλημάτων στην αποδοτικότητα της επιχείρησης. Η αντιμετώπιση της αβεβαιότητας και των απάντεχων προβλημάτων θα πρέπει να γίνεται υπό μια ευρύτερη διαχείριση ολόκληρης της αλυσίδας εφοδιασμού και όχι απλά στο εσωτερικό κάθε επιχείρησης.

Στη General Motors το 1999 μια απεργία διάρκειας 18 ημερών στο εργοστάσιο ενός προμηθευτή προκάλεσε καθυστερήσεις σε 26 εργοστάσια συναρμολόγησης. Το ευκαιριακό κόστος ήταν η μείωση των εσόδων του τετραμήνου κατά 900 εκατομμύρια δολάρια. Στη Boeing το 1997 δύο προμηθευτές κλειδιά απέτυχαν να παραδώσουν εξαρτήματα κρίσιμης σημασίας στο χρόνο που έπρεπε. Το ευκαιριακό κόστος στη περίπτωση αυτή αποτιμήθηκε σε 2,6 δισεκατομμύρια δολάρια. Στη Sony μία έλλειψη σε τσιπάκια γραφικών ενός παιχνιδιού το 2000 προκάλεσε τη μείωση κατά 50% των αποστολών προς ΗΠΑ από αυτές που είχαν αρχικά προγραμματιστεί. Το 2000 η Ericsson έχασε τρεις βαθμούς μεριδίων αγοράς από τη Nokia και αναγκάστηκε να αποσυρθεί από την αγορά των handset, εξ' αιτίας πυρκαγιάς στο εργοστάσιο της Philips Electronics στο New Mexico που είχε ως αποτέλεσμα την μη παράδοση βασικών chip για την κατασκευή των handset.

Στις σημερινές δυναμικές και ευμετάβλητες αγορές η διατήρηση μιας αποτελεσματικής και ευέλικτης αλυσίδας εφοδιασμού παραμένει πραγματική πρόκληση για της περισσότερες επιχειρήσεις, δεδομένων των περιορισμών που επικρατούν στην αγορά και των συνεχών αυξανόμενων απαιτήσεων των καταναλωτών.

Η κατανόηση της αβεβαιότητας και των επιπτώσεων που αυτή έχει μπορεί να προφυλάξει μια επιχείρηση από διάφορες απειλές και παράλληλα η ίδια μπορεί να εκμεταλλευτεί τις ευκαιρίες που παρέχουν οι καταστάσεις υψηλού ρίσκου. Για παράδειγμα μια από τις κυριότερες πηγές αβεβαιότητας σε κάθε σύστημα παραγωγής – διανομής είναι η ζήτηση τελικών προϊόντων. Η αδυναμία υπολογισμού σημαντικών

διακυμάνσεων στη ζήτηση μπορεί να οδηγήσει σε δυσαρεστημένους πελάτες , το οποίο μεταφράζεται σε χαμένα μερίδια αγοράς και προοδευτικά αυξημένα κόστη (Petkov and Maranas 1997), δυσάρεστα σενάρια για κάθε επιχείρηση ιδίως σήμερα που τα περιθώρια κέρδους είναι ιδιαίτερα μικρά.

Ο Alan Duncan (Supply Chain University) ισχυρίζεται ότι η οικονομική, οργανωσιακή και φυσική δομή μιας επιχείρησης είναι οι κύριοι παράγοντες που γεννούν όλες τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με τις προσδοκίες των ενδιαφερόμενων μερών.

### Current Financial, Organisational and Physical Structure



Ένα αβέβαιο περιβάλλον απαιτεί από μια επιχείρηση να έχει οργανωσιακή ευελιξία (Steven Lysonski, Michael Levas and Noel Lavenka). Οι επιχειρήσεις οι οποίες έχουν οργανωθεί για να λειτουργούν σε αξιόπιστες και σταθερές αγορές δεν θα μπορούν να είναι αποτελεσματικές σε ένα περίπλοκο και ταχέως ευμετάβλητο περιβάλλον (Gordon and Narayanan 1984; Spekman and Stern, 1979). Κατά συνέπεια η δομή μιας επιχείρησης θα πρέπει να εξαρτάται από το βαθμό στον οποίο το εξωτερικό περιβάλλον στο οποίο δραστηριοποιείται είναι αβέβαιο και δυναμικό. Όταν η αβεβαιότητα είναι μεγάλη η επιχείρηση θα πρέπει να έχει μια πιο ευέλικτη και ευπροσάρμοστη δομή έτσι ώστε να μπορεί να ανταποκρίνεται γρήγορα και αποτελεσματικά στις δυναμικές αλλαγές του περιβάλλοντος.

Εμπειρικές μελέτες σε μακρο οργανωσιακές συμπεριφορές υποδεικνύουν ότι η οργανωτική δομή μιας επιχείρησης θα πρέπει να βασίζεται στα χαρακτηριστικά

του περιβάλλοντος όπου αυτή δραστηριοποιείται. Ο Lysonski (1985) όρισε την 'αβεβαιότητα του περιβάλλοντος' (environmental uncertainty) ως «μη προβλεψιμότητα προερχόμενη από την έλλειψη διαύγειας σε μια πληροφορία, το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την επαλήθευση μια πληροφορίας και την φύση των αιτιακών σχέσεων».

Στη φύση των σχέσεων των διαφόρων ομάδων σε μία αλυσίδα εφοδιασμού στηρίχθηκε ο Duncan (1972) για να ισχυριστεί ότι « η αβεβαιότητα αναδεικνύεται λόγω της μη προβλεψιμότητας στη συμπεριφορά των διάφορων ομάδων σε μια αλυσίδα εφοδιασμού, όπως είναι για παράδειγμα οι προμηθευτές, οι πελάτες, οι ανταγωνιστές, όλοι εκ των οποίων περιλαμβάνουν το εξωτερικό περιβάλλον μιας επιχείρησης».

Στις όλο και περισσότερο αβέβαιες αγορές της εποχής μας, οι ραγδαίες απρόβλεπτες αλλαγές που οφείλονται κυρίως στην ύπαρξη νέων τεχνολογιών, στο διαρκώς αυξανόμενο ανταγωνισμό, στις κυμαινόμενες τιμές των αγαθών, στις αλλαγές των νομικών καθεστώτων που προκαλούνται από τις κυβερνήσεις, στα απρόβλεπτα κόστη, στα μειωμένα περιθώρια κέρδους, στην πίεση για μειωμένους χρόνους παράδοσης κ.α. απειλούν τη κερδοφορία μιας επιχείρησης και όσο περισσότερο αβέβαιο είναι το περιβάλλον τόσο περισσότερη είναι η αναγκαιότητα για πληροφόρηση και συνεχή παρακολούθηση των παραγόντων που ρυθμίζουν μια αγορά, ενώ παράλληλα τόσο δυσκολότερη γίνεται η διαδικασία λήψης αποφάσεων, Cem Canel (1995).

Συγκεκριμένα σε κάθε Αλυσίδα Εφοδιασμού η αβεβαιότητα εμφανίζεται όταν καλούμαστε να λάβουμε αποφάσεις που αφορούν:

- Την πραγματοποίηση μια επένδυσης με στόχο την υψηλή απόδοση (return on investment).

Κάθε επένδυση γίνεται με στόχο την όσο το δυνατόν υψηλότερη απόδοση στο μικρότερο χρόνο. Όμως κάθε επένδυση συνοδεύεται από ένα βαθμό ρίσκου. Μάλιστα όσο μεγαλύτερο βαθμό ρίσκου εμπεριέχει μια επένδυση τόσο μεγαλύτερες αποδόσεις είναι δυνατόν να επιτευχθούν και το αντίστροφο. Ο στόχος είναι για κάθε επιχείρηση να επιτύχει το βέλτιστο εκείνο σημείο όπου η αναμενόμενη απόδοση με το μικρότερο δυνατό κόστος θα συνοδεύεται και από τον ελάχιστο βαθμό ρίσκου.



- Την αποτελεσματική αντιμετώπιση των διακυμάνσεων που αφορούν τη ζήτηση και τον εφοδιασμό.

Υπάρχει μια έμφυτη αβεβαιότητα που συνδέεται με τη Ζήτηση και τον Εφοδιασμό και αυτό διότι η αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τη ζήτηση τελικών προϊόντων ή υπηρεσιών μετασχηματίζεται ως αβεβαιότητα, κατά μήκος μιας Αλυσίδας Εφοδιασμού, απαιτήσεων σε Α΄ Ύλες, μηχανές και ανθρώπινους πόρους. Ας δούμε όμως αναλυτικότερα πως δουλεύει αυτός ο μετασχηματισμός: Η αβεβαιότητα της ζήτησης της αγοράς επηρεάζει την απόδοση και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών του προγραμματισμού που γίνονται από τη παραγωγή με σκοπό την ικανοποίηση των πωλήσεων. Αυτή η αβεβαιότητα, η οποία καταλήγει σε αστάθεια του προγράμματος παραγωγής, επηρεάζει τις σχέσεις με τους προμηθευτές από τους οποίους η επιχείρηση προμηθεύεται Α΄ Ύλες και εξαρτήματα. Επιπλέον οι Α΄ Ύλες και τα Υλικά θα πρέπει να μεταφερθούν στην επιχείρηση και να μετατραπούν σε τελικά προϊόντα τα οποία θα πρέπει να μεταφερθούν στους πελάτες. Οι χρόνοι και τα κόστη παράδοσης στους πελάτες εμπεριέχουν ένα βαθμό αβεβαιότητας ο οποίος εξαρτάται από τις αλλαγές και τις αναπροσαρμογές που θα γίνουν από τον προγραμματισμό και τις την απρόβλεπτη απόδοση των διαδικασιών μέσα στην επιχείρηση. Η βελτίωση των λειτουργιών και των σχέσεων μεταξύ της επιχείρησης και των προμηθευτών της, μεταξύ των λειτουργιών των αγορών, της παραγωγής και των πωλήσεων μέσα στην ίδια την επιχείρηση και μεταξύ των σχέσεων παραγωγής, διανομής και πελατών, αποτελούν πεδία ενεργής επιστημονικής έρευνας. Μεγάλες επιχειρήσεις έχουν συνδεθεί σε πληροφοριακό επίπεδο όχι μόνο με τους άμεσους (σε πρώτο επίπεδο) προμηθευτές τους αλλά και με τους προμηθευτές των προμηθευτών τους, έτσι ώστε όλοι μαζί να σχηματίζουν ένα αποτελεσματικό δίκτυο. Σημαντικής σημασίας όμως είναι και η διασφάλιση της ποιότητας αγαθών και υπηρεσιών κατά μήκος όλου του δικτύου με στόχο την παράδοση ανώτερης αξίας στον καταναλωτή.

- Την αγορά, παραγωγή, διακίνηση και να αποθήκευση με το χαμηλότερο κόστος, την καλύτερη ποιότητα και την καλύτερη εξυπηρέτηση.

Τα διάφορα επίπεδα αβεβαιότητας, διασποράς και διακύμανσης των δεδομένων σε μια επιχείρηση δυσκολεύουν πολύ τα στελέχη του προγραμματισμού στην λήψη βέβαιων αποφάσεων σχετικά με:

- ο Πόση ποσότητα από πρώτες ύλες και υλικά συσκευασίας πρέπει να παραγγείλουμε έτσι ώστε να καλύψουμε τα επίπεδα της ζήτησης για τα τελικά προϊόντα; Η χαμηλή τιμή σε συνδυασμό με την υψηλή ποιότητα είναι ένα εξαιρετικά περίπλοκο θέμα το οποίο πρέπει να αντιμετωπίζεται σε κάθε απόφαση προμηθειών.
- ο Πόσες μέρες πρέπει να διατηρούμε αποθέματα σε κάθε σημείο της εφοδιαστικής μας αλυσίδας έτσι ώστε να σταθεροποιήσουμε τη διαθεσιμότητα του προϊόντος και να βελτιώσουμε τα επίπεδα εξυπηρέτησης μας; Πολλές φορές οι επιχειρήσεις καταφεύγουν σε υπερβολικά αποθέματα ασφαλείας έτσι ώστε να προστατευτούν από περιορισμούς στον εφοδιασμό, τη διακύμανση στον χρόνο υλοποίησης δραστηριοτήτων και διαδικασιών, την αβεβαιότητα στην δυναμικότητα των σημείων παραγωγής και διακίνησης, και τα σφάλματα (αποκλίσεις) των προβλέψεων.
- ο Πώς θα επιτύχουμε πώληση ετοιμών προϊόντων σε ανταγωνιστική τιμή διατηρώντας παράλληλα υψηλά τα επίπεδα εξυπηρέτησης;



Ποιες είναι όμως οι κύριες πηγές που δημιουργούν αυτό το αβέβαιο περιβάλλον για την λήψη αποφάσεων και ενεργειών όπως αυτών που αναφέρθηκαν παραπάνω; Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να κάνουμε μια καταγραφή των λεγόμενων πηγών αβεβαιότητας σε μία αλυσίδα εφοδιασμού οι οποίες μπορεί να εντοπίζονται είτε στο εξωτερικό είτε στο εσωτερικό περιβάλλον της, αναλύοντας παράλληλα τον τρόπο με τον οποίο παράγουν αβεβαιότητα.

#### 4.2. Πηγές Αβεβαιότητας

Εφοδιασμός (προμήθειες):

Η συνεχής ροή και ανανέωση των πρώτων υλών μέσα στην εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένας παράγων «κλειδί» για τη διάθεση των τελικών προϊόντων στους τελικούς πελάτες στα επιθυμητά επίπεδα χρόνου και τόπου. Η διάθεση αυτή «στο σωστό χρόνο, στον σωστό τόπο και στη σωστή ποιότητα», υπήρξε σοβαρή πηγή αβεβαιότητας σε καθημερινό επίπεδο σχεδόν σε όλες τις επιχειρήσεις. Η αποτυχία του προμηθευτή να παραδώσει τα υλικά με βάση τους συμφωνηθέντες όρους, μπορεί να έχει ένα ασήμαντο βραχυπρόθεσμο αποτέλεσμα στον προμηθευτή και στους προμηθευτές του ιδίου, αλλά από την πλευρά του αγοραστή, η εταιρεία αγοραστής θα πρέπει να δεχτεί τις συνέπειες στις καθυστερήσεις στην παραγωγή και στην αναδιάρθρωση του προγραμματισμού μέσα στην επιχείρηση. Το ίδιο ισχύει και για την περίπτωση που τα προϊόντα δεν είναι συμβατά με τις ποιοτικές απαιτήσεις της επιχείρησης. Η κατανόηση των σχέσεων με τους προμηθευτές μας είναι υψίστης σημασίας στην διαχείριση της αβεβαιότητας εφοδιασμού.

Οι καλύτερες επιχειρήσεις δουλεύουν στενά με τους προμηθευτές τους για την μείωση του κόστους και της αβεβαιότητας. Εταιρείες που θα μπορούσαν να μειώσουν τον χρόνο παράδοσης χωρίς να χτίζουν μεγάλα αποθέματα και να ενημερώνουν αυτόματα σε όλα τα επίπεδα των προμηθευτών για τυχόν αλλαγές στις απαιτήσεις του πελάτη, θα μπορούσαν να δημιουργήσουν συνθήκες στις οποίες προμηθευτές με χαμηλή απόδοση στους χρόνους παράδοσης να μην επιλέγονται. Η εξάλειψη της αβεβαιότητας των προμηθειών συνεισφέρει στην αύξηση της ευελιξίας και στην μείωση των χρόνων υλοποίησης.

Οι Zsidin G.A et al, (2004), αξιολόγησαν τις συνέπειες που η υφίσταται μια επιχείρηση από την αβεβαιότητα εφοδιασμού μέσα από μια διαδικασία μέτρησης του εφοδιαστικού ρίσκου και κατέληξαν στις παρακάτω συνέπειες:

1. Επιπρόσθετο κόστος για ακύρωση παραγγελιών εξ αιτίας έλλειψης σωστού προγραμματισμού
2. Επιπρόσθετο κόστος για την έκτακτη μεταφορά Α΄ Υλών λόγω έλλειψης σωστού προγραμματισμού
3. Επιπρόσθετο κόστος για υλικά που έχουν απαξιωθεί.
4. Απρόσμενη αύξηση της τιμής Α΄ Υλών λόγω της τοποθεσίας του προμηθευτή.
5. Απρόσμενη αύξηση της τιμής των προμηθευόμενων Α΄ Υλών λόγω προβλημάτων απόδοσης
6. Απρόσμενη αύξηση της τιμής Α΄ Υλών λόγω αλλαγών στις προδιαγραφές.
7. Απώλειες Α΄ Υλών - εξαρτημάτων λόγω καθυστερημένων παραδόσεων
8. Απώλειες Α΄ Υλών-εξαρτημάτων λόγω ύπαρξης ελαττωματικών προϊόντων κατά την παράδοση.
9. Απώλειες Α΄ Υλών – εξαρτημάτων λόγω διαταράξεων στην χώρα του προμηθευτή.
10. Επιπρόσθετα κόστη Α΄ Υλών - υλικών σε περιπτώσεις που υπάρχει μία μοναδική πηγή προμήθειας .
11. Ρίσκο από την τήρηση του συμβολαίου με τον προμηθευτή.
12. Ρίσκο από επενδύσεις για την βελτίωση απόδοσης του προμηθευτή.
13. Νομισματικό ρίσκο.

Αγορά :

Η αγορά ανέκαθεν ήταν πρωταρχική πηγή που γεννούσε αβεβαιότητα.

Ερωτήματα όπως,

- Ποιες είναι οι τάσεις της αγοράς;
- Τι θέλουν οι πελάτες ;
- Τι στρατηγική πρέπει να ακολουθήσουμε ως επιχείρηση έτσι ώστε να επιτύχουμε μακροχρόνια επιβίωσή στην αγορά που μας ενδιαφέρει
- Πώς πρέπει να τοποθετηθούμε ως επιχείρηση στην αγορά στόχο,

βασάνιζαν πάντοτε τα στελέχη κάθε επιχείρησης. Η εμπειρία έχει αποδείξει ότι είναι θεμελιώδες για κάθε επιχείρηση να έχει ξεκάθαρη θέση και στρατηγική στην αγορά που δραστηριοποιείται και επιπλέον να παρουσιάζει ευελιξία στις ευμετάβλητες κινήσεις και συνθήκες της αγοράς. Η αγορά είναι ένας εξωτερικός παράγοντας ο οποίος ενισχύει τα επίπεδα αβεβαιότητας και ρίσκου, και κάθε επιχείρηση καλείται να ανακαλύπτει τρόπους ώστε να ανταπεξέρχεται στις συνεχείς διακυμάνσεις στις αλλαγές των τάσεων που παράγει. Τα στελέχη θα πρέπει να έχουν υπόψιν τους ότι οι στρατηγικές αποφάσεις πρέπει να λαμβάνονται για ένα *αβέβαιο μέλλον*. Η υποτίμηση του παράγοντα αβεβαιότητας μπορεί να οδηγήσει σε στρατηγικές που δεν υπερασπίζουν την επιχείρηση από κανέναν κίνδυνο και δεν εκμεταλλεύονται τις ευκαιρίες που παρουσιάζονται.

Οι Hugh G. Courtney, Jane Kirkland and S. Patrick Viqueirie, παρουσίασαν τα επίπεδα της αβεβαιότητας που σχετίζονται με τις στρατηγικές αποφάσεις που λαμβάνονται σε μία επιχείρηση. Σύμφωνα με την προσέγγιση τους, οι διαθέσιμες πληροφορίες για την λήψη στρατηγικών αποφάσεων εμπίπτουν σε δυο ειδών κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία είναι εύκολο να αναγνωρίσουμε ξεκάθαρες τάσεις της αγοράς βάση στοιχείων που είναι εύκολα να εντοπιστούν όπως δημογραφικά στοιχεία, τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στον καθορισμό της πιθανής ζήτησης για τα μελλοντικά προϊόντα ή υπηρεσίες μιας επιχείρησης. Στην δεύτερη κατηγορία εμπίπτουν οι μεθοδολογίες ανάλυσης των πληροφοριών μέσω των οποίων πολλοί παράγοντες οι οποίοι ήταν άγνωστοι σε μία επιχείρηση, μέσω μια σωστής ανάλυσης δεδομένων καθίστανται πλέον γνωστοί αποκαλύπτοντας σημαντικές ευκαιρίες για την επιχείρηση. Η αβεβαιότητα που απομένει μετά από τις καλύτερες δυνατές αναλύσεις που μπορεί να διεξάγει μια επιχείρηση καταγράφεται ως «υπόλοιπο αβεβαιότητας» (residual uncertainty). Τα υπόλοιπα αβεβαιότητας που αντιμετωπίζουν τα στελέχη που καλούνται να πάρουν στρατηγικές αποφάσεις εμπίπτουν σε τέσσερα γενικά επίπεδα.

#### Επίπεδο 1: Ξεκάθαρο μέλλον

Στο επίπεδο αυτό το υπόλοιπο αβεβαιότητας είναι δεν παίζει καθοριστικό ρόλο στην λήψη στρατηγικών αποφάσεων. Έτσι κατά τους Courtney H.G. et al. (1997), τα στελέχη μπορούν να παράγουν προβλέψεις οι οποίες είναι μια αρκετά

ακριβής βάση για την στρατηγική τους. Σημαντική βοήθεια στον προσδιορισμό αξιόπιστων προβλέψεων μπορούν να παρέχουν κλασσικά στρατηγικά εργαλεία όπως Το μοντέλο των 5 δυνάμεων του Porter, Η ανάλυση της αγοράς, η ανάλυση της δυναμικότητας και του κόστους των ανταγωνιστών (benchmarking), η ανάλυση της αλυσίδας αξιών, κ.α.

## Επίπεδο 2: Εναλλακτικά μελλοντικά σενάρια

Σε αυτό το επίπεδο το μέλλον μπορεί να περιγραφεί ως ένα σενάριο που επιλέγεται με βάση έναν περιορισμένο αριθμό σεναρίων. Η ανάλυση δεν μπορεί να αναγνωρίσει ποιο αποτέλεσμα θα συμβεί πραγματικά, παρ' όλα αυτά θα ήταν χρήσιμο στον εκτιμητή να εφαρμόσει πιθανότητες. Το πιο σημαντικό είναι ότι κάποια, αν όχι όλα, τα στοιχεία της στρατηγικής θα άλλαζαν αν το αποτέλεσμα ήταν προβλέψιμο. Σε αυτό το επίπεδο καταστάσεων η αξία μιας στρατηγικής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις στρατηγικές που ακολουθούν οι ανταγωνιστές, οι οποίες δεν μπορούν να μελετηθούν ή να προβλεφθούν. Για παράδειγμα στις ολιγοπωλιακές αγορές, η κύρια αβεβαιότητα είναι τα σχέδια του ανταγωνιστή για την διεύρυνση της δυναμικότητάς του. Έτσι κάθε σημαντική απόφαση μιας επιχείρησης (π.χ. η εγκατάσταση ενός εργοστασίου σε μια περιοχή) εξαρτάται κυρίως από τα σχέδια και τις αποφάσεις των ανταγωνιστών. Έτσι ενώ τα πιθανά αποτελέσματα μια απόφασης μπορεί να είναι διακριτά και ξεκάθαρα, είναι δύσκολο όμως να προβλεφθεί ποιο θα επικρατήσει. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα στελέχη θα πρέπει να αναπτύξουν ένα σετ από διακριτά σενάρια βασιζόμενοι στην δική τους αντίληψη για το πώς θα εξελιχθούν οι αβεβαιότητες «κλειδιά». Κάθε σενάριο μπορεί να απαιτεί ένα διαφορετικό μοντέλο εκτίμησης. Η απόκτηση πληροφοριών οι οποίες βοηθούν στην εφαρμογή σχετικών πιθανοτήτων των εναλλακτικών αποτελεσμάτων είναι υψίστης σημασίας. Αφού έχουμε δημιουργήσει ένα κατάλληλο μοντέλο εκτίμησης, για το προσδιορισμό της πιθανότητας κάθε δυνατού αποτελέσματος, ο βαθμός του ρίσκου καθώς και η ωφέλεια (returns) για κάθε εναλλακτική στρατηγική μπορεί να εκτιμηθεί με μια κλασσική ανάλυση της Θεωρίας των Αποφάσεων.

## Επίπεδο 3: Εύρος πιθανών μελλοντικών σεναρίων

Στο επίπεδο αυτό είναι δυνατή η αναγνώριση ενός εύρους πιθανών μελλοντικών σεναρίων. Ένας περιορισμένος αριθμός μεταβλητών «κλειδιά» καθορίζουν αυτό το εύρος, αλλά το πραγματικό αποτέλεσμα μπορεί να βρίσκεται σε οποιοδήποτε σημείο του εύρους των δυνατών αποτελεσμάτων. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχουν διακριτά σενάρια. Όπως και στο επίπεδο 2, μερικά και πιθανόν όλα τα στοιχεία της στρατηγικής θα άλλαζαν αν το πραγματικό αποτέλεσμα ήταν προβλέψιμο. Οι επιχειρήσεις σε αναδυόμενες βιομηχανίες ή επιχειρήσεις που εισέρχονται σε νέες γεωγραφικές περιοχές συχνά αντιμετωπίζουν αυτού του επιπέδου την αβεβαιότητα. Ανάλογα προβλήματα υπάρχουν και στις επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε τομείς που κυριαρχεί η τεχνολογία. Όταν μια επιχείρηση πρέπει να αποφασίσει αν θα επενδύσει ή όχι σε μια νέα τεχνολογία, τα στελέχη της μπορούν να εκτιμήσουν μόνο ένα εύρος (μια κλίμακα) για τα πιθανά κόστη καθώς και την απόδοση που συνδέεται με τα κόστη αυτά, και η συνολική απόδοση (έσοδα) της επένδυσης εξαρτάται άμεσα από τα κόστη και τις αποδόσεις τους. Η ανάλυση σε αυτό το επίπεδο είναι παρόμοια με την ανάλυση στο δεύτερο επίπεδο. Πρέπει λοιπόν να αναγνωριστεί ένα σετ εναλλακτικών σεναρίων το οποίο θα περιγράφει τα μελλοντικά πιθανά αποτελέσματα και η ανάλυση θα πρέπει να εστιαστεί στα γεγονότα «κλειδιά» τα οποία υποδεικνύουν ότι η αγορά κινείται προς τη μία ή την άλλη κατεύθυνση. Τα σενάρια που περιγράφουν τα ακριβή σημεία του εύρους των δυνατών αποτελεσμάτων, ενώ είναι συχνά εύκολο να αναπτυχθούν, σπάνια όμως παρέχουν ένα συμπαγή οδηγό για τις τρέχουσες στρατηγικές αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν. Καθ' ότι στη περίπτωση αυτή δεν υπάρχουν διακριτά εναλλακτικά σενάρια, η απόφαση για το ποια πιθανά αποτέλεσμα θα πρέπει να γίνουν η βάση για την ανάπτυξη εναλλακτικών σεναρίων είναι μια πραγματική πρόκληση. Όμως υπάρχουν ορισμένοι γενικοί κανόνες που μπορούμε να ακολουθήσουμε. Αρχικά θα πρέπει να αναπτυχθεί ένας περιορισμένος αριθμός εναλλακτικών σεναρίων, καθώς η πολυπλοκότητα που δημιουργείται όταν κάποιος επιχειρεί να αναλύσει και να αποφασίσει για πάνω από τέσσερα ή πέντε εναλλακτικά σενάρια δημιουργεί αρνητικές επιπτώσεις και δυσκολεύει τη τελική απόφαση. Ένας δεύτερος κανόνας είναι η αποφυγή ανάπτυξης περιττών σεναρίων τα οποία δεν έχουν πρακτική εφαρμογή στη διαδικασία λήψης στρατηγικών αποφάσεων. Τρίτον είναι χρήσιμο να αναπτυχθεί ένα σετ σεναρίων το οποίο αθροιστικά θα αποδίδει το πιθανό εύρος των μελλοντικών αποτελεσμάτων και όχι απαραίτητα ολόκληρο το εύρος των δυνατών

αποτελεσμάτων. Η ανάπτυξη του εύρους των εναλλακτικών σεναρίων, επιτρέπει στα στελέχη να αποφασίσουν κατά πόσο η στρατηγική τους είναι ανθεκτική, να αναγνωρίσουν πιθανά οφέλη και αδυναμίες και να καθορίσουν το ρίσκο που εμπεριέχεται σε κάθε στρατηγική απόφαση.

#### Επίπεδο 4: Αμφιβολία

Στο επίπεδο αυτό, ένας αριθμός διαστάσεων αβεβαιότητας αλληλεπιδρούν για τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος το οποίο είναι ουσιαστικά αδύνατον να προβλεφθεί. Σε αντίθεση με τα τρία παραπάνω επίπεδα, στην περίπτωση αυτή είναι αδύνατον να αναγνωρίσουμε ένα εύρος πιθανών αποτελεσμάτων και κατά συνέπεια εναλλακτικών σεναρίων που να αναφέρονται σε αυτό εύρος. Κατά πάσα πιθανότητα δεν θα μπορέσουμε ποτέ να αναγνωρίσουμε, πόσο μάλλον να προβλέψουμε, εκείνες τις σχετικές μεταβλητές που προσδιορίζουν το μέλλον.

Στις περιπτώσεις αυτές, που σαφώς και υπάρχουν, οι επιχειρήσεις συνήθως τείνουν να προσαρμόζουν τις συνθήκες σε ένα από τα προηγούμενα επίπεδα. Ας αναλογιστούμε για παράδειγμα μια εταιρεία τηλεπικοινωνιών η οποία πρέπει να αποφασίσει το πού και πώς θα ανταγωνιστεί την αναδύμενη καταναλωτική αγορά πολυμέσων. Η εταιρεία θα πρέπει να έρθει αντιμέτωπη με έναν σημαντικό αριθμό αβεβαιοτήτων που αφορούν την ζήτηση για τεχνολογικά προϊόντα, τις σχέσεις μεταξύ των προμηθευτών hardware και παροχών υπηρεσιών, κ.α. Όλες αυτές οι αβεβαιότητες μπορεί να αλληλεπιδρούν κατά τέτοιο απρόβλεπτο τρόπο που να είναι αδύνατη η αναγνώριση και η εφαρμογή ρεαλιστικού εύρους σεναρίων.

Στο επίπεδο αυτό οι στρατηγικές αποφάσεις είναι πολύ δύσκολο να ληφθούν και οι αντίστοιχες αναλύσεις είναι συνήθως ποιοτικές βασιζόμενες στην εμπειρία και το ένστικτο ανώτερων στελεχών.

#### Κεφάλαιο :

Η αβεβαιότητα επιδρά στο κεφάλαιο κατά πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Κάθε επένδυση προϋποθέτει τη δαπάνη σημαντικών κεφαλαίων, ενώ η αντίστοιχη ροή των χρημάτων, που συμβολίζει την απόδοση της επένδυσης (Return of Investment) είναι κατά ποικίλους βαθμούς αβέβαιη και εμπεριέχει ρίσκο.

Αναμφίβολα ένας σημαντικός παράγοντας για ένα επιτυχημένο μανάτζμεντ χρηματοροών (cash management) είναι η ακριβής πληροφόρηση για τις μελλοντικές



απαιτήσεις σε κεφάλαια καθώς και τα αντίστοιχα μελλοντικά έσοδα που θα προκύψουν. Όμως ο βαθμός ακρίβειας για αυτές τις πληροφορίες δεν είναι πάντοτε ικανοποιητικός καθώς κάθε επένδυση συνοδεύεται από ένα βαθμό ρίσκου ο οποίος προκύπτει λόγω των αβεβαιοτήτων που υπάρχουν κάθε φορά κατά την μετατροπή του επενδυμένου κεφαλαίου σε κέρδη ή οφέλη για την επιχείρηση. Οι επενδύσεις έχουν πάντοτε διπλό χαρακτήρα: Να ενισχύσουν τη θέση της επιχείρησης είτε με την αύξηση της δυναμικότητας της σε όρους ποικιλίας προϊόντων, άμεσης ανταπόκρισης στον πελάτη, ταχύτερες διαδικασίες και γρηγορότερους χρόνους υλοποίησης, είτε με την μείωση του κόστους μέσω επενδύσεων σε τεχνολογία και πληροφοριακά συστήματα. Η απόδοση όμως των κεφαλαιουχικών επενδύσεων δεν μπορεί να είναι ξεκάθαρη και χρονικά προβλέψιμη. Επιπλέον η διαθεσιμότητα του κεφαλαίου έχει σημαντικό χαρακτήρα στις αλυσίδες εφοδιασμού, καθώς μέσα από συνεργασίες με «κακές» ταμειακές ροές το σύνολο της αλυσίδας, γίνεται πιο ευάλωτο και λιγότερο λειτουργικό καθώς τα μέλη της αλυσίδας παρουσιάζουν έντονη δυσαρέσκεια μεταξύ τους.

Επιπλέον οι επενδύσεις και το κεφάλαιο που δαπανάται για την αύξηση της αποδοτικότητας μπορεί και αυτό να χαρακτηριστεί από έντονη αβεβαιότητα ως προς το αποτέλεσμα. Αυτό συμβαίνει και για έναν επιπλέον λόγο ο οποίος σχετίζεται με το σύστημα μέτρησης και ανάλυσης της αποδοτικότητας μέσα στην επιχείρηση. Πολλές επιχειρήσεις επιλέγουν να αξιολογούν την απόδοση τους μέσα από οικονομικές αναφορές (με οικονομικούς δείκτες) οι οποίες αν και ελκυστικές σε αριθμούς, σίγουρα δεν αντιπροσωπεύουν πλήρως τις διαστάσεις τις απαιτούμενης απόδοσης.

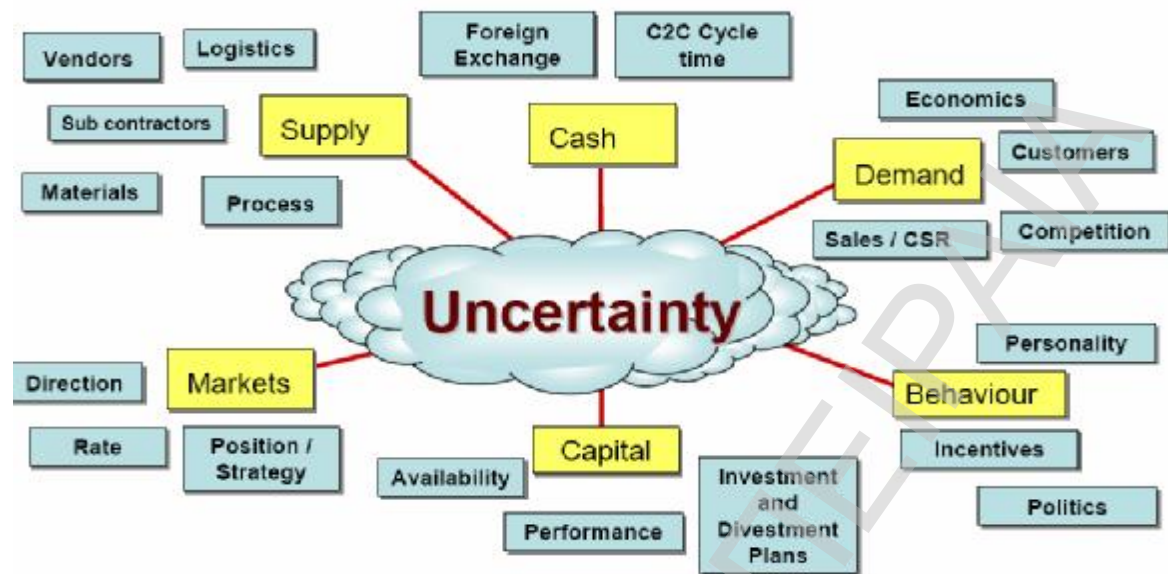
#### Ανθρώπινη Συμπεριφορά:

Ίσως να πρόκειται για το σημαντικότερο παράγοντα αβεβαιότητας. Κάθε σύστημα που περιλαμβάνει την συμμετοχή έστω ενός ανθρώπου γεννά αβεβαιότητα. Και είναι λογικό αφού κάθε άνθρωπος είναι μια μοναδική προσωπικότητα με τα δικά του πιστεύω, τον δικό του τρόπο σκέψης και τη δική του αντίληψη. Σε κάθε σύστημα, από μια απλή επιχείρηση έως μια πολύπλοκη αλυσίδα εφοδιασμού, κάθε εμπλεκόμενο πρόσωπο παρακινείται από τις προσωπικές του φιλοδοξίες και πολιτικές οι οποίες είναι αδύνατον να προβλεφθούν ή να μετρηθούν. Πολλοί είναι αυτοί που ισχυρίζονται ότι όση περισσότερη ανθρώπινη συμμετοχή υπάρχει σε πολλαπλές διαδικασίες - ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί η εισαγωγή και καταγραφή μεγάλου όγκου δεδομένων σε πληροφοριακά συστήματα- τόσο υψηλότερη είναι και η

αβεβαιότητα που δημιουργείται στο αποτέλεσμα. Αβεβαιότητα όμως μπορούμε να συναντήσουμε και στην διαδικασία επιλογής του ανθρωπίνου δυναμικού. Πολλές μελέτες και τεχνικές έχουν δημιουργηθεί για να μπορεί η επιχείρηση να ανιχνεύει και να εντοπίζει τους κατάλληλους συνεργάτες ή υπαλλήλους της. Το ανθρώπινο δυναμικό είναι το σημαντικότερο «πάγιο» σε μια επιχείρηση, η απόδοση του οποίου ποικίλει και μπορεί να μεταβληθεί από άγνωστους λόγους όπως για παράδειγμα μια άδικη απόλυση συναδέλφου, ή οι εναλλαγές στα ωράρια εργασίας, ή ακόμα και οι διαδικασίες προαγωγής και τα συστήματα μισθοδοσίας. Σε ένα επιχειρηματικό περιβάλλον που κάθε επιχείρηση απαιτείται να λειτουργεί με όρους ποιότητας, εργασία σε ομάδες, συμμετοχή του εργαζόμενου στο προϊόν και JIT τεχνικές, η συμμετοχή και η απόδοση του ανθρώπινου παράγοντα είναι τόσο σημαντική όσο και πολλές φορές αβέβαιη.

#### Ζήτηση:

Η Ζήτηση ήταν πάντοτε ένας πρωταρχικός παράγοντας αβεβαιότητας. Η αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τις διακυμάνσεις στη ζήτηση είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθεί και να αντιμετωπιστεί, λόγω του ότι είναι εξωτερικός παράγοντας (έχει εξωτερικό χαρακτήρα) για κάθε επιχείρηση. Η έλλειψη γνώσης για τη ζήτηση τελικών προϊόντων ή τις διακυμάνσεις που εμπλέκονται στη ζήτηση, παράγουν όλες τις αβεβαιότητες προς τα πίσω σε μια Αλυσίδα Εφοδιασμού. Για το λόγο αυτό πολλές μελέτες έχουν εστιαστεί στη κανονικοποίηση της ζήτησης με σκοπό να επιτύχουν καλύτερο και πιο ακριβή προγραμματισμό Α΄ Υλών, αποθέματος ασφαλείας και των αντίστοιχων χρηματοροών κατά μήκος της αλυσίδας. Για την αντιμετώπιση αυτού του είδους αβεβαιότητας αναπτύχθηκαν οι διάφοροι μέθοδοι προβλέψεων που αναλύθηκαν παραπάνω, και οι οποίοι αποτελούν σημαντική λειτουργία σε κάθε επιχείρηση σήμερα. Παρ' όλα αυτά οι συνεχώς μεταβαλλόμενες προσδοκίες των καταναλωτών και ο αυξανόμενος ανταγωνισμός δημιουργούν ένα πολύ εύθραυστο οικονομικό περιβάλλον για την εκτίμηση της ζήτησης.



#### 4.3. Η προσέγγιση της Τριγωνικής Πολυπλοκότητας σε Αλυσίδας Εφοδιασμού – Μια διαφορετική προσέγγιση

Ο Wilding R. το 1998 παρουσίασε τη προσέγγιση της Τριγωνικής Πολυπλοκότητας για τη κατανόηση της δημιουργίας της αβεβαιότητας στις αλυσίδες εφοδιασμού. Τα αποτελέσματα της έρευνας υποδεικνύουν ότι οι έντονες διακυμάνσεις στη ζήτηση πολλές φορές προέρχονται εσωτερικά του συστήματος εφοδιασμού και οφείλονται κατά κύριο λόγο στο σχεδιασμό της αλυσίδας εφοδιασμού και στον τρόπο λειτουργίας των διαδικασιών της, παρά σε εξωγενής παράγοντες.

Αναλυτικότερα η προσέγγιση δίνει έμφαση σε τρεις αλληλεπιδρώμενους, παρ' όλα αυτά ανεξάρτητους παράγοντες οι οποίοι προκαλούν το δυναμικό χαρακτήρα σε μια Αλυσίδα Εφοδιασμού. Αυτοί είναι:

- α) Το Ντετερμινιστικό Χάος (Deterministic chaos)
- β) Οι Παράλληλες Αλληλεπιδράσεις (Parallel interactions)
- γ) Οι Διακυμάνσεις της Ζήτησης (Demand amplification)

Ο συνδυασμός των παραπάνω τριών παραγόντων οδηγεί σε σημαντική αύξηση του βαθμού της αβεβαιότητας σε ένα δίκτυο εφοδιασμού. Ας δούμε όμως τους λόγους για τους οποίους οι παράγοντες αυτοί αποτελούν σημαντικές πηγές αβεβαιότητας αναλυτικότερα:

#### Ø Ντετερμινιστικό Χάος

Μια απλή επεξήγηση που θα μπορούσαμε να αποδώσουμε στον ορισμό 'χάος' είναι 'πλήρης αταξία και σύγχυση'. Παρ' όλα αυτά στη συγκεκριμένη προσέγγιση η λέξη 'χάος' αναφέρεται στο ντετερμινιστικό χάος το οποίο ορίζεται ως «Απεριοδική, πεπερασμένου εύρους δυναμική σε ένα ντετερμινιστικό σύστημα, με ευαισθησία σε πρωταρχικές συνθήκες και δομή στο χώρο».

“aperiodic, bounded dynamics in a deterministic system with sensitivity dependence on initial conditions, and has structure in phase space”. (Kaplan and Glass (1995, p.27) and Abarbanel (1996, p.15)).

Οι λέξεις κλειδιά του παραπάνω ορισμού καθορίζονται ως εξής:

- απεριοδικότητα (aperiodic): Η ίδια κατάσταση δεν επαναλαμβάνεται ποτέ ξανά
- περιορισμένου εύρους (bounded): Σε διαδοχικές επαναλήψεις μια κατάσταση παραμένει εντός ενός πεπερασμένου εύρους και δεν αγγίζει το συν ή πλην άπειρο.
- Ντετερμινιστικός (deterministic): Υπάρχει ένας καθορισμένος κανόνας χωρίς τυχαίους όρους που κυβερνά τη δυναμικότητα του συστήματος
- Ευαισθησία σε πρωταρχικές συνθήκες (Sensitivity to initial conditions): Δύο σημεία τα οποία αρχικά βρίσκονται κοντά το ένα με το άλλο θα απομακρυνθούν με τη πάροδο του χρόνου.

Ένας περισσότερο απλοποιημένος ορισμός της λέξης «χάος» έχει δοθεί από τον Ian Stewart (1989) ο οποίος όρισε το χάος ως «στοχαστική συμπεριφορά που λαμβάνει χώρα σ' ένα ντετερμινιστικό σύστημα».

Ένας παράγοντας «κλειδί» ο οποίος δημιουργεί «χάος» σε μια αλυσίδα εφοδιασμού προέρχεται μέσα από τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων των

εμπλεκόμενων μερών. Για την κατανόηση του γεγονότος αυτού ο Wilding παράθεσε το παράδειγμα ενός γνωστού παιχνιδιού μανάτζμεντ, το «beer game», το οποίο αναπτύχθηκε πριν από κάποιες δεκαετίες με σκοπό να εξοικειώσει τα στελέχη των επιχειρήσεων με τη δυναμική συμπεριφορά, των συστημάτων εφοδιασμού.

Το παιχνίδι καταδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο οι εσωτερικές σχέσεις ανάδρασης μέσα σε μια αλυσίδα εφοδιασμού δημιουργούν πολύπλοκες δυναμικές συμπεριφορές. Στη περίπτωση του παιχνιδιού υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες συμμετεχόντων, καθ' ένας από τους οποίους αντιπροσωπεύει έναν οργανισμό: Ένας λιανοπωλητής, ένας χονδρέμπορος, ένας διανομέας και ένας κατασκευαστής.

Από αναλύσεις που έγιναν έπειτα από πολλούς επαναληπτικούς γύρους τρεξίματος του παιχνιδιού, βρέθηκε ότι οι συμμετέχοντες διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζουν τους κανόνες του παιχνιδιού. Για παράδειγμα κάποιοι λαμβάνουν υπ' όψιν τους όλο το απόθεμα κατά μήκος της αλυσίδας σε αντίθεση με άλλους που το αγνοούν ή το ξεχνούν κατά περιόδους, κάποιοι συμμετέχοντες έχουν αργή ανταπόκριση στις διακυμάνσεις του αποθέματος όταν αυτό πέφτει κάτω από τα επιθυμητά επίπεδα ασφαλείας σε αντίθεση με άλλους που αντιδρούν γρήγορα προσπαθώντας να επιτύχουν τον στόχο τους πιο επιθετικά. Δόθηκε έτσι η δυνατότητα να αναλυθεί και να προσομοιωθεί ο τρόπος με τον οποίο τα στελέχη συμπεριφέρονται σε μια απλή αλυσίδα εφοδιασμού όπως αυτή που περιγράφηκε παραπάνω. Το συμπέρασμα που βγήκε από τις αναλύσεις είναι ότι παρ' όλο που το μοντέλο φαίνεται απλό, μία στις τέσσερις ομάδες συμμετεχόντων στην αλυσίδα δημιουργεί ντετερμινιστικό χάος στις διαδικασίες παραγγελιοληψίας και διαχείρισης των επιπέδων αποθεμάτων, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται κόστη στο σύστημα. Ένα άλλο συμπέρασμα είναι ότι η παραμικρή αλλαγή στη πολιτική των αποφάσεων ενός συμμετέχοντα μπορούσε να οδηγήσει την αλυσίδα σε χαοτική κατάσταση.

Για παράδειγμα ένα σφάλμα κατά την εισαγωγή μιας παραγγελίας, μια παραγγελία που μπήκε με μια μέρα καθυστέρηση, μπορεί να φαίνονται περιπτώσεις μικρών καθημερινών καθυστερήσεων και σφαλμάτων, όμως μπορεί να έχουν μεγάλες επιπτώσεις στο κόστος και τη διαχείριση μιας αλυσίδας εφοδιασμού.

Η έρευνα επίσης κατέδειξε ότι οι πιο περίπλοκες μορφές χάους συμβαίνουν στις περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται μια επιθετική πολιτική στη διαχείριση του αποθέματος με στόχο τη διατήρησή του σε πολύ χαμηλά επίπεδα αγνοώντας τις προσαρμογές που πρέπει να γίνουν κατά μήκος όλης της αλυσίδας εφοδιασμού. Όταν

τα στελέχη είναι υπεραισιόδοξα και προσπαθούν αν διατηρήσουν το απόθεμα σε πολύ χαμηλά επίπεδα, είναι περισσότερο πιθανό να οδηγηθεί το σύστημα σε καταστάσεις χάους και κατά συνέπεια σε αύξηση του διαχειριστικού κόστους. Το γεγονός αυτό έχει επαληθευτεί στη πραγματικότητα σε πολλές βιομηχανικές επιχειρήσεις οι οποίες αποφάσισαν να μειώσουν απότομα τα επίπεδα των αποθεμάτων τους με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αναπάντεχα stock outs, να γίνονται βιαστικές και αλόγιστες παραγγελίες και τελικά να οδηγείται η επιχείρηση σε χαμηλά επίπεδα εξυπηρέτησης των πελατών της.

Ένας επιπλέον παράγοντας, υπεύθυνος για τη δημιουργία καταστάσεων χάους σε μια Αλυσίδα Εφοδιασμού, διαπιστώθηκε σύμφωνα με την έρευνα ότι είναι τα πληροφοριακά συστήματα ελέγχου. Η αβεβαιότητα μπορεί να δημιουργείται από ντετερμινιστικό χάος σε αλυσίδες εφοδιασμού οι οποίες χαρακτηρίζονται από αυτόματους αλγόριθμους ελέγχου των αποθεμάτων τους και ηλεκτρονική ανταλλαγή δεδομένων (EDI) μεταξύ των συμμετεχόντων στην αλυσίδα.

Όλο και περισσότερο στις σημερινές βιομηχανίες οι διαδικασίες λήψης αποφάσεων στηρίζονται σε αλγόριθμους που εκτελούνται σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Ένας αντιπροσωπευτικός αλγόριθμος θα περιλάμβανε τη πρόβλεψη της ζήτησης, τον υπολογισμό του βέλτιστου επιπέδου αποθέματος και τη τοποθέτηση παραγγελιών για τη κάλυψη της ζήτησης για μια δεδομένη περίοδο. Στη περίπτωση όπου τέτοιοι αλγόριθμοι δεν είναι κατάλληλα σχεδιασμένοι, είναι πολύ πιθανόν να δημιουργηθούν χαοτικές καταστάσεις, συνεισφέροντας έτσι στην αύξηση της αβεβαιότητας. Επιπλέον η ολοένα και περισσότερο αυξανόμενη πολυπλοκότητα των δικτύων εφοδιασμού που προέρχεται από την αύξηση του αριθμού των ενδιαφερόμενων μερών και των καναλιών διανομής στην αλυσίδα επιδρά αρνητικά στο βαθμό του χάους. Κατά συνέπεια είναι πολύ σημαντικό σε αλυσίδα εφοδιασμού να υπάρχουν αξιόπιστα και καλά σχεδιασμένα πληροφοριακά συστήματα ελέγχου τα οποία να μπορούν να χειριστούν τη πολυπλοκότητα η οποία αναπόφευκτα δημιουργείται από ένα διευρυμένο δίκτυο εφοδιασμού. Έχει αποδειχθεί από μελέτες ότι οι αλυσίδες εφοδιασμού με αναποτελεσματικά πληροφοριακά συστήματα ελέγχου συμπεριφέρονται ως χαρακτηριστικά χαοτικά συστήματα, προκαλώντας «χαοτικές εξάρσεις» (chaotic spikes) στη ζήτηση.

Μια «χαοτική έξαρση» (chaotic spikes) είναι μια απότομη αλλαγή στη ζήτηση η οποία γεννιέται εσωτερικά λόγω της χαοτικής φύσης ενός συστήματος, χωρίς να υπάρχει κάποια εξωτερική αιτία. Μέσα σ' ένα χαοτικό σύστημα

εφοδιασμού, απότομες αλλαγές μπορούν να συμβούν αναπάντεχα, ενώ παράλληλα μικρές αλλαγές εξωτερικά του συστήματος, μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλες επιπτώσεις και αλλαγές όσο αναφορά τη ζήτηση και το απόθεμα.

### Ø Παράλληλες αλληλεπιδράσεις σε αλυσίδες εφοδιασμού

Ένας μεγάλος αριθμός αλληλεπιδράσεων σε μία αλυσίδα εφοδιασμού λαμβάνει χώρα καθημερινά μεταξύ των διαφόρων τμημάτων της αλυσίδας, για παράδειγμα μεταξύ ενός αγοραστή και ενός προμηθευτή. Ο όρος παράλληλη αλληλεπίδραση (parallel interaction) χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις αλληλεπιδράσεις που συμβαίνουν μεταξύ των διαφορετικών καναλιών ενός τμήματος σε μία αλυσίδα εφοδιασμού. Ένα παράδειγμα παράλληλων αλληλεπιδράσεων συμβαίνει όταν ένας προμηθευτής στο αρχικό στάδιο μιας αλυσίδας εφοδιασμού δεν μπορεί να τροφοδοτήσει τον πελάτη του (επόμενο στάδιο της αλυσίδας). Κατά συνέπεια η επιχείρηση του πελάτη θα πρέπει να επαναπρογραμματίσει τις διαδικασίες της καταλήγοντας έτσι σε αλλαγές των απαιτήσεων της και στους υπόλοιπους προμηθευτές. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη δημιουργία αβεβαιότητας στο σύστημα εφοδιασμού.

Ο Jones (1990) παρατήρησε ότι η χαμηλή ποιότητα και αποδοτικότητα των παραδόσεων ορισμένων προμηθευτών σε ένα δίκτυο εφοδιασμού, επηρεάζει αρνητικά την αποτελεσματικότητα και των αποδοτικών (just in time) προμηθευτών, εξαναγκάζοντας τους να αντεπεξέρχονται σε απρόσμενες και ποικίλες αλλαγές του προγράμματός τους που προκαλούνται από τους προμηθευτές με έλλειψη αποδοτικότητας και ποιότητας παραδόσεων. Παράλληλες αλληλεπιδράσεις μεταξύ προμηθευτών σε μια αλυσίδα εφοδιασμού, υπάρχουν και μάλιστα σε συχνή βάση. Οι επιπτώσεις αυτών των αλληλεπιδράσεων σε κάθε προμηθευτή ξεχωριστά και σε ένα κατασκευαστή μπορούν να μετρηθούν ποσοτικά υπολογίζοντας το ποσοστό του χρόνου που θα σταματούσαν οι γραμμές παραγωγής του κατασκευαστή εξ αιτίας των παραπάνω αλληλεπιδράσεων. Στη πράξη διακοπή των γραμμών μπορεί να μη συμβεί όμως ο κατασκευαστής θα αναγκαζόταν να κάνει επαναπρογραμματισμό των διαδικασιών του για να εξομαλύνει τις αλληλεπιδράσεις, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε διακυμάνσεις και αβεβαιότητα όσο αναφορά τη ζήτηση και τις νέες πλέον απαιτήσεις. Οι παράλληλες αλληλεπιδράσεις μέσα σε ένα σύστημα εφοδιασμού μπορούν να μειωθούν μέσω των αποθεμάτων, παρ' όλα αυτά ακόμα και στη

περίπτωση που η επιχείρηση διατηρεί επαρκή αποθέματα, οι αλληλεπιδράσεις υπάρχουν αλλά λιγότερο συχνά. Ένας επιπλέον κύριος παράγοντας που δημιουργεί παράλληλες αλληλεπιδράσεις είναι οι επιπτώσεις που έχουν στην αλυσίδα εφοδιασμού οι διακυμάνσεις μεταξύ της προβλεπόμενης ζήτησης και της πραγματικής. Αυξημένη διακύμανση μεταξύ προβλεπόμενης και πραγματικής ζήτησης οδηγεί σε αλλαγές και διακοπές τόσο στο κατασκευαστή όσο και στο προμηθευτή.

#### Ø Διακύμανση της ζήτησης στις αλυσίδες εφοδιασμού.

Ο Jay Forrester του Πανεπιστημίου MIT (Forrester 1961) ήταν αυτός ο οποίος έκανε τη πρώτη μελέτη για τη κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς των απλών γραμμικών αλυσίδων εφοδιασμού. Κατάδειξε το πως οι διάφοροι τύποι επιχειρησιακών πολιτικών σε μια επιχείρηση μπορούν να δημιουργήσουν διακυμάνσεις στη ζήτηση και απρόβλεπτες επιπτώσεις οι οποίες πολλές φορές αποδίδονται σε εξωτερικούς παράγοντες και συνθήκες εκτός του συστήματος. Οι τυχαίες και χωρίς αιτία διακυμάνσεις των πωλήσεων μπορούν να μετασχηματιστούν από το σύστημα σε φαινομενικά εποχική ζήτηση και άρα εποχικούς παραγωγικούς κύκλους, οδηγώντας το σύστημα σε μη κατάλληλη χρησιμοποίηση της δυναμικότητάς του και αλλαγών στα επίπεδα του αποθέματος. Παράλληλα αποδείχθηκε ότι οι συνέπειες μια μικρής αλλαγής στα επίπεδα της ζήτησης ενισχύονται όλο και περισσότερο καθώς η αλλαγή αυτή περνά μεταξύ των διαφόρων οργανισμών σε μια αλυσίδα εφοδιασμού.

Αυτό το φαινόμενο, της ενισχυτικής συμπεριφοράς των αλλαγών στα επίπεδα της ζήτησης κατά μήκος της αλυσίδας, ονομάστηκε ως 'Forrester flywheel effect'. Πιο πρόσφατα ο Lee *et al.* (1997a, 1997b) περιέγραψε τα αποτελέσματα του φαινομένου "bullwhip" που λαμβάνει χώρα στις αλυσίδες εφοδιασμού τα οποία είναι πολύ ανάλογα με την έρευνα του Forrester . Ο όρος "bullwhip" effect χρησιμοποιήθηκε και από τους Procter και Gamble για να περιγράψουν την ενίσχυση της διακύμανσης της ζήτησης που λαμβάνει χώρα σε μια αλυσίδα εφοδιασμού.

Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι κάθε πηγή αβεβαιότητας μπορεί να ενεργεί ως ερέθισμα για την δημιουργία αντίστοιχων συμπεριφορών στο σύστημα. Για παράδειγμα η αύξηση της ζήτησης μπορεί να οδηγήσει ένα σύστημα εφοδιασμού να λειτουργεί σε χαοτική κατάσταση. Αν το σύστημα λειτουργεί σε κατάσταση χάους η



ύπαρξη ενός χαοτικού ξεσπάσματος “chaotic spike” σ’ ένα τμήμα της αλυσίδας μπορεί να οδηγήσει σε φαινομενική αύξηση της ζήτησης στα υπόλοιπα τμήματα της αλυσίδας προς τα πίσω.

Τα τρία αλληλεπιδρώμενα φαινόμενα καταλήγουν σε πολύπλοκα πρότυπα ζήτησης με περιορισμένους ορίζοντες πρόβλεψης. Η αβεβαιότητα κατά συνέπεια θα οδηγήσει σε επιπλέον κόστη στην αλυσίδα εφοδιασμού.

Ένα επιπλέον παράδοξο που ανιχνεύτηκε όσο αναφορά τη προσέγγιση της Τριγωνικής πολυπλοκότητας είναι ότι οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση των επιπτώσεων μιας πηγής αβεβαιότητας μπορούν να οδηγήσουν στην αύξηση των επιπτώσεων άλλων πηγών αβεβαιότητας.

Κατά συνέπεια η ανάλυση αυτή δίνει ιδιαίτερη σημασία στην αντιμετώπιση της αλυσίδας εφοδιασμού ως ενός ολοκληρωμένου συστήματος και όχι ως άθροισμα τμημάτων. Μικρές αλλαγές που γίνονται για τη βελτιστοποίηση ενός τμήματος της αλυσίδας, μπορούν να οδηγήσουν σε μαζικές αλλαγές των άλλων τμημάτων. Κατά συνέπεια το σύστημα οδηγείται σε υπο βελτιστοποίηση της απόδοσής του.

#### 4.5. Ο ρόλος του Αποθέματος ενάντια στην αβεβαιότητα

Τα αποθέματα υπάρχουν σε κάθε στάδιο μιας Αλυσίδας Εφοδιασμού είτε με τη μορφή Α΄ Υλών, ημιτελών προϊόντων ή ετοιμών-τελικών προϊόντων. Θα πρέπει επίσης να συμπεριλάβουμε και τα Αποθέματα που βρίσκονται σε εξέλιξη μεταξύ διαφορετικών τοποθεσιών δραστηριοτήτων (pipeline inventories). Ο πρωταρχικός ρόλος των Αποθεμάτων είναι να λειτουργεί ως εξομαλυντής (buffer) ενάντια σε κάθε αβεβαιότητα που μπορεί να υπάρχει σε κάθε στάδιο μιας Αλυσίδας Εφοδιασμού. Η διατήρηση αποθεμάτων μπορεί να κοστίζει σε μια επιχείρηση από 20% έως 40% της αξίας τους, γι’ αυτό και η αποτελεσματική διαχείριση του αποθέματος είναι κρίσιμης σημασίας για τη λειτουργία μιας Αλυσίδας Εφοδιασμού.

Η διατήρηση επιπλέον αποθέματος αυξάνει την αξιοπιστία και την απόδοση των παραδόσεων καθώς προσφέρει την εξομάλυνση που χρειάζεται σε περιπτώσεις διακύμανσης της ζήτησης καθώς και σε περιπτώσεις αβέβαιων μεταβολών στην απόδοση της Αλυσίδας Εφοδιασμού. (Michael Milgate (2001)).

Οι επιχειρήσεις θα πρέπει να αντιμετωπίζουν το Απόθεμα ως ένα κλειδί προς την επιτυχία. Όσο πιο γρήγορα γυρίζει το απόθεμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση και άρα η κερδοφορία της επιχείρησης. Έχει αποδειχθεί ως παράγοντας κλειδί στην

επιτυχή διαχείριση μιας Αλυσίδας Εφοδιασμού. Έχοντας μια επιχείρηση *το σωστό Απόθεμα, στο σωστό Μέρος και στο σωστό Χρόνο*, σημαίνει ότι οι παραγγελίες των πελατών εκπληρώνονται ολοκληρωμένα, με ακρίβεια και χωρίς καθυστέρηση.

Ο σκοπός της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης μιας Αλυσίδας Εφοδιασμού είναι να εξαλείψει τα αναποτελεσματικά σημεία της Αλυσίδας, κυρίως τη διατήρηση πλεονάζοντος Αποθέματος. Όμως δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να αγνοείται ο εξομαλυντικός ρόλος του αποθέματος. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις όπου ο στόχος για μείωση του κόστους διατήρησης αποθεμάτων με πλήρη εφαρμογή τεχνικών *just in time* κατά μήκος όλης της Αλυσίδας Εφοδιασμού προκάλεσαν καθυστερημένες παραδόσεις και *back orders*, αφού έριξαν τα επίπεδα αποθεμάτων σε πολύ χαμηλά σημεία με αποτέλεσμα να μην μπορούν να αντιμετωπιστούν οι διακυμάνσεις στη ζήτηση. Οι αβεβαιότητα που σχετίζεται με τη ζήτηση τελικών προϊόντων είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθεί. Η αποτελεσματική συνεργασία και πληροφόρηση μεταξύ των τμημάτων στην Αλυσίδα Εφοδιασμού σίγουρα μειώνει την αβεβαιότητα αλλά σε καμία περίπτωση δεν την εξαλείφει.

Όσο πιο εύκολα και με ακρίβεια γνωρίζουμε τι είδους αποθέματα έχουμε και πού κατά μήκος όλης Αλυσίδας, από τις παραγγελίες στους προμηθευτές έως το ποιες παραγγελίες πελατών έχουν συλλεγεί και σε ποια κέντρα διανομής, τόσο καλύτερα μπορούμε να διαχειριστούμε το Απόθεμα.

Η αβεβαιότητα 'χτίζει' αποθέματα σε όλες τις Αλυσίδες Εφοδιασμού. Η αβεβαιότητα και των δύο ειδών, εφοδιασμού και ζήτησης, εκδηλώνεται με τη μορφή Αποθεμάτων. Το κλειδί για τη μείωση των αποθεμάτων σε κάθε εφοδιαστικό σύστημα είναι η αναγνώριση των κύριων πηγών αβεβαιότητας του συστήματος έτσι ώστε να γίνει αποτελεσματικότερη η διαχείριση του. Παρ' όλο που οι επιχειρήσεις κάνουν μεγάλες επενδύσεις σε τεχνολογίες πληροφοριακών συστημάτων, αποδεικνύεται ολοένα και περισσότερο ότι απαιτείται και η αναγνώριση και μέτρηση της αβεβαιότητας στην αλυσίδα εφοδιασμού καθώς και συσχέτιση αυτής με το Απόθεμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Μελέτη Περίπτωσης:

Μια προσέγγιση ενός μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού παρουσιάζεται στο κεφάλαιο αυτό, το οποίο κατασκευάστηκε έτσι ώστε να απεικονίζει μια τυπική αλυσίδα εφοδιασμού, λαμβάνοντας υπόψιν τον παράγοντα της ζήτησης.

Η αρχική ιδέα βασίστηκε στο μοντέλο το οποίο πρότειναν μέσω της έρευνάς τους το 2003 οι Anshuman Gupta και Costas D. Maranas στο άρθρο τους 'Managing Demand Uncertainty in supply chain planning'. Στη μελέτη αυτή οι Gupta και Maranas πρότειναν ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού για να απεικονίσουν όλα τα κόστη που δημιουργούνται από τις δραστηριότητες σε μια Αλυσίδα Εφοδιασμού, λαμβάνοντας υπ' όψιν τους στο μοντέλο και την αβεβαιότητα που προκαλεί στις διαδικασίες προγραμματισμού μιας επιχείρησης η ζήτηση των τελικών προϊόντων. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός αλγόριθμου γραμμικού προγραμματισμού ο οποίος περιλαμβάνει όλα τα κόστη των δραστηριοτήτων της παραγωγής, της αποθήκευσης και της μεταφοράς, ενώ παράλληλα εμπεριέχει έναν τελεστή μέσω του οποίου σταθμίζονται ανάλογα με τη διακύμανση της ζήτησης τα αντίστοιχα κόστη των διαδικασιών αποθήκευσης και διανομής. Τα κόστη αυτά, σε αντίθεση με τα κόστη παραγωγής θεωρούνται πιθανοκρατικά, εξαρτώνται δηλαδή από την διακύμανση στα επίπεδα της ζήτησης.

Κατά συνέπεια στο μοντέλο αυτό η Αντικειμενική Συνάρτηση είναι μια συνάρτηση Ελαχιστοποίησης του Συνολικού Κόστους σε μια Αλυσίδα Εφοδιασμού σε ένα χρονικό ορίζοντα  $t$ , με παράλληλη όμως ικανοποίηση της ζήτησης του πελάτη στο χρόνο αυτό.

Χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ότι διαχωρίζει το στάδιο της παραγωγής (Α στάδιο), από το στάδιο των logistics (Β στάδιο) που αφορά την αποθήκευση και τη μεταφορά. Στο πλαίσιο αυτό οι αποφάσεις που αφορούν τη παραγωγή χαρακτηρίζονται ως αποφάσεις here and now και λαμβάνονται πριν από τη συνειδητοποίηση της ζήτησης ενώ οι αποφάσεις που αφορούν το στάδιο logistics χαρακτηρίζονται ως αποφάσεις wait and see οι οποίες λαμβάνονται υπό συνθήκες αβεβαιότητας ως προς τη ζήτηση. Γίνεται δηλαδή η θεώρηση ότι η αβεβαιότητα στη ζήτηση του τελικού προϊόντος μεταφράζεται πρώτα σε αβεβαιότητα στις αποφάσεις που αφορούν την αποθήκευση και τη μεταφορά, οι οποίες με την σειρά τους επιδρούν στον προγραμματισμό της παραγωγής. Το υποτιθέμενο δίκτυο εφοδιασμού

αποτελείται από πολλαπλές τοποθεσίες παραγωγής, οι οποίες κατασκευάζουν διάφορα προϊόντα, η ζήτηση των οποίων υπάρχει από πελάτες διάφορων τοποθεσιών.

Στη προσέγγισή του άρθρου η κατανομή της ζήτησης των τελικών προϊόντων μοντελοποιείται ως μία συνάρτηση Κανονικής Κατανομής με μία συγκεκριμένη μέση τιμή και τυπική απόκλιση. Η παρουσία της αβεβαιότητας αντικατοπτρίζεται από το γεγονός ότι οι αποφάσεις και τα κόστη που αφορούν το δεύτερο στάδιο του μοντέλου (αποθήκευση και διακίνηση) είναι πιθανοκρατικές. Κατά συνέπεια στόχος της επίλυσης του συγκεκριμένου μοντέλου είναι η ελαχιστοποίηση του συνόλου για τα κόστη που αφορούν το πρώτο στάδιο (παραγωγή) και τα οποία θεωρούνται ντετερμινιστικά, και του *αναμενόμενου* (expected) συνολικού κόστους που αφορά το δεύτερο στάδιο (αποθήκευση και διακίνηση).

Στην περίπτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα γίνει ανάλυση ενός γραμμικού μοντέλου μιας Αλυσίδας εφοδιασμού που στόχο έχει να βελτιστοποιήσει (ελαχιστοποιήσει) τα κόστη που δημιουργούνται για την παραγωγή δύο προϊόντων σε μια παραγωγική μονάδα με βάση τη ζήτηση των προϊόντων αυτών. Το μοντέλο αυτό δίνει λύση στο πρόβλημα του κόστους που προκύπτει στις διαδικασίες παραγωγής, αποθήκευσης και μεταφοράς στο πελάτη, για την ικανοποίηση της ζήτησης η οποία εμπεριέχει το στοιχείο της αβεβαιότητας.

Η μεθοδολογία που θα παρουσιαστεί αποτελείται από δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο γίνεται μια μελέτη βάσει ιστορικών στοιχείων ζήτησης των προϊόντων με σκοπό να εξομαλυνθεί όσο δυνατόν ο παράγοντας της αβεβαιότητας. Επειδή το μοντέλο είναι ντετερμινιστικό, η τιμή της ζήτησης η οποία θα χρησιμοποιηθεί ως πρόβλεψη για τον υπολογισμό του αναμενόμενου συνολικού κόστους θα πρέπει να είναι το αποτέλεσμα μιας μελέτης η οποία θα έχει λάβει υπόψη της τον παράγοντα της αβεβαιότητας.

Στο δεύτερο στάδιο, εφόσον έχουμε καταλήξει στη προβλεπόμενη τιμή της ζήτησης που θα χρησιμοποιηθεί, τρέχουμε το μοντέλο για τις δεδομένες τιμές ζήτησης υπολογίζοντας έτσι το συνολικό κόστος παραγωγής, αποθήκευσης και διακίνησης.

Το πρόβλημα διατυπώνεται ως εξής: Να υπολογιστεί το ελάχιστο κόστος μιας Αλυσίδας Εφοδιασμού για δύο προϊόντα A, B τα οποία παράγονται αντίστοιχα από τον συνδυασμό δύο πρώτων υλών Y1, Y2 για δύο χρονικές περιόδους. Το τελικό προϊόν αποθηκεύεται και στη συνέχεια αποστέλλεται στο πελάτη με βάση τις απαιτήσεις της ζήτησης ανά χρονική περίοδο.

Στάδιο 1<sup>ο</sup>

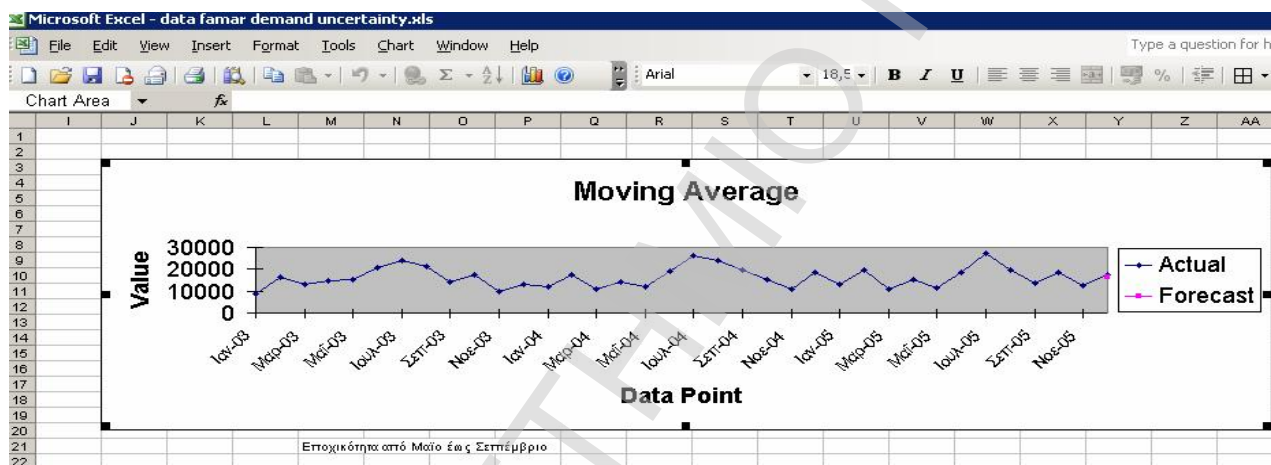
Συλλέχθηκαν ιστορικά δεδομένα τιμών πραγματικής ζήτησης των δύο προϊόντων (τα οποία ονομάζουμε Α και Β) από βιομηχανική επιχείρηση καλλυντικών και φαρμακευτικών προϊόντων. Στον παρακάτω Πίνακα απεικονίζονται οι τιμές της ζήτησης για τα προϊόντα αυτά για μια σειρά τριών ετών (2003, 2004, 2005).

	Προϊόν Α (ζήτηση σε τεμ)	Προϊόν Β (ζήτηση σε τεμ)
Ιαν-03	8640	11880
Φεβ-03	16200	27000
Μαρ-03	12960	12960
Απρ-03	14580	26460
Μαϊ-03	15120	22680
Ιουν-03	20520	39960
Ιουλ-03	23760	46440
Αυγ-03	21060	39960
Σεπ-03	14040	31320
Οκτ-03	17280	16200
Νοε-03	9720	14580
Δεκ-03	12960	20520
Ιαν-04	11880	12960
Φεβ-04	17280	30240
Μαρ-04	10800	12960
Απρ-04	14040	25920
Μαϊ-04	11880	27000
Ιουν-04	18900	42120
Ιουλ-04	25920	55080
Αυγ-04	23760	51840
Σεπ-04	19440	34560
Οκτ-04	15120	19440
Νοε-04	10800	12960
Δεκ-04	18360	23988
Ιαν-05	12888	15120
Φεβ-05	19440	36720
Μαρ-05	10800	12744
Απρ-05	15120	28080
Μαϊ-05	11664	25740
Ιουν-05	18660	43200
Ιουλ-05	27540	54000
Αυγ-05	19440	51840
Σεπ-05	13500	40500
Οκτ-05	18360	24840
Νοε-05	12420	14040
Δεκ-05	17280	23760

Πίνακας τιμών πραγματικής ζήτησης για τα έτη 2003-04-05

Ζητάμε να υπολογίσουμε τις προβλεπόμενες τιμές ζήτησης για τα προϊόντα (Α και Β) και για δύο συνεχόμενες χρονικές περιόδους (συγκεκριμένα στο παράδειγμα για Ιανουάριο και Φεβρουάριο 2006) χρησιμοποιώντας την μέθοδο των προβλέψεων.

Η ανάλυση των τιμών ζήτησης σε σχέση με το χρόνο αποδεικνύει, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα 1,2 ότι η ζήτηση των προϊόντων χαρακτηρίζεται από το στοιχείο της εποχικότητας κατά τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο. Κατά συνέπεια ο υπολογισμός προβλεπόμενων τιμών με την μέθοδο του κινούμενου μέσου δεν μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα. Η κατάλληλη μέθοδος που ενδείκνυται στην περίπτωση αυτή είναι η ανάλυση με βάση το μοντέλο εκθετικής εξομάλυνσης με εποχικότητα.



Διάγραμμα 1

Στο Σχήμα Α φαίνεται η διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων, χρησιμοποιώντας το Excel του Microsoft Office. Για να ξεκινήσουμε υπολογίζουμε τη μέση τιμή της μηνιαίας ζήτησης για το έτος 2003 (15570 τεμ). Κατά συνέπεια ο δείκτης εποχικότητας για το μήνα Ιαν-03 προκύπτει ως η πραγματική τιμή ζήτησης του μήνα διαιρούμενη με τη μέση τιμή του έτους, δηλαδή  $8640/15570=0,5549$ . Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται και οι υπόλοιποι δείκτες εποχικότητας ανά μήνα και για τα τρία έτη.

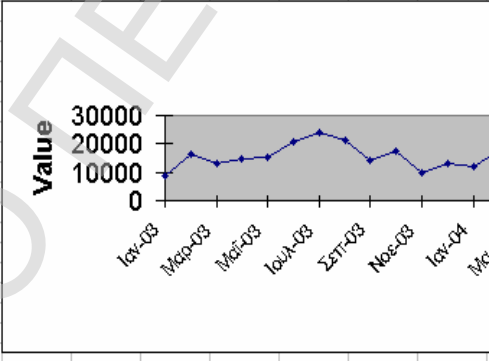
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω (Κεφ. 3) το μοντέλο αυτό παρουσιάζει διακυμάνσεις όχι μόνο στο οριζόντιο στοιχείο από μήνα σε μήνα αλλά και στο δείκτη εποχικότητας κάθε μήνα από χρόνο σε χρόνο. Επομένως για να κάνουμε προβλέψεις

βάση των στοιχείων της χρονοσειράς θα πρέπει να γίνει πρώτα εξομάλυνση και στα δύο στοιχεία (τάση και εποχικότητα). Κατά την εφαρμογή του μοντέλου η τιμή  $D_t$  της πραγματικής ζήτησης για τον τρέχοντα μήνα (πχ Ιαν -04 ζήτηση ίση με 11880 τεμ) εξομαλύνεται με βάση τη σχέση

$$S_t = a \frac{D_t}{I_{t-L}} + (1-a)S_{t-1}, \text{ οπότε προκύπτει η εξομαλυμένη τιμή της ζήτησης για το}$$

μήνα αυτό (εξομαλυμένη τιμή για το μήνα Ιαν-04 ίση με 16882 τεμ - στήλη E)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1			2003/2004/2005														
2		(Dt) Προϊόν A		I	St	It											
3	Ιαν-03	8640		0,554913													
4	Φεβ-03	16200		1,040462													
5	Μαρ-03	12960		0,83237													
6	Απρ-03	14580		0,936416													
7	Μαΐ-03	15120		0,871098													
8	Ιουν-03	20520		1,317919													
9	Ιουλ-03	23760		1,526012													
10	Αυγ-03	21060		1,352801													
11	Σεπ-03	14040		0,901734													
12	Οκτ-03	17280		1,109827													
13	Νοε-03	9720		0,624277													
14	Δεκ-03	12960		0,83237		15750											
15	Ιαν-04	11880		0,719346		16882	0,57										
16	Φεβ-04	17280		1,046322		16827	1,04										
17	Μαρ-04	10800		0,653951		16057	0,82										
18	Απρ-04	14040		0,850136		15844	0,93										
19	Μαΐ-04	11880		0,719346		15122	0,95										
20	Ιουν-04	18900		1,144414		14966	1,31										
21	Ιουλ-04	25920		1,569482		15370	1,54										
22	Αυγ-04	23760		1,438692		15809	1,37										
23	Σεπ-04	19440		1,177112		16959	0,93										
24	Οκτ-04	15120		0,915531		16292	1,09										
25	Νοε-04	10800		0,653951		16493	0,83										
26	Δεκ-04	18360		1,111717		17606	0,85										
27	Ιαν-05	12888		0,78461		17668	0,72										
28	Φεβ-05	19440		1,18349		17850	1,05										
29	Μαρ-05	10800		0,657494		17583	0,65										
30	Απρ-05	15120		0,920492		17624	0,85										
31	Μαΐ-05	11664		0,710094		17342	0,71										
32	Ιουν-05	18660		1,136004		17135	1,14										
33	Ιουλ-05	27540		1,67661		17217	1,57										
34	Αυγ-05	19440		1,18349		16476	1,41										
35	Σεπ-05	13500		0,821868		15475	1,15										
36	Οκτ-05	18360		1,11774		16391	0,94										
37	Νοε-05	12420		0,756118		16911	0,66										
38	Δεκ-05	17280		1,051991		16637	1,10										
39																	
40	Μέση Μηνιαία Ζήτηση 03		15570														
41	Μέση Μηνιαία Ζήτηση 04		16515		Πρόβλεψη												
42	Μέση Μηνιαία Ζήτηση 05		16428		$Ft+1 = St * It-L+1$	11.985	forecast with seasonality										
43					$Ft+2 = St * It-L+2$	17.479											
44																	



Σχήμα Α

Κατά τον ίδιο τρόπο εξομαλύνονται και οι τιμές του δείκτη εποχικότητας βάσει της σχέσης  $I_t = c \frac{D_t}{S_t} + (1-c)I_{t-L}$ .

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής  $a$ , ο οποίος καλείται σταθερά εξομάλυνσης παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1, και στη πράξη συνήθως μεταξύ 0,01 και 0,3. Το γεγονός ότι επιλέγεται μια τιμή για το  $a$  μας δίνει την δυνατότητα να ελέγχουμε τη βαρύτητα που δίνουμε στη πιο πρόσφατη πραγματική τιμή της μεταβλητής. Για παράδειγμα αν  $a=0,1$  σημαίνει ότι η εξομαλυμένη τιμή της ζήτησης

θα προκύψει από τη σχέση  $S_t = a \frac{D_t}{I_{t-L}} + (1-a)S_{t-1}$  προσθέτοντας μόνο το 10% της πραγματικής τιμής της μεταβλητής  $D_t$  στο 90% της προηγούμενης τιμής της εξομαλυμένης ζήτησης. Η κατάλληλη τιμή για το  $a$  συνήθως υπολογίζεται έπειτα από έναν εμπειρικό έλεγχο, δοκιμάζοντας διάφορες τιμές και υπολογίζοντας τα σφάλματα των προβλέψεων που θα προκύψουν για τις τιμές αυτές, έτσι ώστε τελικά να επιλέξουμε την τιμή του  $a$  η οποία παράγει το μικρότερο σφάλμα. Το ίδιο ισχύει και για τη σταθερά εξομάλυνσης για τους δείκτες εποχικότητας.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή οι σταθερές εξομάλυνσης  $a$  και  $c$  λαμβάνονται ίσες με 0,2 και 0,1 αντίστοιχα.

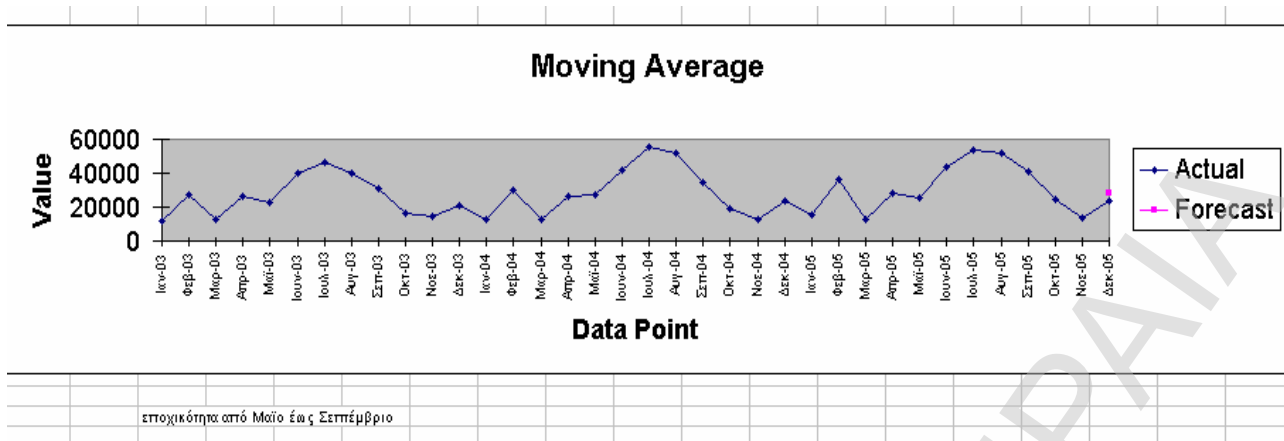
Στη σχέση  $I_t = c \frac{D_t}{S_t} + (1-c)I_{t-L}$  η πραγματική τιμή της μεταβλητής  $D_t$  στην τρέχουσα περίοδο διαιρείται με την εξομαλυμένη τιμή του οριζόντιου στοιχείου που προκύπτει από την σχέση  $S_t = a \frac{D_t}{I_{t-L}} + (1-a)S_{t-1}$ , ώστε να προσδιοριστεί η ποσότητα κατά την οποία η  $D_t$  υπερβαίνει ή υπολείπεται της τιμής αυτής. Αυτή η απόκλιση σταθμίζεται με την σταθερά εξομάλυνσης  $c$ . Κατά συνέπεια ο δείκτης εποχικότητας για κάποιο μήνα βασίζεται στα δεδομένα για το δείκτη πριν  $L, 2L, \dots$  περιόδους.

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε την πρόβλεψη για το προϊόν Α την επόμενη περίοδο (Ιανουάριος 2006) λαμβάνοντας προφανώς υπ' όψιν τόσο το οριζόντιο στοιχείο όσο και το εποχικό, βάση της σχέσης  $F_{t+1} = S_t I_{t-L+1}$ . Στη συγκεκριμένη εφαρμογή η πρόβλεψη που παίρνουμε για το μήνα **Ιαν-06** είναι **11985 τεμ.** (Παρατηρήστε ότι οι πραγματικές τιμές για το μήνα αυτό κατά τα έτη 2003, 2004 και 2005 ήταν 8640, 11880 και 12888 τεμ αντίστοιχα, ενώ αν κάναμε τη πρόβλεψη λαμβάνοντας υπ' όψιν μόνο το οριζόντιο στοιχείο και όχι το στοιχείο της εποχικότητας, θα παίρναμε πρόβλεψη για το μήνα ίση με 16170 τεμ – μέθοδος κινούμενου μέσου).

Κατά συνέπεια η πρόβλεψη για το μήνα **Φεβ-06** θα γίνει βάσει της σχέσης  $F_{t+2} = S_t I_{t-L+2}$  και η τιμή που παίρνουμε για το μήνα αυτό είναι ίση με **17479 τεμ.**

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για το προϊόν Β. Το διάγραμμα 2 απεικονίζει την κατανομή των τιμών της ζήτησης του προϊόντος Β σε σχέση με το χρόνο για τα έτη 2003, 2004 και 2005.





Διάγραμμα 2

Παρατηρούμε και πάλι ότι η ζήτηση του προϊόντος Β υπόκειται σε εποχικότητα κατά τους μήνες Μάιο ως Σεπτέμβριο. Κατά συνέπεια η ανάλυση της προβλεπόμενης τιμής για το μήνα Ιανουάριο 2006 και στη συνέχεια για το Φεβρουάριο του 2006 θα γίνει με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
			2003/2004/2005											
	(Dt) Προϊόν Β		I	St	It									
	Ιαν-03	11880	0,45993				#N/A							
	Φεβ-03	27000	1,0463				#N/A							
	Μαρ-03	12960	0,50174				#N/A							
	Απρ-03	26460	1,02439				#N/A							
	Μαΐ-03	22880	0,87805				#N/A							
	Ιουν-03	39960	1,54704				#N/A							
	Ιουλ-03	46440	1,79791				#N/A							
	Αυγ-03	39960	1,54704				#N/A							
	Σεπ-03	31320	1,21264				#N/A							
	Οκτ-03	16200	0,62718				#N/A							
	Νοε-03	14580	0,56446				#N/A							
	Δεκ-03	20520	0,79443	25830			#N/A							
	Ιαν-04	12960	0,44553	26300	0,46		#N/A							
	Φεβ-04	30240	1,03957	26826	1,05		#N/A							
	Μαρ-04	12960	0,44553	26627	0,50		#N/A							
	Απρ-04	25920	0,89106	26362	1,02		#N/A							
	Μαΐ-04	27000	0,92819	27239	0,89		#N/A							
	Ιουν-04	42120	1,44797	27237	1,55		#N/A							
	Ιουλ-04	55080	1,8935	27917	1,82		#N/A							
	Αυγ-04	51840	1,78212	29035	1,57		#N/A							
	Σεπ-04	34560	1,18808	28928	1,21		#N/A							
	Οκτ-04	19440	0,66829	29342	0,63		#N/A							
	Νοε-04	12960	0,44553	28066	0,55		#N/A							
	Δεκ-04	23988	0,82464	28492	0,80		#N/A							
	Ιαν-05	15120	0,48961	29581	0,46		#N/A							
	Φεβ-05	36720	1,18904	30729	1,06		#N/A							
	Μαρ-05	12744	0,41267	30304	0,44		#N/A							
	Απρ-05	28080	0,90927	30546	0,89		#N/A							
	Μαΐ-05	25740	0,8335	29983	0,92		#N/A							
	Ιουν-05	43200	1,39887	29953	1,45		#N/A							
	Ιουλ-05	54000	1,74859	29666	1,89		#N/A							
	Αυγ-05	51840	1,67865	29551	1,78		#N/A							
	Σεπ-05	40500	1,31144	30458	1,20		#N/A							
	Οκτ-05	24940	0,80435	31801	0,68		#N/A							
	Νοε-05	14040	0,45463	31743	0,45		#N/A							
	Δεκ-05	23760	0,76938	31157	0,82	Ιαν-06	28600	forecaste moving average						
	Μέση Μηνιαία Ζήτηση 03	25830		Πρόβλεψη										
	Μέση Μηνιαία Ζήτηση 04	29089		$Ft+1 = S^a I^c T^L + 1$	14,086	forecast with seasonality			Ιαν-06					
	Μέση Μηνιαία Ζήτηση 05	30882		$Ft+2 = S^a I^c T^L + 2$	32,874				Φεβ-06					

Σχήμα Β

Οι εξομαλυμένες τιμές πρόβλεψης που παίρνουμε για το προϊόν Β είναι **14086 τεμ** για το μήνα Ιανουάριο (2006) και **32874 τεμ** για το μήνα Φεβρουάριο(2006).

Στη συνέχεια, και με βάση τις προβλεπόμενες τιμές για τα δύο προϊόντα και για τις δύο χρονικές περιόδους μπορούμε να περάσουμε στο δεύτερο στάδιο της μεθοδολογίας, στον υπολογισμό δηλαδή του αναμενόμενου συνολικού κόστους που θα προκύψει για την παραγωγή, αποθήκευση και διακίνηση των προϊόντων αυτών στον τελικό πελάτη.

Στάδιο 2<sup>ο</sup>

Ορολογία – Συμβολισμοί

C1 : Σταθερό κόστος παραγωγής τη 1<sup>η</sup> χρονική περίοδο

C2: Σταθερό κόστος παραγωγής τη 2<sup>η</sup> χρονική περίοδο

A1: Ποσότητα παραγωγής σε τεμ του προϊόντος Α τη 1<sup>η</sup> χρονική περίοδο

A2: Ποσότητα παραγωγής σε τεμ του προϊόντος Α τη 2<sup>η</sup> χρονική περίοδο

B1: Ποσότητα παραγωγής σε τεμ του προϊόντος Β τη 1<sup>η</sup> χρονική περίοδο

B2: Ποσότητα παραγωγής σε τεμ του προϊόντος Β την 2<sup>η</sup> χρονική περίοδο

Y11: Ποσότητα της πρώτης ύλης σε τεμ Y1 που χρησιμοποιήθηκε τη 1<sup>η</sup> χρονική περίοδο

Y21: Ποσότητα της πρώτης ύλης σε τεμ Y2 που χρησιμοποιήθηκε τη 1<sup>η</sup> χρονική περίοδο

Y12: Ποσότητα της πρώτης ύλης σε τεμ Y1 που χρησιμοποιήθηκε τη 2<sup>η</sup> χρονική περίοδο

Y22: Ποσότητα της πρώτης ύλης σε τεμ Y2 που χρησιμοποιήθηκε τη 2<sup>η</sup> χρονική περίοδο

ΙΑρχ1: Απόθεμα του προϊόντος Α σε τεμ στην αρχή της 1<sup>ης</sup> χρονικής περιόδου

ΙΑτελ1: Απόθεμα του προϊόντος Α σε τεμ στο τέλος της 1ης χρονικής περιόδου

ΙΑρχ2: Απόθεμα του προϊόντος Α σε τεμ στην αρχή της 2<sup>ης</sup> χρονικής περιόδου

ΙΑτελ2: Απόθεμα του προϊόντος Α σε τεμ στο τέλος της 2<sup>ης</sup> χρονικής περιόδου

ΙΒαρχ1: Απόθεμα του προϊόντος Β σε τεμ στην αρχή της 1<sup>ης</sup> χρονικής περιόδου

ΙΒτελ1: Απόθεμα του προϊόντος Β σε τεμ στο τέλος της 1<sup>ης</sup> χρονικής περιόδου

ΙΒαρχ2: Απόθεμα του προϊόντος Β σε τεμ στην αρχή της 2<sup>ης</sup> χρονικής περιόδου

IBτελ2: Απόθεμα του προϊόντος B σε τεμ στο τέλος της 2<sup>ης</sup> χρονικής περιόδου

ZA1: Ζήτηση του προϊόντος A σε τεμ τη 1<sup>η</sup> χρονική περίοδο

ZA2: Ζήτηση του προϊόντος A σε τεμ τη 2<sup>η</sup> χρονική περίοδο

ZB1: Ζήτηση του προϊόντος B σε τεμ τη 1<sup>η</sup> χρονική περίοδο

ZB2: Ζήτηση του προϊόντος B σε τεμ τη 2<sup>η</sup> χρονική περίοδο

Τα προϊόντα A και B παράγονται από τα Y1 και Y2 βάσει ποσοστού απόδοσης μέσω των σχέσεων  $A_t = (Y1_t + Y2_t) * a\%$  και  $B_t = (Y1_t + Y2_t) * b\%$  όπου a, b, συμβολίζουν τα ποσοστά % απόδοσης του παραγόμενου τελικού προϊόντος κατά συνέπεια  $(1-a)\%$  συμβολίζει το ποσοστό φύρας ανά προϊόν.

Συλλέχθηκαν προσεγγιστικά δεδομένα αναφορικά με το μοναδιαίο κόστος ανα διαδικασία παραγωγής, αποθήκευσης και μεταφοράς, από βιομηχανική επιχείρηση που δραστηριοποιείται στο κλάδο των φαρμάκων – καλλυντικών.

Τα μοναδιαία κόστη ανά διαδικασία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του μοντέλου είναι τα παρακάτω:

Σταθερό κόστος παραγωγής ανά περίοδο = 2723 €

Κόστος Παραγωγής του προϊόντος A = 0,445 €/ τεμάχιο

Κόστος Παραγωγής του προϊόντος B = 0,448 €/ τεμάχιο

Κόστος Αγοράς πρώτης Ύλης Y1 = 0,24 €/ τεμάχιο

Κόστος Αγοράς πρώτης Ύλης Y2 = 0,238 €/ τεμάχιο

Κόστος Αποθήκευσης του προϊόντος A = 0,0044 €/ τεμάχιο

Κόστος Αποθήκευσης του προϊόντος B = 0,004 €/ τεμάχιο

Κόστος Μεταφοράς του προϊόντος A από την αποθήκη στον πελάτη = 0,046 €/ τεμάχιο

Κόστος Μεταφοράς του προϊόντος B από την αποθήκη στον πελάτη = 0,045 €/ τεμάχιο

Επιπλέον θεωρούμε τους παρακάτω περιορισμούς δυναμικότητας:

Δυναμικότητα παραγωγής ανα περίοδο ίση με 100000 τεμ αθροιστικά για το προϊόν A και B.

Δυναμικότητα αποθήκευσης ίση με 30000 τεμ για το προϊόν A και 40000 τεμ για το προϊόν B.

Διαθέσιμη ποσότητα A Ύλων ίση 80000 τεμ ανά περίοδο αθροιστικά για τα Y1 και Y2.

Η ζήτηση ανα προϊόν με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε στο 1<sup>ο</sup> Στάδιο διαμορφώνεται ως εξής:

Ζήτηση προϊόντος Α τη 1<sup>η</sup> περίοδο (Ιαν-06) = 11985 τεμ

Ζήτηση προϊόντος Α τη 2<sup>η</sup> περίοδο (Φεβ-06) = 17479 τεμ

Ζήτηση προϊόντος Β τη 1<sup>η</sup> περίοδο (Ιαν-06) = 14086 τεμ

Ζήτηση προϊόντος Β τη 2<sup>η</sup> περίοδο (Φεβ-06) = 32874 τεμ

Επομένως η Αντικειμενική Συνάρτηση που περιγράφει το σύστημα εφοδιασμού των δύο προϊόντων για τις δύο περιόδους διαμορφώνεται ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & C1 + C2 + 0,445 A1 + 0,445 A2 + 0,448 B1 + 0,448 B2 + 0,24 Y11 + 0,24 \\ & Y12 + 0,238 Y21 + 0,238 Y22 + 0,046 ZA1 + 0,046 ZA2 + 0,045 ZB1 + \\ & 0,045 ZB2 + 0,0044 IAαρχ1 + 0,0044 IAτελ1 + 0,0044 IAαρχ2 + 0,0044 \\ & IAτελ2 + 0,004 IBαρχ1 + 0,004 IBτελ1 + 0,004 IBαρχ2 + 0,004 IBτελ2 \end{aligned}$$

Με περιορισμούς

$$A1+B1 \leq 100000 \quad (1)$$

$$A2+B2 \leq 100000 \quad (2)$$

$$(Y11+Y21) * 0,95 = A1 \quad (3)$$

$$(Y11+Y21) * 0,92 = B1 \quad (4)$$

$$(Y12+Y22) * 0,95 = A2 \quad (5)$$

$$(Y12+Y22) * 0,92 = B2 \quad (6)$$

$$Y11+Y12 \leq 80000 \quad (7)$$

$$Y21+Y22 \leq 80000 \quad (8)$$

$$ZA1 \geq 11985 \quad (9)$$

$$ZA2 \geq 17479 \quad (10)$$

$$ZB1 \geq 14086 \quad (11)$$

$$ZB2 \geq 32874 \quad (12)$$

$$IAαρχ2 = IAτελ1 \quad (13)$$

$$IBαρχ2 = IBτελ1 \quad (14)$$

$$IAτελ1 = IAαρχ1 + A1 - ZA1 \quad (15)$$

$$IAτελ2 = IAαρχ2 + A2 - ZA2 \quad (16)$$

$$IB_{\text{τελ1}} = IB_{\text{αρχ1}} + B1 - ZB1 \quad (17)$$

$$IB_{\text{τελ2}} = IB_{\text{αρχ2}} + B2 - ZB2 \quad (18)$$

$$Y11 = Y21 \quad (19)$$

$$Y12 = Y22 \quad (20)$$

$$IA_{\text{τελ1}} \geq 430 \quad (21)$$

$$IB_{\text{τελ1}} \geq 520 \quad (22)$$

$$IA_{\text{τελ1}} \leq 30000 \quad (23)$$

$$IA_{\text{τελ2}} \leq 30000 \quad (24)$$

$$IB_{\text{τελ1}} \leq 40000 \quad (25)$$

$$IB_{\text{τελ2}} \leq 40000 \quad (26)$$

$$A1, A2, B1, B2, Y11, Y12, Y21, Y22, ZA1, ZA2, ZB1, ZB2, IA_{\text{αρχ1}}, IA_{\text{τελ1}}, IA_{\text{αρχ2}}, IA_{\text{τελ2}}, IB_{\text{αρχ1}}, IB_{\text{τελ1}}, IB_{\text{αρχ2}}, IB_{\text{τελ2}} \geq 0 \quad (27)$$

Οι περιορισμοί (1) και (2) απεικονίζουν του περιορισμούς στη δυναμικότητα παραγωγής. Οι περιορισμοί (3) – (6) απεικονίζουν τη σχέση απόδοσης τελικών προϊόντων A και B από τα Y1 και Y2 ανά περίοδο. Οι σχέσεις (7) και (8) απεικονίζουν τον περιορισμό σε διαθέσιμες ποσότητες των Y1 και Y2 αθροιστικά ανά περίοδο. Μέσω των σχέσεων (9) – (12) εξασφαλίζεται ότι ο πελάτης θα λάβει την ζητούμενη ποσότητα ανά περίοδο. Οι σχέσεις (13) και (14) συνδέουν το απόθεμα στο τέλος της προηγούμενης περιόδου με το απόθεμα αρχής της επόμενης περιόδου, καθ' ότι το απόθεμα στο τέλος μιας χρονικής περιόδου ισούται με το απόθεμα αρχής της αμέσως επόμενης χρονικής περιόδου. Οι σχέσεις (15) – (18) απεικονίζουν τη ροή του προϊόντος ανα περίοδο με βάση την αρχή:

**Απόθεμα Αρχής + Ποσότητα Παραγωγής = Ποσότητα που απεστάλη στο πελάτη + Απόθεμα στο τέλος της περιόδου.** Οι σχέσεις (19) και (20) δηλώνουν ότι για την παραγωγή των προϊόντων A και B χρησιμοποιείται ίση ποσότητα από τις A Υλες Y1 και Y2. Έτσι δεν επιτρέπεται στο μοντέλο να δώσει τη τιμή μηδέν για κάποια από τις δύο A Υλες. Οι περιορισμοί (21), (22) εξασφαλίζουν ότι στο τέλος της πρώτης περιόδου θα υπάρχει τουλάχιστον το απόθεμα ασφαλείας που έχουμε προσδιορίσει αντίστοιχα για τα δύο προϊόντα. Οι περιορισμοί (23)-(26) εκφράζουν τους περιορισμούς δυναμικότητας αποθήκευσης για τα δύο προϊόντα ανά περίοδο. Τέλος η

σχέση (27) εξασφαλίζει ότι όλες οι τιμές των μεταβλητών είναι μεγαλύτερες ή ίσες με το μηδέν, (περιορισμός μη αρνητικότητας).

Για τις παραπάνω τιμές των δεδομένων το παραπάνω πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού λύθηκε χρησιμοποιώντας το Solver από το Excel του Office.

Πρέπει να σημειωθεί ότι για να τρέξει το μοντέλο χρειάζονται τιμές εκκίνησης (set up) για όλες τις παραμέτρους. Μπορούμε να δώσουμε οποιεσδήποτε τυχαίες τιμές, συνήθως όμως χρησιμοποιούνται εναλλάξ οι τιμές 0,1 ή 100 (για όλες τις μεταβλητές).

Επιπλέον οι τιμές για τα αποθέματα ανά προϊόν στην αρχή της περιόδου θα πρέπει να είναι εξ' αρχής γνωστές και να δίνονται πριν το τρέξιμο του αλγόριθμου. Το απόθεμα αρχής περιόδου είναι ίσο με το απόθεμα τέλους της προηγούμενης περιόδου, έτσι όταν θέλουμε να τρέξουμε το μοντέλο για περιόδους  $t$ ,  $t+1$ , θα πρέπει εξ' αρχής να γνωρίζουμε, και να το δηλώσουμε ως δεδομένο, το απόθεμα τέλους των δύο προϊόντων την περίοδο  $t-1$ . Στην περίπτωση αυτή οι αρχικές τιμές για τα  $IA_{αρχ1}$  και  $IB_{αρχ1}$  είναι 630 τεμ και 830 τεμ αντίστοιχα. Σε διαφορετική περίπτωση θεωρούνται μηδέν, δηλαδή ξεκινάμε με αρχικό απόθεμα μηδέν.

Η λύση που δόθηκε από το Μοντέλο είναι:

**Min Κόστος: 62880 ευρώ**

A1: 14225 τεμ

A2: 33409 τεμ

B1: 13776 τεμ

B2: 32354 τεμ

Y11: 7487 τεμ

Y21: 7487 τεμ

Y12: 17584 τεμ

Y22: 17584 τεμ

IA<sub>αρχ1</sub>: 630 τεμ

IA<sub>τελ1</sub>: 2870 τεμ

IA<sub>αρχ2</sub>: 2870 τεμ

IA<sub>τελ2</sub>: 18800 τεμ

IB<sub>αρχ1</sub>: 830 τεμ

IB<sub>τελ1</sub>: 520 τεμ

IB<sub>αρχ2</sub>: 520 τεμ

IBτελ2: 0 τεμ

ZA1: 11985 τεμ

ZA2: 17479 τεμ

ZB1: 14086 τεμ

ZB2: 32874 τεμ

A	B	C	D	E	F	G	H
C1	C2	A1	A2	B1	B2	Y11	Y12
		14225	33409	13776	32354	7487	17584
2723	2723	0,445	0,445	0,448	0,448	0,24	0,24
	<b>min</b>	<b>62880</b>					
subject to							
A1+B1<=100000	28001	A2+B2<=100000	65763	Y11+Y12<=80000	25071		
(Y11+Y21)*0,95=A1	14225	(Y12+Y22)*0,95=A2	33409	Y21+Y22<=80000	25071		
(Y11+Y21)*0,92=B1	13776	(Y12+Y22)*0,92=B2	32354				
B11>=demand A period1	B21>=demand B period 1						
B12>=demand A period2	B22>=demand B period 2						
IAαρχ2=IAτελ1	IBαρχ2=IBτελ1						
IAαρχ1+IBαρχ1+A1+B1 = IAτελ1+IBτελ1+ZA1+ZB1				29461	29461		
IAαρχ2+IBαρχ2+A2+B2 = IAτελ2+IBτελ2+ZA2+ZB2				69153	69153		
IAτελ1=IAαρχ1+A1 -ZA1	2870						
IAτελ2=IAαρχ2+A2 -ZA2	18800						
IBτελ1=IBαρχ1+B1 -ZB1	520						
IBτελ2=IBαρχ2+B2 -ZB2	0						

Παρατηρούμε ότι ο πελάτης για κάθε περίοδο λαμβάνει ακριβώς την ποσότητα που έχει ζητηθεί στη παραγγελία , αφού η προσπάθεια για ελαχιστοποίηση του κόστους σε συνδυασμό με τους περιορισμούς

$$ZA1 \geq 11985 \quad (9)$$

$$ZA2 \geq 17479 \quad (10)$$

$$ZB1 \geq 14086 \quad (11)$$

$$ZB2 \geq 32847 \quad (12)$$

επιβάλλει στο μοντέλο να αποστείλει στο πελάτη ακριβώς την ποσότητα που απαιτείται (αποστολή επιπλέον ποσότητας θα οδηγούσε σε ανεπιθύμητη αύξηση του κόστους – μη βελτιστοποίηση).

Τα αποθέματα αρχής ισούνται με 630 τεμ για το προϊόν Α και 830 τεμ για το προϊόν Β. Οι τιμές εκκίνησης δηλώθηκαν κατά την εισαγωγή των περιορισμών στο μοντέλο με την μορφή  $IA_{αρχ1} = 630$  και  $IB_{αρχ1} = 830$  τεμ.

Ένα βασικό συμπέρασμα το οποίο βγήκε υστέρη από διάφορες δοκιμές τιμών είναι ότι το συγκεκριμένο μοντέλο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις σχέσεις μεταξύ των Α, Β και  $Y_1$ ,  $Y_2$  ανά περίοδο και συγκεκριμένα τον βαθμό απόδοσης (ή φύρας) των προϊόντων Α και Β από τα  $Y_1$ ,  $Y_2$ . Γενικά φαίνεται ότι όταν η απόδοση παραγωγικά αυξάνεται (μικρή φύρα) το μοντέλο τείνει να αφήνει απόθεμα στο τέλος της τρέχουσας περιόδου το οποίο είναι ανάλογο της αύξησης της παραγωγής. Υπάρχουν συνδυασμοί απόδοσης (φύρας) για τους οποίους τα αποθέματα και των δύο προϊόντων στο τέλος της δεύτερης περιόδου είναι μηδέν (δηλαδή το μοντέλο υπολογίζει κατά τέτοιο τρόπο τις ποσότητες παραγωγής ανά περίοδο έτσι ώστε στο τέλος να μην αφήνει απόθεμα για το οποίο δεν έχει παραγγελία για επόμενη περίοδο).



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Z
1	C1	C2	A1	A2	B1	B2	Y11	Y12	Y21	Y22	
2			19644	9966	34755	5455	18889	5245	18889	5245	12
3	2723	2723	0.445	0.445	0.445	0.445	0.24	0.24	0.298	0.298	0.
4											
5	min		51472.02956								
6											
7	subject to										
8	A1+B1<=200000	54399	A2+B2<=200000	15421							
9	(Y11+Y21)*0.52=A1	19644	(Y12+Y22)*0.45=A2	9966							
10	(Y11+Y21)*0.92=B1	34754.99654	(Y12+Y22)*0.52=B2	5455.00345							
11											
12	ZA1>=demand A period1	ZB1>=demand B period 1									
13	ZA2>=demand A period2	ZB2>=demand B period 2									
14											
15	IArg1=IArg1	IArg2=IArg1									
16											
17											
18	IArg1+IArg1+A1+B1 = IArg1+IArg1+ZA1+ZB1				55459	55459					
19	IArg2+IArg2+A2+B2 = IArg2+IArg2+ZA2+ZB2				36720	36720					
20											
21							Sep-04	Oct-04	Nov-04	Dec-04	Ja
22	IArg1-IArg1+A1-ZA1	7314									
23	IArg2-IArg2+A2-ZA2	0				πλη κόστος	29805.88511	26213.548	18493.35	31515.43	211
24	IArg1-IArg1+B1-ZB1	13985									
25	IArg2-IArg2+B2-ZB2	0									
26											
27						ΠΡΟΪΟΝ Α	12960	17280	10900	18360	
28						ΠΡΟΪΟΝ Β	21600	19440	12960	23988	
29											
30						sum demand	34560	36720	23760	42348	
31											
32											
33											
34	Παρατηρήσεις:	LINEAR MODEL									
35											
36											
37											

Γενικά φαίνεται ότι ανάλογα με τους συνδυασμούς που μπορούμε να κάνουμε ως προς τις σχέσεις απόδοσης ή φύρας, παίρνουμε για τα τελικά αποθέματα στο τέλος κάθε περιόδου τιμές  $> ή = 0$ .

Στη συνέχεια οι σχέσεις των προϊόντων Α, Β από τα Y1, Y2 δηλώθηκαν όχι ως ποσοστά φύρας αλλά με σχέσεις του τύπου,  $A=Y1+\kappa*Y2$ , ή  $B= \kappa*Y1 + \lambda*Y2$ , όπου κ,λ πραγματικοί αριθμοί, και τα συμπεράσματα ως προς τα απόθεμα στο τέλος περιόδου είναι τα ίδια, σχετίζονται δηλαδή με το ποσό σε τεμάχια που παράγεται αντίστοιχα από κάθε προϊόν ανά περίοδο.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	C1	C2	A1	A2	B1	B2	Y11	Y12	Y21	Y22
2			27898	1752	37144	3066	9286	439	9286	439
3	2723	2723	0.445	0.445	0.445	0.445	0.24	0.24	0.238	0.238
4										
5		min	44675.5424							
6										
7	subject to									
8	A1+B1<=200000	69002	A2+B2<=200000	4818						
9	Y11*Z1+Y21=A1	27898	3*Y12+Y22=A2	1752						
10	3*Y11+Y21=B1	37144	2*Y12+5*Y22=B2	3066						
11										
12	ZA1>=demand A period1	ZB1 >=demand B period 1								
13	ZA2>=demand A period2	ZB2>=demand B period 2								
14										
15	Iααρχ1=Iατελ1	Iβαρχ2=Iβτελ1								
16										
17										
18	Iααρχ1+Iβαρχ1+A1+B1 = Iατελ1+Iβτελ1+B11+B21				66462	66462				
19	Iααρχ2+Iβαρχ2+A2+B2 = Iατελ2+Iβτελ2+B12+B22				36720	36720				
20										
21							Sep-04	Oct-04	Nov-04	Dec-04
22	Iατελ1-Iααρχ1+A1-ZA1	15528								
23	Iατελ2-Iααρχ2+A2-ZA2	0			μικρότερος	29805.89811	26213.648	18493.36	31516.43	21
24	Iβτελ1-Iβαρχ1+B1-ZB1	16374								
25	Iβτελ2-Iβαρχ2+B2-ZB2	0								
26										
27					ΠΡΟΣΩΝ Α		12960	17280	10800	16360
28										
29					ΠΡΟΣΩΝ Β		21600	18440	12960	23668
30										
31					sum demand		34560	36720	23760	42348
32										
33										
34	Παρατηρήσεις:	LINEAR MODEL								
35		Περίπτωση όπου τα αποθέματα στο τέλος της δεύτερης περιόδου είναι μηδέν αλλά με διαφορετικές σχέσεις μεταξύ των Y, A και B.								
36										
37										
38										
39										

Ο παραπάνω συνδυασμός παραγωγής των Α και Β αφήνει απόθεμα μηδέν στο τέλος της δεύτερης περιόδου.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	C1	C2	A1	A2	B1	B2	Y11	Y12	Y21	Y22	ZA1	ZB1
2			18056	15101	31944	6266	17361	7948	17361	7948	12960	12960
3	2723	2723	0.445	0.445	0.448	0.448	0.24	0.24	0.236	0.236	0.046	0.046
4												
5	min		53711.44278									
6												
7	subject to											
8	A1+B1<=50000	50000	A2+B2<=50000	23366	Y11+Y12<=60000	25309						
9	Y11+Y21 >= A1	18056	(Y12+Y22)*0.95 >= A2	15101	Y21+Y22 <= 60000	25309						
10	Y11+Y21 >= B1	31944.44444	(Y12+Y22)*0.52 >= B2	9265.555556								
11												
12	B11 >= demand A period1	B21 >= demand B period 1										
13	B12 >= demand A period2	B22 >= demand B period 2										
14												
15	IAspx2=IArel1	IBopy2=IBrel1										
16												
17												
18	IAspx1+IBopy1+A1+B1 = IArel1+IBrel1+ZA1+ZB1				51160	51160						
19	IAspx2+IBopy2+A2+B2 = IArel2+IBrel2+ZA2+ZB2				40266	40266						
20												
21												
22	IArel1=IAspx1+A1 -ZA1	5726										
23	IArel2=IAspx2+A2 -ZA2	3546										
24	IBrel1=IBopy1+B1 -ZB1	11174										
25	IBrel2=IBopy2+B2-ZB2	0										
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												

Στη παραπάνω περίπτωση τέθηκαν διαφορετικοί περιορισμοί δυναμικότητας στη παραγωγή και διάθεση Α΄ Υλών. Αρχικά το μοντέλο είχε περιορισμό δυναμικότητας τα 100000 τεμ. και για τις δύο περιόδους. Στη περίπτωση αυτή και για τη πρώτη περίοδο το μοντέλο παρήγαγε 54399 τεμ αθροιστικά για τα προϊόντα Α και Β , ενώ για τη δεύτερη περίοδο παρήγαγε 15421 τεμ αθροιστικά για τα Α και Β. Επιπλέον το Απόθεμα και για τα δύο προϊόντα στο τέλος της δεύτερης περιόδου πήρε την τιμή μηδέν.

Στη συνέχεια η δυναμικότητα παραγωγής και για τις δύο περιόδους μειώθηκε στα 50000 τεμ, ενώ η ζήτηση παρέμεινε η ίδια. Το αποτέλεσμα που δόθηκε όπως φαίνεται και στην εικόνα, είναι ότι τη πρώτη περίοδο εξαντλείται η δυναμικότητα των 50000 τεμ και η διαφορά παράγεται στη δεύτερη περίοδο παράγοντας 23366 τεμ και για τα δύο προϊόντα ενώ παράλληλα αφήνεται απόθεμα στο τέλος της δεύτερης περιόδου για το προϊόν Α.

Η προσθήκη μιας ακόμα περιόδου που δοκιμάστηκε στη συνέχεια αυξάνει προφανώς τον αριθμό των μεταβλητών στην Αντικειμενική Συνάρτηση, καθώς και τον αριθμό των περιορισμών. Οι παρακάτω εικόνες δείχνουν τα αποτελέσματα για τρεις περιόδους με δύο διαφορετικούς συνδυασμούς απόδοσης.

A	B	C	D	E	F
C1	C2	C3	A1	A2	A3
2723	2723	2723	25495 0,445	4115 0,445	10800 0,445
			min	70018,75611	
subject to					
A1+B1<=100000	70600	A2+B2<=100000	6368	A3+B3<=100000	16712
(Y11+Y21)*0,52=A1	25495	(Y12+Y22)*0,95=A2	4115	(Y13+Y23)*0,95=A3	10800
(Y11+Y21)*0,92=B1	45106	(Y12+Y22)*0,52=B2	2253	(Y13+Y23)*0,52=B3	5912
ZA1>=demand A period1	ZB1>=demand B period 1				
ZA2>=demand A period2	ZB2>=demand B period 2				
ZA3>=demand A period3	ZB3>=demand B period 3				
IAαρχ2=IAτελ1	IBαρχ2=IBτελ1	IAαρχ3=IAτελ2	IBαρχ3=IBτελ2		
IAαρχ1+IBαρχ1+A1+B1 = IAτελ1+IBτελ1+ZA1+ZB1			72060	72060	
IAαρχ2+IBαρχ2+A2+B2 = IAτελ2+IBτελ2+ZA2+ZB2			43868	43868	
IAαρχ3+IBαρχ3+A3+B3 = IAτελ3+IBτελ3+ZA3+ZB3			23860	23860	
IAτελ1=IAαρχ1+A1 -ZA1	13165				
IAτελ2=IAαρχ2+A2 -ZA2	0				
IAτελ3=IAαρχ3+A3 -ZA3	0				
IBτελ1=IBαρχ1+B1 -ZB1	24336				
IBτελ2=IBαρχ2+B2 -ZB2	7148				
IBτελ3=IBαρχ3+B3 -ZB3	100				
					ΠΡΟΪΟ
					ΠΡΟΪΟ

A	B	C	D	E	F
C1	C2	C3	A1	A2	A3
2723	2723	2723	19190	31505	0
			0,445	0,445	0,445
			min	72475,00666	
subject to					
A1+B1<=100000	39960	A2+B2<=100000	64005	A3+B3<=100000	0
$(Y_{11}+Y_{21}) \cdot 0,85=A1$	<b>19190</b>	$(Y_{12}+Y_{22}) \cdot 0,95=A2$	<b>31505</b>	$(Y_{13}+Y_{23}) \cdot 0,75=A3$	<b>0</b>
$(Y_{11}+Y_{21}) \cdot 0,92=B1$	<b>20770</b>	$(Y_{12}+Y_{22}) \cdot 0,98=B2$	<b>32500</b>	$(Y_{13}+Y_{23}) \cdot 0,65=B3$	<b>0</b>
ZA1>=demand A period1	ZB1>=demand B period 1				
ZA2>=demand A period2	ZB2>=demand B period 2				
ZA3>=demand A period3	ZB3>=demand B period 3				
IΑαρχ2=IΑτελ1	IBαρχ2=IBτελ1	IΑαρχ3=Iατελ2	IBαρχ3=IBτελ2		
IΑαρχ1+IBαρχ1+A1+B1 = IΑτελ1+IBτελ1+ZA1+ZB1		<b>41420</b>	<b>41420</b>		
IΑαρχ2+IBαρχ2+A2+B2 = IΑτελ2+IBτελ2+ZA2+ZB2		<b>70865</b>	<b>70865</b>		
IΑαρχ3+IBαρχ3+A3+B3 = IΑτελ3+IBτελ3+ZA3+ZB3		<b>34145</b>	<b>34145</b>		
IΑτελ1=IΑαρχ1+A1 -ZA1	<b>6860</b>				
IΑτελ2=IΑαρχ2+A2 -ZA2	<b>21085</b>				
IΑτελ3=IΑαρχ3+A3 -ZA3	<b>10285</b>				
IBτελ1=IBαρχ1+B1 -ZB1	<b>0</b>				
IBτελ2=IBαρχ2+B2 -ZB2	<b>13060</b>				
IBτελ3=IBαρχ3+B3 -ZB3	<b>100</b>				
					<b>ΠΡΟΪΟ</b>

Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι όσο αυξάνουμε τον αριθμό των περιόδων και των προϊόντων αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό και η πολυπλοκότητα κατά το σχεδιασμό του μοντέλου καθώς αυξάνει κατά πολύ ο αριθμός των μεταβλητών και των περιορισμών.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### 6.1. Επίλογος - Συμπεράσματα

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να συνεισφέρει όσο το δυνατόν περισσότερο, σε μία ολοκληρωμένη κατανόηση του θέματος της αβεβαιότητας και της σύνδεσής του με τις σύγχρονες αλυσίδες εφοδιασμού.

Στα πρώτα κεφάλαια έγινε μια καταγραφή διαφόρων τρόπων που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής στη διεθνή βιβλιογραφία για την αναπαράσταση της αβεβαιότητας καθώς και των εργαλείων που έχουν αναπτυχθεί στη προσπάθεια του ανθρώπινου νου να μοντελοποιήσει και να εφαρμόσει μετρήσεις πάνω στο θέμα αυτό. Εργαλεία όπως η Θεωρία των Πιθανοτήτων, η Επιχειρησιακή Έρευνα, η Προσομοίωση, η Θεωρία των Προβλέψεων κ.α αποτελούν πλέον καθημερινά χρήσιμα βοηθήματα των επιχειρήσεων στην προσπάθειά τους να μειώσουν στο ελάχιστο τις επιπτώσεις που έχει ο παράγοντας της αβεβαιότητας σε όλο το φάσμα των επιχειρησιακών δραστηριοτήτων.

Οι θεωρίες που έχουν αναπτυχθεί καταδεικνύουν την προσπάθεια του ανθρώπου να εκλογικεύσει την έννοια της «αβεβαιότητας» έτσι ώστε μέσα από θεωρητικά και πρακτικά μοντέλα να μπορέσει να απαντήσει σε καιρία ζητήματα και καθημερινά προβλήματα.

Ο λόγος που καθιστά την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας ως ένα πολύ δύσκολο αλλά και προκλητικό εγχείρημα είναι το αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι η αβεβαιότητα είναι ένα φυσικό, θεμελιώδες και αναπόφευκτο φαινόμενο της καθημερινής μας ζωής. Μπορεί οι αιτίες της αβεβαιότητας να είναι ορθολογικές και πολλές φορές να μπορούν να αναγνωριστούν, όμως το φάσμα της επιρροής και των επιπτώσεων είναι τόσο ευρύ και πολύπλοκο που καθιστά τη μοντελοποίηση και τη εφαρμογή μετρήσεων πραγματική δοκιμασία στα άκρα για τον ανθρώπινο νου.

Στη συνέχεια της μελέτης ακολούθησε η σύνδεση του φαινομένου της αβεβαιότητας με τις σύγχρονες Αλυσίδες Εφοδιασμού. Αναγνωρίστηκαν οι κύριες πηγές που παράγουν αβεβαιότητα σήμερα σε ένα δίκτυο εφοδιασμού και οι επιπτώσεις που έχουν τόσο στην απόδοση όσο και την αποτελεσματικότητα του δικτύου.

Το γεγονός ότι διαφορετικοί παράγοντες σε μια αλυσίδα εφοδιασμού, όπως είναι οι προμήθειες, η αγορά, το κεφάλαιο, η ανθρώπινη συμπεριφορά και η ζήτηση, δημιουργούν καθημερινά πολλούς και διαφορετικούς τύπους αβεβαιοτήτων,

καταδεικνύουν την πολυπλοκότητα και δυσκολία του προβλήματος της αβεβαιότητας.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάστηκε μια μελέτη περίπτωσης ενός μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού το οποίο κατασκευάστηκε έτσι ώστε να απεικονίζει μια τυπική αλυσίδα εφοδιασμού, λαμβάνοντας υπόψιν τον παράγοντα της ζήτησης ο οποίος εμπεριέχει και το στοιχείο της αβεβαιότητας.

Η μεθοδολογία αποτελείται από δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο γίνεται μια μελέτη βάσει ιστορικών στοιχείων ζήτησης δύο προϊόντων με σκοπό να εξομαλυνθεί όσο δυνατόν ο παράγοντας της αβεβαιότητας. Στο δεύτερο στάδιο, οι προβλεπόμενες τιμές της ζήτησης χρησιμοποιούνται για να τρέξουμε το μοντέλο υπολογίζοντας έτσι το συνολικό κόστος παραγωγής, αποθήκευσης και διακίνησης της αλυσίδας εφοδιασμού. Το μοντέλο αυτό, αν και μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα για λίγα προϊόντα και σε μικρό ορίζοντα χρόνου με τη μέθοδο που παρουσιάστηκε, αυξάνει τη πολυπλοκότητα και τη δυσκολία του όσο αυξάνουμε τον αριθμό των περιόδων και των προϊόντων λόγω της αύξησης σε μεγάλο βαθμό του αριθμού των μεταβλητών και των περιορισμών που συμμετέχουν στο σύστημα. Πιθανόν ένα διαφορετικό πρόγραμμα ή πακέτο επίλυσης θα μπορούσε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις ενός συστήματος με πολλά και διαφορετικά προϊόντα για μακροπρόθεσμο ορίζοντα.

Το πεδίο έρευνας στο θέμα της αβεβαιότητας είναι τεράστιο και πολλοί από τους προβληματισμούς που έχουν γεννηθεί κατά καιρούς από τους επιστήμονες στο θέμα αυτό παραμένουν ακόμη άλυτοι. Το μέλλον μένει να αποδείξει την πρόοδο όχι μόνο από θεωρητικής πλευράς στο θέμα της αβεβαιότητας, αλλά τη δημιουργία συστημάτων τα οποία χρησιμοποιώντας πολύπλοκες μεθόδους να μπορούν να αιτιολογούν - εκλογικεύουν την αβεβαιότητα έτσι ώστε να μπορούν να επιλύουν μεγάλα, σύνθετα και πραγματικά προβλήματα.

## Βιβλιογραφία

### Επιστημονικά Άρθρα

- 1) Zimmerman H-J. (2000), “An application – oriented view of modeling uncertainty”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 122, p. 190-195.
- 2) Rowe W.D. 1994. “Understanding uncertainty. Risk analysis”, Plenum Press, New York, USA, Vol. 14, No 5, p. 743-750.
- 3) Ferson, S., Ginzburg, L.R. (1996), “Different methods are needed to propagate ignorance and variability”. *Reliability Engineering System Safety*, Vol. 54, p. 133-144
- 4) Lee H.L. and Billington, (1995), “The evolution of supply chain management models and practice at Hewlett Packard”, Vol 25, No 5, pp 43-63
- 5) Jack G.A. van der Vorst and Andrie J.M Beulens. 2002, “Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign strategies” , Vol 32 ,No6, pp 409-414
- 6) Hallikas J., Karvonen I., Pulkkinen U., Virolainen V.M., Tuominen M.. (2004) “Risk Management processes in supplier networks”, *Production Economics*, Vol.90, pp 47-52
- 7) Subrahmanyam S., Pekny J. F., and Reklaitis G.V. (1994), “Design of batch chemical plants under market uncertainty”. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol33, p. 26-88.
- 8) Petkov S. B., and Maranas C. D. (1997), “Multiperiod planning and scheduling of multiproduct batch plants under demand uncertainty”. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol 36. p.48-64.
- 9) Zsidisin G.A., Ellram L.M., Carter J. R., Cavinato J.L, (2004). “An analysis of supply risk assessment techniques”, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 34, No5, 2004, pp. 397, 398, 402, 409, 410
- 10) French N. and Gabrielli L. (2004), “The uncertainty of valuation”, *Journal of Property Investment and Finance*, Vol 22, No 6, pp. 484-500
- 11) Lysonski S. (1985), “A boundary theory investigation of the product manager’s role” *Journal of Marketing*, Vol 49, pp 26-40.
- 12) Duncan R.B. (1972), “Characteristics of organizational environments and perceived environmental uncertainty”, *Administrative Science Quarterly*, Vol 17, pp. 313-27
- 13) Gordon L. and Narayanan V.K. (1984), “Management accounting systems, perceived environmental uncertainty and organizational structure: an empirical investigation”, *Accounting, Organization and Society*, Vol. 9, pp. 33-47
- 14) Friedlob G. T. and Schleifer L.F. (1999), “Fuzzy logic: An application for audit risk and uncertainty”, *Managerial Auditing Journal*, Vol 14, pp 127-135
- 15) Klir G.J. (1989), “Is there more to uncertainty than some probability theorists might have us believe?”, *International Journal of General Systems*, Vol. 15, p. 360.
- 16) Klir G.J. (1991), “A principal of uncertainty and information invariance”, *International Journal of General Systems*, Vol. 17, p. 258.
- 17) Klir G.J. and Yuan B. (1995), “Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications”, Prentice-Hall, New York, NY, Vol.21, p. 268.
- 18) Zadeh L.A. (1965), “Fuzzy sets”, *Information and Control*, Vol. 8, pp. 338-53.
- 19) Kangas A. S., Kangas J. (2002), “Probability, possibility and evidence: approaches to consider risk and uncertainty in forestry decision analysis”, *Forest Policy and Economics*, Vol.6, p.169-171
- 20) Wilding R., (1998), “The Supply Chain Complexity Triangle - Uncertainty generation in the supply chain”, *International Journal of Physical Distribution and Logistics*, Vol 28, p.599-607



- 21) Blackhurst J., Wu T., O' Grady P. (2002) "A Network based approach to modelling uncertainty in a supply chain", *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No 8, p. 1639-1643
- 22) Byrne P. (1995), "Fuzzy Analysis – A vague way of dealing with uncertainty in real estate analysis", *Journal of Property Valuation and Investment*, Vol. 13, No 3, p. 22-25
- 23) Canel C., (1995), "A mixed integer programming approach for the international facilities location problem", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol 16, No 4, p. 49
- 24) Mallinson M. and French N. (2000), "Uncertainty in Property valuation – The nature and relevance of uncertainty and how it might be measured and reported", *Journal of Property Investment and Finance*, Vol. 18, No1, p.13-17
- 25) Milgate M. (2001), "Supply Chain Complexity and Delivery Performance: An International Exploratory Study", *Supply chain Management: An International Journal*, Vol. 6, No 3, p. 106-108
- 26) Lysonski S., Levas M. and Lavenka N. (1995), " Environmental Uncertainty and Organizational Structure: A Product Management Perspective" , *Journal of Product and Brand Management*, Vol.4, No 3, p. 7-18
- 27) Courtney H.G., Kirkland J., and Viguerie S. P., (1997), "Strategy under Uncertainty", *Harvard Business Review*, p. 81-86
- 28) Dimitrov V. (2003), "Fuzziology: a study of fuzziness of human knowing and being" *Kybernetes* Vol. 32 ,No. 4, pp. 491-510
- 29) Dymowa L., Dolata M. , "The Transportation Problem under Probabilistic and Fussy Uncertainties", *Technical University of Czestochowa*, p.1-2

## Άλλες Πηγές - Διαδίκτυο

- 1) Alan Duncan, “Collaborative Supply Chain Design and Operation”, Supply Chain University, p.1-22
- 2) Sapient Corporation (2002), “Tackling Uncertainty: Improving Responsiveness with Supply Chain Event Management”, p. 1-12
- 3) GoldSim Technology Group LLC (2004), “Dynamic Simulation and Supply Chain Management”, p.1-3
- 4) Martin Christopher and Hau L. Lee (Cranfield University and Stanford University (2001) *Supply Chain Confidence* - The Key to Effective Supply Chains Through Improved Visibility and Reliability
- 5) A McKinsey (2001), “Strategy in an Uncertain world”, [www.mckinseyquarterly.com](http://www.mckinseyquarterly.com)
- 6) <http://www.sdexec.com/article>
- 7) <http://www.choicesmagazine.org>
- 8) <http://www.findarticles.com>
- 9) <http://www.managementsupport.com>
- 10) <http://www.emeraldinsight.com/Insight/ViewContentServlet?Filename=Published/EmeraldFullTextArticle/Articles/0050320601.html>
- 11) <http://www.keepmedia.com/pubs/SupplyChainManagementReview>
- 12) <http://www.supplychainonline.com>
- 13) <http://supplychain.ittoolbox.com>
- 14) <http://physics.nist.gov/cuu/Uncertainty/basic.html>
- 15) <http://www.sciencedirect.com/>
- 16) <http://en.wikipedia.org/wiki>

## Βιβλία

- 1) Halpern Joseph Y., (2003) Reasoning About Uncertainty, MIT Press p. 5-20
- 2) Nicholas J.V. and White D.R. (2001), “Traceable Temperatures”. John Wiley & Sons Ltd , chapter 2 –Uncertainty in measurement, p. 1-30
- 3) Παππής Κώστας. (1995), “Προγραμματισμός Παραγωγής”, Εκδόσεις Α. Σταμούλης, σελ. 17-45.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ