



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΚΡΗΤΗΣ**

## **ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΖΗΤΗΣΗΣ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ  
ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗΣ  
ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ**

**Βασίλειος Μ. Χατζηηλίας**

### **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Βασίλης Κουϊκόγλου, Καθηγητής , Επιβλέπων**

**Ευστράτιος Ιωαννίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής**

**Γεώργιος Τσιναράκης, Ε.ΔΙ.Π.**

**Αθήνα, Οκτώβριος, 2021**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον καθηγητή και επιβλέποντα Βασίλη Κουϊκόγλου για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση όπως και την οικογένεια και τους φίλους μου για την υπομονή και την υποστήριξη τους.

# Περίληψη Διπλωματικής Εργασίας

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αφορά την μελέτη και βελτιστοποίηση του αποθεματικού συστήματος της εταιρείας Κ. Ζώνας Α.Ε. η οποία εμπορεύεται σωλήνες και βιομηχανικά προϊόντα.

Αρχικά συγκεντρώνονται δεδομένα των αγοραπωλησιών της εταιρείας για τρεις μεγάλες ομάδες προϊόντων ύδρευσης και άρδευσης. Ακολουθεί έλεγχος χρονικής συσχέτισης των δεδομένων όπου διαπιστώνεται ότι οι πωλήσεις είναι λευκός θόρυβος γύρω από μία εκτιμώμενη μέση τιμή με μετρήσιμη διασπορά. Η δοκιμή διαφόρων μεθόδων πρόβλεψης επαλήθευσε την λευκότητα των πωλήσεων καθώς και το γεγονός ότι η ζήτηση των προϊόντων δεν επιδέχεται καλύτερου μοντέλου πρόβλεψης από την απλή εκτίμηση μέσης τιμής.

Στη συνέχεια εξετάζεται το πρόβλημα εύρεσης μίας συμφέρουσας πολιτικής αναπλήρωσης αποθεμάτων. Συνδυάζονται προμήθειες από προμηθευτές που προσφέρουν χαμηλό κόστος αλλά μεγάλους χρόνους άφιξης παραγγελιών και προμήθειες από τοπικούς προμηθευτές με μεγάλη ταχύτητα ανταπόκρισης αλλά υψηλό κόστος προμήθειας. Για τις προμήθειες χαμηλού κόστους, υιοθετείται μία συνήθης πολιτική αναπλήρωσης η οποία περιγράφεται με τρεις παραμέτρους για κάθε προϊόν. Με τη βοήθεια του λογισμικού ARENA, αναπτύσσεται ένα μοντέλο προσομοίωσης της κίνησης προϊόντων από και προς την αποθήκη για ένα από τα αμέτρητα σενάρια ζήτησης, το οποίο έχει ίδια μέση τιμή με των δεδομένων του παρελθόντος. Το λογισμικό αυτό υπολογίζει το κόστος λειτουργίας της αποθήκης για έναν μεγάλο χρονικό ορίζοντα με καθορισμένες τιμές των παραμέτρων. Ένα άλλο εργαλείο του λογισμικού ARENA επιτρέπει τη δοκιμή διαφόρων τιμών για τις παραμέτρους και την εύρεση της βέλτιστης πολιτικής αποθέματος για κάθε προϊόν ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος αναπλήρωσης αποθεμάτων.

Ακολουθούν η παρουσίαση και ο σχολιασμός των αριθμητικών αποτελεσμάτων και τέλος τα συμπεράσματα.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΑΠΟΘΕΜΑΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ .....</b>	<b>5</b>
1.1	ΑΠΟΘΕΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....	6
1.2	ΒΗΜΑΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ.....	6
<b>2</b>	<b>Η ΕΤΑΙΡΕΙΑ .....</b>	<b>8</b>
2.1	ΠΡΟΪΟΝΤΑ .....	8
<b>3</b>	<b>ΠΡΟΒΛΕΨΗ .....</b>	<b>11</b>
3.1	ΓΕΝΙΚΑ .....	11
3.2	ΜΟΝΤΕΛΑ ΖΗΤΗΣΗΣ .....	11
3.2.1	Συνεχόμενο.....	11
3.2.2	Τάση .....	12
3.2.3	Εποχιακή Τάση .....	12
3.2.4	Συμπεράσματα .....	13
3.3	ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ .....	13
3.3.1	Κινούμενος Μέσος (Moving Average) .....	13
3.3.2	Εκθετική Εξομάλυνση (Exponential Smoothing).....	14
3.3.3	Εκθετική Εξομάλυνση με Τάση (Exponential Smoothing with Trend).....	14
3.3.4	Μέθοδος Εποχικότητας-Τάσης του Winters (Winters' seasonal trend method).....	15
3.3.5	Τεχνικές Box Jenkins.....	16
3.4	ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ.....	17
3.5	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΩΛΗΣΕΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΖΗΤΗΣΗΣ .....	19
3.6	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΓΓΛΕΙΑ .....	19
3.6.1	Δεδομένα.....	19
3.6.2	Μελέτη Δεδομένων και Έλεγχος Λευκότητας.....	20
3.6.3	Δοκιμές και Αποτελέσματα από Αυτοματοποιημένες Μεθόδους .....	32
3.6.4	Δοκιμές και Αποτελέσματα από Μη Αυτοματοποιημένες Μεθόδους.....	44
<b>4</b>	<b>ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>54</b>
4.1	ΚΟΣΤΗ .....	54
4.2	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ .....	56
4.2.1	Συστήματα και Υποθέσεις .....	56
4.2.2	Συνεχόμενη και Περιοδική Ανασκόπηση .....	56
4.3	ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ .....	57
4.3.1	Πολιτική (R,Q).....	57
4.3.2	Πολιτική (s,S) .....	58
4.3.3	Απλά Ιεραρχικά : Ντετερμινιστική Μέτρηση Μεγεθών.....	58
4.3.4	Βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας.....	59
4.3.5	Ανάλυση Ευαισθησίας .....	60
4.3.6	Σημείο R.....	60
4.3.7	Ποσοτικές Εκπτώσεις .....	60

4.4	Αποθεματικά συστήματα πολλαπλών προϊόντων από μία πηγή.....	62
<b>5</b>	<b>ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....</b>	<b>63</b>
5.1	Διάγραμμα Ροής.....	63
5.2	Ανάπτυξη Μοντέλου Προσομοίωσης ARENA .....	67
5.3	Πολιτική (s,S) Τριών Προϊόντων .....	67
5.3.1	Άφιξη πελατών και Ζήτηση .....	68
5.3.2	Έλεγχος Αποθέματος.....	69
5.3.3	Μαζικές Παραγγελίες από Προμηθευτή.....	69
5.3.4	Αποτελέσματα της Προσομοίωσης.....	70
5.4	Αποτελέσματα προσομοίωσης .....	71
<b>6</b>	<b>ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΟ Opt Quest .....</b>	<b>76</b>
6.1	Μεταβλητές.....	76
6.1.1	Επιλογή σημαντικών μεταβλητών τις οποίες θα συνδυάζει το Opt Quest .....	77
6.1.2	Επιλογή αποστολής.....	77
6.2	Λύση Προβλήματος.....	81
<b>7</b>	<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>85</b>

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΑΠΟΘΕΜΑΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ

Αρχικά παρουσιάζεται ένα πρόβλημα το οποίο μία εταιρεία εισαγωγών οφείλει να επιλύσει ώστε να μειώσει τα κόστη. Αφορά την βέλτιστη αναπλήρωση αποθέματος για παραγγελίες με μεγάλο χρόνο άφιξης, με μη διακοπώμενη ζήτηση, σε τρείς μεγάλες ομάδες προϊόντων με διαφορετικούς ρυθμούς ζήτησης και διαφορετικά κόστη ανά μονάδα.

Σύμφωνα με το κολλέγιο Μηχανολογίας της Κοϊμπατόρε, αποθεματικός έλεγχος είναι ο έλεγχος του αποθέματος σε μία επιχείρηση. Είναι η επιστημονική μέθοδος που αφορά το τι παραγγελία θα πραγματοποιηθεί, πότε, τι ποσότητα να αγοραστεί και τι ποσότητα να αποθηκευτεί.

Ο αποθεματικός έλεγχος τίθεται σε εφαρμογή για πάνω από πενήντα χιλιάδες χρόνια, ξεκίνησε από αρχαίες μεθόδους στις οποίες οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν χειροκίνητες μεθόδους μέτρησης όπως ραβδιά και πήλινες μάρκες που ήταν σύμβολα τα οποία ψήνονταν επάνω σε πηλό για την καταγραφή πραγμάτων. Στην δεύτερη βιομηχανική επανάσταση ο Αμερικανός Herman Hollerith ανέπτυξε την πρώτη σύγχρονη αυτόματη υπολογιστική μηχανή, η οποία διάβαζε τις κάρτες που χτυπούσαν οι εργαζόμενοι όταν ξεκινούσαν την δουλειά και ύστερα ίδρυσε την εταιρία γνωστή ως IBM. Στο 1950 ανακαλύφθηκε ο γραμμωτός κώδικας γνωστός και ως barcode.

Εν συνέχεια των βημάτων επίλυσης του προβλήματος, πραγματοποιείται η ανάλυση για τα δεδομένα των πωλήσεων της επιχείρησης με σκοπό να κατανοηθεί η δυνατότητα πρόβλεψης της ζήτησης. Βασιζόμενοι στην μέθοδο ελέγχου λευκότητας χρονικής σειράς και έπειτα στην δοκιμή μεθόδων πρόβλεψης, παρατηρείται η καταναλωτική συμπεριφορά των πελατών και ως αποτέλεσμα την εύρεση βέλτιστης πολιτικής του συστήματος. Εάν η χρονική σειρά είναι λευκός θόρυβος, η επίλυση πραγματοποιείται μέσω λογισμικού προσομοίωσης το οποίο ανταποκρίνεται όσο περισσότερο γίνεται στην πραγματικότητα με κοινούς τυχαίους αριθμούς.

Η επιλογή βέλτιστης πολιτικής σύμφωνα με την Εφημερίδα Οικονομετρικής Κοινωνίας, 250-272, 1951, η βέλτιστη πολιτική αποθεμάτων προκύπτει για ένα απλό μοντέλο στο οποίο η μελλοντική ροή σταθερής ζήτησης και άλλες σχετικές ποσότητες είναι γνωστές εκ των προτέρων. Ύστερα ακολουθεί η μελέτη αβέβαιων μοντέλων και δυναμικών μοντέλων στα οποία η ζήτηση είναι τυχαία μεταβλητή με γνωστή κατανομή πιθανότητας. Το βέλτιστο μέγιστο απόθεμα και το βέλτιστο

σημείο παραγγελίας είναι συναρτήσεις της κατανομής ζήτησης και του κόστους παραγγελίας, αποθήκευσης και αναπλήρωσης.

## **1.1 ΑΠΟΘΕΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

Πρόκειται για μία επιχείρηση η οποία εξειδικεύεται στις εισαγωγές. Παρακάτω ακολουθούν οι συνθήκες που θα μας διαμορφώσουν το πρόβλημα.

Πρόκειται για μία αποθήκη επτά χιλιάδων τετραγωνικών μέτρων στην οποία φορτώνονται οι εισαγωγές οι οποίες έρχονται από το εξωτερικό.

Όντας στην κορυφή του ελληνικού ανταγωνισμού, με κορυφαία ποιότητα και ανταγωνιστικές τιμές, συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μία πολύ καλή σχέση μεταξύ της επιχείρησης και του προμηθευτή. Επομένως προκύπτουν καλύτερες τιμές χονδρικής και λιανικής. Στο σύστημα αυτό δεν επιτρέπονται ελλείψεις, καθώς υπάρχει διαθέσιμος προμηθευτής εντός της χώρας όπου καλείται να αναπληρώσει την ζητούμενη ποσότητα σε περίπτωση έλλειψης αποθεμάτων και ως αντάλλαγμα θα έχει πιο ακριβές τιμές.

Οι παραγγελίες πραγματοποιούνται σε προμηθευτή στο εξωτερικό ο οποίος χρεώνει σταθερό κόστος παραγγελίας το οποίο αναλύεται παρακάτω. Εξίσου θα αναλυθούν οι ποσοτικές και ποιοτικές εκπτώσεις εφόσον αυτές. Αναλυτικότερα, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί παραγγελία τουλάχιστον μίας ποσότητας και άνω ή ένα συγκεκριμένο προϊόν για την επίτευξη καλύτερης τιμή. Να σημειωθεί ότι οι παραγγελίες για να φτάσουν από τον προμηθευτή στην αποθήκη χρειάζονται 2 μήνες από την απόφασή τους έως την εκφόρτωση στην αποθήκη.

## **1.2 ΒΗΜΑΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ**

Σε αρχικό στάδιο πραγματοποιείται έλεγχος λευκότητας για να διερευνηθεί εάν η χρονική σειρά είναι προβλέψιμη. Έπειτα χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι πρόβλεψης στα δεδομένα που δόθηκαν με σκοπό την απόδειξη των αποτελεσμάτων του ελέγχου λευκότητας. Εφόσον τα δεδομένα δεν είναι λευκός θόρυβος, η πρόβλεψη χρησιμεύει στην εύρεση ενός μοτίβου μίας χρονικής σειράς γεγονότων με σκοπό την προσέγγιση μελλοντικών άγνωστων τιμών της. Ύστερα από την πρόβλεψη είτε αυτή είναι εφικτή, είτε όχι θα επιλεγεί η πιο κατάλληλη πολιτική παραγγελιών. Οι πολιτικές καθορίζουν ορισμένους κανόνες για την χρονική στιγμή και την ποσότητα της παραγγελίας, καθώς και τη συχνότητα ελέγχου του αποθέματος.

Τέλος, αναπτύσσεται ένας αλγόριθμος προσομοίωσης, ο οποίος δημιουργεί ένα σενάριο αφίξεων πελατών σύμφωνα με δεδομένα της επιχείρησης καθώς και τη ζήτηση κάθε πελάτη. Εάν το σφάλμα πρόβλεψης στο προηγούμενο βήμα είναι

μικρό και δίνεται η ικανότητα έκφρασης των μελλοντικών ζητήσεων μαθηματικά, η εύρεση της λύσης θα γίνει αυτομάτως ευκολότερη. Με την προσομοίωση του συστήματος υπό συγκεκριμένη πολιτική ελέγχου αποθεμάτων υπολογίζεται το αντίστοιχο κόστος λειτουργίας. Από τη σύγκριση κόστους διαφόρων πολιτικών προσδιορίζεται εκείνη με το ελάχιστο κόστος. Η κάθε πολιτική καθορίζει ακριβώς την ποσότητα και τον χρόνο παραγγελιών προϊόντων τόσο από τους προμηθευτές χαμηλού κόστους με βάση το τρέχον απόθεμα αλλά και από τους τοπικούς προμηθευτές προκειμένου να μην υπάρχει ανικανοποίητη ζήτηση και καθυστερήσεις.



## 2 Η ΕΤΑΙΡΕΙΑ

Η εταιρεία Κ. Ζώνας Α.Ε. ιδρύθηκε το 1980 και είναι μία από τις μεγαλύτερες επιχειρήσεις εισαγωγής και διάθεσης σωλήνων και βιομηχανικών προϊόντων στην Ελλάδα. Στόχος της επιχείρησης είναι η ικανοποίηση των αναγκών του επαγγελματία και απαιτητικού ιδιώτη. Οι μεγάλες οργανωμένες εγκαταστάσεις τους παρέχουν μία ποικιλία ετοιμοπαράδοτων προϊόντων τα οποία αποστέλλονται άμεσα και καλύπτονται από τεχνική υποστήριξη και ανταλλακτικά.

### 2.1 ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Η επιχείρηση εξειδικεύεται σε προϊόντα βιομηχανικής χρήσης, με κυριότερη κατηγορία τους σωλήνες, δεύτερη μεγαλύτερη τις αντλίες και κινητήρες και τρίτη τα ανταλλακτικά.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται μία ποικιλία σωλήνων για διαφορετικές χρήσεις. Περιλαμβάνονται σωλήνες μικρής και μεγάλης διαμέτρου, ελαστικοί, πλαστικοί και πολλές ακόμα κατηγορίες.



Ακολουθούν μερικές από τις κατηγορίες αντλιών, όπως αντλίες πετρελαίου, σκαφών, αυτόματης αναρρόφησης και πολλές ακόμη.

### ΑΝΤΛΙΕΣ

Πετρελαιοί - Χειραντίες 12V - 24V

**ΑΝΤΛΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ**

ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΙΜΠΛΕΡ

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΤΥΠΟΣ	VOLT	ΠΑΡΟΧΗ (GPH)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (MM)	ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ (M)	ΔΙΑΤΑΞΗ (MM)
13.515.012	6201-12	12	400	25	4	168x120x97
13.516.024	6201-24	24	400	25	4	168x120x97

ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΜΕ ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΙΜΠΛΕΡ

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΤΥΠΟΣ	VOLT	ΠΑΡΟΧΗ (GPH)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (MM)	ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ (M)	ΔΙΑΤΑΞΗ (MM)
13.515.112	6201-12	12	400	25	4	168x120x97
13.516.124	6201-24	24	400	25	4	168x120x97

**ΑΝΤΛΙΑ ΟΡΕΙΧΑΛΚΙΝΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ - ΛΑΔΙΟΥ**

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΤΥΠΟΣ	VOLT	ΛΑΔ	ΠΑΡΟΧΗ (GPH)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (MM)	ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ (M)	ΔΙΑΤΑΞΗ (MM)
13.520.012	60101-12	12	SAE 10W 40	264	16	2.5	193x161x171
13.519.024	60101-24	24	SAE 15W 40	230	16	2.5	193x161x171

**ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ ΣΚΑΘΩΝ**

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΤΥΠΟΣ	VOLT	ΠΑΡΟΧΗ (GPH)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (MM)	ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΟ (M)	ΔΙΑΤΑΞΗ (MM)
13.517.012	6205-12	12	700	38x25	5	282x119x97
13.518.024	6205-24	24	700	38x25	5	282x119x97

**ΦΑΣΤΕΡ ΑΝΤΛΙΑΣ**

ΚΩΔΙΚΟΣ: 13.307.000

**ΑΝΤΛΙΑ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΝΕΡΟΥ 1 1/4"**

ΚΩΔΙΚΟΣ: 13.302.000 720

**ΑΝΤΛΙΑ ΧΕΙΡΟΣ ΚΑΡΤΕΡ**

ΚΩΔΙΚΟΣ: 13.304.000

**ΑΝΤΛΙΑ ΠΟΔΟΚΙΝΗΤΗ**

ΚΩΔΙΚΟΣ: 13.521.000

**BLOWERS Φ75 - 12V**

ΚΩΔΙΚΟΣ: 13.313.000 2540 188x140x160

**ΑΝΤΛΙΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ**

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ
13.301.012	1/2
13.301.024	3/4
13.301.001	1
13.301.114	1 1/4
13.301.112	1 1/2
13.301.002	2

**ΑΝΤΛΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΒΥΣΣΗΣ**

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ
13.524.000	6302-12
13.524.001	6302-12
13.524.002	6302-12
13.524.003	6302-12
13.524.004	6302-12
13.524.005	6302-12
13.524.006	6302-12
13.524.007	6302-12
13.524.008	6302-12
13.524.009	6302-12
13.524.010	6302-12
13.524.011	6302-12
13.524.012	6302-12
13.524.013	6302-12
13.524.014	6302-12
13.524.015	6302-12
13.524.016	6302-12
13.524.017	6302-12
13.524.018	6302-12
13.524.019	6302-12
13.524.020	6302-12
13.524.021	6302-12
13.524.022	6302-12
13.524.023	6302-12
13.524.024	6302-12
13.524.025	6302-12
13.524.026	6302-12
13.524.027	6302-12
13.524.028	6302-12
13.524.029	6302-12
13.524.030	6302-12
13.524.031	6302-12
13.524.032	6302-12
13.524.033	6302-12
13.524.034	6302-12
13.524.035	6302-12
13.524.036	6302-12
13.524.037	6302-12
13.524.038	6302-12
13.524.039	6302-12
13.524.040	6302-12
13.524.041	6302-12
13.524.042	6302-12
13.524.043	6302-12
13.524.044	6302-12
13.524.045	6302-12
13.524.046	6302-12
13.524.047	6302-12
13.524.048	6302-12
13.524.049	6302-12
13.524.050	6302-12
13.524.051	6302-12
13.524.052	6302-12
13.524.053	6302-12
13.524.054	6302-12
13.524.055	6302-12
13.524.056	6302-12
13.524.057	6302-12
13.524.058	6302-12
13.524.059	6302-12
13.524.060	6302-12
13.524.061	6302-12
13.524.062	6302-12
13.524.063	6302-12
13.524.064	6302-12
13.524.065	6302-12
13.524.066	6302-12
13.524.067	6302-12
13.524.068	6302-12
13.524.069	6302-12
13.524.070	6302-12
13.524.071	6302-12
13.524.072	6302-12
13.524.073	6302-12
13.524.074	6302-12
13.524.075	6302-12
13.524.076	6302-12
13.524.077	6302-12
13.524.078	6302-12
13.524.079	6302-12
13.524.080	6302-12
13.524.081	6302-12
13.524.082	6302-12
13.524.083	6302-12
13.524.084	6302-12
13.524.085	6302-12
13.524.086	6302-12
13.524.087	6302-12
13.524.088	6302-12
13.524.089	6302-12
13.524.090	6302-12
13.524.091	6302-12
13.524.092	6302-12
13.524.093	6302-12
13.524.094	6302-12
13.524.095	6302-12
13.524.096	6302-12
13.524.097	6302-12
13.524.098	6302-12
13.524.099	6302-12
13.524.100	6302-12

**ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΕΣΑ ΔΙΚΤΥΟΥ**

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ
13.315.000	40 BAR
13.315.001	7
13.315.002	1/2
13.315.003	5Kg

ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΝΕΡΟ & ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΛΑΔΙ. ΙΔΑΝΙΚΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΨΥΚΤΩΣΗΣ.

### ΑΝΤΛΙΕΣ

Σκαφών - Ορειχαλκίνες - INOX

**ΗΛΕΚΤΡΑΝΤΛΙΕΣ ΟΡΕΙΧΑΛΚΙΝΕΣ 12-24 V**

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΜΟΝΤΕΛΟ	ΤΥΠΟΣ	HP	ΣΤΡΩΒ.	VOLT	ΔΙΑΜ.	M/Y	1	5	10
11.236.520	ECC 12/20	520A	0.3	2400	12	3/4	17MIN	23	16	10
11.237.520	ECC 24/20	520B	0.3	2400	24	3/4	17MIN	26	20	13
11.238.521	ECC 12/25	521	0.6	1500	12	1	17MIN	55	44	22
11.240.522	ECC 24/25	522	0.6	1600	24	1	17MIN	55	45	26
11.238.524	ECC 24/40	524	1	1500	24	1 1/2	17MIN	140	108	70

**ΗΛΕΚΤΡΑΝΤΛΙΕΣ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΕΣ 316 12-24 V**

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΜΟΝΤΕΛΟ	ΤΥΠΟΣ	HP	ΣΤΡΩΒ.	VOLT	ΔΙΑΜ.	M/Y	1	5	10
11.230.721	AL 12/25	721	0.6	1700	12	1	17MIN	55	36	9
11.231.722	AL 24/25	722	0.6	1800	24	1	17MIN	54	42	16
11.232.724	AL 24/25	724	1	1500	24	1 1/2	17MIN	157	120	77

**ΑΝΤΛΙΕΣ JET ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ**

ΑΥΤΟ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑΣ AISI 304 ΜΕ ΚΩΝΙΝΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.  
ΓΙΑ ΠΙΣΤΙΚΑ ΣΥΚΟΤΗΜΑΤΑ ΠΟΣΑΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΠΛΑΤΗ ΚΑΙ ΟΥΧΙ ΑΛΛΟΥ ΔΕΝ ΨΙΤΑΚΕΙ ΡΕΥΜΑ.

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΜΟΝΤΕΛΟ	ΤΥΠΟΣ	HP	ΣΤΡΩΒ.	VOLT	ΔΙΑΜ.	M/Y	1	5	10
11.243.528	ECC12J21	528	0.7	2050	12	1	17MIN	61	53	21
11.244.529	ECC24J21	529	0.7	2700	24	1	17MIN	61	56	32

**ΠΙΣΤΙΚΑ TELLARINI 12-24 V INOX**

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΤΥΠΟΣ	ΔΟΞΕΙΟ
88.274.012	528-12V	24 L
88.274.024	529-24V	24 L

**ΑΝΤΛΙΑ ΜΕ BRIO CONTROL 12-24 V**

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΤΥΠΟΣ
88.275.012	528 12 V
88.276.024	529-24V

**ΟΡΕΙΧΑΛΚΙΝΕΣ ΜΕ ΤΡΟΧΑΛΙΑ**

ΜΕ ΑΞΟΝΑ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ 316

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΤΥΠΟΣ	ΔΙΑΜ.
11.210.540	540	3/4
11.211.541	541	1
11.212.542	544	1 1/2
11.213.545	545	2

**ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΕΣ ΜΕ ΤΡΟΧΑΛΙΑ**

ΜΕ ΑΞΟΝΑ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ 316

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΤΥΠΟΣ	ΔΙΑΜ.
11.214.741	741	1
11.215.744	744	1 1/2
11.216.745	745	2

**ΟΡΕΙΧΑΛΚΙΝΕΣ ΜΕ ΣΥΜΠΛΕΚΤΗ**

ΜΕ ΑΞΟΝΑ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ 304

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΔΙΑΜ.
11.223.541	1
11.224.542	1 1/2
11.225.544	2

**ΟΡΕΙΧΑΛΚΙΝΕΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΚΤΗ**

ΜΕ ΑΞΟΝΑ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ 304

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΔΙΑΜ.	VOLT
11.241.544	1 1/2	24
11.241.545	1 1/2	12
11.241.550	2	24

**ΑΝΤΛΙΑ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΡΑΓΛΙΝΟ**

ΚΩΔΙΚΟΣ: 11.220.540

ΟΛΕΣ ΟΙ ΑΝΤΛΙΕΣ ΟΡΕΙΧΑΛΚΙΝΕΣ ΚΑΙ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΣΥΝΘΕΤΕΣ ΜΕ ΤΡΟΧΑΛΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ INOX ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΥΝ ΑΠΟ 1500 ΕΩΣ 3000 RPM. ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΕΥΤΕΣ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΜΕ ΕΛΑΣΤΙΚΟΝ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΝΤΑΙ ΔΕΔΙΟΤΡΟΦΑ Ή ΑΡΕΤΕΡΟΤΡΟΦΑ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΑΣ.

Στα ανταλλακτικά περιλαμβάνονται ρακόρ και κάμλοκ τα οποία είναι εξαρτήματα για τους σωλήνες καθώς και εξαρτήματα αντλιών.

Βασίλειος Μ. Χατζηηλίας

9

Καμλός αθουμνίου

ΕΠΕΞΥΜΕΝΑ - ΠΙΕΣΗ ΑΕΙΟΥΡΓΙΑΣ: 20 BAR

A5 - D

A7 - B

A1 - A

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.020.034 3/4
06.020.001 1
06.020.114 1 1/2
06.020.112 1 1/2
06.020.002 2
06.020.212 2 1/2
06.020.003 3
06.020.004 4
06.020.006 6

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.024.034 3/4
06.024.001 1
06.024.114 1 1/2
06.024.112 1 1/2
06.024.002 2
06.024.212 2 1/2
06.024.003 3
06.024.004 4
06.024.006 6

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.023.034 3/4
06.023.001 1
06.023.114 1 1/2
06.023.112 1 1/2
06.023.002 2
06.023.212 2 1/2
06.023.003 3
06.023.004 4
06.023.006 6

A6 - C

A2 - E

A3 - F

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.021.034 3/4
06.021.001 1
06.021.114 1 1/2
06.021.112 1 1/2
06.021.002 2
06.021.212 2 1/2
06.021.003 3
06.021.004 4
06.021.006 6

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.022.034 3/4
06.022.001 1
06.022.114 1 1/2
06.022.112 1 1/2
06.022.002 2
06.022.212 2 1/2
06.022.003 3
06.022.004 4
06.022.006 6

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.027.034 3/4
06.027.001 1
06.027.114 1 1/2
06.027.112 1 1/2
06.027.002 2
06.027.212 2 1/2
06.027.003 3
06.027.004 4
06.027.006 6

A4 - DP

A8 - DC

ΚΛΕΙΣΤΡΑ - ΑΛΑΣΤΙΚΑ

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.025.034 3/4
06.025.001 1
06.025.114 1 1/2
06.025.112 1 1/2
06.025.002 2
06.025.212 2 1/2
06.025.003 3
06.025.004 4
06.025.006 6

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.026.034 3/4
06.026.001 1
06.026.114 1 1/2
06.026.112 1 1/2
06.026.002 2
06.026.212 2 1/2
06.026.003 3
06.026.004 4
06.026.006 6

ΚΩΔΙΚΟΣ
06.020.000
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
69.002 1-1 1/2
69.002 2-3
69.002 4

Καμλός αθουμνίου συστατικό

ΕΠΕΞΥΜΕΝΑ - ΠΙΕΣΗ ΑΕΙΟΥΡΓΙΑΣ: 20 BAR

A1

A2

A5

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.062.112 2 1/2x1 1/2
06.062.112 2 1/2x2
06.062.002 3x2
06.062.001 3x2 1/2
06.062.004 4x3

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.063.112 1 1/2x1 1/2
06.063.002 2x1 1/2
06.063.001 2 1/2x1 1/2
06.063.212 2 1/2x2
06.063.003 3x2 1/2
06.063.004 4x3

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.065.003 3x2 1/2
06.065.004 4x3
06.065.004 4x3

A6

A7

A1 - A5

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.066.112 1 1/2x1 1/2
06.066.002 2x1 1/2
06.066.212 2 1/2x2
06.066.003 3x2 1/2
06.066.004 4x3

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.067.212 2 1/2x2
06.067.003 3x2 1/2

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ.
06.029.601 3x1 1/2
06.029.602 3x2
06.029.604 4x2
06.029.605 4x3

Καμλός ορεικάλκινα		ΕΠΕΞΥΜΕΝΑ - ΠΙΕΣΗ ΑΕΙΟΥΡΓΙΑΣ: 20 BAR			
A5		A7		A6	
	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.084.001 1 06.084.114 1 1/2 06.084.112 1 1/2 06.084.002 2 06.084.212 2 1/2 06.084.003 3 06.084.004 4		ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.085.001 1 06.085.114 1 1/2 06.085.112 1 1/2 06.085.002 2 06.085.212 2 1/2 06.085.003 3		ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.086.001 1 06.086.114 1 1/2 06.086.112 1 1/2 06.086.002 2 06.086.212 2 1/2 06.086.003 3 06.086.004 4
A2		A4		A8	
	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.087.001 1 06.087.114 1 1/2 06.087.112 1 1/2 06.087.002 2 06.087.212 2 1/2 06.087.003 3 06.087.004 4		ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.088.001 1 06.088.114 1 1/2 06.088.112 1 1/2 06.088.002 2 06.088.212 2 1/2 06.088.003 3		ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.089.001 1 06.089.114 1 1/2 06.089.112 1 1/2 06.089.002 2 06.089.212 2 1/2 06.089.003 3
A1		A3			
	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.090.001 1 06.090.114 1 1/2 06.090.112 1 1/2 06.090.002 2 06.090.212 2 1/2 06.090.003 3 06.090.004 4		ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.091.001 1 06.091.114 1 1/2 06.091.112 1 1/2 06.091.002 2 06.091.212 2 1/2 06.091.003 3		
Καμλός inox 316		ΕΠΕΞΥΜΕΝΑ - ΠΙΕΣΗ ΑΕΙΟΥΡΓΙΑΣ: 20 BAR			
A5		A7		A6	
	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.031.001 1 06.031.114 1 1/2 06.031.112 1 1/2 06.031.002 2 06.031.212 2 1/2 06.031.003 3 06.031.004 4		ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.035.001 1 06.035.114 1 1/2 06.035.112 1 1/2 06.035.002 2 06.035.212 2 1/2 06.035.003 3 06.035.004 4		ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.032.001 1 06.032.114 1 1/2 06.032.112 1 1/2 06.032.002 2 06.032.212 2 1/2 06.032.003 3 06.032.004 4
A2		A4		A8	
	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.033.001 1 06.033.114 1 1/2 06.033.112 1 1/2 06.033.002 2 06.033.212 2 1/2 06.033.003 3 06.033.004 4		ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.036.001 1 06.036.114 1 1/2 06.036.112 1 1/2 06.036.002 2 06.036.212 2 1/2 06.036.003 3 06.036.004 4		ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.037.001 1 06.037.114 1 1/2 06.037.112 1 1/2 06.037.002 2 06.037.212 2 1/2 06.037.003 3 06.037.004 4
A1		A3			
	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.034.001 1 06.034.114 1 1/2 06.034.112 1 1/2 06.034.002 2 06.034.212 2 1/2 06.034.003 3 06.034.004 4		ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΙΑΜ. 06.038.001 1 06.038.114 1 1/2 06.038.112 1 1/2 06.038.002 2 06.038.212 2 1/2 06.038.003 3		

## 3 ΠΡΟΒΛΕΨΗ

Για την σωστή διαχείριση ενός αποθεματικού συστήματος με συγκεκριμένο χρόνο παραλαβής προϊόντων, καθώς και συγκεκριμένη χωρητικότητα είναι απαραίτητο να κάνουμε μία πρόβλεψη μελλοντικής ζήτησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αποφυγή πιθανών κοστών έλλειψης, αλλά και την διατήρηση καλών σχέσεων μεταξύ πελάτη και επιχειρηματία. Να σημειωθεί ότι η πρόβλεψη αποτελεί έναν εκτιμώμενο μέσο όρο της ζήτησης σε μελλοντικό χρονικό διάστημα με περιορισμένη ακρίβεια. Για την μεγιστοποίησή της πρέπει να ταυτιστεί το μοντέλο ζήτησης, το οποίο αποτελείται από αρκετούς παράγοντες. Εφόσον πραγματοποιηθεί η ταυτοποίηση του μοντέλου, υπάρχουν αρκετές μέθοδοι τις οποίες θα αναλυθούν παρακάτω.

### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η πρόβλεψη είναι βασισμένη σε στατιστικές μεθόδους ανάλυσης σειράς γεγονότων. Στόχος μας είναι η δημιουργία μοντέλου για τον τρόπο και το μοτίβο με το οποίο μεταβάλλεται η ζήτηση η οποία συνήθως περιέχει στοιχεία μεταβλητής τυχαιότητας.

Είναι επίσης πιθανό η ζήτηση κάποιου προϊόντος, να εξαρτάται από την ζήτηση άλλου προϊόντος, αυτό ονομάζεται Material Requirement Planning. Στην δική μας περίπτωση, οι τρεις μεγάλες ομάδες προϊόντων είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Γενικά υπάρχουν επιπλέον παράγοντες όπως η εποχή, από την οποία παραδείγματος χάρη, εξαρτάται το πετρέλαιο θέρμανσης.

Τα βήματα για την πρόβλεψη είναι τα εξής:

1. Αναγνώριση μοντέλου ζήτησης
2. Εφαρμογή ή προσαρμογή των δεδομένων πάνω στο μοντέλο ζήτησης
3. Θεώρηση της τελευταίας περιόδου ως άγνωστη και μέτρηση σφάλματος μεθόδου

### 3.2 ΜΟΝΤΕΛΑ ΖΗΤΗΣΗΣ

#### 3.2.1 Συνεχόμενο

Το πιο απλό μοντέλο που μπορούμε να συναντήσουμε είναι αυτό κατά το οποίο οι ζητήσεις σε διαφορετικές περιόδους είναι ανεξάρτητες τυχαίες αποκλίσεις από έναν μέσο όρο που θεωρείται σταθερός με τον χρόνο. Εκφράζεται από τον τύπο:

$$x_t = a + \varepsilon_t$$

όπου

- $x_t$  = ζήτηση τον χρόνο  $t$
- $a$  = μέση ζήτηση (υποθέτουμε ότι αλλάζει πολύ λίγο)
- $\varepsilon_t$  = ανεξάρτητη τυχαία απόκλιση με μέσο όρο μηδέν

Είναι το πιο απλό μοντέλο για προϊόντα που χρησιμοποιούνται συνεχώς όπως για παράδειγμα, το χαρτί. Αν υποθέσουμε ότι η τυχαία απόκλιση είναι ανεξάρτητη και ότι η μέση ζήτηση  $a$  είναι σταθερή, η φυσική εκτιμήτρια του  $a$  είναι ο μέσος όρος των προηγούμενων ζητήσεων. Όμως αν υποθετικά το  $a$  αλλάζει αργά τότε ίσως είναι καλύτερο να χρησιμοποιήσουμε ένα συγκεκριμένο ποσό προηγούμενων ζητήσεων. Το συνεχές μοντέλο είναι βασικό εφαρμόζοντας Κινούμενο Μέσο Όρο και Εκθετική Εξομάλυνση.

### 3.2.2 Τάση

Είναι εφικτό ο ρυθμός με τον οποίο η ζήτηση αυξομειώνεται, να μετρηθεί. Εφόσον αυτό συμβαίνει συστηματικά, τότε μπορεί να ληφθεί υπόψιν η γραμμική τάση στην εξίσωση:

$$x_t = a + b_t + \varepsilon_t$$

όπου  $b_t$  = συστηματική αυξομείωση δηλαδή τάση.

### 3.2.3 Εποχιακή Τάση

Πρόκειται για ένα πολλαπλασιαστικό μοντέλο εποχικότητας, όπου ο συντελεστής εποχικότητας απεικονίζει την ποσοστιαία ζήτηση επί τις εκατό για την δεδομένη αυτή περίοδο. Ο συντελεστής αυτός ονομάζεται  $F_t$  και αν σε ένα χρόνο έχουμε  $T$  περιόδους πρέπει να ισχύει το εξής:

$$\sum_{k=1}^T F_{(t+k)} = T$$

Η ζήτηση τότε εκφράζεται ως:




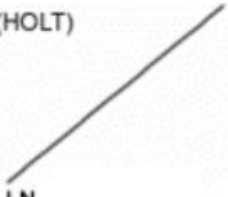


$$x_t = (a + b_t) F_t + \varepsilon_t$$

όπου  $F_t$  = εποχικός δείκτης την περίοδο  $t$  (1.2 σημαίνει ότι είναι 20% μεγαλύτερη ζήτηση σε σχέση με την μέση ζήτηση την τωρινή περίοδο).



### 3.2.4 Συμπεράσματα

Εξετάζοντας τα τρία παραπάνω μοντέλα παρατηρείται ότι το πιο γενικευμένο είναι το μοντέλο εποχιακής τάσης, όμως χρειάζεται να ορίσουμε αρκετές παραμέτρους. Ειδικά αν οι ανεξάρτητες αποκλίσεις αυτών είναι μεγάλες. Σε αυτήν την περίπτωση είναι πιο συνετό να χρησιμοποιηθεί ένα πιο απλό μοντέλο με λιγότερες παραμέτρους. Είναι επίσης σημαντικό να γνωρίζουμε ότι οι ανεξάρτητες αποκλίσεις **εt** δεν μπορούν να προβλεφθούν. Η καλύτερη πρόβλεψη τους είναι ότι πάντα είναι μηδέν. Ωστόσο δεν μπορούν να αγνοηθούν μεγάλες τιμές του **εt**, καθώς θα είναι αδύνατο να αποφύγουμε μεγάλες τιμές των σφαλμάτων. Για παράδειγμα στο συνεχές μοντέλο, η ακρίβεια πρόβλεψης εξαρτάται από την σωστή εκτίμηση της παραμέτρου **a**, στα μοντέλα τάσης των παραμέτρων  $(a+bt)$  κλπ. Στην πράξη, η πρόβλεψη δεν γίνεται συχνά σε άμεση σύνδεση με τον αποθεματικό έλεγχο. Το κυριότερο πρόβλημα είναι ότι προβλέπουμε ζήτηση, αλλά όχι και την ποσότητα στα προϊόντα που ζητούνται όπου τυχαίνει να μην είναι ακριβώς όσα πωλούνται και το αντίστροφο. Η επιλογή ενός μοντέλου είναι η αρχή. Το πρακτικό κομμάτι αντιστοιχεί στο κάθε μοντέλο θα αναλυθεί στην παρακάτω ενότητα.

	Nonseasonal	Additive Seasonal	Multiplicative Seasonal
Constant Level	(SIMPLE)  NN	 NA	 NM
Linear Trend	(HOLT)  LN	 LA	(WINTERS)  LM

## 3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### 3.3.1 Κινούμενος Μέσος (Moving Average)

Έστω ότι το μοντέλο ζήτησης είναι το συνεχές, σκοπός μας είναι να προβλέψουμε το **a**. Αν το **a** ήταν τελείως σταθερό θα έπρεπε απλά να πάρουμε τον ολικό μέσο όρο των παρατηρήσεων. Αν το **a** αλλάζει πολύ αργά, άρα δεν είναι σταθερό, πρέπει να

δοθεί έμφαση στις πιο πρόσφατες τιμές του  $x_t$ . Η ιδέα της μεθόδου του κινούμενου μέσου είναι να εκμεταλλευτεί τις  $N$  πιο πρόσφατες τιμές. Έστω  $a'$  η εκτίμηση του  $a$  και  $x'_{(t, \tau)}$  η πρόβλεψη για την περίοδο  $\tau > t$  αφού παρατηρηθεί η ζήτηση την περίοδο  $t$ .

$$x'_{(t, \tau)} = a'_t = \frac{x_t + x_{(t-1)} + x_{(t-2)} + \dots + x_{(t-N+1)}}{N}$$

Επειδή πρόκειται για σταθερό μοντέλο, η μελλοντική ζήτηση θα είναι η ίδια για οποιαδήποτε τιμή του  $\tau > t$ . Η τιμή του  $N$  εξαρτάται από το πόσο αργά αλλάζει το  $a$  και το μέγεθος της στοχαστικής απόκλισης  $\varepsilon_t$ . Αν αλλάζει γρήγορα το  $a$  και το  $\varepsilon_t$  είναι μικρό θα προτιμήσουμε πιο μικρό  $N$ . Αν το μήκος της περιόδου είναι ο μήνας τότε  $N = 12$  αποφεύγοντας έτσι, τυχόν εποχιακές αλλαγές.

### 3.3.2 Εκθετική Εξομάλυνση (Exponential Smoothing)

Με την εκθετική εξομάλυνση, η πρόβλεψη ανανεώνεται διαφορετικά. Αλλά το αποτέλεσμα παρόμοιο. Έστω σταθερό μοντέλο με σκοπό την εκτίμηση της παραμέτρου  $a$ . Για να ανανεωθεί η πρόβλεψη χρησιμοποιείται ένας γραμμικός συνδυασμός της προηγούμενης πρόβλεψης και της πιο πρόσφατης ζήτησης  $x_t$ :

$$x'_{(t, \tau)} = a'_t = (1-\alpha) a'_{(t-1)} + \alpha x_t \quad \text{για } \tau > t$$

όπου  $\alpha$  = σταθερά εξομάλυνσης ( $0 < \alpha < 1$ )

Λόγω συνεχούς μοντέλου η πρόβλεψη θα είναι ίδια για οποιαδήποτε τιμή του  $\tau$  και μπορεί να γραφτεί με διαφορετικό τρόπο:

$$x'_{(t, \tau)} = a'_t = a'_{(t-1)} + \alpha [x_t - a'_{(t-1)}]$$

Να σημειωθεί ότι παρά τον περιορισμό  $0 < \alpha < 1$ , το  $\alpha$  μπορεί να πάρει τις τιμές 0 και 1. Το 0 σημαίνει ότι δεν ανανεώνεται η ζήτηση και το 1 ότι η τιμή ζήτησης της επόμενης περιόδου είναι ίση με την αμέσως προηγούμενη τιμή της.

### 3.3.3 Εκθετική Εξομάλυνση με Τάση (Exponential Smoothing with Trend)

Πρακτικά, η Εκθετική Εξομάλυνση και ο Κινούμενος Μέσος είναι ιδανικές μέθοδοι για τις περισσότερες εφαρμογές. Ωστόσο για πιο συγκεκριμένες ομάδες προϊόντων που πολλές φορές τείνουν να ακολουθούν κάποια τάση ή εποχική συμπεριφορά, χρειαζόμαστε διαφορετικές μεθόδους ή παραλλαγές γνωστών μεθόδων. Μία από αυτές είναι η Εκθετική Εξομάλυνση με τάση.

Έστω ότι ένα μοντέλο τάσης στην θέση του συνεχούς. Για να εκτιμηθεί σωστά η πρόβλεψη, πρέπει πρώτα να εκτιμηθούν οι παράμετροι μέσης ζήτησης και τάσης  $a_t$

και  $b_t$ . Ομοίως με την περίπτωση συνεχούς μοντέλου, δεν μπορεί να προβλεφθεί η τυχαία απόκλιση  $\varepsilon_t$ . Υπάρχουν περισσότερες από μία τεχνικές για την εκτίμηση των  $a_t$  και  $b_t$ . Μία από αυτές συστήθηκε από τον Holt το (1957):

$$a'_t = (1-\alpha) [a'_{(t-1)} + b'_{(t-1)}] + \alpha x_t$$

$$b'_t = (1-\beta) b_{(t-1)} + \beta [a'_t - a'_{(t-1)}] \text{ όπου } \alpha, \beta \text{ σταθερές εξομάλυνσης } 0 < \alpha, \beta < 1$$

Η πρόβλεψη για μελλοντική περίοδο  $t+k$  υπολογίζεται:

$$x'_{(t, t+k)} = a'_t + k b'_t$$

Η κυριότερη διαφορά με την απλή Εκθετική Εξομάλυνση είναι ότι δεν υπάρχει ίδια πρόβλεψη για όλες τις μελλοντικές περιόδους. Όσο για την τάση, μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές. Όπως και με την Εκθετική Εξομάλυνση, δίνοντας μεγάλες τιμές στα  $\alpha$  &  $\beta$ , σημαίνει ότι τα συστήματα πρόβλεψης αντιδρούν πιο γρήγορα σε αλλαγές, αλλά ταυτόχρονα και πιο ευαίσθητα σε κάθε τυχαία στοχαστική απόκλιση. Προτείνεται, συνήθως, σχετικά μικρή τιμή στο  $\beta$  καθώς τα σφάλματα στην τάση είναι πιο μοιραία.

### 3.3.4 Μέθοδος Εποχικότητας-Τάσης του Winters (Winters' seasonal trend method)

Όπως και στην παραπάνω παράγραφο, υποτίθεται ότι η ζήτηση ακολουθεί ένα πολλαπλασιαστικό μοντέλο εποχικότητας με τάση. Τέτοιο μοντέλο χρησιμοποιείται για πολύ συγκεκριμένες κατηγορίες προϊόντων με πολύ ξεκάθαρες αλλαγές λόγω εποχής όπως για παράδειγμα οι σόμπες τον χειμώνα. Την μέθοδο την πρότεινε ο Winters το 1960 η οποία είναι μια γενίκευση της Εκθετικής Εξομάλυνσης με Τάση. Όταν καταγράφεται η ζήτηση  $x_t$  την περίοδο  $t$ , η  $(x_t/F'_t)$  είναι η ζήτηση αυτής της περιόδου χωρίς εποχιακές διαφοροποιήσεις:

$$a'_t = (1 - \alpha)(a'_{(t-1)} + b'_{(t-1)}) + \alpha \left( \frac{x_t}{F'_t} \right)$$



$$b'_t = (1-\beta) b_{(t-1)} + \beta (a'_t - a'_{(t-1)})$$

$$F'_t = (1-\gamma)F'_t + \gamma \frac{x_t}{a'_t}, \quad F'_{(t-i)} = F'_{t(i)} \text{ για } i = 1, 2, \dots, T-1$$

Συνοπτικά, σε μια περίοδο, είτε είναι δωδεκάμηνη, είτε μηνιαία, εφόσον δεν υπολογίζεται η εποχικότητα του επόμενου μήνα, η εποχικότητα εκφράζεται ως μία συνάρτηση της αμέσως προηγούμενης. Δεδομένου ότι βρίσκονται στην ίδια περίοδο. Επίσης  $0 < \gamma < 1$  άλλη μία σταθερά εξομάλυνσης. Απαιτείται το σύνολο  $T$  συνεχόμενων εποχιακών δεικτών να είναι ίσο με  $T$ .

$$F'_{(t-i)} = F'_{(t-i)} \left( \frac{T}{\sum_{k=0}^{T-1} F'_{(t-k)}} \right) \text{ για } i = 0, 1, \dots, T-1$$

Οι δείκτες αυτοί εφαρμόζονται και για μελλοντικές περιόδους μέχρι να ανανεωθούν την επόμενη φορά.

$$F'_{(t-i+kT)} = F'_{(t-i)} \text{ για } i = 0, 1, \dots, T-1 \text{ \& } k = 1, 2, \dots$$

Η πρόβλεψη την περίοδο  $t+k$  υπολογίζεται :

$$x'_{(t, t+k)} = (a'_t + kb'_t) F'_{(t+k)}$$

Μία εναλλακτική είναι να καταχωρηθούν χειροκίνητα οι εποχιακοί δείκτες. Στην πράξη συνηθίζεται λόγω απλότητας. Το αντίστοιχο σταθερό εποχιακό μοντέλο χωρίς τάση :

$$a'_t = (1-a)a'_{(t-1)} + a \left( \frac{x_t}{F'_t} \right)$$

$$x'_{(t, t+k)} = a'_t F'_{(t+k)}$$

### 3.3.5 Τεχνικές Box Jenkins

Οι στοχαστικές αποκλίσεις ετ σε μοντέλα ζήτησης που αναφέρθηκαν στην αρχή είναι ορισμένες ως ανεξάρτητες. Διευκολύνει την αντίληψη καταστάσεων στις

οποίες δεν ισχύει κάτι τέτοιο. Για ορισμένη ποσότητα πελατών με μεγάλη ζήτηση είναι αναμενόμενο μερικές ζητήσεις σε συνεχόμενες περιόδους να είναι αρνητικά συσχετισμένες μεταξύ τους. Υψηλή ζήτηση για μία συγκεκριμένη περίοδο, πιθανότατα σημαίνει ότι ένα μεγάλο μέρος των πελατών έχει ικανοποιηθεί, οπότε την επόμενη περίοδο αναμένεται μικρότερη ζήτηση. Επίσης, η υψηλή ζήτηση είναι πιθανό να προσελκύσει περισσότερους νέους πελάτες λόγω της προηγούμενης περιόδου. Οπότε, δεν υπάρχουν καταστάσεις με θετικά σχετιζόμενες ζητήσεις. Οι τεχνικές πρόβλεψης που μπορούν να διαχειριστούν σχετιζόμενες στοχαστικές αποκλίσεις ζητήσεων και άλλες πιο γενικές διαδικασίες ζήτησης, έχουν δομηθεί από τον Μποξ και τον Τζένκινς (1970) . Ένα γενικό μη εποχικό μοντέλο ζήτησης είναι γνωστό ως Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA)(p,d,q). Ορίζουμε

- **p** = τάξη αυτοπαλινδρόμησης
- **d** = βαθμός διαφορίσης
- **q** = τάξη κινούμενου μέσου

Αν  $x_t$  είναι η αρχική χρονοσειρά της ζήτησης το μοντέλο γράφεται

$$z_t = a + b_1 z_{t-1} + \dots + b_p z_{t-p} + \varepsilon_t + c_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + c_q \varepsilon_{t-q}$$

όπου  $z_t = x_t - x_{t-d}$  για  $d = 1, 2, 3, \dots$

Για παράδειγμα για ένα μοντέλο ARIMA(p,1,q)

$$z_t = a + b_1 z_{t-1} + \dots + b_p z_{t-p} + \varepsilon_t + c_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + c_q \varepsilon_{t-q}$$

γράφεται

$$x_t - x_{t-1} = a + b_1 (x_{t-1} - x_{t-2}) + \dots + b_p (x_{t-p} - x_{t-p-1}) + \varepsilon_t + c_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + c_q \varepsilon_{t-q}$$

Αν γνωρίζουμε τα  $x_{t-1}, x_{t-2}, x_{t-3}, \dots$  και τα προηγούμενα σφάλματα  $\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots$  τότε η πρόβλεψη  $x_t$  προκύπτει αντικαθιστώντας την τιμή  $\varepsilon_t = 0$  ως εκτίμηση μελλοντικού σφάλματος και έχουμε

$$x_t = x_{t-1} + a + b_1 (x_{t-1} - x_{t-2}) + \dots + b_p (x_{t-p} - x_{t-p-1}) + c_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + c_q \varepsilon_{t-q}$$

### 3.4 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ

Μέχρι στιγμής έχει παρουσιαστεί ο τρόπος της εκτίμησης του μέσου όρου της μελλοντικής ζήτησης. Όμως δεν είναι αρκετή η γνώση του μέσου όρου. Για να εξασφαλιστεί ένα σωστό απόθεμα ασφαλείας, επιβάλλεται να υπολογιστεί το σφάλμα πρόβλεψης. Ο πιο συχνός τρόπος περιγραφής των αποκλίσεων είναι μέσω της τυπικής απόκλισης:

$$\sigma = \sqrt{E(X - m)^2}$$

- Όπου  $X$  η στοχαστική μεταβλητή με μέσο όρο  $m = E(X)$ .

Όταν πρόκειται για σφάλματα πρόβλεψης, δεν υπολογίζεται η τυπική απόκλιση και η διασπορά ευθέως. Υπολογίζεται η Μέση Απόλυτη Απόκλιση (Mean Absolute Deviation). Πρόκειται για την εκτιμώμενη τιμή της απόλυτης απόκλισης από τον μέσο:

$$MAD = E | (X - m) |$$

Το **MAD** εκτιμάται λόγω της απλότητας σε πράξεις. Πλέον είναι εξίσου απλό να υπολογιστούν και τα τρία χωρίς ιδιαίτερη προσπάθεια. Συνήθως το **MAD** και το  $\sigma$  δίνουν πολύ παρόμοιες εικόνες για την απόκλιση των μεταβλητών από το μέσο.

Το **MAD** όμως δεν είναι το ίδιο κάθε φορά, ανανεώνεται όπως όλο το σύστημα. Έστω σταθερό μοντέλο ζήτησης, η ανανέωση του **MAD** επιτυγχάνεται με την απλή Εκθετική Εξομάλυνση χωρίς τις ίδιες τιμές των σταθερών εξομάλυνσης, το ίδιο θα ισχύει και για άλλα μοντέλα. Για το σταθερό:

$$MAD_t = (1 - \alpha) MAD_{(t-1)} + \alpha (|x_t - \tilde{x}|) \text{ όπου } \alpha \text{ σταθερά εξομάλυνσης και } 0 < \alpha < 1.$$

Καθορίζοντας το **MAD** και το  $\sigma$  αφορά το σφάλμα πρόβλεψης προβλέποντας την επόμενη περίοδο. Το σφάλμα πρόβλεψης της ζήτησης για πιο μακρινές περιόδους είναι μεγαλύτερο. Κατά κανόνα μπορεί να ανανεωθεί το σφάλμα, πράγμα ασυνήθιστο στην πράξη. Συνήθως, το **MAD(t)** χρησιμοποιείται ως αναμενόμενο απόλυτο σφάλμα, όχι μόνο για την ζήτηση την περίοδο  $t+1$ , αλλά επίσης για την ζήτηση την περίοδο  $t+k$  με  $k > 1$ . Σε σύνδεση με τον αποθεματικό έλεγχο, είναι πολύ σύνηθες ότι πρέπει να ληφθεί υπόψιν μία συντομότερη ή μεταγενέστερη περίοδος, έτσι ώστε να υπάρξει κάποιο προβάδισμα. Δεδομένου ότι τα σφάλματα είναι αυξανόμενα προβλέποντας για πιο μακρινές περιόδους και είναι ανεξάρτητα του χρόνου:

$$\sigma_L = \sigma_t \sqrt{L}$$

### **3.5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΩΛΗΣΕΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΖΗΤΗΣΗΣ**

Είναι αρκετά δύσκολο στην πράξη να μετρηθεί η πραγματική ζήτηση, διότι αν μία ζήτηση δεν ικανοποιηθεί, δεν λαμβάνεται ως πώληση. Αν πρόκειται όμως για πωλήσεις, η πρόβλεψη είναι φυσικά για τις πωλήσεις. Διατηρώντας ένα υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης, προκύπτουν λιγότερες χαμένες πωλήσεις και το σφάλμα μπορεί να αγνοηθεί. Αλλά υπάρχουν επίσης καταστάσεις όπου το σφάλμα είναι σχετικά μεγάλο. Μετρώντας τις ανικανοποίητες ζητήσεις είναι μία μέθοδος μείωσης του σφάλματος. Όταν ένας πελάτης ζητάει ένα μη διαθέσιμο προϊόν, λαμβάνεται ως ζήτηση. Οπότε, για να αποτραπούν μεγάλα σφάλματα χρησιμοποιούμε δεδομένα πωλήσεων.

### **3.6 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΓΓΛΕΙΑ**

Παρακάτω γίνεται εφαρμογή των μεθόδων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Πρόσθετες μέθοδοι επίσης αναφέρονται και δημιουργείται πόρισμα με βάση το σφάλμα κάθε μεθόδου. Χρησιμοποιούνται κυρίως μέθοδοι από Microsoft Excel , ορισμένες αυτοματοποιημένες , καθώς και MATLAB.

#### **3.6.1 Δεδομένα**

Τα ιστορικά δεδομένα είναι το πιο σημαντικό κομμάτι για μία σωστή πρόβλεψη καθώς η αποτελεσματικότητα της προέρχεται από το πόσο ευανάγνωστα είναι. Σε μία επιχείρηση όπως η συγκεκριμένη με μεγάλο ανταγωνισμό είναι δύσκολο να προβλεφθούν οι πωλήσεις με μέγιστη ακρίβεια, κυρίως λόγω αδυναμίας

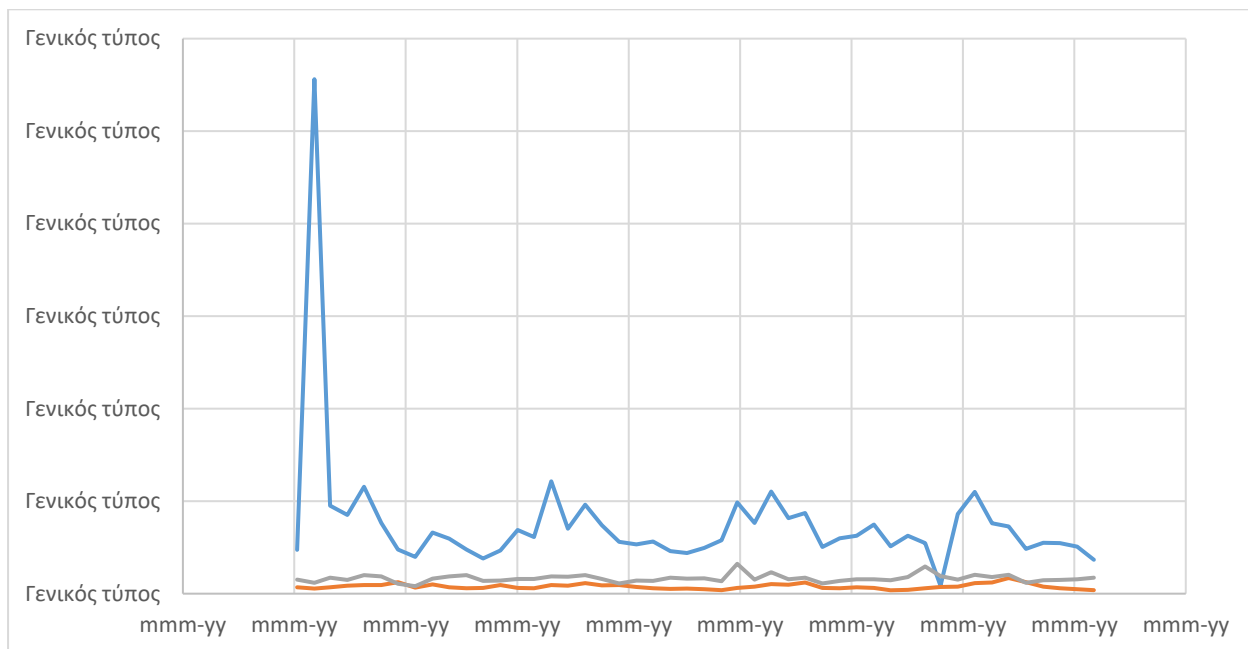
πρόβλεψης της στοχαστική απόκλισης  $\epsilon_t$ . Η αξιοπιστία των δεδομένων μπορεί να μετρηθεί μέσω του ελέγχου λευκότητας. Πιο αξιόπιστα και σχετιζόμενα χρονικά δεδομένα καταλήγουν σε πιο καθαρή πρόβλεψη.

### **3.6.2 Μελέτη Δεδομένων και Έλεγχος Λευκότητας**

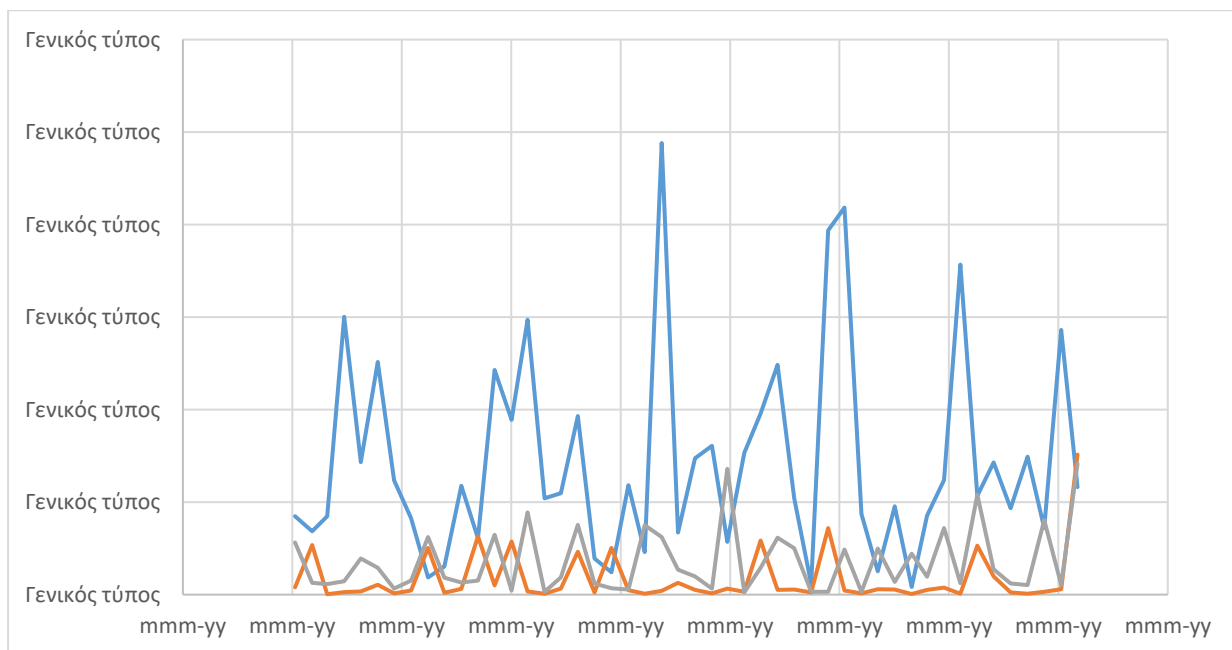
Κατέχοντας δεδομένα τεσσάρων ολόκληρων ετών για τρεις μεγάλες ομάδες προϊόντων, εφαρμόζεται ο έλεγχος λευκότητας για τον καθορισμό της αξιοπιστίας των δεδομένων. Πρόκειται για δεδομένα πωλήσεων καθώς, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, οι υψηλές ζητήσεις δεν συνεπάγονται με υψηλές πωλήσεις, όμως οι υψηλές πωλήσεις συνεπάγονται με υψηλές ζητήσεις.

Ημ/νια	Σωλήνες	Καθαρές Αγορές		Σωλήνες	Καθαρές Πωλήσεις	
		Αντλίες	Ανταλλακτικά		Αντλίες	Ανταλλακτικά
Ιαν-15	84731,3	7896	56326	95137,7	14043	30567
Φεβ-15	68608	53587	12787	1112285	10951	23831
Μαρ-15	84841,8	429	11412	190067,4	13609	34562
Απρ-15	300492,5	2675	14300	170231,2	17618	29822
Μαϊ-15	143141,5	3475	39162	231354,6	18814	40396
Ιουν-15	251689,8	10651	29125	152925,1	18507	37201
Ιουλ-15	123650,2	1420	6585	95297,57	24743	21319
Αυγ-15	82709,5	4583	14996	79629,44	13316	16211
Σεπ-15	18690,94	50526	62348	132313	20248	32183
Οκτ-15	30333,95	1985	18287	119008,4	13613	37043
Νοε-15	117566,1	6295	12955	95301,5	11438	39825
Δεκ-15	60876	62965	15274	76279,08	12513	27666
Ιαν-16	242893,7	9909	64478	93551,6	18617	28322
Φεβ-16	188842,6	57215	4564	137825,7	12145	31980
Μαρ-16	297109,4	3496	88745	122676,5	11487	31764
Απρ-16	104058	940	3087	242644,8	18720	37379
Μαϊ-16	109745	6508	18548	140321,1	17281	36487
Ιουν-16	192923,3	46337	75464	192612,3	22654	39768
Ιουλ-16	39061	2405	12177	148287,3	17727	31807
Αυγ-16	24304	50332	6954	112214,2	18752	21823
Σεπ-16	118156,2	4877	5611	106557,7	14518	28027
Οκτ-16	46113,81	1073	74975	112560,7	11693	27351
Νοε-16	488183,3	3990	62175	91846,33	10080	34723
Δεκ-16	67143,83	12632	27085	87660,95	11377	32540
Ιαν-17	147349,3	5023	19659	98792,65	9959	33422
Φεβ-17	160903	1325	6362	115699,7	7826	27271
Μαρ-17	56882,45	6359	136078	196990,7	12606	64589
Απρ-17	153232,2	3077	2451	152622,3	15253	30212
Μαϊ-17	195786,6	58468	28888	220859,3	20785	46487
Ιουν-17	248382,3	5218	61653	163002,2	19038	30954
Ιουλ-17	104200,3	5536	50124	174098,6	23986	34776
Αυγ-17	11213,2	2385	3049	101012,5	12507	22105
Σεπ-17	393792,5	72023	3026	119707,1	11446	27434
Οκτ-17	418444,8	4358	48702	125072,3	14039	31386
Νοε-17	87114,8	1180	3056	149791,6	12481	30914
Δεκ-17	25253,14	5909	49913	102491,3	7356	28791
Ιαν-18	95370,8	5460	13728	125506,1	8397	36259
Φεβ-18	8292,8	783	44144	109552,4	12033	58558
Μαρ-18	85575,2	5261	19317	17101,76	14288	38251
Απρ-18	123888,5	7545	71860	172539,2	15095	30737
Μαϊ-18	356902,3	1141	12382	220061,5	22757	40698
Ιουν-18	106744	52925	107911	152354,5	24070	35903
Ιουλ-18	142725,3	19815	27193	145404,6	33825	40976
Αυγ-18	93269,1	2325	11878	96592,7	25056	23684
Σεπ-18	149130,1	1111	10233	109935,1	14926	29213
Οκτ-18	72020,3	3210	80459	109189,5	11998	30052
Νοε-18	286139,3	5918	10604	101760,2	9695	31454
Δεκ-18	116172,7	151329	141531	73523,2	7362	34734

- Πωλήσεις:



- Αγορές:



Παρατηρούνται πολλές διαδοχικές και απότομες διακυμάνσεις. Ως αποτέλεσμα αυξάνεται η δυσκολία ακριβής πρόβλεψης καθώς η πρόβλεψη είναι βέλτιστη όσο πιο σταθερά είναι τα ιστορικά δεδομένα.

Υπολογίζεται η μερική αυτοσυσχέτιση με τα παρακάτω βήματα:

#### Μεθοδολογία (q)

1. Παίρνουμε τα τυχαία δεδομένα  $X_t$  με τα διαφοροποιημένα δεδομένα
2. Υπολογίζουμε μέση τιμή, τυπική απόκλιση και διασπορά
3. Υπολογίζουμε την συμμεταβλητότητα για  $k=1$  όπου  $k = \text{lag}$  αυξάνοντας το  $k$  σταδιακά
4. Υπολογίζουμε αυτοσυσχέτιση για πεπερασμένο αριθμό  $k$  και απεικονίζουμε την συμπεριφορά τους σε ένα σχήμα μεταξύ δύο ορίων που δίνονται απ' το τυπολόγιο

#### Μεθοδολογία (p)

1. Φτιάχνουμε τον πίνακα αυτοσυσχετίσεων για πεπερασμένα  $k$  (τετραγωνικός πίνακας)
2. Υπολογίζουμε το γραμμικό σύστημα αντιστρέφοντας τον πίνακα με γραμμικές εξισώσεις, σκοπός είναι να υπολογίσουμε την μερική αυτοσυσχέτιση  $\phi_{kk}$ .
3. Παρατηρούμε την συμπεριφορά των μερικών αυτοσυσχετίσεων σε ένα σχήμα μεταξύ των δύο ορίων που υπολογίσαμε.

#### Κριτήρια για (p) & (q)

**q**

1. Μερικές αυτοσυσχετίσεις τάξης  $> p$   $\phi_{kk} = 0$  (μέσα στα όρια για  $k=q+1, q+2, \dots$ )
2. Όλες οι αυτοσυσχετίσεις  $\rho$  έχουν ημιτονοειδή ή γεωμετρική απόσβεση.

**p**

1. Οι μερικές αυτοσυσχετίσεις από Y-W να έχουν γεωμετρική ή ημιτονοειδή απόσβεση
2. Όλες οι αυτοσυσχετίσεις τάξης  $> q$   $\rho = 0$  (μέσα στα όρια για  $k=p+1, p+2, \dots$ )

#### ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ

Μέσος όρος :  $\mu = \Sigma(X_t)/n$

Διασπορά/Τυπική απόκλιση<sup>2</sup>:  $\sigma^2 = \Sigma[(X_t - \mu)^2]/n$

Αυτοσυμμεταβλητότητα : όπου  $k=1$  Για  $i = 1$  έως  $n-k$

$$\gamma_k = \Sigma[(X_i - \mu) \cdot (X_{i+k} - \mu)]/n$$

$k = k+1$ , επαναλαμβάνουμε για όσα  $k$  θέλουμε

Αυτοσυσχέτιση:  $\rho_k = \gamma_k/\gamma_0$  όπου  $\gamma_0 = \text{Διασπορά}$

Άνω/Κάτω όριο:  $\pm (2/n^{0.5})$

Τα αποτελέσματα έχουν ως εξής:



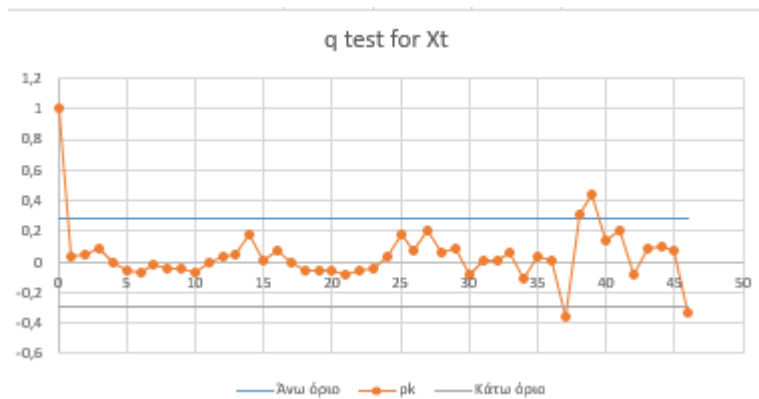
Υπολογίζεται μέσος όρος και τυπική απόκλιση με σκοπό την εύρεση της αυτοσυμμεταβλητότητας όπως περιγράφεται στο τυπολόγιο (σελ. 23).

	Data Xt	(1-B)Xt		S.Dev.^2	k(lag)	Autocovariance(Xt)	Auto Cov (1-B)Xt
1-Ιαν	95137,7		Xt	21651951577	1	668984697	-20952983348
1-Φεβ	1112285	1017148	(1-B)Xt	42683672718	2	1092696572	-1534620239
1-Μαρ	190067,4	-922217,9		Crowd	3	1885211286	2728923673
1-Απρ	170231,2	-19836,25	Xt	48	4	-38490515,04	-649300968,3
1-Μαϊ	231354,6	61123,41	(1-B)Xt	47	5	-1327923634	-1132906073
1-Ιουν	152925,1	-78429,49			6	-1594637552	-1443148995
1-Ιουλ	95297,57	-57627,5			7	-510326710	1585144797
1-Αυγ	79629,44	-15668,33			8	-887516769,8	-207452925,2
1-Σεπ	132313	52683,51			9	-1055766502	-52098031,91
1-Οκτ	119008,4	-13304,59			10	-1432923193	-1673773010
1-Νοε	95301,5	-23706,86			11	-61134549,31	503623127,9
1-Δεκ	76279,08	-19022,42			12	870406819,1	952678414,2
1-Ιαν	93551,6	17272,52			13	894233975,3	-2631672972
1-Φεβ	137825,7	44274,12			14	3725025698	6348729038
1-Μαρ	122676,5	-15149,22			15	303369870,6	-4663660926
1-Απρ	242644,8	119968,3			16	1596237177	2842971986
1-Μαϊ	140321,1	-102323,7			17	-136825819	-472264209,9
1-Ιουν	192612,3	52291,23			18	-1236610282	-1204891449
1-Ιουλ	148287,3	-44325,03			19	-1335719716	-170340594
1-Αυγ	112214,2	-36073,1			20	-1251242888	610748455,3
1-Σεπ	106557,7	-5656,54			21	-1918160604	-1200957180
1-Οκτ	112560,7	6003,04			22	-1320109151	179927040,1
1-Νοε	91846,33	-20714,37			23	-1093543067	-1508622851
1-Δεκ	87660,95	-4185,38			24	599693940,9	-1428715448
1-Ιαν	98792,65	11131,7			25	3867099460	5916403242
1-Φεβ	115699,7	16907,05			26	1579690822	-5045756190
1-Μαρ	196990,7	81290,95			27	4519089269	6321579332
1-Απρ	152622,3	-44368,35			28	1235572216	-3936106625
1-Μαϊ	220859,3	68237			29	1919662403	4274380402
1-Ιουν	163002,2	-57857,15			30	-1759279525	-5707748667
1-Ιουλ	174098,6	11096,45			31	68271854,55	1398582335
1-Αυγ	101012,5	-73086,15			32	127969740,4	-598433109,6
1-Σεπ	119707,1	18694,65			33	1268274846	4464120776
1-Οκτ	125072,3	5365,2			34	-2250351007	-6898930694
1-Νοε	149791,6	24719,3			35	871766040,8	3888242682
1-Δεκ	102491,3	-47300,35			36	34911589,4	6969663611
1-Ιαν	125506,1	23014,85			37	-7765779527	-23858579059
1-Φεβ	109552,4	-15953,7			38	6607440605	13122324026
1-Μαρ	17101,76	-92450,64			39	9526520019	13252186889
1-Απρ	172539,2	155437,4			40	2993770313	-8581504379
1-Μαϊ	220061,5	47522,25			41	4348532669	6641308225
1-Ιουν	152354,5	-67707			42	-1917183284	-11869478603
1-Ιουλ	145404,6	-6949,9			43	1977068584	3366471602
1-Αυγ	96592,7	-48811,85			44	2296394414	2521514756
1-Σεπ	109935,1	13342,4			45	1677571073	10088409637
1-Οκτ	109189,5	-745,65			46	-7180286481	0
1-Νοε	101760,2	-7429,3			47	0	
1-Δεκ	73523,2	-28236,95					

Autocorrelation(Xt)	1	Auto Corr. (1-B)Xt	1
	0,030897		-0,49089
	0,050466		-0,03595
	0,087069		0,063934
	-0,00178		-0,01521
	-0,06133		-0,02654
	-0,07365		-0,03381
	-0,02357		0,037137
	-0,04099		-0,00486
	-0,04876		-0,00122
	-0,06618		-0,03921
	-0,00282		0,011799
	0,0402		0,02232
	0,0413		-0,06166
	0,172041		0,148739
	0,014011		-0,10926
	0,073723		0,066606
	-0,00632		-0,01106
	-0,05711		-0,02823
	-0,06169		-0,00399
	-0,05779		0,014309
	-0,08859		-0,02814
	-0,06097		0,004215
	-0,05051		-0,03534
	0,027697		-0,03347
	0,178603		0,13861
	0,072958		-0,11821
	0,208715		0,148103
	0,057065		-0,09222
	0,08866		0,100141
	-0,08125		-0,13372
	0,003153		0,032766
	0,00591		-0,01402
	0,058576		0,104586
	-0,10393		-0,16163
	0,040263		0,091094
	0,001612		0,163286
	-0,35866		-0,55896
	0,305166		0,307432
	0,439984		0,310474
	0,138268		-0,20105
	0,200838		0,155594
	-0,08855		-0,27808
	0,091311		0,07887
	0,106059		0,059074
	0,077479		0,236353
	-0,33162		
UL	0,288675		0,288675
LL	-0,28868		-0,29173

k	Xt		
	Άνω όριο	pk	Κάτω όριο
0	0,288675	1	-0,288675
1	0,288675	0,030897	-0,288675
2	0,288675	0,050466	-0,288675
3	0,288675	0,087069	-0,288675
4	0,288675	-0,00178	-0,288675
5	0,288675	-0,06133	-0,288675
6	0,288675	-0,07365	-0,288675
7	0,288675	-0,02357	-0,288675
8	0,288675	-0,04099	-0,288675
9	0,288675	-0,04876	-0,288675
10	0,288675	-0,06618	-0,288675
11	0,288675	-0,00282	-0,288675
12	0,288675	0,0402	-0,288675
13	0,288675	0,0413	-0,288675
14	0,288675	0,172041	-0,288675
15	0,288675	0,014011	-0,288675
16	0,288675	0,073723	-0,288675
17	0,288675	-0,00632	-0,288675
18	0,288675	-0,05711	-0,288675
19	0,288675	-0,06169	-0,288675
20	0,288675	-0,05779	-0,288675
21	0,288675	-0,08859	-0,288675
22	0,288675	-0,06097	-0,288675
23	0,288675	-0,05051	-0,288675
24	0,288675	0,027697	-0,288675
25	0,288675	0,178603	-0,288675
26	0,288675	0,072958	-0,288675
27	0,288675	0,208715	-0,288675
28	0,288675	0,057065	-0,288675
29	0,288675	0,08866	-0,288675
30	0,288675	-0,08125	-0,288675
31	0,288675	0,003153	-0,288675
32	0,288675	0,00591	-0,288675
33	0,288675	0,058576	-0,288675
34	0,288675	-0,10393	-0,288675
35	0,288675	0,040263	-0,288675
36	0,288675	0,001612	-0,288675
37	0,288675	-0,35866	-0,288675
38	0,288675	0,305166	-0,288675
39	0,288675	0,439984	-0,288675
40	0,288675	0,138268	-0,288675
41	0,288675	0,200838	-0,288675
42	0,288675	-0,08855	-0,288675
43	0,288675	0,091311	-0,288675
44	0,288675	0,106059	-0,288675
45	0,288675	0,077479	-0,288675
46	0,288675	-0,33162	-0,288675

Επιβάλλεται ημιτονοειδή μορφή αυτοσυσχετίσεων ή γεωμετρική απόσβεση εντός των ορίων.



	$X_t$
Μέσος όρος	151921,9
RMSE	
Error av Forecast = 0	211499,9
Error av Forecast = Μέσος όρος	147146

Οι μερικές αυτοσυσχετίσεις  $\rho$  θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των συντελεστών  $\phi$ . Υπολογίζεται το γραμμικό σύστημα σύμφωνα με τον κανόνα:

$$\begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{p-1} \\ \rho_1 & 1 & \dots & \rho_{p-2} \\ \vdots & & \ddots & \\ \rho_{p-1} & \rho_{p-2} & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{p1} \\ \phi_{p2} \\ \vdots \\ \phi_{pp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \vdots \\ \rho_p \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \phi_{p1} \\ \phi_{p2} \\ \vdots \\ \phi_{pp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{p-1} \\ \rho_1 & 1 & \dots & \rho_{p-2} \\ \vdots & & \ddots & \\ \rho_{p-1} & \rho_{p-2} & & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \vdots \\ \rho_p \end{bmatrix}$$

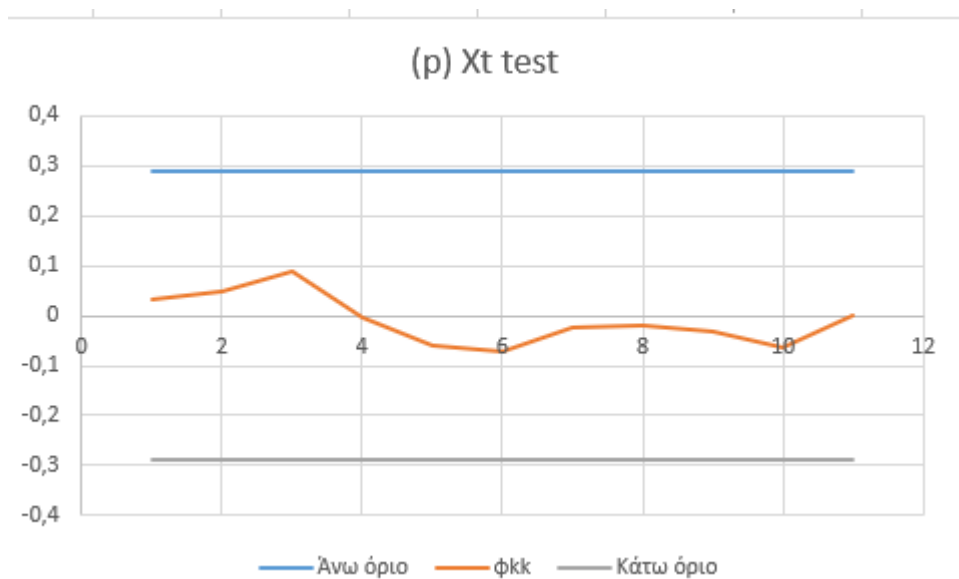
Με τις αυτοσυσχετίσεις από την προηγούμενη μέθοδο, υπολογίζονται οι εξισώσεις Yule – Walker.

$x_t$	
k	$\rho_k$
0	1
1	0,030897
2	0,050466
3	0,087069
4	-0,00178
5	-0,06133
6	-0,07365
7	-0,02357
8	-0,04099
9	-0,04876
10	-0,06618
11	-0,00282
12	0,0402
13	0,0413
14	0,172041
15	0,014011
16	0,073723
17	-0,00632
18	-0,05711
19	-0,06169
20	-0,05779
21	-0,08859
22	-0,06097
23	-0,05051
24	0,027697
25	0,178603
26	0,072958
27	0,208715
28	0,057065
29	0,08866
30	-0,08125
31	0,003153
32	0,00591
33	0,058576
34	-0,10393
35	0,040263
36	0,001612
37	-0,35866
38	0,305166
39	0,439984
40	0,138268
41	0,200838
42	-0,08855
43	0,091311
44	0,106059
45	0,077479
46	-0,33162

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1	0,030897	0,050466	0,087069	-0,00178	-0,06133	-0,07365	-0,02357	-0,04099	-0,04876	-0,06618	-0,002824
1	0,030897	1	0,030897	0,050466	0,087069	-0,00178	-0,06133	-0,07365	-0,02357	-0,04099	-0,04876	-0,06618
2	0,050466	0,030897	1	0,030897	0,050466	0,087069	-0,00178	-0,06133	-0,07365	-0,02357	-0,04099	-0,048761
3	0,087069	0,050466	0,030897	1	0,030897	0,050466	0,087069	-0,00178	-0,06133	-0,07365	-0,02357	-0,04099
4	-0,00178	0,087069	0,050466	0,030897	1	0,030897	0,050466	0,087069	-0,00178	-0,06133	-0,07365	-0,02357
5	-0,06133	-0,00178	0,087069	0,050466	0,030897	1	0,030897	0,050466	0,087069	-0,00178	-0,06133	-0,073649
6	-0,07365	-0,06133	-0,00178	0,087069	0,050466	0,030897	1	0,030897	0,050466	0,087069	-0,00178	-0,06133
7	-0,02357	-0,07365	-0,06133	-0,00178	0,087069	0,050466	0,030897	1	0,030897	0,050466	0,087069	-0,001778
8	-0,04099	-0,02357	-0,07365	-0,06133	-0,00178	0,087069	0,050466	0,030897	1	0,030897	0,050466	0,087069
9	-0,04876	-0,04099	-0,02357	-0,07365	-0,06133	-0,00178	0,087069	0,050466	0,030897	1	0,030897	0,050466
10	-0,06618	-0,04876	-0,04099	-0,02357	-0,07365	-0,06133	-0,00178	0,087069	0,050466	0,030897	1	0,030897
11	-0,00282	-0,06618	-0,04876	-0,04099	-0,02357	-0,07365	-0,06133	-0,00178	0,087069	0,050466	0,030897	1

[illegible]





Ως συμπέρασμα, η χρονοσειρά δεν είναι προβλέψιμη, διότι είναι ασυσχέτιστη με το χρόνο καθώς και με τις προηγούμενες και επόμενες τιμές της. Επίσης δεν μπορεί να προσαρμοστεί στη χρονοσειρά κάποιο ARMA / ARIMA μοντέλο.

### 3.6.3 Δοκιμές και Αποτελέσματα από Αυτοματοποιημένες Μεθόδους

Σύγχρονα εργαλεία της στατιστικής παρέχουν την δυνατότητα πρόβλεψης και υπολογισμού παραμέτρων πρόβλεψης με την χρήση μίας απλής διαταγής. Η αποτελεσματικότητά τους σε ένα πολύπλοκο πραγματικό πρόβλημα όμως, θα μελετηθεί παρακάτω.

Ξεκινώντας με το Excel, όντας πιο φιλικό στον χρήστη, χρησιμοποιείται πρόβλεψη με Εκθετική Εξομάλυνση και Πολλαπλασιαστική Εποχικότητα. Εφόσον τα δεδομένα δεν ανταποκρίνονται σε μοντέλα γραμμικά και τάσης, χρησιμοποιείται η διαταγή «FORECAST.ETS». Ζητούνται τα δεδομένα, ο χρόνος καθώς και την επιθυμητή χρονική περίοδο προς πρόβλεψη. Για να υπολογιστεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου, τα δεδομένα της τελευταίας περιόδου είναι υποθετικά άγνωστα. Η μέθοδος υπολογίζει την υποθετικά άγνωστη περίοδο και ύστερα συγκρίνεται με τα πραγματικά δεδομένα για να μετρηθεί το σφάλμα.

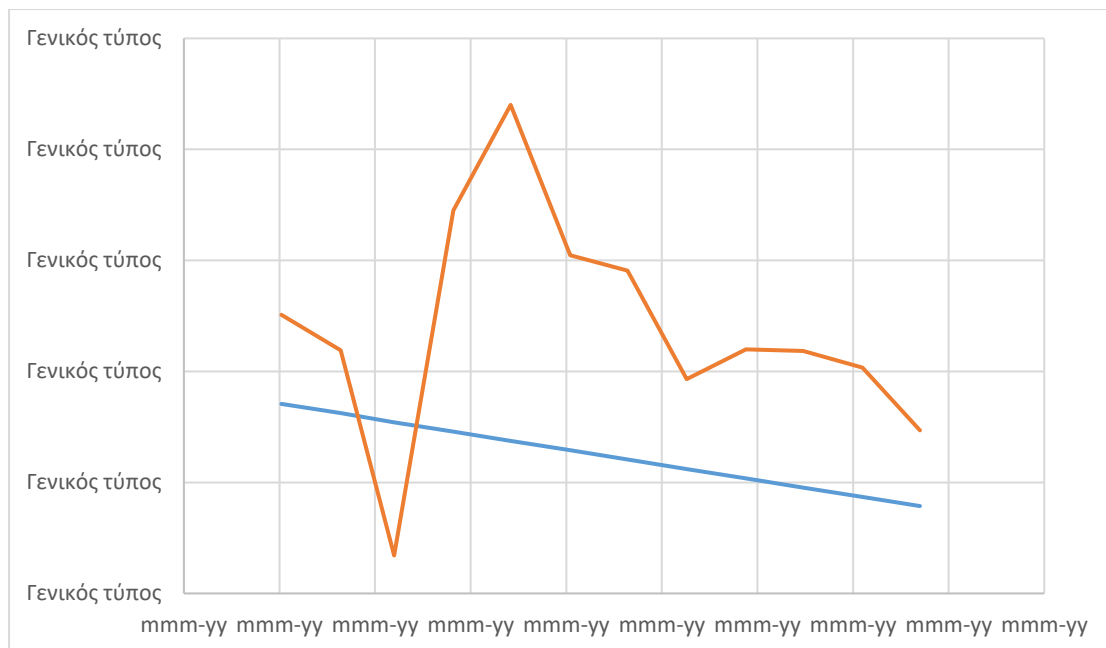
Ημ/νια	Month	Σωλήνες				
Jan-15	1	95137.7				
Feb-15	2	1112285				
Mar-15	3	190067.4				
Apr-15	4	170231.2				
May-15	5	231354.6				
Jun-15	6	152925.1				
Jul-15	7	95297.57				
Aug-15	8	79629.44				
Sep-15	9	132313				
Oct-15	10	119008.4				
Nov-15	11	95301.5				
Dec-15	12	76279.08				
Jan-16	13	93551.6				
Feb-16	14	137825.7				
Mar-16	15	122676.5				
Apr-16	16	242644.8				
May-16	17	140321.1				
Jun-16	18	192612.3				
Jul-16	19	148287.3				
Aug-16	20	112214.2				
Sep-16	21	106557.7				
Oct-16	22	112560.7				
Nov-16	23	91846.33				
Dec-16	24	87660.95				
Jan-17	25	98792.65				
Feb-17	26	115699.7				
Mar-17	27	196990.7				
Apr-17	28	152622.3				
May-17	29	220859.3				
Jun-17	30	163002.2				
Jul-17	31	174098.6				
Aug-17	32	101012.5				
Sep-17	33	119707.1				
Oct-17	34	125072.3				
Nov-17	35	149791.6				
Dec-17	36	102491.3		Actual Data	Absolute	Percentage
Jan-18	37	107184.5		125506.1	18321.64	0.145982
Feb-18	38	104290.7		109552.4	5261.707	0.048029
Mar-18	39	102804.6		17101.76	85702.81	5.011345
Apr-18	40	98503.15		172539.2	74036.05	0.429097
May-18	41	95609.38		220061.5	124452.1	0.565533
Jun-18	42	92715.61		152354.5	59638.84	0.391448
Jul-18	43	89821.84		145404.6	55582.71	0.382262
Aug-18	44	86928.08		96592.7	9664.625	0.100055
Sep-18	45	84034.31		109935.1	25900.79	0.235601
Oct-18	46	81140.54		109189.5	28048.91	0.256883
Nov-18	47	78246.77		101760.2	23513.38	0.231067
Dec-18	48	75353		73523.2	1829.797	0.024887
			Average	119460	42662.78	0.651849



Συγκρίνοντας με τα πραγματικά νούμερα, υπολογίζεται ότι μέσο ποσοστιαίο σφάλμα 65%. Οι προβλέψεις είναι υπογραμμισμένες με πράσινο χρώμα.

Η επόμενη μέθοδος είναι το autofill του Excel. Χρησιμοποιείται κυρίως για διευκόλυνση του χρήστη να συμπληρώσει μία στήλη ή γραμμή ανάλογη των προηγούμενων αριθμών. Για παράδειγμα αν στις τρεις πρώτες γραμμές μίας στήλης υπήρχαν οι αριθμοί 5 10 15, τότε το Excel θα γέμιζε τις επόμενες γραμμές, σύμφωνα με το μοτίβο του χρήστη συνεχίζοντας το μέχρις ότου ο χρήστης να το σταματήσει. Δηλαδή μέσω του autofill το πρόγραμμα θα συνέχιζε με 20 25 30 35 χωρίς να γνωρίζει τι τιμές θέλει να βάλει ο χρήστης. Οπότε, πρόκειται για πρόβλεψη.

Ημ/νια		Σωλήνες					
Jan-15	1	95137.7					
Feb-15	2	1112285					
Mar-15	3	190067.4					
Apr-15	4	170231.2					
May-15	5	231354.6					
Jun-15	6	152925.1					
Jul-15	7	95297.57					
Aug-15	8	79629.44					
Sep-15	9	132313					
Oct-15	10	119008.4					
Nov-15	11	95301.5					
Dec-15	12	76279.08					
Jan-16	13	93551.6					
Feb-16	14	137825.7					
Mar-16	15	122676.5					
Apr-16	16	242644.8					
May-16	17	140321.1					
Jun-16	18	192612.3					
Jul-16	19	148287.3					
Aug-16	20	112214.2					
Sep-16	21	106557.7					
Oct-16	22	112560.7					
Nov-16	23	91846.33					
Dec-16	24	87660.95					
Jan-17	25	98792.65					
Feb-17	26	115699.7					
Mar-17	27	196990.7					
Apr-17	28	152622.3					
May-17	29	220859.3					
Jun-17	30	163002.2					
Jul-17	31	174098.6					
Aug-17	32	101012.5					
Sep-17	33	119707.1					
Oct-17	34	125072.3					
Nov-17	35	149791.6					
Dec-17	36	102491.3		Actual Data	Absolute Error	Percentage Error	
Jan-18	37	85361.27		125506.1	40144.83	0.319864	
Feb-18	38	81178.5		109552.4	28373.9	0.258998	
Mar-18	39	76995.74		17101.76	59893.98	3.502211	
Apr-18	40	72812.97		172539.2	99726.23	0.577992	
May-18	41	68630.2		220061.5	151431.2	0.688132	
Jun-18	42	64447.43		152354.5	87907.02	0.57699	
Jul-18	43	60264.66		145404.6	85139.89	0.585538	
Aug-18	44	56081.9		96592.7	40510.8	0.419398	
Sep-18	45	51899.13		109935.1	58035.97	0.527911	
Oct-18	46	47716.36		109189.5	61473.09	0.562995	
Nov-18	47	43533.59		101760.2	58226.56	0.572194	
Dec-18	48	39350.82		73523.2	34172.38	0.464784	
			Average		67086.32	0.754751	

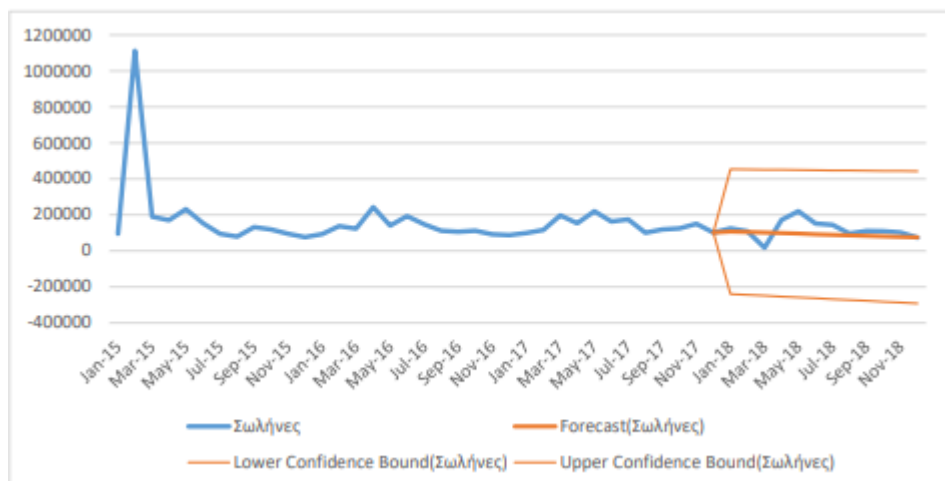


Παρατηρείται το αναμενόμενο μεγαλύτερο σφάλμα . Το μέσο ποσοστιαίο σφάλμα είναι 75% και ως αποτέλεσμα η μέθοδος είναι χειρότερη από την προηγούμενη. Η πρόβλεψη λειτουργεί καλύτερα όταν πρόκειται για μικρά μελλοντικά διαστήματα και αν δεν ανανεώνεται χειροτερεύει με την πάροδο του χρόνου.

Η επόμενη και τελευταία μέθοδος είναι στην κατηγορία Data του Excel και ονομάζεται «Forecast Sheet». Με την εισαγωγή των δεδομένων πραγματοποιεί μία πρόβλεψη με διαστήματα εμπιστοσύνης τα οποία τα εισάγονται από τον χρήστη.

Ημ/νια	Σωλήνες	Forecast(Σωλήνες)	Lower Confidence	Upper Confidence
Jan-15	95137.7			
Feb-15	1112285.3			
Mar-15	190067.4			
Apr-15	170231.15			
May-15	231354.56			
Jun-15	152925.07			
Jul-15	95297.57			
Aug-15	79629.44			
Sep-15	132312.95			
Oct-15	119008.36			
Nov-15	95301.5			
Dec-15	76279.08			
Jan-16	93551.6			
Feb-16	137825.72			
Mar-16	122676.5			
Apr-16	242644.75			
May-16	140321.1			
Jun-16	192612.33			
Jul-16	148287.3			
Aug-16	112214.2			
Sep-16	106557.66			
Oct-16	112560.7			
Nov-16	91846.33			
Dec-16	87660.95			
Jan-17	98792.65			
Feb-17	115699.7			
Mar-17	196990.65			
Apr-17	152622.3			
May-17	220859.3			
Jun-17	163002.15			
Jul-17	174098.6			
Aug-17	101012.45			
Sep-17	119707.1			
Oct-17	125072.3			
Nov-17	149791.6			
Dec-17	102491.25	102491.25	102491.25	102491.25
Jan-18	125506.1	107184.4626	-239646.79	454015.71
Feb-18	109552.4	104290.693	-244305.08	452886.47
Mar-18	17101.76	101396.9234	-248989.34	451783.18
Apr-18	172539.2	98503.15376	-253699.50	450705.81
May-18	220061.45	95609.38414	-258435.51	449654.28
Jun-18	152354.45	92715.61451	-263197.30	448628.53
Jul-18	145404.55	89821.84489	-267984.81	447628.50
Aug-18	96592.7	86928.07527	-272797.97	446654.12
Sep-18	109935.1	84034.30564	-277636.69	445705.30
Oct-18	109189.45	81140.53602	-282500.91	444781.98
Nov-18	101760.15	78246.7664	-287390.53	443884.06
Dec-18	73523.2	75352.99678	-292305.47	443011.46

Statistic	Value
Alpha	0.10
Beta	0.00
Gamma	0.00
MASE	0.41
SMAPE	0.33
MAE	45,985.19
RMSE	58,419.50



Με ένα διάστημα εμπιστοσύνης 95% παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά με τις προηγούμενες δύο μεθόδους, δεν προβλέπονται οι απότομες διακυμάνσεις ακόμα και αν είναι αναμενόμενες, ο υπολογιστής δεν έχει την εμπειρία ενός υπαλλήλου ο οποίος ξέρει από πριν ότι θα έχουν παραπάνω πωλήσεις τον Μάρτιο για παράδειγμα. Ακολουθούν οι Alpha Beta Gamma συντελεστές εξομάλυνσης, MASE SMAPE MAE RMSE, είναι αντίστοιχα:

- MASE: Μέσο απόλυτο σφάλμα διαιρώντας το μέσο απόλυτο σφάλμα της απλοϊκής πρόβλεψης ενός βήματος στο δείγμα. (Mean Absolute Scaled Error)
- SMAPE: Μέσο συμμετρικό απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα. (Symmetric Mean Absolute Percentage Error)
- MAE: Μέσο απόλυτο σφάλμα. (Mean Absolute Error)
- RMSE: Ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. (Root Mean Squared Error)

$$\text{MASE} = \text{mean} \left( \frac{|e_j|}{\frac{1}{T-1} \sum_{t=2}^T |Y_t - Y_{t-1}|} \right) = \frac{\frac{1}{J} \sum_j |e_j|}{\frac{1}{T-1} \sum_{t=2}^T |Y_t - Y_{t-1}|}$$

- $e_j$  = Σφάλμα πρόβλεψης για j προβλέψεις
- $Y_t$  = Πραγματική τιμή
- T = Περίοδος

$$\text{SMAPE} = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|F_t - A_t|}{(|A_t| + |F_t|)/2}$$

- $A_t$  = Πραγματική τιμή (Actual)
- $F_t$  = Πρόβλεψη (Forecast)

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n},$$

Μέσο απόλυτο σφάλμα είναι το σύνολο των απόλυτων διαφορών μεταξύ πραγματικής τιμής και πρόβλεψης διά το σύνολο.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

- $\hat{y}$  = πρόβλεψη
- $y$  = πραγματική τιμή

Ακολουθούν αντίστοιχες δοκιμές στα μοντέλα Box Jenkins, τα οποία παρέχονται έτοιμα από την εφαρμογή του Econometric Modeler της MATLAB. Οι παράμετροι  $p, d, q$  τις καθορίζονται από τον χρήστη:

Για διαφορικό μοντέλο αυτό-παλινδρόμησης με κινούμενο μέσο όρο και εξίσωση

ARIMA (1,1,1)

$$(1 - \phi L)(1 - L)y_t = c + (1 + \theta_1 L)\varepsilon_t$$

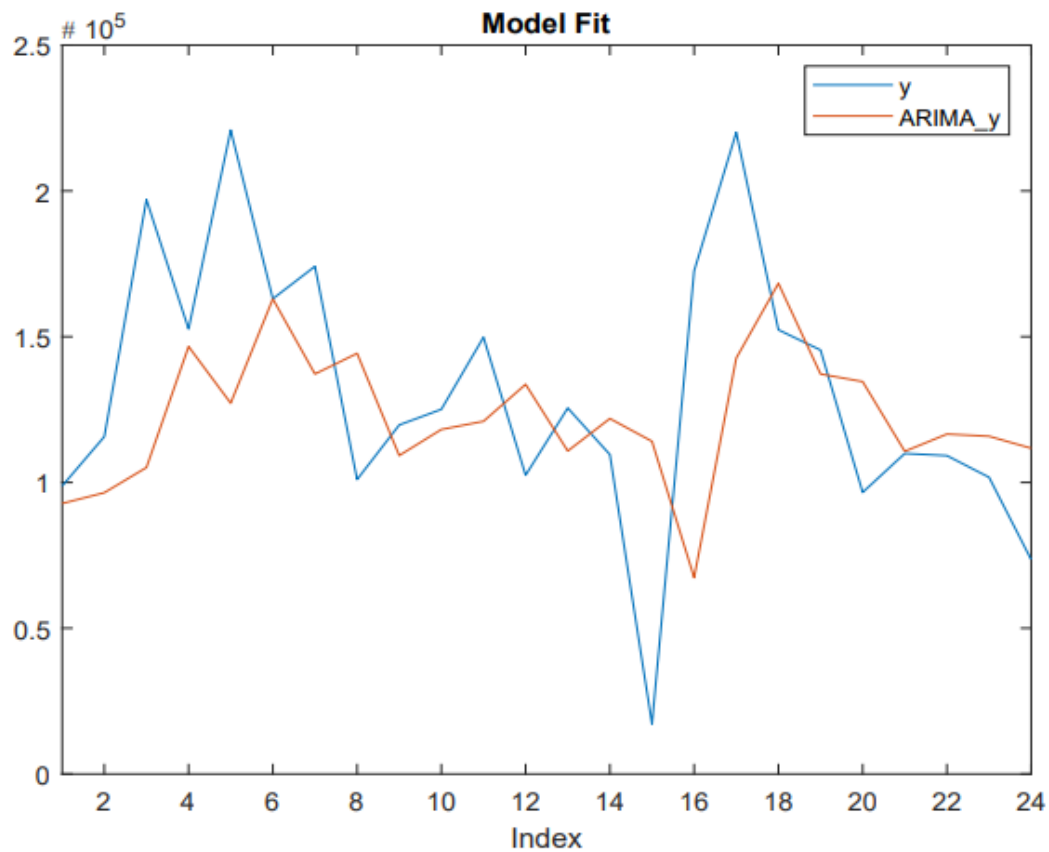
Αποτελέσματα εκτίμησης

Παράμετρος	Τιμή	Απόλυτο Σφάλμα	Στατιστική T	Τιμή P
Σταθερά	10	3776.5547	0.0026479	0.99789
AR (1)	0.4456	0.36583	1.2181	0.2232
MA (1)	-0.94282	0.32623	-2.8901	0.0038514
Τυπική απόκλιση	2603141130.0491	0.0073183	355702739704.5553	0

Δυνατότητα προσαρμογής

AIC	592.8481
BIC	597.2123





Ο Econometric modeler της MATLAB εκτελεί ένα τεστ προσαρμογής στα νούμερα καταχωρημένα ως  $y$  και συγκρίνει τις τιμές που υπολογίζει το μοντέλο με τις πραγματικές.

Δοκιμάζονται παραπάνω συνδυασμοί παραμέτρων σε περίπτωση που υπολογιστεί μικρότερο σφάλμα.

Ομοίως για διαφορικό μοντέλο με κινούμενο μέσο όρο:

ARIMA (0,1,1)

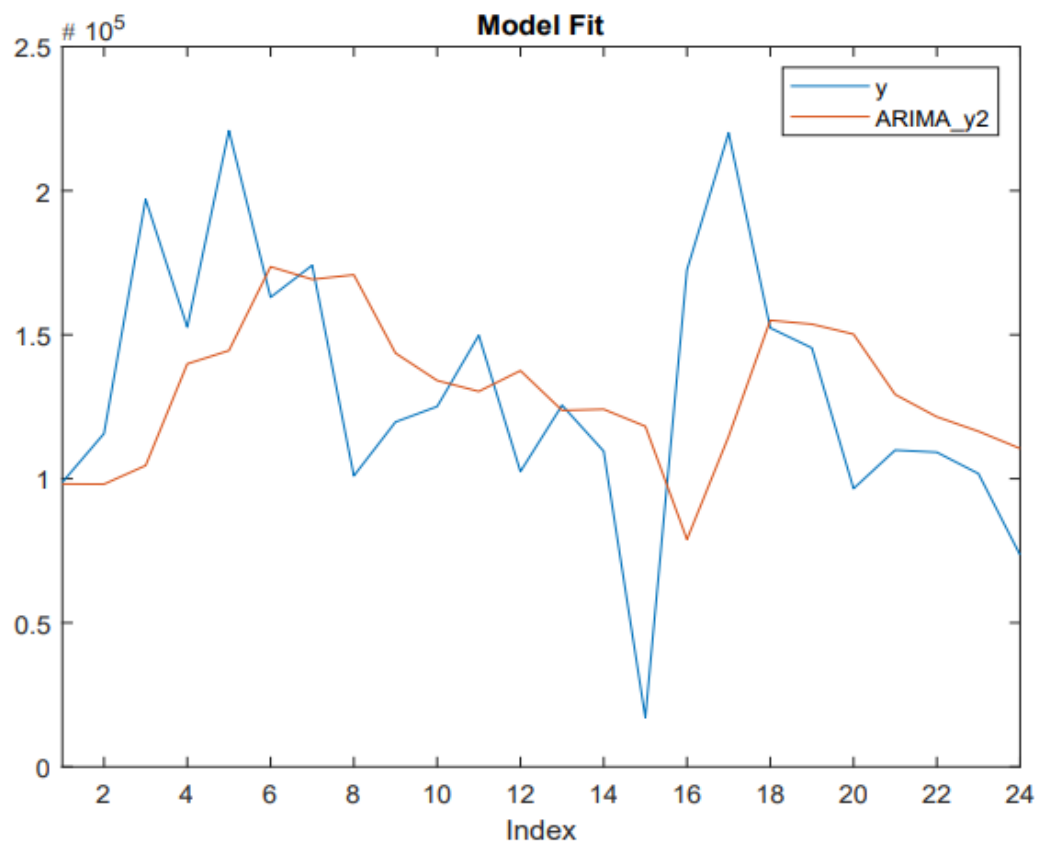
$$(1 - L)y_t = c + (1 + \theta_1 L)\varepsilon_t$$

Αποτελέσματα εκτίμησης

Παράμετρος	Τιμή	Απόλυτο σφάλμα	Στατιστική T	Τιμή P
Σταθερά	-301.683	4369.6586	-0.06904	0.94496
MA (1)	-0.61479	0.19184	-3.2047	0.0013518
Τυπική απόκλιση	2660848116.2036	0.0085378	311653721957.9565	0

Δυνατότητα προσαρμογής

AIC	592.5482
BIC	595.9547



Τέλος, για διαφορικό μοντέλο αυτό-παλινδρόμησης:

ARIMA (1,1,0)

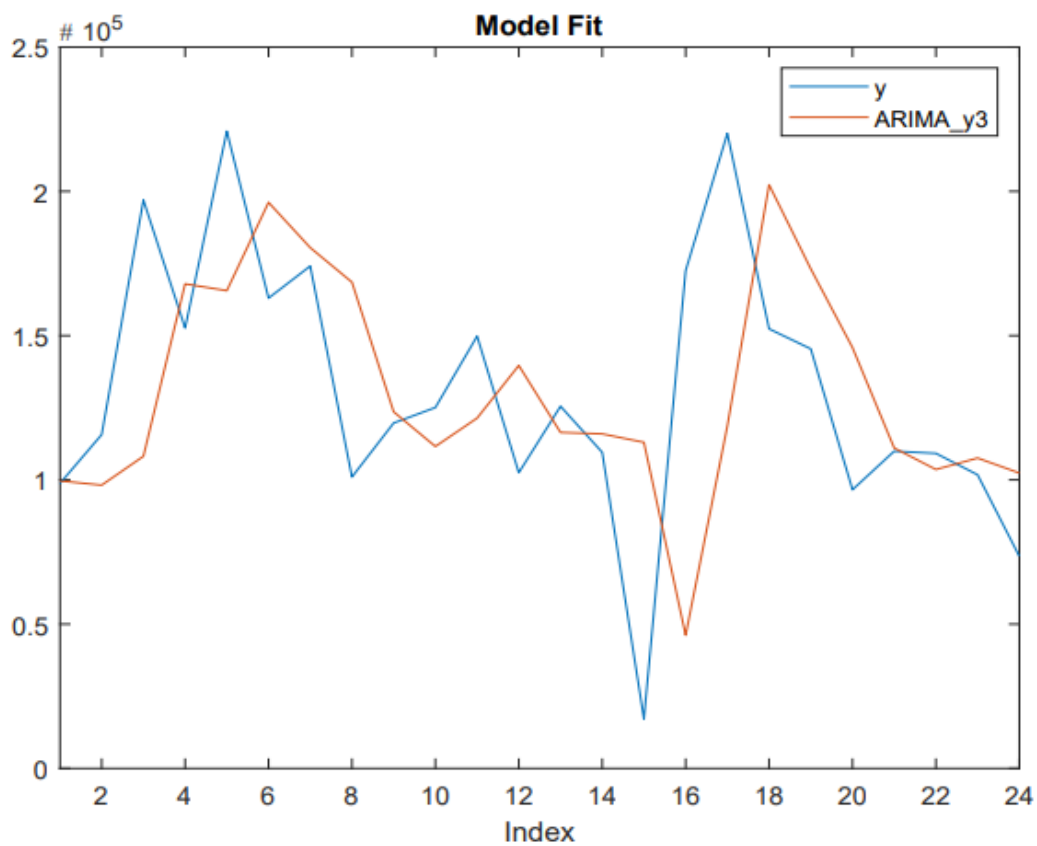
$$(1 - \varphi_1 L)(1 - L)y_t = c + \varepsilon_t$$

Αποτελέσματα εκτίμησης

Παράμετροι	Τιμή	Απόλυτο σφάλμα	Στατιστική T	Τιμή P
Σταθερά	-1872.3016	11757.5194	-0.1592	0.87348
AR (1)	-0.3345	0.14395	-2.3237	0.02014
Τυπική απόκλιση	2924813425.2456	0.075924	38523012170.2643	0

Δυνατότητα προσαρμογής

AIC	594.3302
BIC	597.6033



Εδώ παρατηρείται μία μικρή βελτίωση σε σύγκριση με το μοντέλο ARIMA(1,1,1). Ως αποτέλεσμα, ο συντελεστής  $\alpha$  βοηθάει περισσότερο παίρνοντας μηδενική τιμή. Οι παράμετροι των αποτελεσμάτων εξηγούνται παρακάτω.

- $\phi_t$  = Συντελεστής μερικής αυτοσυσχέτισης
- $\theta_t$  = Συντελεστής αυτοσυσχέτισης
- $c$  = Σταθερά
- $L$  = Προέρχεται από το Lag operator. Παράγει προηγούμενα νούμερα σε μία χρονική σειρά. Για παράδειγμα αν το  $d = 1$  τότε  $LX_t = X_{t-1}$ .
- **T Statistic** = Είναι η τιμή της παραμέτρου διαιρεμένη με το απόλυτο σφάλμα. Μπορεί να θεωρηθεί ως μέτρο της ακρίβειας με την οποία υπολογίζεται ο συντελεστής παλινδρόμησης.
- **P Value** = Είναι η πιθανότητα αποτελεσμάτων δοκιμών τουλάχιστον τόσο ακραία όσο τα πραγματικά αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν με την υπόθεση ότι η **μηδενική υπόθεση\*** είναι σωστή. Μία πολύ μικρή τιμή του  $p$  σημαίνει ότι μία τόσο ακραία παρατήρηση είναι σχεδόν απίθανο να εμφανιστεί υπό τις συνθήκες της μηδενικής υπόθεσης.
- **Μηδενική υπόθεση ( Null Hypothesis)** = Πρόκειται για μία υπόθεση η οποία συμβολίζεται με  $H_0$  και κάνοντας ανάλυση είτε απορρίπτεται, είτε απορρίπτεται η υπόθεση  $H_1$ .
- **AIC & BIC** = Πρόκειται για κριτήρια κυρώσεων πιθανότητας. Χρησιμοποιούνται συχνά για τη σύγκριση μη ένθετων μοντέλων τα οποία δεν μπορούν να κάνουν οι συνήθεις στατιστικές μέθοδοι. Το **AIC & BIC** συνήθως για ένα μοντέλο γράφεται στη μορφή:

$$AIC \& BIC = [-2\log L + kp] \quad (3.33)$$

Όπου:

- $L$  = Likelihood Function δηλαδή συνάρτηση πιθανότητας.
- $p$  = Αριθμός Παραμέτρων στο μοντέλο.
- $k = 2$  για AIC και  $\log(n)$  για το BIC.

Γενικά στην επιλογή μοντέλων το AIC & BIC είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται μαζί ως κριτήρια. Το AIC είναι καλύτερο σε καταστάσεις στις οποίες ένα ψευδώς αρνητικό εύρημα θα θεωρείται πιο παραπλανητικό απ' ό τι ένα ψευδώς θετικό εύρημα. Το BIC είναι καλύτερο σε καταστάσεις στις οποίες ένα ψευδώς θετικό εύρημα είναι τόσο παραπλανητικό, ή και πιο παραπλανητικό, όσο ένα ψευδώς αρνητικό.

#### **3.6.4 Δοκιμές και Αποτελέσματα από Μη Αυτοματοποιημένες Μεθόδους**

Οι σύγχρονες μέθοδοι προσφέρουν μεγάλη ευκολία στην επίλυση προβλημάτων ορισμένης πολυπλοκότητας. Ωστόσο δεν γίνεται να αποκλείεται ο ανθρώπινος παράγοντας και η εμπειρία.

Ξεκινώντας με την εκθετική εξομάλυνση με τάση και εποχικότητα ή αλλιώς την μέθοδο Holt Winters προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Δεδομένα:

Καθαρές Πωλήσεις		
Σωλήνες	Αντλίες	Ανταλλακτικά
95137.7	14043	30567
1112285	10951	23831
190067.4	13609	34562
170231.2	17618	29822
231354.6	18814	40396
152925.1	18507	37201
95297.57	24743	21319
79629.44	13316	16211
132313	20248	32183
119008.4	13613	37043
95301.5	11438	39825
76279.08	12513	27666
93551.6	18617	28322
137825.7	12145	31980
122676.5	11487	31764
242644.8	18720	37379
140321.1	17281	36487
192612.3	22654	39768
148287.3	17727	31807
112214.2	18752	21823
106557.7	14518	28027
112560.7	11693	27351
91846.33	10080	34723
87660.95	11377	32540
98792.65	9959	33422
115699.7	7826	27271
196990.7	12606	64589
152622.3	15253	30212
220859.3	20785	46487
163002.2	19038	30954
174098.6	23986	34776
101012.5	12507	22105
119707.1	11446	27434
125072.3	14039	31386
149791.6	12481	30914
102491.3	7356	28791
125506.1	8397	36259
109552.4	12033	58558
17101.76	14288	38251
172539.2	15095	30737
220061.5	22757	40698
152354.5	24070	35903
145404.6	33825	40976
96592.7	25056	23684
109935.1	14926	29213
109189.5	11998	30052
101760.2	9695	31454
73523.2	7362	34734

#### Τυπολόγιο Holt - Winters Multiplicative Seasonal Trend Method

$$F_t = \frac{x_t}{\frac{\sum_{i=1}^{12} x_t}{12}}$$

For  $i > 12$  :

$$a_{13} = \frac{x_{13}}{F_1}$$

$$b_{13} = \frac{x_{13}}{F_{13}} - \frac{x_{12}}{F_{12}}$$

Για τους συντελεστές  $\alpha, \beta, \gamma$  όπου  $0 < \alpha, \beta, \gamma < 1$  :

$$a_t = \alpha \cdot \frac{x_t}{F_{t-12}} + (1 - \alpha) \cdot (a_{t-1} + b_{t-1})$$

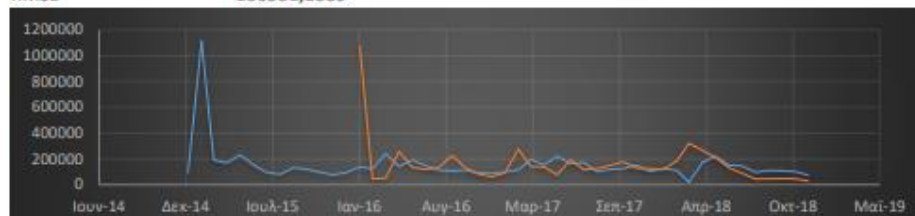
$$b_t = \beta \cdot (a_t - a_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot b_{t-1}$$

$$F_t = \gamma \cdot \frac{x_t}{a_t} + (1 - \gamma) \cdot F_{t-12}$$

Ημ/νια	Σωλήνες	at	bt	Ft	Πρόβλεψη x'
Ιαν-15	95137,7			0,447736659	
Φεβ-15	1112285			5,234632576	
Μαρ-15	190067,4			0,894494428	
Απρ-15	170231,2			0,801141149	
Μαϊ-15	231354,6			1,088799894	
Ιουν-15	152925,1			0,719695345	
Ιουλ-15	95297,57			0,448489038	
Αυγ-15	79629,44			0,374751748	
Σεπ-15	132313			0,62269067	
Οκτ-15	119008,4			0,560076662	
Νοε-15	95301,5			0,448507533	
Δεκ-15	76279,08			0,358984297	
Ιαν-16	93551,6	208943,3559	-3542,484113	0,447736659	
Φεβ-16	137825,7	108063,1739	-59598,21094	1,275418027	1075198,095
Μαρ-16	122676,5	96669,37633	-31837,81094	1,269031669	43351,63931
Απρ-16	242644,8	194224,1352	42677,96969	1,24930277	51939,23479
Μαϊ-16	140321,1	178182,8649	8862,194855	0,787511751	257938,9866
Ιουν-16	192612,3	230848,7798	34088,28319	0,834365814	134615,4589
Ιουλ-16	148287,3	300649,8271	54654,87758	0,493222635	118821,3685
Αυγ-16	112214,2	324936,2293	37166,00125	0,345342224	133151,0592
Σεπ-16	106557,7	258292,5772	-22616,85468	0,41254635	225477,6804
Οκτ-16	112560,7	216812,7799	-33479,81919	0,519160817	131996,472
Νοε-16	91846,33	194992,0785	-26765,45943	0,471025955	82226,21402
Δεκ-16	87660,95	209518,87	-2985,699012	0,41839167	60390,71467
Ιαν-17	98792,65	214206,1107	1433,063974	0,461203696	92472,47185
Φεβ-17	115699,7	147734,2622	-37672,64028	0,783160915	275030,0908
Μαρ-17	196990,7	134613,2905	-23533,60004	1,463381879	139671,6837
Απρ-17	152622,3	117105,8611	-20063,19355	1,303284895	138772,1649
Μαϊ-17	220859,3	196738,4342	37350,51953	1,12260373	76422,24113
Ιουν-17	163002,2	213037,3633	25227,13639	0,765134094	195315,8204
Ιουλ-17	174098,6	300621,3166	61137,75243	0,579129258	117517,4444
Αυγ-17	101012,5	324111,7109	39457,04632	0,311659365	124930,6813
Σεπ-17	119707,1	323669,4847	16479,48708	0,369843639	149988,9638
Οκτ-17	125072,3	286207,0152	-14585,10196	0,436999421	176592,0182
Νοε-17	149791,6	296837,7989	-63,54629373	0,504624413	127940,9711
Δεκ-17	102491,3	268612,2351	-16281,74743	0,381558383	124167,8753
Ιαν-18	125506,1				116375,7535
Φεβ-18	109552,4				184864,1475
Μαρ-18	17101,76				321603,0349
Απρ-18	172539,2				265199,2467
Μαϊ-18	220061,5				210155,3449
Ιουν-18	152354,5				130778,0588
Ιουλ-18	145404,6				89556,55022
Αυγ-18	96592,7				43120,64609
Σεπ-18	109935,1				45149,22001
Οκτ-18	109189,5				46232,24923
Νοε-18	101760,2				45170,45181
Δεκ-18	73523,2				27942,00339

Σταθερές Εξομάλυνσης

$\alpha$	0,543569555
$\beta$	0,575889178
$\gamma$	1
RMSE	180581,1889



Error

	-937372,3745
	79324,86069
	190705,5152
	-117617,8866
	57996,87115
	29465,93146
	-20936,85922
	-118920,0204
	-19435,77199
	9620,115979
	27270,23533
	6320,178147
	-159330,3908
	57318,96626
	13850,13507
	144437,0589
	-32313,6704
	56581,15561
	-23918,23135
	-30281,86383
	-51519,71818
	21850,62891
k	-21676,6253
1	9130,346465
2	-75311,74746
3	-304501,2749
4	-92660,04671
5	9906,105052
6	21576,39123
7	55847,99978
8	53472,05391
9	64785,87999
10	62957,20077
11	56589,69819
12	45581,19661



Η πρώτη δοκιμή της μεθόδου Holt Winters στα δεδομένα μας έχει τον εξής αλγόριθμο:

1. Υπολογίζεται η εποχικότητα για την πρώτη χρονιά  $F(t) = x(t)/\mu$  όπου  $\mu$  είναι ο μέσος όρος παρατηρήσεων για την πρώτη χρονιά. Αυτό βοηθάει στην παρατήρηση της συμπεριφοράς κάθε μήνα σε σχέση με τους υπόλοιπους.
2. Για τον πρώτο μήνα της δεύτερης χρονιάς η εποχικότητα απαλλάσσεται από την τάση για τον υπολογισμό του επιπέδου των πωλήσεων  $a$  διαιρώντας την παρατήρηση με την εποχικότητα της προηγούμενης χρονιάς και υποθέτοντας ότι οι εποχικότητες επαναλαμβάνονται.  $a(t) = x(t)/F(t-T)$ .
3. Υπολογίζεται η τάση για τον πρώτο μήνα της δεύτερης χρονιάς. Η τάση είναι η διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών επιπέδων οπότε:

$$b(t) = a(t) - a(t-1) = x(t)/F(t-T) - x(t-1)/F(t-1)$$

4. Ξανά για τον πρώτο μήνα της δεύτερης χρονιάς υπολογίζεται η εποχικότητα αλλά αυτή τη φορά με τους τύπους από τον Holt Winters που περιλαμβάνουν ένα συντελεστή εποχικότητας  $\gamma$  στον οποίο θα εισχωρήσει μία τυχαία τιμή και θα τον βελτιστοποιηθεί στο τέλος.
5. Κάνοντας το ίδιο πράγμα για τον δεύτερο μήνα της δεύτερης χρονιάς με τους τύπους της εκθετικής εξομάλυνσης με τυχαίες τιμές στους συντελεστές.
6. Υπολογίζεται η πρόβλεψη σύμφωνα με το μοντέλο τάσης με εποχικότητα, δηλαδή  $x' = (a(t) + b(t)) * F(t)$ .
7. Υπολογίζεται το τυπικό σφάλμα το οποίο είναι η πραγματική μείον την πειραματική τιμή.
8. Υπολογίζεται το Root Mean Squared Error και μέσω του Solver του Excel, ελαχιστοποιείται το RMSE με βάση τις παραμέτρους  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Το excel δίνει βέλτιστες παραμέτρους και ελάχιστο σφάλμα.

Η πρόβλεψη ανταποκρίνεται καλύτερα στα δεδομένα. Αυτό αυξάνει την αξιοπιστία της μεθόδου και διευκολύνει την διαχείριση του αποθέματος.

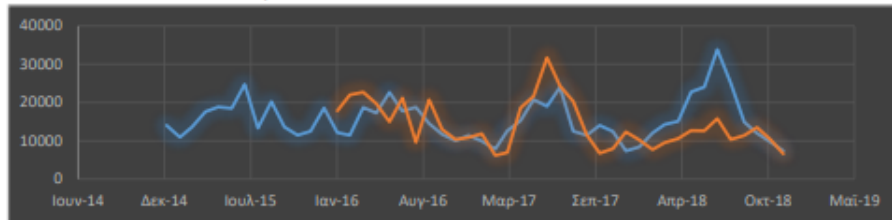
Τα υπόλοιπα αποτελέσματα:

Ημ/νια	Αντλίες	at	bt	Ft	x'
Ιαν-15	14043			0,889674943	
Φεβ-15	10951			0,677426838	
Μαρ-15	13609			0,836700294	
Απρ-15	17618			1,095084922	
Μαϊ-15	18814			1,162787584	
Ιουν-15	18507			1,152916502	
Ιουλ-15	24743			1,508911193	
Αυγ-15	13316			0,842078637	
Σεπ-15	20248			1,244785983	
Οκτ-15	13613			0,862196184	
Νοε-15	11438			0,731856354	
Δεκ-15	12513			0,806479507	
Ιαν-16	18617	20925,62	5410,03691	0,889674943	
Φεβ-16	12145	23593,77	2668,152795	0,53355191	17840,48095
Μαρ-16	11487	22174,63	-1419,142128	0,554848683	21973,36105
Απρ-16	18720	19561,58	-2613,052758	0,972936812	22729,02282
Μαϊ-16	17281	16267,96	-3293,614051	1,073886829	19707,53489
Ιουν-16	22654	15151,2	-1116,761675	1,455643223	14958,34228
Ιουλ-16	17727	13288,85	-1862,354729	1,354190204	21176,72474
Αυγ-16	18752	14962,38	1673,536942	1,205760638	9622,005621
Σεπ-16	14518	15014,15	51,77010211	0,999058778	20708,162
Οκτ-16	11693	14575,42	-438,7335802	0,809169035	12989,78291
Νοε-16	10080	14018,14	-557,2769048	0,720545812	10346,02464
Δεκ-16	11377	13671,58	-346,5609426	0,829196089	10855,91367
Ιαν-17	9959	12630,04	-1041,543623	0,800206136	11854,93852
Φεβ-17	7826	12592,71	-37,33255802	0,611311435	6183,064209
Μαρ-17	12606	15870,19	3277,487727	0,766647394	6966,333052
Απρ-17	15253	18015,9	2145,70956	0,861234824	18629,48525
Μαϊ-17	20785	19898,53	1882,630229	1,04793935	21651,2917
Ιουν-17	19038	18943,11	-955,4238182	1,057081739	31705,60504
Ιουλ-17	23986	17897,92	-1045,191198	1,341777492	24358,74955
Αυγ-17	12507	14739,45	-3158,474072	0,88981773	20320,35659
Σεπ-17	11446	11540,47	-3198,974641	0,992651115	11570,07123
Οκτ-17	14039	11279,34	-261,1300247	1,194341628	6749,680494
Νοε-17	12481	13073,89	1794,545681	0,927599281	7939,125695
Δεκ-17	7356	12912,61	-161,2741471	0,599664218	12328,84588
Ιαν-18	8397				10203,69913
Φεβ-18	12033				7696,450175
Μαρ-18	14288				9528,499453
Απρ-18	15095				10565,21185
Μαϊ-18	22757				12686,60705
Ιουν-18	24070				12626,80706
Ιουλ-18	33825				15811,09458
Αυγ-18	25056				10341,83472
Σεπ-18	14926				11376,91847
Οκτ-18	11998				13495,90628
Νοε-18	9695				10332,15439
Δεκ-18	7362				6582,707611



Σταθερές εξομάλυνσης

$\alpha$	0,326122746
$\beta$	1
$\gamma$	0,884445987
RMSE	6727,471653

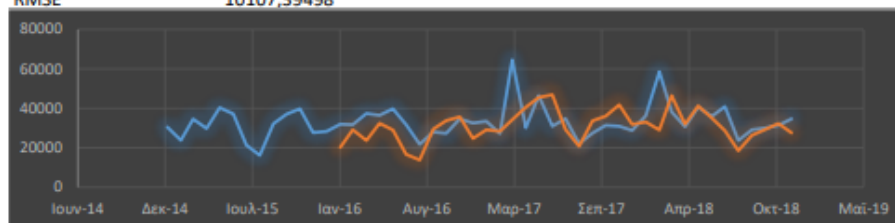


Error

	-5695,480949
	-10486,36105
	-4009,02282
	-2426,534887
	7695,65772
	-3449,724738
	9129,994379
	-6190,162003
	-1296,782909
	-266,0246379
	521,0863317
	-1895,938521
	1642,935791
	5639,666948
	-3376,485253
	-866,291702
	-12667,60504
	-372,7495488
	-7813,356593
	-124,0712267
	7289,319506
	4541,874305
k	-4972,845876
1	-1806,699132
2	4336,549825
3	4759,500547
4	4529,788151
5	10070,39295
6	11443,19294
7	18013,90542
8	14714,16528
9	3549,081528
10	-1497,906279
11	-637,1543929
12	779,2923895

Ημ/νια	Ανταλλακτικά	at	bt	Ft	x'
Ιαν-15	30567			0,989687718	
Φεβ-15	23831			0,776294109	
Μαρ-15	34562			1,101489921	
Απρ-15	29822			0,957541768	
Μαϊ-15	40396			1,271350603	
Ιουν-15	37201			1,182924373	
Ιουλ-15	21319			0,67332549	
Αυγ-15	16211			0,498244266	
Σεπ-15	32183			0,97512669	
Οκτ-15	37043			1,134284788	
Νοε-15	39825			1,250395736	
Δεκ-15	27666			0,880388865	
Ιαν-16	28322	28617,1077	-2509,459661	0,989687718	
Φεβ-16	31980	28519,46963	-2069,645329	0,939139213	20267,21336
Μαρ-16	31764	26831,46174	-2000,050788	1,140352521	29134,21488
Απρ-16	37379	27102,07387	-1585,977833	1,156541528	23777,11314
Μαϊ-16	36487	26024,9456	-1493,185178	1,333011464	32439,90408
Ιουν-16	39768	25984,25172	-1228,312149	1,346947463	29019,21732
Ιουλ-16	31807	28349,79226	-572,9452983	0,885054385	16668,80514
Αυγ-16	21823	30338,10798	-105,8795301	0,602584628	13839,65473
Σεπ-16	28027	29994,00124	-149,3221066	0,955915127	29480,25285
Οκτ-16	27351	28928,4719	-316,3995854	1,04517303	33852,36555
Νοε-16	34723	28477,4049	-340,9572305	1,235728298	35776,41323
Δεκ-16	32540	29547,0382	-83,72513034	0,984646108	24771,01524
Ιαν-17	33422	30151,77445	41,82112966	1,0457421	29159,47907
Φεβ-17	27271	30008,92112	8,144312907	0,92480311	28355,98959
Μαρ-17	64589	34272,64832	784,1827853	1,491585429	34230,03624
Απρ-17	30212	33628,71661	523,755055	1,034710293	40544,68102
Μαϊ-17	46487	34267,75462	544,7777935	1,344135388	45525,63626
Ιουν-17	30954	32921,24437	199,886784	1,155002477	46890,6522
Ιουλ-17	34776	34107,62138	379,7809111	0,948551792	29314,00236
Αυγ-17	22105	34838,4704	443,8008973	0,617647058	20781,57849
Σεπ-17	27434	34229,97085	251,9057674	0,88302021	33726,85684
Οκτ-17	31386	33770,16292	122,1192667	0,99053374	36039,52748
Νοε-17	30914	32473,54513	-136,5984158	1,101810011	41881,65218
Δεκ-17	28791	31841,89291	-226,8753087	0,946672805	31840,44874
Ιαν-18	36259				33061,15488
Φεβ-18	58558				29027,85161
Μαρ-18	38251				46479,69177
Απρ-18	30737				32008,13345
Μαϊ-18	40698				41275,05942
Ιουν-18	35903				35205,21591
Ιουλ-18	40976				28697,26372
Αυγ-18	23684				18546,02053
Σεπ-18	29213				26314,01562
Οκτ-18	30052				29293,1928
Νοε-18	31454				32334,00801
Δεκ-18	34734				27566,53385

Σταθερές εξομάλυνσης  
 $\alpha$  0,159849483  
 $\beta$  0,182357739  
 $\gamma$  0,471953076  
RMSE 10107,39498



Error

	11712,78664
	2629,785117
	13601,88686
	4047,09592
	10748,78268
	15138,19486
	7983,345273
	-1453,252847
	-6501,36555
	-1053,413226
	7768,984758
	4262,520934
	-1084,989594
	30358,96376
	-10332,68102
	961,3637424
	-15936,6522
	5461,99764
	1323,421512
	-6292,856837
	-4653,527477
	-10967,65218
	-3049,448737
k	
1	3197,84512
2	29530,14839
3	-8228,691766
4	-1271,133455
5	-577,0594236
6	697,7840941
7	12278,73628
8	5137,979468
9	2898,984379
10	758,8072028
11	-880,0080102
12	7167,466148

## 4 ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

Μία σημαντική κατηγορία προβλημάτων που αφορά άμεσα την διαχείριση αποθέματος, σε αντίθεση με την πρόβλεψη, και στην οποία μπορούμε να προσφέρονται αρκετά ικανοποιητικές λύσεις. Η κατηγορία αυτή χωρίζεται σε δύο μεγάλες υπό ενότητες ανάλογα την επιχείρηση.

1. Διαφορετικά αντικείμενα που ελέγχονται και αποθηκεύονται ανεξάρτητα.
2. Τα αντικείμενα αποθηκεύονται στην ίδια τοποθεσία, άρα δεν υπάρχει πολύ-επίπεδο αποθεματικό σύστημα.

Η πρώτη υπό-ενότητα πολύ συχνά ικανοποιείται, αλλά υπάρχουν περιπτώσεις που αποδεικνύουν το αντίθετο. Όταν αναθέτονται οι παραγγελίες στο εργοστάσιο, είναι σύνηθες να ζητείται ομαλό φορτίο για διαφορετικές κατηγορίες προϊόντων.

Το ίδιο ισχύει για την δεύτερη υπό-ενότητα. Δηλαδή αν έχοντας μία κεντρική αποθήκη, τα προϊόντα επιχορηγούνται σε διαφορετικές τοποθεσίες, είναι μη ικανοποιητικό σύστημα.

### 4.1 ΚΟΣΤΗ

Παρακάτω θα αναλύονται τα κόστη που επηρεάζουν άμεσα τον αποθεματικό έλεγχο:

- **Κόστος κράτησης:** Κρατώντας απόθεμα, συνεπάγεται με ευκαιριακό κόστος για κεφάλαιο συνδεδεμένο με το απόθεμα. Το κόστος κράτησης δεν είναι απαραίτητα ίσο με την αναμενόμενη επιστροφή. Το κόστος κεφαλαίου είναι αναμενόμενο να λαμβάνει τον κυριότερο ρόλο στο κόστος κράτησης, άλλα τμήματα από το κόστος συγκράτησης μπορεί να είναι η συντήρηση, η ασφάλεια, οι φόροι, η διαχείριση υλικών και η ζημιά. Όλα τα κόστη που είναι αμετάβλητα σε σχέση με το επίπεδο αποθέματος, πρέπει να περιλαμβάνονται. Στην περίπτωση ιδιωτικής αποθήκης για παράδειγμα, υπάρχουν ορισμένες καταστάσεις στις οποίες το κόστος μπορεί να ρυθμιστεί και ως αποτέλεσμα να γίνει μεταβλητό, άρα δεν συμπεριλαμβάνεται στο κόστος κράτησης. Σε άλλες περιπτώσεις, αυξομειώνεται βραχυπρόθεσμα το

μέγεθος του ενοικιαζόμενου χώρου. Το κόστος κράτησης ανά μονάδα και χρόνο είναι συνήθως ορισμένο ως ένα ποσοστό από την αξία μονάδας. Προφανώς δεν θα είναι το ίδιο για όλους τους τύπους προϊόντων, όσο πιο εύθραυστα και ευαίσθητα υλικά, τόσο πιο μεγάλο ποσοστό.

- **Κόστος παραγγελίας και εγκατάστασης:** Υπάρχουν κόστη συσχετιζόμενα με τον χειρισμό των παραγγελιών, άλλα κόστη μπορούν να προκύψουν σε σχέση με τη μεταφορά και τη διαχείριση υλικών. Το κόστος εγκατάστασης μπορεί να είναι αρκετά υψηλό, αν μία ακριβή μηχανή περιορισμένης χωρητικότητας πρέπει να σταματήσει κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης. Όταν επίσης παραγγελίες ζητούνται από εξωτερικό προμηθευτή, υπάρχουν πολλά προκαθορισμένα κόστη για μία παραγγελία, όπως φόρμες παραγγελιών, εξουσιοδότηση, λήψη, έλεγχος και χειρισμός τιμολογίων από τον προμηθευτή.
- **Κόστος έλλειψης:** Αν ένα προϊόν δεν μπορεί να παραδοθεί λόγω έλλειψης, προκύπτουν διάφορα κόστη. Υπάρχουν καταστάσεις που ο πελάτης επιλέγει να περιμένει, ενώ σε άλλες όχι. Αν η παραγγελία του πελάτη αργεί να χορηγηθεί τότε υπάρχουν εκπτώτικές τιμές για αργοπορημένες παραγγελίες, διαχείριση υλικών και μεταφορά. Αν η πώληση έχει χαθεί, τότε μαζί με την πώληση χάνεται η συνεισφορά της πώλησης.

Άλλα κόστη και υποθέσεις : Παρόλο που τα παραπάνω κόστη είναι τα μοναδικά που υπάρχουν σε προβλήματα αποθεματικού ελέγχου, είναι αποδεδειγμένο ότι μπορούν να υπάρξουν και άλλα κόστη. Όπως και για το κόστος συγκράτησης, συνήθως καθορίζεται ως ένα ποσοστό της τιμής ανά μονάδα προϊόντος, υπάρχουν όμως κάποιες προφανείς εξαιρέσεις, για παράδειγμα το γεγονός ότι μία παραγγελία μεγάλης ποσότητας μπορεί να επηρεάσει το κόστος μονάδας μέσω μίας έκπτωσης. Άλλα κόστη που θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν, είναι τα κόστη λειτουργίας του αποθεματικού συστήματος, δηλαδή κόστη για απόκτηση δεδομένων, υπολογισμούς και κόστη εκπαίδευσης προσωπικού.



## 4.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ

### 4.2.1 Συστήματα και Υποθέσεις

Σκοπός ενός συστήματος αποθεματικού ελέγχου, είναι να καθοριστεί η χρονική στιγμή και η ποσότητα παραγγελίας. Η απόφαση πρέπει να βασίζεται στην κατάσταση του αποθέματος, την αναμενόμενη ζήτηση και διαφορετικούς παράγοντες κόστους. Μία απόφαση παραγγελίας δεν μπορεί να βασίζεται στο τωρινό απόθεμα, πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι πολύ μεγάλες παραγγελίες, οι προ-παραγγελίες και οι καθοδόν παραγγελίες οι οποίες δεν έχουν έρθει ακόμα. Στον αποθεματικό έλεγχο η κατάσταση αποθέματος συνήθως χαρακτηρίζεται από την θέση αποθέματος, όπου **Θέση αποθέματος = Τωρινό απόθεμα + Μεγάλες παραγγελίες – Προ-παραγγελίες**. Αν οι πελάτες μπορούν να κάνουν κράτηση για αργότερη παράδοση, οι κρατούμενες μονάδες αφαιρούνται από την παραπάνω εξίσωση. Αυτό σημαίνει ότι, ο αποθεματικός έλεγχος χειρίζεται τις κρατούμενες μονάδες με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο χειρίζεται τις μονάδες προς άμεση παράδοση. Θα ήταν λογικό, εκτός εάν ο χρόνος παράδοσης είναι μακρινός, το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα μη απαραίτητα κόστη κράτησης. Αν η παραγγελία είναι πολύ μακριά, μία λογική πολιτική είναι να αφαιρεθούν οι κρατούμενες μονάδες από την θέση αποθέματος, αφότου ο υπολειπόμενος χρόνος είναι λιγότερος από ένα χρονικό όριο. Οι πελάτες τότε, θα έχουν μεγάλη πιθανότητα να παραλάβουν τις παραγγελίες τους στην ώρα τους. Οι αποφάσεις παραγγελιών εξαρτώνται από την θέση αποθέματος και τα κόστη κράτησης και έλλειψης θα εξαρτώνται από το επίπεδο αποθέματος, όπου **Επίπεδο Αποθέματος = Τωρινό Απόθεμα – Προ-παραγγελίες**. Σε κάποιες καταστάσεις, τα κόστη κράτησης πρέπει να περιλαμβάνουν τα κόστη κράτησης για μεγάλες παραγγελίες.

### 4.2.2 Συνεχόμενη και Περιοδική Ανασκόπηση

Ένα σύστημα παραγγελιών πρέπει να επιτηρείται και ανάλογα την φύση του προβλήματος, ελέγχεται περιοδικά ή συνεχόμενα.

Στην Συνεχόμενη Ανασκόπηση είναι απλή η λογική, ελέγχουμε την θέση του αποθέματος συνεχώς και όταν φτάσει αρκετά χαμηλά ενεργοποιείται μία παραγγελία η οποία θα παραδοθεί σε συγκεκριμένο χρόνο **L** (Lead time). **L** στην ουσία είναι ο χρόνος από την απόφαση παραγγελίας μέχρι την αποθήκευση της, άρα δεν περιλαμβάνεται μονάχα ο χρόνος μεταφοράς αλλά και ο χρόνος προετοιμασίας και οτιδήποτε άλλο μεσολαβεί μεταξύ της απόφασης της παραγγελίας και της άφιξης.

Η Περιοδική Ανασκόπηση είναι μία παραλλαγή της Συνεχόμενης. Στην ουσία λαμβάνεται υπόψιν η θέση του αποθέματος μόνο σε συγκεκριμένα χρονικά

διαστήματα. Τα κενά μεταξύ των ανασκοπήσεων είναι σταθερά οπότε την λέμε Περιοδική Ανασκόπηση με  $T$  τον χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών ανασκοπήσεων.

Πρόκειται για δύο αποτελεσματικές μεθόδους, ανάλογων της φύσης του προβλήματος, καθώς και οι δύο μέθοδοι έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η συνεχόμενη ανασκόπηση θα μειώσει το αναγκαίο απόθεμα ασφαλείας, διότι όταν χρησιμοποιούμε συνεχόμενη ανασκόπηση, η θέση του αποθέματος πρέπει να προστατευτεί ενάντιας διακυμάνσεων ζήτησης για ένα χρονικό διάστημα  $L$ . Με περιοδική ανασκόπηση, ο αβέβαιος χρόνος είναι  $T+L$ . Αν σε μία ανασκόπηση δεν ενεργοποιηθεί παραγγελία, τότε η επόμενη πιθανότητα να ενεργοποιηθεί είναι σε  $T$  χρονικές μονάδες και για την επόμενη πιθανή παράδοση είναι  $T+L$  χρονικές μονάδες. Άρα το σύστημα είναι για περισσότερο χρόνο εκτεθειμένο. Ένα από τα πλεονεκτήματα της Περιοδικής Ανασκόπησης, είναι ότι βοηθάει στην διαχείριση πολλών ειδών προϊόντων και σε καταστάσεις υψηλής ζήτησης, μειώνει το κόστος του ελέγχου και της επιτήρησης εφόσον δεν εκτελείται συνεχόμενα. Σε περιπτώσεις χαμηλής ζήτησης, δεν κοστίζει παραπάνω η Συνεχόμενη Ανασκόπηση.

### 4.3 ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ

Εφόσον αναλύθηκαν τα κόστη και οι μέθοδοι ανασκόπησης, παρακάτω αναλύονται οι πολιτικές παραγγελιών.

#### 4.3.1 Πολιτική (R,Q)

Όταν η θέση του αποθέματος είναι ακριβώς στο ή κάτω από το σημείο στο οποίο ξανά-παραγγέλνουμε  $R$  (Reorder Point), τότε προκύπτει μία παρτίδα με μέγεθος  $Q$  (Batch Quantity). Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες, αν η θέση αποθέματος απέχει πολύ κάτω από το  $R$  πραγματοποιείται παραγγελία παραπάνω από μία παρτίδα, οπότε η πολιτική έχει την παραλλαγή  $(R,n*Q)$ . Αν η ζήτηση είναι συνεχής, η θέση αποθέματος δεν θα αποκλίνει πολύ από το σημείο  $R$ . Ειδικά σε περίπτωση συνεχόμενης ανασκόπησης, η θέση αποθέματος θα καταλήγει στο σημείο  $R$  με ακρίβεια. Σε περίπτωση περιοδικής ζήτησης, η θέση αποθέματος θα είναι συχνά κάτω από το σημείο  $R$ . Να σημειωθεί ότι η θέση αποθέματος είναι ανεξάρτητη από τον χρόνο  $L$ . Μία πολύ παρόμοια πολιτική λέγεται **KANBAN**, στην οποία υπάρχουν  $N$  κιβώτια με  $Q$  μονάδες ενός αντικειμένου με μία κάρτα στον πάτο. Όταν ένα κιβώτιο αδειάζει η κάρτα χρησιμοποιείται για παραγγελία  $Q$  μονάδων.  $N-1$  από τις κάρτες πάντα σχετίζονται με πλήρη κιβώτια, τα οποία είτε βρίσκονται στο απόθεμα, είτε τα ζητήθηκαν και είναι καθοδόν. Άρα η θέση αποθέματος είναι  $(N-1)*Q$ , πολύ παρόμοια με την πολιτική  $(R,Q)$  με  $R=(N-1)*Q$ . Όμως, αν υπάρχουν ήδη  $N$  μεγάλες παραγγελίες, δηλαδή καθόλου απόθεμα στο χέρι, δεν μπορούν να ενεργοποιηθούν νέες παραγγελίες καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμες κάρτες.

### 4.3.2 Πολιτική (s,S)

Αυτή η πολιτική είναι επίσης παρόμοια στην (R,Q). Το σημείο R συμβολίζεται με s. Όταν η θέση αποθέματος πέσει στο ή κάτω από το σημείο s, παραγγέλλεται ποσότητα μέχρι και το μέγιστο επίπεδο S. Η διαφορά με την πολιτική (R,Q), είναι ότι δεν παραγγέλλονται πολλαπλάσια μίας δεδομένης ποσότητας παρτίδας. Αν η θέση αποθέματος καταλήγει στο σημείο s ακριβώς (συνεχόμενη ανασκόπηση και ζήτηση), οι δύο πολιτικές είναι ίσες όπου  $s=R$  &  $S=R+Q$ . Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, η ισότητα δεν ισχύει. Μια παραλλαγή του (s, S) συμβολίζεται ως πολιτική S στην οποία πάντα πραγματοποιούνται παραγγελίες μέχρι το σημείο S, εκτός αν η ζήτηση της περιόδου είναι 0. Μία πολιτική που πάντα παραγγέλλεται απευθείας ο ζητούμενος αριθμός μονάδων, είναι επίσης μία πολιτική S, αλλά σε σύνδεση με την συνεχόμενη ανασκόπηση συχνά συμβολίζεται με (S-1,S) πολιτική. Για απλά ιεραρχικά συστήματα η βέλτιστη πολιτική κάτω από πολύ γενικές υποθέσεις είναι η (s, S). Από θεωρητική πλευρά θα πρέπει τότε να συμφέρει η χρήση πολιτικών (s, S). Ωστόσο, οι διαφορές κόστους είναι πολύ μικρές και στην πράξη είναι συνήθως πιο εύκολο η χρήση πολιτικής (R,Q) με προκαθορισμένη ποσότητα παρτίδας. Ανεξάρτητα από την επιλογή πολιτικής, ακολουθεί ο καθορισμός των παραμέτρων ελέγχου R, Q, s, S.

### 4.3.3 Απλά Ιεραρχικά : Ντετερμινιστική Μέτρηση Μεγεθών

Σε μία πολιτική (R,Q) πρέπει να καθοριστούν οι παράμετροι R,Q. Πρώτα θα ληφθεί υπόψιν ο καθορισμός του μεγέθους της παρτίδας Q. Χρησιμοποιώντας μία (s,S), το Q είναι το ίδιο με S-s. Έστω ότι η μελλοντική ζήτηση είναι καθοριστική και δίνεται. Αν ο χρόνος L είναι σταθερά, δεν επηρεάζει το πρόβλημα άρα το L=0. Σε περίπτωση θετικής τιμής του L, η παραγγελία οφείλει να πραγματοποιηθεί L χρονικές μονάδες νωρίτερα, επίσης αν η ζήτηση είναι στοχαστική δεν μπορεί να αγνοηθεί ο χρόνος L. Η καθοριστική ζήτηση μπορεί να είναι μία πολύ αναληθής υπόθεση. Στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχουν στοχαστικές αποκλίσεις στη ζήτηση. Όμως στην πλειονότητα των περιπτώσεων η υπόθεση καθοριστικής ζήτησης είναι λογική. Για παράδειγμα σε περίπτωση που μία επιχείρηση υποχρεούται να τηρήσει ένα μακροπρόθεσμο συμβόλαιο, τότε πρόκειται για μία όντως καθοριστική ζήτηση. Ο καθορισμός του Q πρέπει ακόμα και σε στοχαστική περίπτωση να σημαίνει ότι εξισορροπεί τα κόστη παραγγελίας και κράτησης. Ωστόσο, ένα πιο μεγάλο Q θα μειώσει την ανάγκη για απόθεμα ασφάλειας. Μία συχνή διαδικασία στην πράξη, είναι πρώτα να αντικατασταθεί η στοχαστική ζήτηση με τον μέσον της και να χρησιμοποιηθεί ένα καθοριστικό μοντέλο για τον υπολογισμό του Q. Αποκτώντας το Q, ένα στοχαστικό μοντέλο χρησιμοποιείται σε ένα δεύτερο βήμα για να καθορίσει το σημείο R. Κάτω από σχετικά γενικές υποθέσεις, η προσεγγιστική αυτή μέθοδος θα δώσει ένα αυξημένο κόστος σε σύγκριση με το βέλτιστο που είναι 11.8%.

#### 4.3.4 Βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας

Το πιο γνωστό αποτέλεσμα σε όλον τον αποθεματικό έλεγχο, μπορεί να είναι η κλασσική φόρμουλα μοντέλου οικονομικής ποσότητας. Το απλό αποτέλεσμα είχε και έχει ένα τεράστιο αριθμό πρακτικών εφαρμογών. Το μοντέλο υπάρχει πάνω από αιώνες. Η πιο απλή έκδοση βασίζεται στις παρακάτω προϋποθέσεις:

- 1) Η ζήτηση είναι σταθερή και συνεχόμενη.
- 2) Τα κόστη παραγγελίας και κράτησης είναι σταθερά με την πάροδο του χρόνου.
- 3) Η ποσότητα παρτίδας δεν χρειάζεται να είναι μεταβλητή.
- 4) Ολόκληρη η ποσότητα παρτίδας παραδίδεται την ίδια στιγμή.
- 5) Δεν επιτρέπονται ελλείψεις.

Συμβολισμοί:

**h** = Τα κόστη κράτησης ανά μονάδα και χρόνο

**A** = Κόστος εγκατάστασης και παραγγελίας

**d** = Ζήτηση ανά χρονική μονάδα

**Q** = Ποσότητα παρτίδας

**C** = Κόστη ανά χρονική μονάδα

Εφόσον δεν χρειάζεται απόθεμα ασφάλειας και δεν επιτρέπονται ελλείψεις, το επίπεδο αποθέματος ποικίλει με την πάροδο του χρόνου, δηλαδή η παρτίδα παραδίδεται ακριβώς όταν η προηγούμενη παρτίδα τελειώσει. Την ποσότητα της παρτίδας **Q** την αλλάζουν τα σχετικά κόστη δηλαδή τα κόστη κράτησης και παραγγελίας.

$$C = \left(\frac{Q}{2}\right) h + \left(\frac{d}{Q}\right) A$$

Ο πρώτος όρος αντιπροσωπεύει τα κόστη κράτησης τα οποία αποκτάμε ως μέσο απόθεμα. Ο μέσος αριθμός των παραγγελιών ανά το χρόνο είναι **d/Q** και πολλαπλασιάζοντας με το κόστος παραγγελίας **A**, προκύπτουν τα κόστη παραγγελίας ανά χρονική μονάδα σε δεύτερη φάση. Η εξίσωση κόστους **C** είναι κυρτή στο **Q**, τότε το βέλτιστο **Q** από την πρώτη παράγωγο είναι:

$$\left(\frac{dC}{dQ}\right) = \left(\frac{h}{2}\right) - \left(\frac{d}{Q^2}\right) * A = 0 \text{ (ως προς } Q\text{)}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2Ad}{h}}$$

Τοποθετείται το βέλτιστο  $Q^*$  στην εξίσωση

$$C^* = \sqrt{\frac{Adh}{2}} + \sqrt{\frac{Adh}{h}} = \sqrt{2Adh}$$

Με τη βέλτιστη ποσότητα παραγγελίας παρατηρούμε ότι τα κόστη κράτησης είναι ίσα με τα κόστη παραγγελίας.

### 4.3.5 Ανάλυση Ευαισθησίας

Διαιρώντας την πρώτη εξίσωση με το  $C^*$ :

$$\frac{C}{C^*} = \frac{1}{2} \left( \frac{Q}{Q^*} + \frac{Q^*}{Q} \right)$$

Παρόλο που αποκλίνει το αποτέλεσμα αποκλίνει από την βέλτιστη λύση, υπάρχουν πολύ περιορισμένες αυξήσεις κόστους. Δηλαδή αν  $Q/Q^* = 3/2$  (ή και  $2/3$ ) τότε  $C/C^* = 1.08$  από την παραπάνω συνάρτηση, δηλαδή αύξηση του κόστους μόλις 8%. Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι τα κόστη είναι λιγότερο ευαίσθητα σε λάθη στις παραμέτρους κόστους. Δηλαδή, για κόστος παραγγελίας  $A$  το οποίο είναι 50% μεγαλύτερο από το βέλτιστο προκύπτει  $Q/Q^* = \sqrt{3/2} = 1.225$  και η αύξηση του σχετικού κόστους είναι μόλις 2%. Ως συμπέρασμα, η επιλογή των παραμέτρων κόστους, στο κλασσικό μοντέλο οικονομικής ποσότητας παραγγελίας, δεν είναι σημαντική.

### 4.3.6 Σημείο R

Έστω συνεχής ανασκόπηση με πολιτική  $(R, Q)$  κάτω από απλές υποθέσεις. Η ποσότητα παρτίδας  $Q$  δίνεται και θέλουμε τον υπολογισμό του σημείου παραγγελίας  $R$ . Για επίπεδο αποθέματος  $L=0$ , το  $R=0$ . Έστω ότι  $L>0$ . Η παρτίδα πρέπει να ζητηθεί από τον προμηθευτή  $L$  χρονικές μονάδες νωρίτερα. Πρόκειται για καθοριστική ζήτηση μετατρέποντας το  $R=L*d$ . Αν παραδείγματος χάρη το  $R=2.5*Q$ , τότε μία παραγγελία ενεργοποιείται όταν η θέση αποθέματος είναι ίση με  $R$ , ενώ το επίπεδο αποθέματος δεν θα περάσει ποτέ το  $Q$ .

### 4.3.7 Ποσοτικές Εκπτώσεις

Σε γενικές περιπτώσεις είναι απλή η πρόσθεση άλλων κοστών τα οποία ποικίλουν με την ποσότητα παραγγελίας σε μοντέλα μέτρησης μεγεθών. Αν η ποσότητα

παραγγελίας είναι αρκετά μεγάλη, θα πάρουμε μία έκπτωση για όλες τις μονάδες στην τιμή αγοράς:

$v$  = τιμή ανά μονάδα για  $Q < Q_0$  δηλαδή κανονική τιμή

$v'$  = τιμή ανά μονάδα για  $Q \geq Q_0$  όπου  $v' < v$

Τα κόστη κράτησης θα εξαρτηθούν από το κόστος ανά μονάδα προϊόντος και υποθέτουμε ότι έχει την εξής δομή:

για  $Q < Q_0$

$$h = h_0 + rv \text{ για } Q < Q_0$$

$$h' = h_0 + rv' \text{ για } Q \geq Q_0$$

Δηλαδή, τα κόστη κράτησης αποτελούν δύο μέρη, ένα κόστος κεφαλαίου που αποκτάται εφαρμόζοντας επιτόκιο το  $r$  στο κόστος ανά μονάδα και άλλα κόστη ανεξάρτητα από την τιμή ανά μονάδα. Έστω κόστος παραγγελίας  $A$  και  $d$  η σταθερή ζήτηση ανά μονάδα χρόνου. Εφόσον τα κόστη αγοράς τώρα εξαρτώνται από την ποσότητα παραγγελίας, πρέπει να συμπεριληφθούν στην αντικειμενική συνάρτηση για τον καθορισμό του  $Q$ :

$$C = dv + \left(\frac{Q}{2}\right)(h_0 + rv) + \left(\frac{d}{Q}\right)A \text{ για } Q < Q_0$$

$$C = dv + \left(\frac{Q}{2}\right) * (h_0 + rv') + \left(\frac{d}{Q}\right)A \text{ για } Q \geq Q_0$$

Πως υπολογίζουμε τη βέλτιστη λύση:

1. Παίρνουμε την παραπάνω εξίσωση του  $C$  χωρίς τον περιορισμό  $Q \geq Q_0$ :  $Q' = \sqrt{[(2 * A * d) / (h_0 + r * v)]}$  και  $C' = \sqrt{[2 * A * d * (h_0 + r * v')]} + d * v'$  (να σημειωθεί ότι επειδή  $v' < v$  η εξίσωση του  $C$  με  $Q \geq Q_0$  δίνει χαμηλότερο όριο για την εξίσωση του  $C$  με  $Q < Q_0$ . Άρα αν το  $Q' \geq Q_0$ , τότε οι τελευταίες δύο εξισώσεις δίνουν την βέλτιστη λύση, άρα  $Q^* = Q'$  &  $C^* = C'$ .)
2. Αν το  $Q' < Q_0$  πρέπει να βελτιστοποιήσουμε την συνάρτηση κόστους:

$$Q'' = \sqrt{\frac{2 * A * d}{h_0 + r * v}} \quad (4.7)$$

$$C'' = \sqrt{2A * d(h_0 + rv)} + dv$$

Επειδή  $v > v'$ , τότε  $Q'' < Q'$ , άρα  $Q'' < Q' < Q_0$

Οι τελευταίες δύο εξισώσεις παρέχουν την χαμηλότερη δυνατή τιμή χωρίς έκπτωση. Από την κυρτότητα της εξίσωσης και το ότι  $Q' < Q_0$ , το χαμηλότερο κόστος με την έκπτωση είναι:

$$C(Q_0) = dv + \left(\frac{Q_0}{2}\right)(h_0 + rv') + \left(\frac{d}{Q_0}\right)A$$

Η βέλτιστη λύση για αυτήν την περίπτωση αποκτάται συνεχώς ως το ελάχιστο των δύο τελευταίων εξισώσεων.

#### 4.4 Αποθεματικά συστήματα πολλαπλών προϊόντων από μία πηγή

Πρόκειται για τον καθορισμό και συντονισμό των ποσοτήτων παραγγελίας καθώς και των άνω και κάτω ορίων, για πολλαπλές κατηγορίες προϊόντων που προέρχονται από την ίδια πηγή. Χρησιμοποιώντας πολλαπλά μοντέλα οικονομικής ποσότητας παραγγελίας δεν θα επωφεληθεί το σύστημα διότι το μοντέλο αυτό δεν λαμβάνει υπόψιν τον χρόνο άφιξης και το κόστος παραγγελίας και αποθήκευσης για τις υπόλοιπες κατηγορίες προϊόντων.

Σύμφωνα με τους Guillermo Gallego, Maurice Queyranne και David Simchi-Levi, χρειάζονται πιο ανεπτυγμένες ευριστικές μέθοδοι για την επίλυση του ενσωματωμένου ιλιγώδους προβλήματος της χρονικά σταδιακής άφιξης των παραγγελιών για ελαχιστοποίηση της μέγιστης χρήσης του προμηθευτή.

Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται μεταβλητές απόφασης οι οποίες ανάλογα θα αποφασίζουν όταν ένα προϊόν περάσει το κατώφλι  $s$  για το αν πρέπει να παραγγείλει και την άλλη κατηγορία η οποία δεν έχει φτάσει ακόμη στο κατώφλι, αλλά κατά τη διάρκεια της άφιξης της παραγγελίας να το περάσει και να χρεωθεί το σύστημα κόστος έλλειψης. Σε περίπτωση μηδενικού κόστους παραγγελίας ή μηδενικού χρόνου άφιξης, απλά θα πραγματοποιείται η παραγγελία όποτε το προϊόν ξεπερνάει το κάτω όριο  $s$ .

Για να λυθεί το πρόβλημα θα χρησιμοποιηθεί πρόγραμμα το οποίο θα δοκιμάσει κάθε πιθανό σενάριο για τα  $s, S$  κάθε προϊόντος και θα υιοθετήσει την βέλτιστη στρατηγική δοκιμάζοντας κάθε πιθανό συνδυασμό μεταβλητών απόφασης.

## 5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Προσομοίωση είναι η πλησιέστερη μέθοδος απεικόνισης της πραγματικότητας. Η προσομοίωση πραγματοποιεί γεγονότα με βάση τα δεδομένα του χρήστη. Χρησιμεύει στην αποτροπή ακραίων καταστάσεων, όπως ενός σοβαρού ατυχήματος στην κατασκευή μίας γέφυρας, αλλά και στην προετοιμασία συγκεκριμένων συνθηκών. Παράδειγμα αποτελεί η προσομοίωση σε προγράμματα τρισδιάστατου σχεδιασμού με επιπρόσθετες δοκιμές τάσεων ή παραπάνω βάρος, ακόμα ένα παράδειγμα αποτελεί ο προσομοιωτής διαστημικών συνθηκών, για την εκπαίδευση ανερχόμενων αστροναυτών. Τα αποτελέσματα είναι εκτιμήσεις της πραγματικότητας, όσο πιο αναλυτική η προσομοίωση, τόσο πιο καλές θα είναι οι εκτιμήσεις.

### 5.1 Διάγραμμα Ροής

Το διάγραμμα ροής είναι απαραίτητο στην απεικόνιση της λογικής του προβλήματος και της επίλυσης του. Προτού επιλυθεί το πρόβλημα, με σκοπό την ακρίβεια της προσομοίωσης, δημιουργείται διάγραμμα ροής για την κατανόηση της μεθόδου επίλυσης.

Τα δεδομένα είναι τα εξής:

- Εταιρεία εισαγωγών, προμηθεύεται προϊόντα ύδρευσης και άρδευσης από προμηθευτή στο εξωτερικό.
- Η προμήθεια χρειάζεται ένα διάστημα 2 μηνών για να αποθηκευτεί
- Σε περίπτωση έλλειψης, το απόθεμα αναπληρώνεται άμεσα από τοπικό προμηθευτή με μεγαλύτερο κόστος παραγγελίας και μονάδας προϊόντος.
- Κάθε μέρα έρχονται περίπου 200 πελάτες με ρυθμό 10 - 15 λεπτά
- Οι πελάτες ζητάνε 800 – 1500 σωλήνες με πιο σύνηθες να είναι οι 1100 με πιθανότητα 5% να μην πάρει καθόλου σωλήνες
- 35-50 αντλίες με πιο σύνηθες να είναι οι 40 αντλίες με πιθανότητα 10% να μην πάρει καθόλου αντλίες
- 300-600 ανταλλακτικά με πιο σύνηθες να είναι τα 400 ανταλλακτικά με πιθανότητα 2% να μην πάρει καθόλου ανταλλακτικά
- Συνεχόμενη ανασκόπηση χωρίς κάποια συγκεκριμένη πολιτική παραγγελιών

Τα γεγονότα τα οποία συμβαίνουν είναι τα εξής:

1. Άφιξη πελάτη και Ζήτηση
2. Ικανοποίηση ζήτησης είτε από τωρινό απόθεμα είτε από τοπικό προμηθευτή
3. Έλεγχος αποθέματος και πραγματοποίηση παραγγελίας εάν ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις του συστήματος

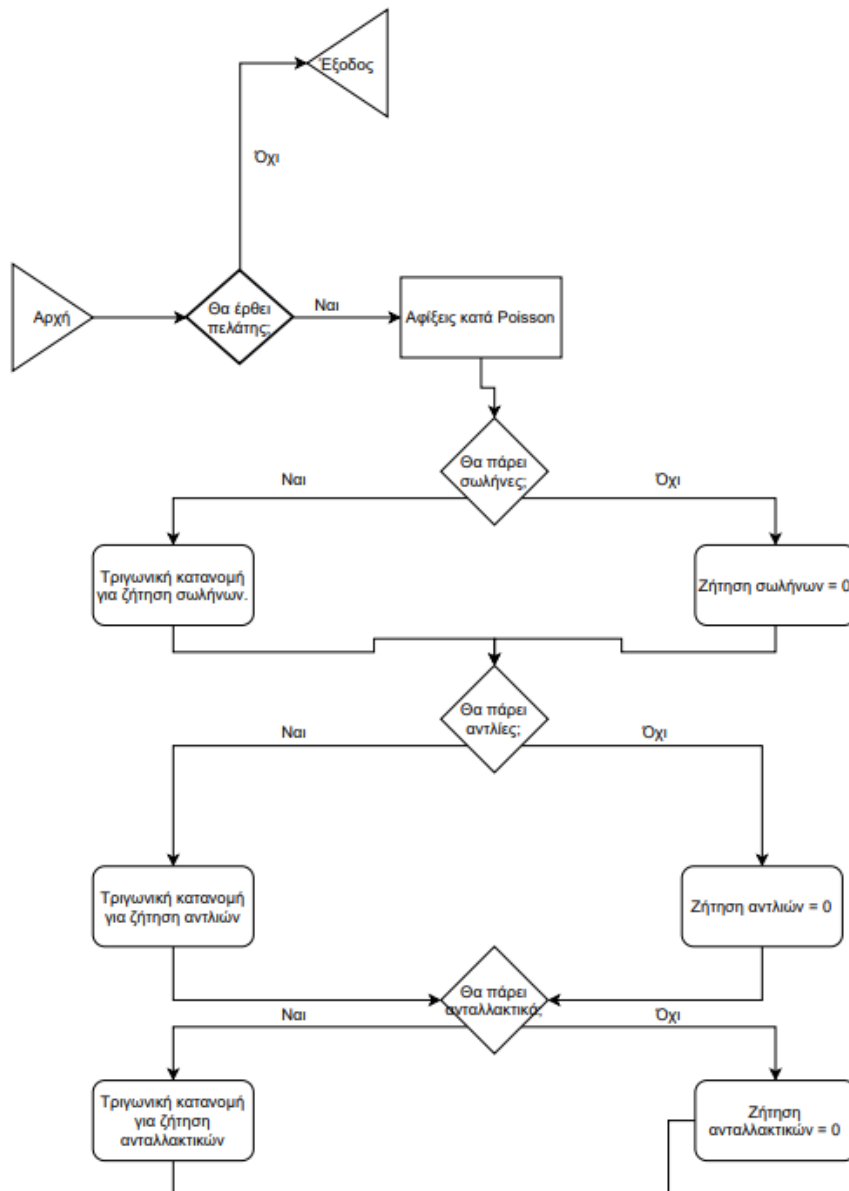


1<sup>ο</sup> γεγονός:

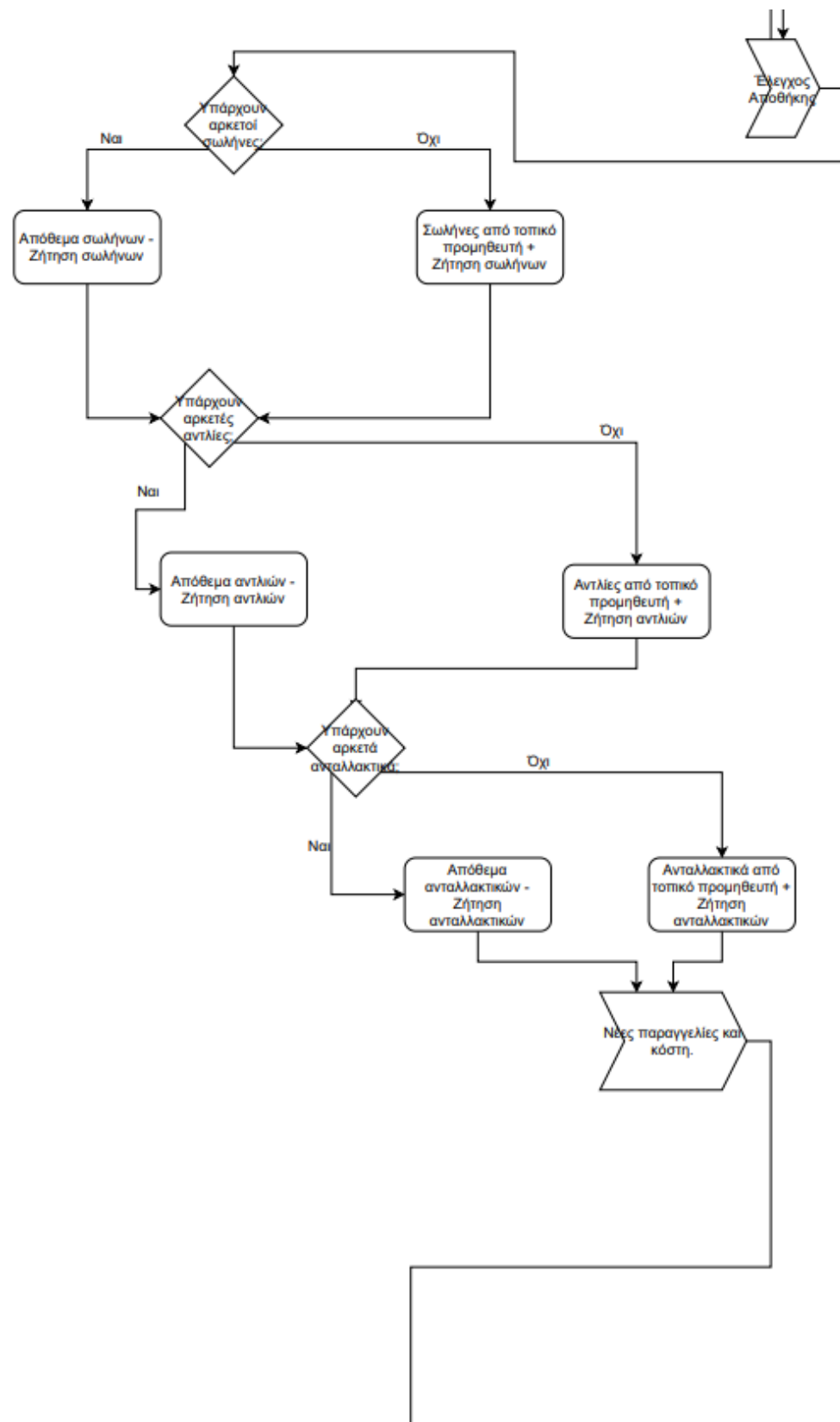
## Αποθεματικός Έλεγχος

Βασίλειος Μ. Χατζηηλίας

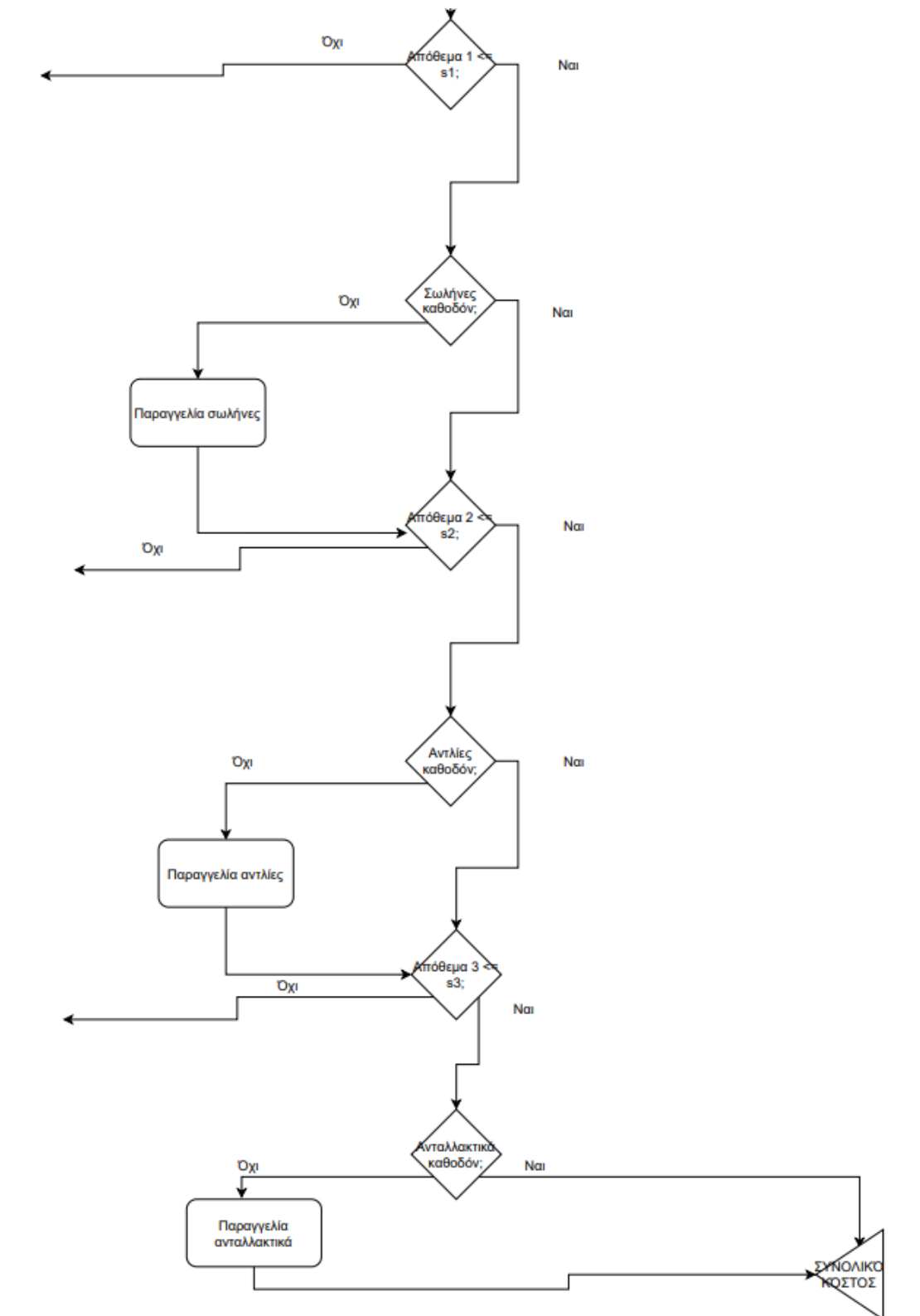
Αφίξεις και ζήτηση πελατών.



2<sup>ο</sup> γεγονός:



3<sup>ο</sup> γεγονός:



## 5.2 Ανάπτυξη Μοντέλου Προσομοίωσης ARENA

Το λογισμικό προσομοίωσης ARENA είναι ένα λογισμικό διακριτών γεγονότων και αυτοματισμού. Χρησιμοποιεί τον επεξεργαστή και γλώσσα προγραμματισμού SIMAN.

Στο ARENA ο χρήστης χρησιμοποιεί τα modules τα οποία δεν μεταφράζονται ακριβώς στην ελληνική γλώσσα. Πρόκειται για διάφορα σχήματα όπως τετράγωνα και κύκλοι, τα οποία αντιπροσωπεύουν κάποια συγκεκριμένη λειτουργία ή λογική. Συνδέοντας τα σχήματα μεταξύ τους με γραμμές, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ελέγξει την ροή μίας μεταβλητής. Επίσης, είναι δυνατόν ο χρήστης να παράγει μεταβλητές που ακολουθούν κάποια ορισμένη κατανομή ή έχουν ορισμένες πιθανότητες. Τέλος, πέρα από την παραγωγή και ροή μεταβλητών, το λογισμικό έχει δυνατότητα να καταγράψει χρόνους αναμονής αν πρόκειται για σύστημα εξυπηρέτησης καθώς λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο.

Σύμφωνα με το διάγραμμα ροής, δημιουργείται ένα πρόγραμμα μέσω του λογισμικού ARENA το οποίο θα απεικονίζει τα τρία παραπάνω γεγονότα καθώς και την καταγραφή πωλήσεων, αποθεμάτων και ολικού κόστους.

## 5.3 Πολιτική (s,S) Τριών Προϊόντων

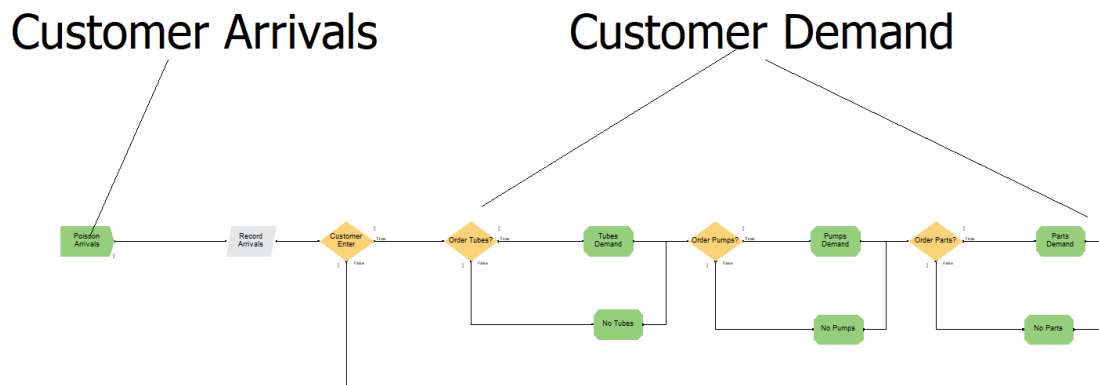
Η βέλτιστη πολιτική για την επίλυση του προβλήματος είναι η (S,s). Επειδή όταν το απόθεμα πέφτει κάτω από το reorder point δεν πραγματοποιείται παραγγελία κάποιας συγκεκριμένης ποσότητας αλλά όση ποσότητα χρειάζεται έτσι ώστε η θέση του αποθέματος να φτάσει σε ένα άνω όριο S.

Το συγκεκριμένο πρόβλημα αποτελείται από τρεις μεγάλες κατηγορίες προϊόντων. Ασκώντας την πολιτική (s,S), συμπεριλαμβάνονται και οι τρεις ομάδες, όμως δεν έχουν και οι τρεις ομάδες την ίδια ζήτηση, κόστος μονάδας και κόστος αποθήκευσης. Οπότε, πρόκειται για πολιτική (s,S) με τρία διαφορετικά ζεύγη ορίων. Μέσω του λογισμικού Arena θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση του συστήματος

με τυχαία ζεύγη ορίων από το χρήστη και ύστερα θα βρεθούν τα βέλτιστα ζεύγη για το κάθε προϊόν.

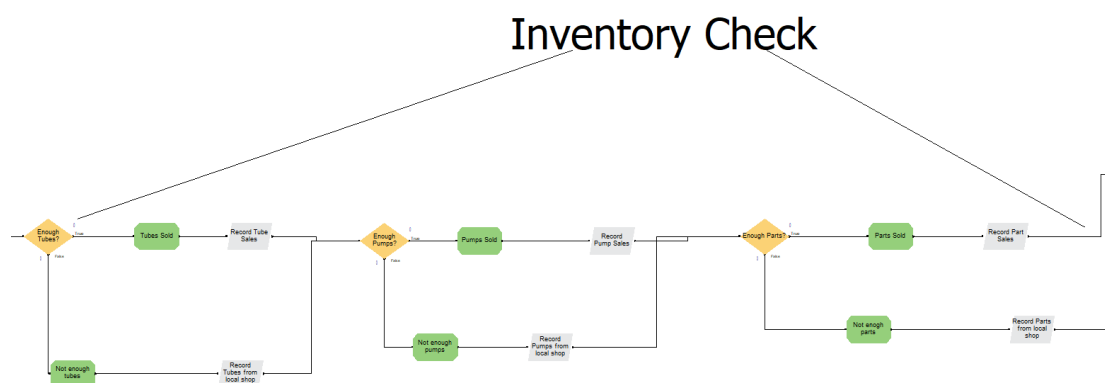
Ακολουθούν τα βήματα προσομοίωσης σύμφωνα με το διάγραμμα ροής:

### 5.3.1 Άφιξη πελατών και Ζήτηση



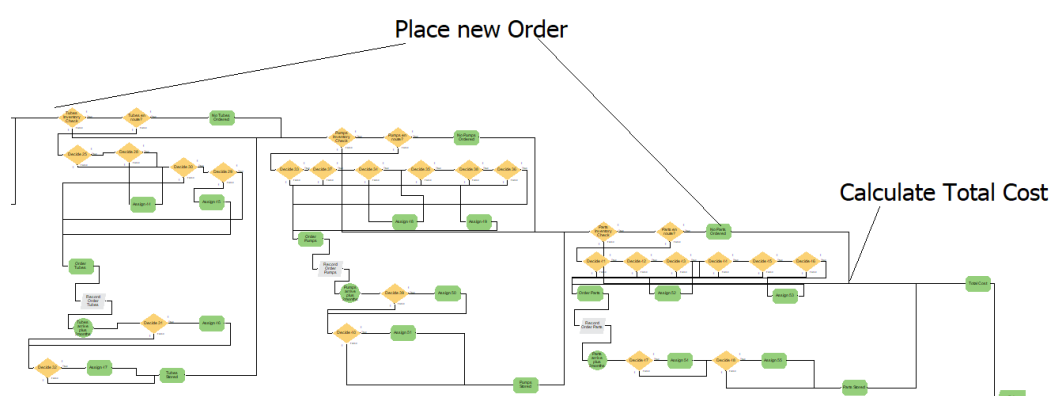
1. Αφίξεις κατά Poisson με μέσο όρο  $\lambda = 0.04$  ώρες ανά πελάτη
2. Καταγραφή αφίξεων και ώρα προσομοίωσης
3. Άφιξη πελάτη με πιθανότητα  $\sim 0.01\%$  να μην πάρει τίποτα, προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των πιθανοτήτων να μην πάρει σωλήνες αντλίες και ανταλλακτικά.
4. Παραγγελία σωλήνων με πιθανότητα 95% και τριγωνική κατανομή (1,1100,1500)
5. Ομοίως για τις αντλίες με πιθανότητα 90% και τριγωνική κατανομή (1,40,50)
6. Ομοίως για τα ανταλλακτικά με πιθανότητα 98% και τριγωνική κατανομή (1,400,600)

### 5.3.2 Έλεγχος Αποθέματος



1. Έλεγχος αποθέματος εάν ικανοποιεί την τωρινή ζήτηση σε κάθε προϊόν
2. Καταγραφή και καταμέτρηση πωλήσεων
3. Σε περίπτωση μη ικανοποίησης της ζήτησης, καταγραφή έλλειψης και αγοράς από τοπικό προμηθευτή και υπολογισμό κόστους

### 5.3.3 Μαζικές Παραγγελίες από Προμηθευτή



1. Έλεγχος Στάθμης Αποθέματος εάν βρίσκεται κάτω από το όριο  $s$  για το κάθε προϊόν
2. Έλεγχος εάν βρίσκεται καθοδόν κάποια παραγγελία
3. Έλεγχος εάν υπάρχει κάποιο προϊ΄ον το οποίο είναι σημαντικό και πρέπει να προστεθεί στην παραγγελία ανεξαρτήτως αν είναι κάτω από το κατώφλι  $s$ .
4. Σε περίπτωση που κάποιο προϊόν είναι σημαντικό, γίνεται έλεγχος αν δεν είναι ήδη καθοδόν ή αν δεν ήρθε μόλις τώρα.
5. Παραγγελία νέου αποθέματος ποσότητας ίσης με το άνω όριου  $S$  για κάθε προϊόν συν την τωρινή θέση αποθέματος
6. Άφιξη προϊόντων ύστερα από χρονικό διάστημα 2 μηνών
7. Καταγραφή και καταμέτρηση παραγγελιών για τον υπολογισμό του κόστους

### 5.3.4 Αποτελέσματα της Προσομοίωσης

Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης για το χρονικό διάστημα και αριθμό πανομοιότυπων προσομοιώσεων έχουμε τα εξής:

- Αφίξεις σε ώρα προσομοίωσης
- Ζητήσεις από κάθε πελάτη για οποιανδήποτε συνδυασμό παραγγελίας
- Καταγεγραμμένες επιτυχείς παραδόσεις προϊόντων στον πελάτη
- Αποτυχία ικανοποίησης ζήτησης του πελάτη (να σημειωθεί ότι αν για παράδειγμα έχουμε 300 προϊόντα και ο πελάτης ζητήσει 500 δεν αφαιρούμε τα 300 από το απόθεμα αλλά παίρνουμε απευθείας από τον τοπικό και ακριβότερο προμηθευτή τα 500)
- Πωλήσεις
- Ποσότητα παραγγελίας
- Τωρινό απόθεμα

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που δημιούργησε ο προσομοιωτής σε συνδυασμό με τα δεδομένα της εταιρίας μπορούμε να προσεγγίσουμε το πρόβλημα στην επίλυση του.

Από τα δεδομένα της επιχείρησης έχουμε:

1. Σταθερό κόστος παραγγελίας **A** το οποίο αποτελείται από:
  - 1.1. Κόστος ασφάλιστρων
  - 1.2. Επιβάρυνση μεταφορικών
  - 1.3. Κόστος εκτελωνισμού
  - 1.4. Παρακολούθηση παραγγελίας
  - 1.5. Επιπλέον επιβάρυνση μεταφορικών αν η παραγγελία είναι από μία ποσότητα και κάτω.
2. Μοναδιαίο μεταβλητό κόστος προμήθειας **C** το οποίο αποτελείται από:
  - 2.1. Σωλήνες πλαστικοί και ελαστικοί
  - 2.2. Αντλίες πετρελαίου, σκαφών, αυτόματης αναρρόφησης κοκ
  - 2.3. Ανταλλακτικά και εξαρτήματα για σωλήνες και αντλίες
3. Κόστος αποθέματος ανά μονάδα προϊόντος και ανά μονάδα χρόνου αποθήκευσης **h** το οποίο αποτελείται από:
  - 3.1. Το πόση αξία θα κοστίσει ένα προϊόν αν το κρατήσω στην αποθήκη για μία χρονική μονάδα
  - 3.2. Ενοίκιο για τον χώρο (αν δεν είναι ιδιόκτητος)
  - 3.3. Ασφάλεια
  - 3.4. Συντήρηση
  - 3.5. Κόστος Λειτουργίας
  - 3.6. Κόστος συρρίκνωσης είτε λόγω φθοράς, είτε κλοπής, είτε ατυχήματος
  - 3.7. Κόστος απαρχαίωσης (Αν δεν έχουμε πουλήσει το προϊόν μέχρι ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που θα έχει κυκλοφορήσει ένα καλύτερο,

για να το πουλήσουμε θα αναγκαστούμε να ρίξουμε την τιμή και θα προστεθεί ως ζημία στην επιχείρηση)

**3.8.** Τόκος απώλειας του κεφαλαίου κίνησης (Αν για παράδειγμα αγοράσω ένα απόθεμα αξίας 1000 ευρώ και μείνει στην αποθήκη ένα μήνα, θα μπορούσα να επενδύσω τα 1000 ευρώ σε ένα προϊόν που θα πουληθεί αμέσως ή να αγοράσω πιο φθηνά και περισσότερα που δεν θα μου κοστίσει πολύ να τα αποθηκεύσω, το πόσα θα κέρδιζα με τα 1000 ευρώ διά το πόσα κέρδισα είναι ο τόκος του κεφαλαίου κίνησης που χάσαμε)

4. Μέγιστο απόθεμα  $S$
5. Σημείο παραγγελίας  $s$
6. Διάρκεια κύκλου
7. Συνολικό μέσο κόστος λειτουργίας του συστήματος ανά μονάδα χρόνου

## 5.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Το λογισμικό προσομοίωσης Arena παρέχει στατιστικά δεδομένα στο τέλος κάθε προσομοίωσης, όπως παραδείγματος χάρη το πόσοι εικονικοί πελάτες δημιουργήθηκαν κατά μέσον όρο καθώς και πόσοι περάσανε από το κάθε module.

Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης του χρόνου προσομοίωσης, την ταυτόχρονη ενεργοποίηση πανομοιότυπων ταυτόχρονων προσομοιώσεων, την καταγραφή ορισμένων μεταβλητών και την εκτύπωση αυτών σε αρχείο csv.

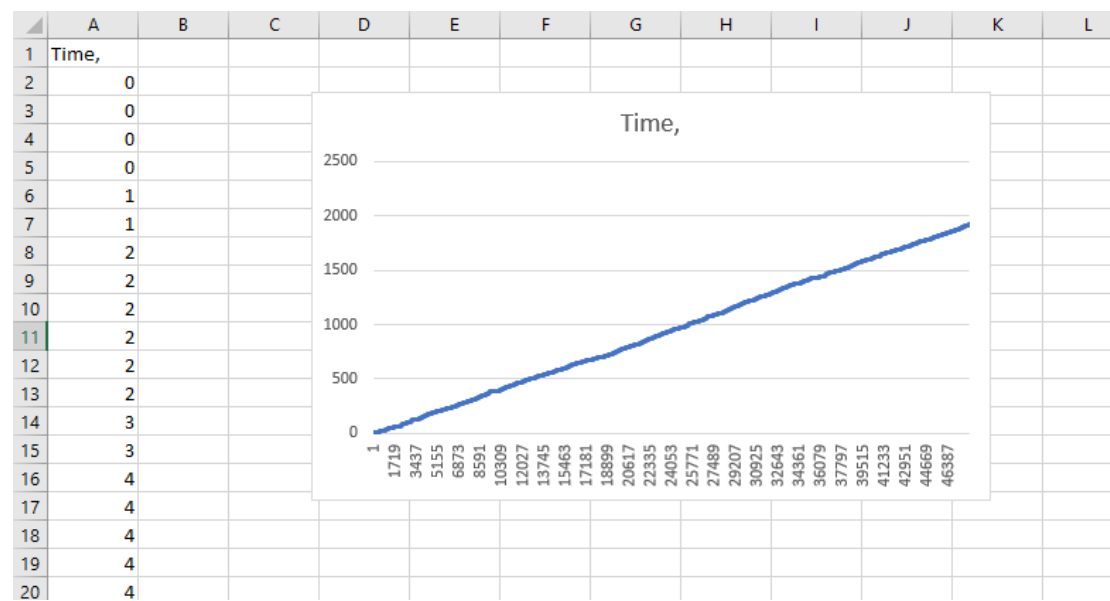
Για παράδειγμα σε προσομοίωση διάρκειας 8 μηνών :

Μέσος αριθμός πελατών





Καταγραφή αφίξεων πελατών σε χρόνο προσομοίωσης.



Πότε πουλήθηκαν , πόσα ζητήθηκαν και πόσα προϊόντα έχουν πωληθεί έως τώρα.

Time,Demand,Sold,
0,311,311,
0,1171,1482,
0,547,2029,
0,1108,3138,
1,1042,4180,
1,861,5042,
2,1256,6298,
2,729,7027,
2,701,7729,
2,494,8224,
2,1340,9564,
2,597,10161,
3,0,10161,
3,535,10697,
4,703,11400,
4,453,11854,
4,832,12686,
4,1303,13990,
4,222,14212,
4,442,14655,
4,771,15426,
4,1231,16658,
4,1199,17858,
4,935,18793,
4,1216,20010,
4,648,20658,
4,1396,22055,
4,409,22465,
4,1156,23621,
4,346,23968,
4,1188,25156,
4,619,25776,
4,0,25776,
4,1156,26932,
4,754,27686,
4,205,27887,

Πότε δεν ικανοποιήθηκε η ζήτηση και πόσα έχουν αγοραστεί από τον τοπικό προμηθευτή συνολικά.

Time,Not Met,
5,1056,
5,2300,
5,2564,
5,3563,
5,4085,
5,4350,
5,4874,
5,5953,
5,6600,
5,7650,
5,8830,
5,9850,
5,11199,
5,12470,
5,12891,
5,14016,
5,14364,
5,15501,
5,16697,
5,17444,
5,18740,
5,19043,
5,19272,
5,20429,
5,21436,
5,22288,
6,23526,
6,24177,
6,25317,
6,25426,
6,25781,
6,26325,
7,26904,
7,28035,
7,28932,

Πότε, πόσοι σωλήνες αντλίες και ανταλλακτικά παραγγείλαμε.

Time,Order Tubes,Pumps,Parts,
5,159143,0,0,
486,150005,0,0,
967,150005,0,0,
1448,150005,0,0,

## 6 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΟ Opt Quest

### 6.1 Μεταβλητές

Το πρόγραμμα προσομοίωσης χρησιμοποιεί 38 μεταβλητές από τις οποίες μπορούμε να ρυθμίσουμε τις εξής :

1. Το άνω όριο του αποθέματος για τους σωλήνες
2. Το άνω όριο του αποθέματος για τις αντλίες
3. Το άνω όριο του αποθέματος για τα ανταλλακτικά
4. Το σημείο που ενεργοποιείται η παραγγελία για σωλήνες
5. Το σημείο που ενεργοποιείται η παραγγελία για αντλίες
6. Το σημείο που ενεργοποιείται η παραγγελία για ανταλλακτικά
7. Την μεταβλητή απόφασης για το προϊόν 1
8. Την μεταβλητή απόφασης για το προϊόν 2
9. Την μεταβλητή απόφασης για το προϊόν 3
10. Το αρχικό απόθεμα για το προϊόν 1
11. Το αρχικό απόθεμα για το προϊόν 2
12. Το αρχικό απόθεμα για το προϊόν 3
13. Όριο ανοχής ελλείψης προϊόντος 1
14. Όριο ανοχής ελλείψης προϊόντος 2
15. Όριο ανοχής ελλείψης προϊόντος 3

Μεταξύ αυτών των μεταβλητών, οι πιθανοί ακέραιοι συνδυασμοί είναι αμέτρητοι. Οπότε θα χρησιμοποιήσουμε ένα πρόγραμμα που θα βρει την βέλτιστη λύση, το Opt Quest. Όπως είναι αντιληπτό από την ονομασία του, το Opt Quest λύνει προβλήματα βελτιστοποίησης για την ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση μίας μεταβλητής. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε την μεταβλητή TOTAL COST στην οποία έχουν συγκεντρωθεί όλα τα σταθερά κόστη και από τις τρεις κατηγορίες προϊόντων. Στα σταθερά κόστη περιλαμβάνονται τα κόστη παραγγελίας, τα κόστη κράτησης καθώς και τα κόστη εξυπηρέτησης για τις ζητήσεις που δεν ικανοποιήθηκαν αμέσως.



Επιλέγοντας το Opt Quest για την βελτιστοποίηση του προβλήματος από την γραμμή εργαλείων του λογισμικού Arena, εκτελούνται τα παρακάτω βήματα.

### 6.1.1 Επιλογή σημαντικών μεταβλητών τις οποίες θα συνδυάζει το Opt Quest

Included	Category	Name	Element Type	Type	Low Bound	Suggested Value	High Bound	Step
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	max1	Variable	Integer	135000	150000	165000	1
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	max2	Variable	Integer	9000	10000	11000	1
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	max3	Variable	Integer	45000	50000	55000.000000000007	1
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	min1	Variable	Integer	9000	10000	11000	1
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	min2	Variable	Integer	900	1000	1100	1
<input checked="" type="checkbox"/>	User Specified	min3	Variable	Integer	9000	10000	11000	1

Ορίζοντας άνω και κάτω όρια σε κάθε μεταβλητή στον τομέα Controls, έτσι ώστε να μην ξεπεραστούν, καθώς η πιο εύκολη λύση για την ελαχιστοποίηση της μεταβλητής TOTAL COST είναι να μηδενίσει όλες τις μεταβλητές. Τα όρια επιλέγονται με βάση περασμένων δοκιμών έτσι ώστε η λύση του Opt Quest να είναι ανάμεσα στα όρια αυτά και όχι στα άκρα.

### 6.1.2 Επιλογή αποστολής

Objectives Summary						
Included	Name	Type	Goal	Description	Expression	
<input checked="" type="checkbox"/>	Objective 1	NonLinear	Minimize		{Entity 1.TranTime}	

Στον τομέα Objectives επιλέγεται η μεταβλητή και ο σκοπός του Opt Quest για αυτήν την μεταβλητή. Δηλαδή ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση. Στην τωρινή έκδοση δεν είναι εφικτό να επιλέξουμε πάνω από ένα Objectives ταυτόχρονα.

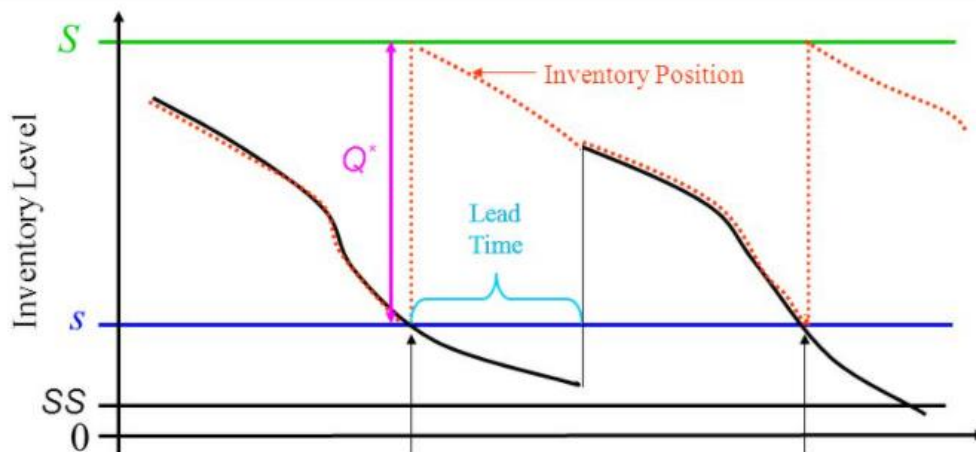
Να σημειωθεί επίσης ότι δίνεται η δυνατότητα καθορισμού περιορισμών, στο συγκεκριμένο πρόβλημα οι μόνοι περιορισμοί είναι τα άνω και κάτω όρια καθώς και το κόστος να είναι θετικοί αριθμοί.

Constraints					
Included	Name	Type	Description	Expression	
<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 1	Linear		{max1} > 0	
<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 2	Linear		{max2} > 0	
<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 3	Linear		{max3} > 0	
<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 4	Linear		{min1} > 0	
<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 5	Linear		{min2} > 0	
<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 6	Linear		{min3} > 0	
<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 7	Linear		0 < {TOTAL} < 1498502814.0091	

Ο αριθμός 1498502814.0091 είναι το άπειρο της μηχανής, οπότε περιορίζουμε το κόστος από το να πάρει μέγιστη τιμή το άπειρο.

## 6.2 Πολιτικές αναπλήρωσης (s,S) για τρεις κατηγορίες προϊόντων

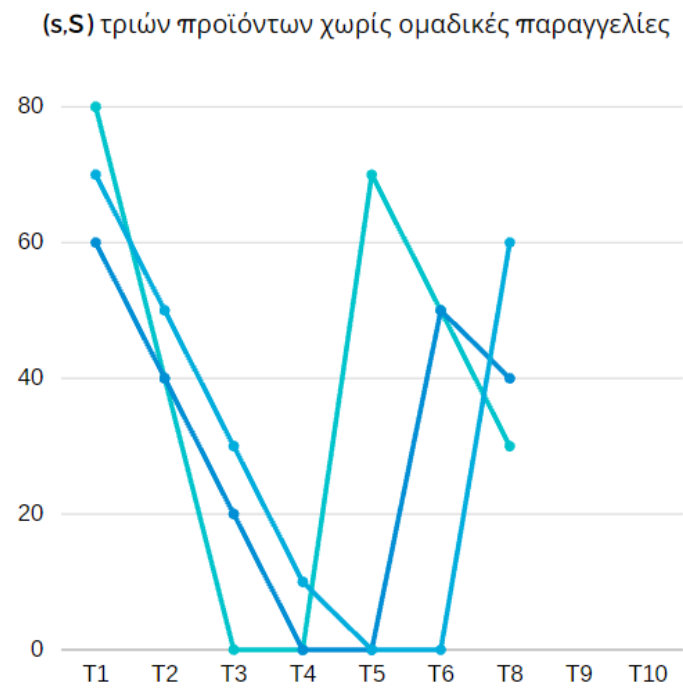
Στο παρακάτω σχήμα αναδεικνύεται ένα παράδειγμα πολιτικής αναπλήρωσης (s,S) για ένα προϊόν:



Η πολιτική αυτή προϋποθέτει κάθε φορά που το επίπεδο του αποθέματος φτάνει ή ξεπερνάει το κατώφλι  $s$ , ενεργοποιείται μια νέα παραγγελία η οποία ισούται με το άνω όριο  $S$  πλην το τωρινό επίπεδο του αποθέματος. Να σημειωθεί ότι, πρέπει επίσης το τωρινό απόθεμα συν τις εκκρεμείς παραγγελίες να είναι κάτω από το κατώφλι  $s$  έτσι ώστε να ενεργοποιηθεί μία παραγγελία. Οπότε, πρέπει το  $s \geq$  του τωρινού επιπέδου αποθέματος  $I$  + τις εκκρεμείς παραγγελίες.

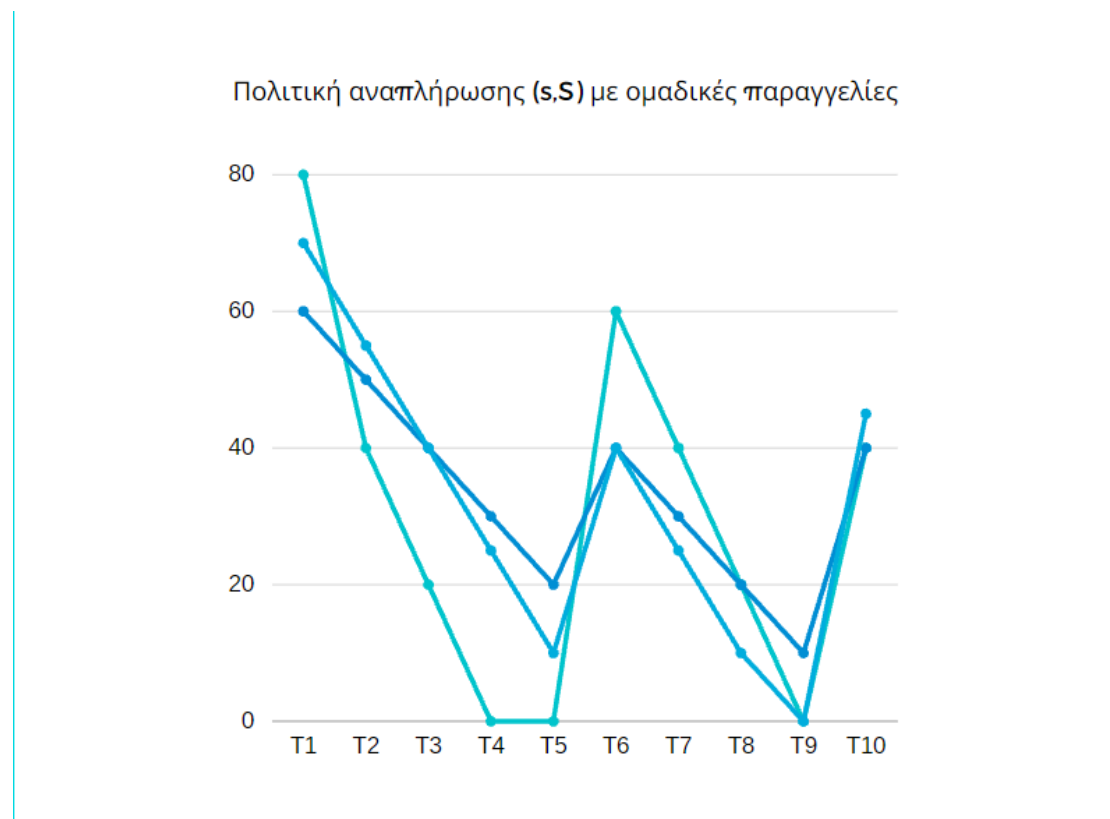
Στην περίπτωση πολλαπλών κατηγοριών προϊόντων των οποίων οι ζητήσεις έχουν διαφορετικούς ρυθμούς, δεν είναι βέλτιστο να πραγματοποιείται παραγγελία σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα στα οποία το επίπεδο αποθέματος του κάθε προϊόντος πέφτει κάτω από το  $s$ . Για αυτόν τον σκοπό, χρησιμοποιούνται μεταβλητές απόφασης ( $i_1, i_2, i_3$ ) οι οποίες καθορίζουν το εξής. Την χρονική στιγμή που κάποιο από τα 3 προϊόντα ξεπεράσει το  $s$ , εάν κάποιο από τα υπόλοιπα προϊόντα έχουν μεταβλητή απόφασης ίση με το 1, τότε θα ενεργοποιηθεί παραγγελία και για το αντίστοιχο προϊόν. Δηλαδή, έστω ότι οι σωλήνες ξεπερνάνε το κατώφλι  $s$  και ο συντελεστής απόφασης για τις αντλίες και τα ανταλλακτικά ισούται με 1, τότε μαζί με την παραγγελία για την αναπλήρωση των σωλήνων θα πραγματοποιηθεί παραγγελία και για τα άλλα 2 προϊόντα, ασχέτως εάν αυτά έχουν περάσει το κατώφλι  $s$  ή όχι. Σκοπός αυτής της στρατηγικής είναι να διατηρηθεί το επίπεδο του αποθέματος ενώ ταυτόχρονα μειώνεται το κόστος παραγγελίας με το να πραγματοποιούνται συνολικά λιγότερες παραγγελίες.

Παρακάτω απεικονίζεται η πολιτική αναπλήρωση (s,S) χωρίς την χρήση μεταβλητών απόφασης:





Ενώ παρακάτω απεικονίζεται η ίδια πολιτική αναπλήρωσης με τις μεταβλητές απόφασης:



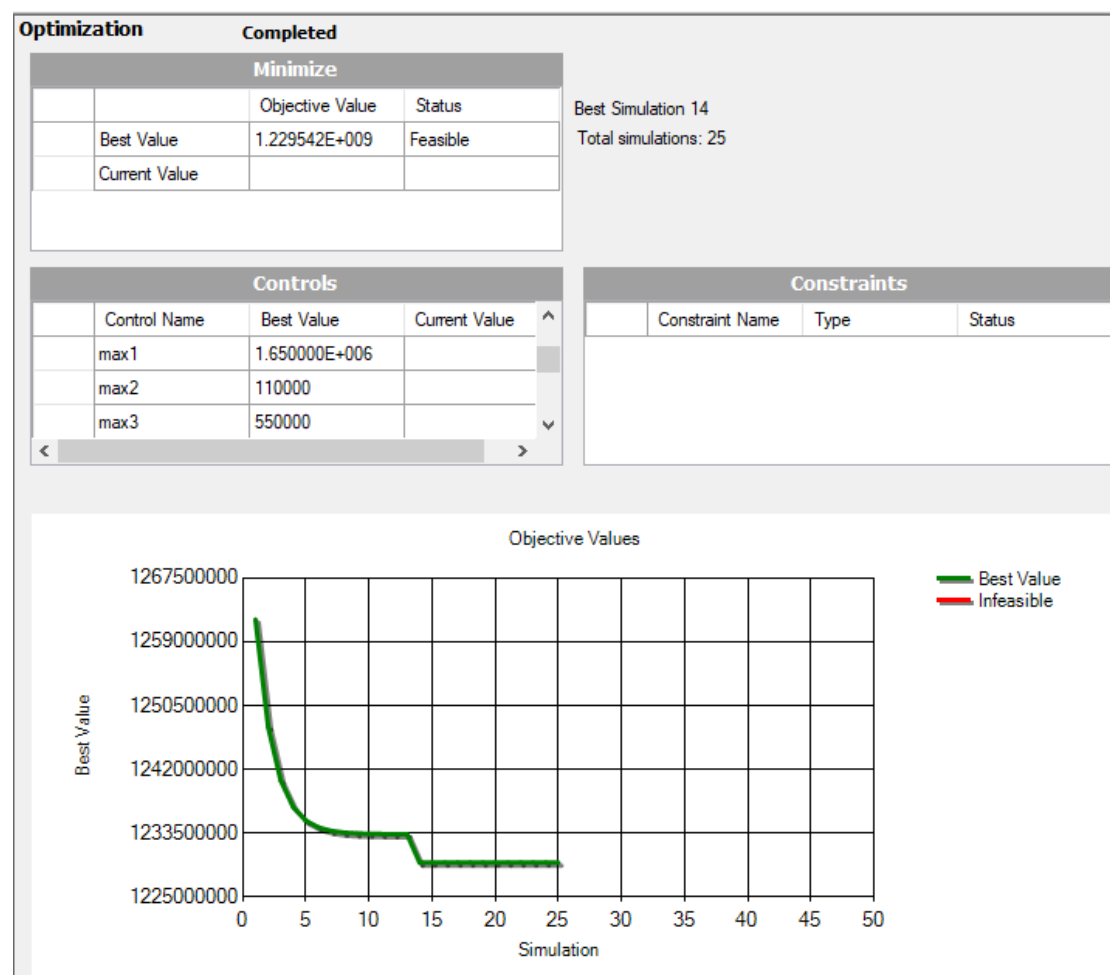
Η στρατηγική αυτή χρησιμοποιείται για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα του μεγάλου χρόνου άφιξης των προμήθειών. Δεν εφαρμόζεται για προϊόντα με μικρό χρόνο αύξησης.

## 6.3 Λύση Προβλήματος

▼ <b>Refine</b>	
Additional Replic	1
Indifference Zor	1E-05
Maximum Replic	1
Number of Best	1
Probability	95%
Type	NoAdvanced

Επιλέγοντας τις παραμέτρους όπως το διάστημα εμπιστοσύνης και τον μέγιστο αριθμό ταυτόχρονων προσομοιώσεων.

Όσο πιο μικρός ο χρόνος διεκπεραίωσης του μοντέλου Arena, τόσο πιο λίγη επεξεργαστική δύναμη χρειάζεται το Opt Quest, καθώς και όσο λιγότερες ταυτόχρονες προσομοιώσεις εκτελούνται, τόσο πιο σύντομα θα βρεθεί βέλτιστη λύση.



Με συνολικά 25 ταυτόχρονες προσομοιώσεις, το Opt Quest βρήκε λύση και προτείνει ότι η 14η προσομοίωση ήταν η βέλτιστη.

Οπότε βλέποντας τις υπόλοιπες λύσεις επιλέγουμε εκείνη που ικανοποιεί τους περιορισμούς.

Best Solutions														
	Objective Value	Status	Important1	Important2	Important3	max1	max2	max3	min1	min2	min3	Pat Inventory	Pump Inventory	Tube Inventory
	1229542148.759	Feasible	1	1	1	1.650000E+006	110000	550000	500000	11000	110000	165000	110000	1.100000E+007
	1229600076.434...	Feasible	1	1	1	1.506697E+006	99518	413089	451564	10579	94825	164740	109204	1.099783E+007
	1231471345.117...	Feasible	0	0	0	175016	38841	74925	245540	3744	5387	162941	104112	1.097823E+007
	1232966667.603...	Feasible	1	0	0	597889	109382	497900	384669	1049	50042	161870	101729	9.605774E+006
	1233339649.256...	Feasible	1	1	1	1.512839E+006	100861	462825	490671	10899	100861	150000	100861	1.000000E+007
	1233353762.503...	Feasible	1	1	1	1.512173E+006	100816	462647	490436	10894	100816	150000	100816	1.000000E+007
	1233381916.426...	Feasible	1	1	1	1.510841E+006	100727	462292	489966	10884	100727	150000	100727	1.000000E+007
	1233437922.580...	Feasible	1	1	1	1.508177E+006	100549	461583	489026	10864	100549	150000	100549	1.000000E+007
	1233500573.728...	Feasible	0	0	1	106109	74539	512548	216488	9056	22498	135435	100664	1.055723E+007
	1233550171.123...	Feasible	1	1	1	1.502850E+006	100193	460165	487147	10825	100193	150000	100193	1.000000E+007
	1233774055.946...	Feasible	1	1	1	1.492197E+006	99482	457329	483389	10747	99482	150000	99482	1.000000E+007
	1234221650.7751	Feasible	1	1	1	1.470892E+006	98061	451657	475874	10592	98061	150000	98061	9.956203E+006
	1235116614.057...	Feasible	1	1	1	1.428282E+006	95220	440313	460845	10282	95220	150000	95220	1.000000E+007
	1236906574.704...	Feasible	1	1	1	1.343063E+006	89538	417625	430788	9663	89538	150000	89538	1.000000E+007
	1240485781.7969	Feasible	1	1	1	1.172625E+006	78175	372250	370675	8425	78175	150000	78175	1.000000E+007
	1241168155.833...	Feasible	1	0	0	1.440757E+006	10832	174786	395306	8102	23757	135319	76233	1.060914E+007
	1247644082.245...	Feasible	1	1	1	831750	55450	281500	250450	5950	55450	150000	55450	1.000000E+007
	1252777396.292	Feasible	0	0	0	1.458306E+006	8725	518099	276384	9987	88721	159768	39945	9.056203E+006
	1256550099.994	Feasible	1	0	1	574290	7356	522462	418583	1478	65633	139430	29353	9.232489E+006
	1257070124.969	Feasible	0	0	1	702281	22960	105406	303668	5497	86453	143956	26356	9.823313E+006
	1257957564.254	Feasible	1	0	0	571655	91645	512251	60801	7237	84946	142434	22255	1.066043E+007
	1259130359.965	Feasible	0	1	0	452405	9125	256823	15664	6500	79446	141237	20190	9.725220E+006
	1261119670.210	Feasible	0	1	0	1.251800E+006	44229	499289	312832	2938	13154	158962	10434	1.086592E+007
	1261960895.643	Feasible	1	1	1	150000	10000	10000	10000	10000	150000	150000	10000	1.000000E+007
	1265756265.861...	Feasible	0	0	0	13500	900	13000	900	900	900	135000	900	9.000000E+006

Ικανοποιώντας όλους τους περιορισμούς και τα όρια, η βέλτιστη λύση είναι στην προσομοίωση 14 με τις εξής μεταβλητές.

(s1, S1) = (500000, 1650000) με αρχικό απόθεμα I1 = 11000000

(s2, S2) = (1100, 110000) με αρχικό απόθεμα I2 = 110000

(s3, S3) = (11000, 550000) με αρχικό απόθεμα I3 = 1650000

Με συνολικό κόστος 122εκ ευρώ συμπεριλαμβανομένου του κόστους κράτησης, κόστους παραγγελίας και συντήρησης εγκαταστάσεων.

Οι συντελεστές απόφασης αποφασίζουν για το αν κάποιο από τα τρία προϊόντα είναι σημαντικό. Αν είναι σημαντικό, την στιγμή που πέσει ένα προϊόν κάτω από το κατώφλι s, τότε θα παραγγείλει και το σημαντικό προϊόν ανεξαρτήτως εάν το προϊόν αυτό έχει πέσει κάτω από το δικό του κατώφλι.

Αυτό συμβαίνει με σκοπό να λιγοστεύσουν οι παραγγελίες κρατώντας ψηλά την θέση αποθέματος και έχοντας στην άκρη πάντα τα σημαντικά προϊόντα, αν υπάρχουν.

Χωρίς τις ομαδικές παραγγελίες ο αριθμός παραγγελιών αυξάνεται και το συνολικό αυξάνεται στα 405εκ ευρώ.

## 7 Συμπεράσματα

Για εταιρείες και επιχειρήσεις που βρίσκονται σε ένα πλαίσιο υψηλού ανταγωνισμού και ζήτησης είναι απαραίτητο να δίνονται λύσεις σε προβλήματα βελτιστοποίησης οι οποίες όχι μόνο βοηθάνε στην επιβίωση της επιχείρησης αλλά και στην βελτίωση της.

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αναλύθηκαν διάφορες μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων επάνω στον αποθεματικό έλεγχο.

Ξεκινώντας από μεθόδους πρόβλεψης, προέκυψε το συμπέρασμα ότι παρόλο που δεν σχετίζεται άμεσα με τον αποθεματικό έλεγχο, είναι συνετό να γνωρίζει η επιχείρηση για το αν μπορεί να διαμορφώσει ένα μοτίβο για την καταναλωτική συμπεριφορά των πελατών της. Εφόσον μπορεί να διαμορφωθεί το μοτίβο, είναι εξίσου σημαντικό να γνωρίζει η επιχείρηση τι μοτίβα υπάρχουν και πως παρατηρούνται.

Ύστερα, οι πολιτικές παραγγελιών και ανασκόπησης είναι ένας τρόπος αντιμετώπισης για ζητήσεις που δεν μπορούν να προβλεφθούν πλήρως. Σε συνδυασμό με τις εκπτώσεις των προμηθευτών και την πρόβλεψη ζήτησης, διαμορφώνεται ένα σύστημα το οποίο ανάλογα την επιχείρηση, μπορεί να αντιδράσει άμεσα σε ελλείψεις ή μπορεί να τις αποτρέψει τελείως. Εξισορροπώντας δύο αντίθετες δυνάμεις, τα κόστη κράτησης και κόστη παραγγελίας, μία επιχείρηση αποκτά την βέλτιστη στρατηγική της για την ικανοποίηση της ζήτησης και την ελαχιστοποίηση του κόστους έτσι ώστε να καταφέρει να αναπτυχθεί.

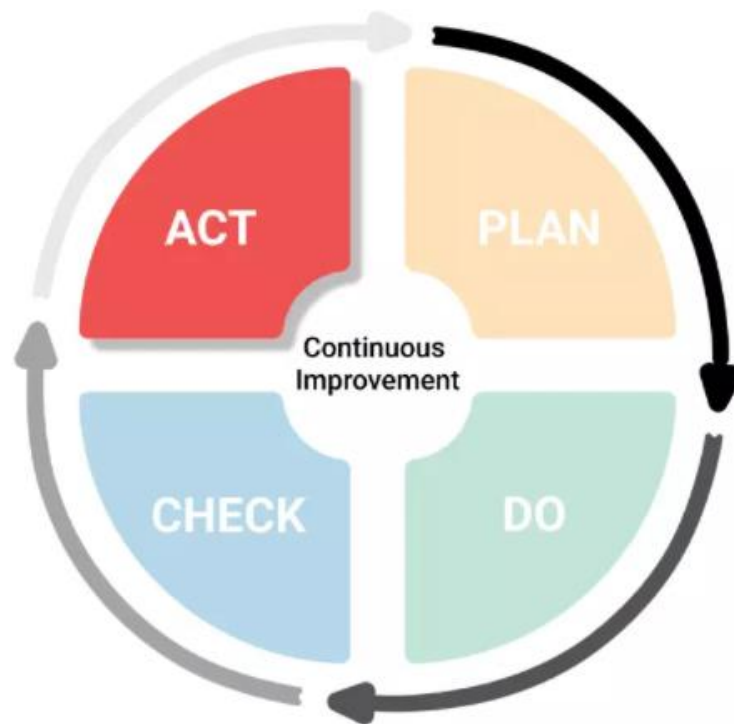
Τέλος, η γνώση και εφαρμογή λογισμικών προσομοίωσης ικανοποιεί το προτελευταίο βήμα της επιχείρησης πριν την λήψη οποιασδήποτε απόφασης. Σύμφωνα με το επιχειρησιακό μοντέλο PDCA, η προσομοίωση εφαρμόζει την απόφαση της επιχείρησης χωρίς να υπάρχει ρίσκο. Τα εργαλεία της στατιστικής επιτρέπουν όχι μόνο την εφαρμογή πολιτικής (S,s) για τρεις ομάδες προϊόντων, αλλά και εφαρμογή μοντέλων MRP, συστήματα εξυπηρέτησης με ουρές αναμονής και πολλά ακόμη.

Plan: Παρατήρηση δεδομένων και έλεγχος λευκότητας

Do: Επιλογή στρατηγικής πολιτικής και ανασκόπησης

Check: Εφαρμογή στρατηγικής και βελτιστοποίηση παραμέτρων

Act: Εφαρμογή της λύσης



## 8 Βιβλιογραφία

- *Inventory Control*, Axsater Springer 3<sup>rd</sup> edition 2015
- *Production Systems notes*, Kouikoglou Vasilis.
- *Exponential Smoothing: The state-of-the-art* ES Garden Jr the Journal of Forecasting
- Axsater Springer (2015) *Inventory Control*, Third Edition
- Φίλης Γιάννης, Κουϊκόγλου Βασίλης (2021) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
- Everette S. Gardner Jr (1985) *Exponential Smoothing: The state of the art*
- Guillermo Gallego, Maurice Queyenne, David Simchi-Levi (1996) *Single Resource Multi-Item Inventory Systems*
- J.E. Hammann, N.A. Markovitch (1985) *Introduction to Arena [simulation software]*
- P. Rogers (2002) *Optimum-seeking simulation in the design and control of manufacturing systems: experience with OptQuest for Arena*