



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ
ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ ΣΕ ΓΡΑΜΜΕΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΝ ΔΥΟ
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΥΠΟΜΟΝΩΝ ΠΕΛΑΤΩΝ**

Εργασία που υπεβλήθη για την μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων απόκτησης
διπλώματος

υπό την

ΜΑΡΙΑ ΠΕΠΠΑ

Επιβλέπων καθηγητής: Ευστράτιος Ιωαννίδης
Εξεταστική Επιτροπή: Βασίλειος Κουϊκόγλου
Γιώργος Τσιναράκης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους που με στήριξαν στα φοιτητικά μου χρόνια.

Πρώτα από όλα οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Αλέξανδρο και Δήμητρα, στην αδερφή μου, Αντωνία, και στους φίλους μου για την αγάπη, την υποστήριξη και την δύναμη που μου δίνουν να πετύχαινω τους στόχους μου. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής, Καθηγητή Ευστράτιο Ιωαννίδη τόσο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, όσο και για την πολύτιμη βοήθεια, και καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα εργασία εξετάζουμε την γραμμή παραγωγής CONWIP, η οποία παράγει ένα προϊόν και εξυπηρετεί δύο κατηγορίες ανυπόμονων πελατών. Στόχος είναι η βελτιστοποίηση των κατωφλίων αποθέματος CONWIP, αποθέματος προτεραιότητας, εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου ένα και εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου δύο, ώστε να μεγιστοποιηθεί το κέρδος της γραμμής παραγωγής. Για να το πετύχουμε αυτό, χρησιμοποιήθηκε αλγόριθμος προσομοίωσης διακριτών γεγονότων. Ακόμη έγινε σύγκριση της προτεινόμενης πολιτικής με άλλες συνήθως χρησιμοποιούμενες πολιτικές. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση του κέρδους της γραμμής παραγωγής.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
1.Εισαγωγή και Βιβλιογραφική ανασκόπηση.	4
1.1 Συστήματα Ώθησης (Push Systems)	4
1.2 Συστήματα Έλξης (Pull Systems)	5
1.3 Σύγκριση συστημάτων ώθησης και έλξης.....	6
1.4 Πολιτική CONWIP.....	6
1.5 Σύγκριση συστημάτων πολιτικής CONWIP με συστήματα πολιτικής Kanban.....	7
1.6 Σύγκριση συστημάτων πολιτικής CONWIP με συστήματα ώθησης	7
1.7 Προτεραιότητα πελατών.....	7
1.8 Πολιτικές αποδοχής ή απόρριψης πελατών.....	8
1.9 Εγκατάληψη πελατών από την γραμμή παραγωγής.....	8
2.Περιγραφή γραμμής παραγωγής και εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν.....	10
2.1 Εισαγωγή.....	10
2.2 Περιγραφή της γραμμής παραγωγής	10
2.2 Περιγραφή του αλγόριθμου προσομοίωσης.....	12
2.3 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης	18
3. Αριθμητικά Αποτελέσματα	20
3.1 Μελέτη των ιδιοτήτων της συνάρτησης κόστους ως προς τις μεταβλητές ελέγχου	20
3.2 Σύγκριση πολιτικής CONWIP	27
4. Συμπεράσματα	32
Βιβλιογραφία	33
Παράρτημα Α.....	34

1.Εισαγωγή και Βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Το σύγχρονο περιβάλλον των επιχειρήσεων αλλάζει συνεχώς σκηνικό λόγω του αυξημένου ανταγωνισμού, το οποίο φαίνεται τόσο στις πωλήσεις όσο και στις τεχνολογίες παραγωγής. Όσον αφορά τις πωλήσεις παρατηρείται μικρότερος κύκλος ζωής προϊόντος και αλλαγές στα μέσα πώλησης (εισβολή του Διαδικτύου ως μέσο πώλησης). Όσον αφορά τις αλλαγές στον τομέα παραγωγής, τα συστήματα παραγωγής έχουν γίνει πιο ευέλικτα, υπάρχει αυξανόμενη τάση αυτοματοποίησης της παραγωγής και έχουν αναπτυχθεί καινοτόμες ψηφιακές τεχνολογίες στον τομέα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επίσης οι εξελίξεις στις επιστημονικές περιοχές της πληροφορικής, των συστημάτων παραγωγής, της επιχειρησιακής έρευνας, της διοίκησης επιχειρήσεων και της οικονομίας επηρεάζουν σημαντικά την οργάνωση των διάφορων συστημάτων παραγωγής.

Στην παρούσα εργασία εξετάζουμε τις παραμέτρους που βελτιστοποιούν το κέρδος μια γραμμής παραγωγής CONWIP, που παράγει ένα προϊόν και εξυπηρετεί δύο κατηγορίες ανυπόμονων πελατών, με την χρήση αλγόριθμου προσομοίωσης διακριτών γεγονότων.

Βασικός στόχος των συστημάτων παραγωγής είναι να βελτιώσουν την παραγωγική διαδικασία ούτως ώστε αυτή να γίνει πιο αποτελεσματική και κερδοφόρος. Δηλαδή, ένα αποτελεσματικό σύστημα παραγωγής είναι αυτό που παράγει ποιοτικά κομμάτια, την κατάλληλη χρονική στιγμή και σε ανταγωνιστικό κόστος. Στην διεθνή βιβλιογραφία επικρατούν δύο διαφορετικές απόψεις για τον τρόπο με τον οποίο μια βιομηχανία μπορεί να επιτύχει τους τρεις παραπάνω στόχους.

1.1 Συστήματα Ώθησης (Push Systems)

Την πρώτη άποψη υποστηρίζουν αυτοί που πιστεύουν ότι η ανάπτυξη και βελτίωση των συστημάτων παραγωγής θα πραγματοποιηθεί με την υιοθέτηση μεθοδολογιών από τον τομέα την ενοποιημένης παραγωγής με την χρήση υπολογιστή (Computer Integrated Manufacturing, CIM). Στην προσέγγιση CIM, η διαδικασία παραγωγής ελέγχεται εξ ολοκλήρου από τον υπολογιστή. Ένας βασικός παράγοντας του CIM είναι ο Προγραμματισμός Απαιτήσεων Υλικών (Material Requirements Planning, MRP). Το MRP ανήκει στα μοντέλα ώθησης, στο οποίο οι διάφορες εργασίες προγραμματίζονται με βάση την σχέση μεταξύ της προβλεπόμενης ζήτησης και των επιμέρους υλικών που αυτό αποτελείται. Επίσης είναι μια τεχνική υπολογισμού των ποσοτήτων των απαιτούμενων υλικών ώστε να παραχθεί το τελικό προϊόν στον προγραμματισμένο χρόνο. Το σύστημα πολιτικής MRP διατηρεί στοιχεία σε πραγματικό χρόνο για το διαθέσιμο απόθεμα και άλλα στοιχεία της παραγωγής όπως τον χρόνο παράδοσης, τον χρόνο παραγωγής και το απόθεμα ασφάλειας. Το σύστημα πολιτικής MRP παίρνει ένα συνολικό πλάνο παραγωγής και το μεταφράζει, μέσω δένδρων δομών (κατάλογος υλικών, bill of materials), σε επιμέρους υλικά που απαιτούνται, υπολογίζοντας τις ποσότητες και τη χρονική στιγμή κατά την οποία αυτά θα είναι απαραίτητα.

Ένα βασικό πρόβλημα της πολιτικής MRP είναι η παραδοχή ότι η διαθέσιμη δυναμικότητα του συστήματος είναι απεριόριστη, δηλαδή η πολιτική αυτή μπορεί να υπολογίσει την ποσότητα που "πρέπει" να παραχθεί, αλλά όχι αν "μπορεί" να παραχθεί. Αυτό το πρόβλημα λύνεται με την πολιτική MRP II η οποία αποτελείται από δύο συστήματα, ένα σύστημα MRP και ένα σύστημα προγραμματισμού απαιτήσεων πόρων (Capacity Requirements Planning, CRP). Όταν το σύστημα MRP καθορίσει τί θα παραχθεί, τότε το σύστημα CRP χρησιμοποιεί πληροφορίες σχετικά με τον διαθέσιμο παραγωγικό εξοπλισμό, ώστε να καθορίσει τις απαιτήσεις δυναμικότητας της παραγωγής. Σήμερα, έχουν αναπτυχθεί τα συστήματα ERP (Enterprise Resource Planning), τα οποία είναι κατάλληλα ώστε να προσδιορίσουν τον συνολικό σχεδιασμό των πόρων της επιχείρησης, ακόμα και τον σχεδιασμό των οικονομικών πόρων.

Ένα βασικό πλεονέκτημα των συστημάτων που εφαρμόζουν πολιτική MRP και MRP II είναι η μείωση των επιπέδων του αποθέματος και σε πολλές περιπτώσεις, η βελτίωση των επιπέδων της έγκαιρης εξυπηρέτησης των πελατών (customer service). Αντιθέτως, ένα βασικό μειονέκτημα τους είναι ότι δεν κατασκευάζουν πάντα εφικτά πλάνα και αυτό γίνεται αντιληπτό σχετικά αργά. Επιπλέον, τα συστήματα αυτά θεωρούν σταθερούς τους χρόνους παραμονής των προϊόντων ή υλικών εντός του συστήματος παραγωγής (lead time) και ανεξάρτητους από την δυναμικότητα του συστήματος. Αυτή η παραδοχή οδηγεί, σε πολλές περιπτώσεις, σε υπρεκτίμηση του χρόνου. Πιο αναλυτικά, ενώ οι εργασίες θα είχαν τελειώσει νωρίτερα από τον εκτιμώμενο χρόνο και θα υπήρχε διαθέσιμο απόθεμα, η απαισιόδοξη εκτίμηση του χρόνου οδηγεί σε περισσότερα ημιτελή προϊόντα ή υλικά εντός του συστήματος (WIP, Work In Progress) και υψηλές τιμές του αποθέματος έτοιμων προϊόντων (FGI, Finished Good Inventory).

1.2 Συστήματα Έλξης (Pull Systems)

Από την άλλη πλευρά, μια αντίθετη προσέγγιση στην διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει υιοθετηθεί κυρίως από της Ιαπωνικές επιχειρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, αντί τα προϊόντα ή οι υπηρεσίες να παράγονται για να ικανοποιήσουν την μελλοντική ζήτηση, η παραγωγή καθορίζεται από την τελική ζήτηση (έλξη). Το τέλος μια εργασίας «πυροδοτεί» την έναρξη μια άλλης.

Το πιο γνωστό σύστημα έλξης είναι η πολιτική Kanban. Στα Ιαπωνικά Kanban σημαίνει «κάρτα», η οποία χρησιμοποιείται για να εξουσιοδοτεί την έναρξη της παραγωγής ή την έναρξη μιας εργασίας. Αυτή η πολιτική είναι βασισμένη σε ένα οπτικό σήμα, το οποίο ακολουθεί ένα κιβώτιο εξαρτημάτων από την στιγμή που γεμίζει μέχρι και την στιγμή που αδειάζει. Επιπροσθέτως, η ροή στο σύστημα παραγωγής ρυθμίζεται σηματοδοτώντας την παραγωγή και τις παραδόσεις σε προηγούμενα στάδια. Επίσης είναι εύκολη η ειδοποίηση των χειριστών για το πότε και πού υπάρχει πρόβλημα, ώστε να λυθεί από τον υπεύθυνο. Τέλος, ο αριθμός των καρτών καθορίζει τα επίπεδα WIP στο σύστημα.

Δυστυχώς, η πολιτική Kanban, ένα σύστημα ελέγχου παραγωγής, συχνά συγχέεται με σύστημα παραγωγής που εφαρμόζει πολιτική JIT (Just In Time). Η πολιτική JIT συνδυάζει ένα σύστημα στο οποίο εφαρμόζεται πολιτική Kanban και ένα σύστημα

ελέγχου ολικής ποιότητας που έχει σαν προϋπόθεση την ενεργή συμμετοχή των υπαλλήλων. Τα πλεονεκτήματα της πολιτικής JIT είναι η μείωση των επιπέδων WIP του συστήματος, η μείωση του χρόνου ροής των εργασιών, δηλαδή του χρόνου μεταξύ της ολοκλήρωσης μια εργασίας και της έναρξης μιας άλλης, επιτρέποντας μείωση του κόστους παραγωγής και αύξηση της κατανόησης των πελατών, σε περίπτωση που δεν εξυπηρετηθούν εγκαίρως.

1.3 Σύγκριση συστημάτων ώθησης και έλξης

Τα μοντέλα ώθησης τύπου MRP θεωρούνται πιο εύκολα εφαρμόσιμα, για αυτόν τον λόγο υιοθετούνται από περισσότερες βιομηχανίες. Από την άλλη πλευρά, η πολιτική Kanban έχει καλύτερα αποτελέσματα όταν μπορεί να εφαρμοστεί. Τα δύο αυτά μοντέλα έχουν συγκριθεί πολλές φορές στην διεθνή βιβλιογραφία, όπως στις εργασίες των (Spearman, 1990) και (Spearman, M. L., and Zazanis, 1992). Τα συμπεράσματα από την σύγκριση των δύο μοντέλων είναι:

- i. Στα συστήματα έλξης υπάρχει λιγότερη συμφόρηση σε σχέση με τα συστήματα ώθησης.
- ii. Ο έλεγχος των συστημάτων έλξης είναι ευκολότερος σε σχέση με τα συστήματα ώθησης.
- iii. Ο αριθμός των κομματιών που υπάρχουν σε ένα σύστημα έλξης (WIP) περιορίζεται εντός κάποιων οριακών τιμών, ενώ στα συστήματα ώθησης ο αριθμός αυτός μπορεί να αυξηθεί χωρίς όριο.

Τα συστήματα έλξης δεν υιοθετούνται από τις περισσότερες επιχειρήσεις λόγω των ειδικών προϋποθέσεων που απαιτούν για να εφαρμοσθούν. Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα ώθησης (MRP) μπορούν να εφαρμοστούν σχεδόν σε κάθε διακριτό μέρος παραγωγής. Γι αυτό τον λόγο τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια συνδυασμού των δύο συστημάτων έλξης και ώθησης, ώστε ένα σύστημα να έχει τα πλεονεκτήματα του συστήματος έλξης και μεγαλύτερο εύρος εφαρμογής στα συστήματα παραγωγής.

1.4 Πολιτική CONWIP

Η πολιτική CONWIP (CONstant Work In Process), η οποία παρουσιάστηκε το 1990 από τους (Spearman, 1990), προσφέρει την υπόσχεση ότι θα κατακτήσει τον παραπάνω στόχο.

Ένα σύστημα CONWIP είναι ένα σύστημα σταθερού αποθέματος όπου οι μηχανές παράγουν όποτε μπορούν και εφ' όσον υπάρχουν πρώτες ύλες. Όταν ένα κομμάτι εγκαταλείπει το σύστημα για οποιοδήποτε λόγο, τότε αυτό αναπληρώνεται άμεσα από πρώτες ύλες. Σε κάθε αποθήκη εισάγονται τόσες πρώτες ύλες, όσες χρειάζονται για την παραγωγή ενός έτοιμου προϊόντος. Έτσι μπορεί να κρατηθεί σταθερό το σύνολο των προϊόντων που υπάρχουν στο σύστημα παραγωγής και στην συνέχεια να ελεγχθούν και οι χωρητικότητες των ενδιάμεσων αποθηκών ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα στην παραγωγή. Ως αποτέλεσμα, με την πολιτική CONWIP δημιουργείται ένα κλειστό σύστημα ελέγχου των αποθεμάτων της γραμμής παραγωγής.

1.5 Σύγκριση συστημάτων πολιτικής CONWIP με συστήματα πολιτικής Kanban

Η πολιτική CONWIP είναι πιο γενικευμένη από την πολιτική Kanban. Όπως και η Kanban, βασίζεται σε σήματα, τα οποία ονομάζουμε «κάρτες». Σε ένα σύστημα CONWIP η κάρτα προσκολλάται σε ένα κομμάτι στη αρχή της γραμμής παραγωγής. Όταν το κομμάτι φτάσει στο τέλος της γραμμής παραγωγής, η κάρτα αφαιρείται και στέλνεται πίσω στην αρχή της γραμμής όπου περιμένει σε μια ουρά καρτών μέχρι να προσκολληθεί ξανά σε ένα κομμάτι. Η μέθοδος εξαγωγής των καρτών από την λίστα είναι FIFO (First In First Out). Αντίθετα, στα συστήματα Kanban οι κάρτες μπορεί να είναι τοποθετημένες σε διάφορα σημεία του συστήματος και μέσω αυτών πυροδοτείται η έναρξη κάποιας συγκεκριμένης εργασίας. Επίσης στα συστήματα CONWIP οι διάφορες εργασίες εντός του συστήματος παραγωγής, από την στιγμή που έχουν λάβει την εξουσιοδότηση από την κάρτα στην αρχή της γραμμής παραγωγής υλοποιούνται βάσει της μεθόδου ώθησης.

1.6 Σύγκριση συστημάτων πολιτικής CONWIP με συστήματα ώθησης

Η πολιτική CONWIP έχει τρία βασικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συστήματα ώθησης. Αρχικά, αν υπάρχει ανικανοποίητη ζήτηση στο σύστημα, ένα μοντέλο ώθησης θα ήταν φραγμένο από πρώτες ύλες οι οποίες θα ικανοποιούσαν την ζήτηση. Αντίθετα, ένα σύστημα CONWIP έχοντας σταθερό απόθεμα του οποίου η τιμή είναι ανεξάρτητη από την ανικανοποίητη ζήτηση, θα λειτουργούσε κανονικά. Μια τέτοια λίστα είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμη από το WIP του συστήματος. Επιπλέον, σε αντίθεση με τα συστήματα ώθησης, το CONWIP μας παρέχει την δυνατότητα συνεχούς ελέγχου του πλήθους των κομματιών που βρίσκονται εντός του συστήματος, των κομματιών δηλαδή που ακόμα είναι στο στάδιο της παραγωγής ή που βρίσκονται στην αποθήκη έτοιμων προϊόντων και είναι διαθέσιμα προς πώληση. Τέλος με την πολιτική CONWIP διατηρείται πεπερασμένο το κόστος αποθέματος, το οποίο συχνά αποτελεί μια πολύ σημαντική συνιστώσα του κόστους παραγωγής.

1.7 Προτεραιότητα πελατών

Το πρόβλημα της ικανοποίησης παραγγελιών πελατών, οι οποίοι ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες, από ένα τύπο προϊόντος έχει απασχολήσει αρκετά τον προγραμματισμό παραγωγής. Τέτοιου είδους προβλήματα προκύπτουν συχνά στο γενικό πλαίσιο των συστημάτων παραγωγής. Όπως περιγράφεται από τον (Ha, 1997), οι πελάτες που δεν ικανοποιούνται άμεσα από τα έτοιμα προϊόντα μπαίνουν στην ουρά εκκρεμών παραγγελιών της τάξης τους. Οι πελάτες χαμηλής προτεραιότητας έχουν και χαμηλότερα μοναδιαία κόστη εκκρεμών παραγγελιών, έτσι ώστε όταν η στάθμη του αποθέματος έτοιμων προϊόντων είναι χαμηλή, δεν ικανοποιείται άμεσα η άφιξη ενός πελάτη χαμηλής προτεραιότητας. Οι εκκρεμείς παραγγελίες πελατών χαμηλής προτεραιότητας ικανοποιούνται μόνο όταν δεν υπάρχουν εκκρεμείς παραγγελίες πελατών υψηλής προτεραιότητας και υπάρχει διαθέσιμο απόθεμα στο σύστημα. Όταν δεν υπάρχουν εκκρεμείς παραγγελίες η παραγωγή συνεχίζεται μέχρι η στάθμη του αποθέματος να φτάσει σε ασφαλή όρια.

1.8 Πολιτικές αποδοχής ή απόρριψης πελατών

Η πολιτική αποδοχής παραγγελιών που θα υιοθετηθεί σε ένα πρόβλημα γραμμών παραγωγής και αποθεματικών συστημάτων είναι πολύ σημαντικό. Οι πολιτικές αποδοχής παραγγελιών σε περιόδους έλλειψης αποθέματος είναι απλές, είτε όλες απορρίπτονται ή γίνονται όλες αποδεκτές, όπως έχουν περιγράψει οι (Hadley, G. and Whithin, T.M., 1963), (Smith, 1977) και (Zipkin, 2000). Σύμφωνα με την πολιτική πλήρους αποδοχής (CB, Complete Backordering), όλες οι παραγγελίες γίνονται αποδεκτές όταν δεν υπάρχει απόθεμα έτοιμων προϊόντων. Αντίθετα, η πολιτική κατά την οποία απορρίπτονται όλες οι παραγγελίες όταν δεν μπορούν να ικανοποιηθούν άμεσα ονομάζεται πλήρους απόρριψης (LS, Lost Sales). Το βασικό μειονέκτημα της πολιτικής πλήρους αποδοχής είναι η αύξηση χωρίς όριο του πλήθους των ανικανοποίητων παραγγελιών, η οποία είναι ζημιογόνος για μια επιχείρηση. Σύμφωνα με μια εναλλακτική πολιτική ελέγχου, όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο απόθεμα, η αποδοχή ή η απόρριψη παραγγελιών γίνεται με τυχαίο τρόπο, ανεξάρτητα από το πλήθος των παραγγελιών που εκκρεμούν. Αυτή η πολιτική ονομάζεται πολιτική τυχαίας αποδοχής (RAC, Randomized Admission Control) και η χρήση της περιορίζεται σε συστήματα μιας μηχανής.

Οι πολιτικές CB και LS είναι εκ διαμέτρου αντίθετες. Στην πρώτη πολιτική το πλήθος των ανικανοποίητων παραγγελιών αυξάνεται χωρίς όριο, ενώ στην δεύτερη πολιτική το πλήθος είναι μηδέν. Μια ενδιάμεση πολιτική ελέγχου παραγγελιών είναι η πολιτική μερικής αποδοχής της μη ικανοποιημένης ζήτησης (PLS, Partly Lost Sales). Η πολιτική αυτή είναι τύπου κατωφλιού δηλαδή απορρίπτει όλες τις παραγγελίες όταν το πλήθος των μη ικανοποιημένων γίνει ίσο με ένα κατώφλι που ονομάζεται έλλειμμα βάσης. Η συγκεκριμένη πολιτική είναι πιο γενική από τις CB και LS αφού για τις ακραίες τιμές ∞ και 0 του ελλείμματος βάσης εκφυλίζεται σε μία από αυτές. Η παραπάνω πολιτική παρουσιάζεται πρώτη φορά στις εργασίες (Caldentey, 2001) και (Kouikoglou, V.S and Phillis, Y.A., 2002) όπου μελετάται η εφαρμογή της PLC σε συστήματα μιας μηχανής. Στην συνέχεια οι (S.Ioannidis, V.S Kouikoglou and Y.A Phillis, 2004) εξετάζουν το πρόβλημα της εφαρμογής της παραπάνω πολιτικής σε δίκτυα παραγωγής ελεύθερης γεωμετρίας, όταν ο έλεγχος αποθεμάτων γίνεται με μια απλή παραλλαγή της πολιτικής αποθέματος βάσης.

1.9 Εγκατάληψη πελατών από την γραμμή παραγωγής

Η ανυπομονησία που εμφανίζουν οι πελάτες σε περιόδους μηδενικού αποθέματος είναι μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει τις αποφάσεις για τον έλεγχο των συστημάτων παραγωγή και έχει μελετηθεί εκτενέστερα στην διδακτορική εργασία (Οικονομόπουλος, 2010). Συστήματα δηλαδή στα οποία η ζήτηση σε περιόδους μηδενικού αποθέματος είναι εν γένει φθίνουσα συνάρτηση αλλά και στα οποία πελάτες που είναι ήδη σε αναμονή προϊόντος μπορεί να ακυρώνουν παραγγελίες.

Η ανυπομονησία (ή αποθάρρυνση) που εμφανίζουν οι πελάτες σε περιόδους μηδενικού αποθέματος είναι μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει τις αποφάσεις για τον έλεγχο των συστημάτων παραγωγής. Το πρόβλημα αυτό έχει τελευταία βρει εφαρμογές σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Όταν αναφερόμαστε σε αυτό το φαινόμενο συμπεριφοράς των πελατών, συνήθως χρησιμοποιούμε τους όρους αποτροπή πελατών (balking) και εγκατάλειψη πελατών (reneging). Η εγκατάλειψη πελατών συμβαίνει

όταν ένας πελάτης που έχει ήδη θέσει μια παραγγελία σε περιόδους μηδενικού αποθέματος, αποφασίζει να την αποσύρει αν αναγκαστεί να περιμένει περισσότερο από ένα μέγιστο ανεκτό χρόνο αναμονής. Η απόσυρση παραγγελιών, πέραν του κόστους απώλειας μιας πώλησης προκαλεί και ένα κόστος απώλειας της καλής θέλησης των πελατών, προδιαθέτοντας τους αρνητικά σε ενδεχόμενη μελλοντική παραγγελία. Το θέμα της εγκατάλειψης των ουρών αναμονής έχει μελετηθεί τις τελευταίες δεκαετίες αλλά αναλυτικά αποτελέσματα για δείκτες απόδοσης όπως το μέσο πλήθος εκκρεμών παραγγελιών, ο μέσος χρόνο αναμονής πελατών ή ο ρυθμός εγκατάλειψης, περιορίζονται σε απλά συστήματα ενός σταδίου παραγωγής με έναν ή περισσότερους εξυπηρετούντες. Για πιο γενικά συστήματα παραγωγής όπως γραμμές παραγωγής ή δίκτυα, το πρόβλημα γίνεται πολύ σύνθετο λόγω μαθηματικής πολυπλοκότητας η οποία καθιστά πολύ δύσκολη την εξαγωγή αναλυτικών εκφράσεων για τους παραπάνω δείκτες και άρα τον εντοπισμό των βέλτιστων παραμέτρων του ελέγχου.

2. Περιγραφή γραμμής παραγωγής και εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζεται πιο αναλυτικά το πρόβλημα συνδυασμένου ελέγχου αποθέματος και αποδοχής παραγγελιών σε γραμμή παραγωγής με δύο τύπους ανυπόμονων πελατών. Ακόμη, παρουσιάζεται αναλυτικά τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση και βελτιστοποίηση των υπό μελέτη συστημάτων.

Το κεφάλαιο είναι διαρθρωμένο ως εξής: Στην παράγραφο 2.2 γίνεται η περιγραφή της γραμμής παραγωγής που εξετάζεται και παρουσιάζονται οι λόγοι που οδήγησαν στην χρήση εργαλείων από τον χώρο της προσομοίωσης για την μελέτη της. Στην παράγραφο 2.3 περιγράφονται οι βασικές αρχές λειτουργίας του αλγορίθμου προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε. Τέλος, στην παράγραφο 2.4 παρουσιάζεται ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης του αναμενόμενου κέρδους.

2.2 Περιγραφή της γραμμής παραγωγής

Στην παρούσα εργασία εξετάζουμε μία γραμμή παραγωγής ενός προϊόντος το οποίο διατίθεται σε δύο κατηγορίες πελατών, η άφιξη παραγγελιών των οποίων είναι τυχαία και κάθε πελάτης ζητάει μία μονάδα προϊόντος. Οι αφίξεις παραγγελιών πελατών της κατηγορίας 1 και πελατών της κατηγορίας 2 ακολουθούν τη διαδικασία Poisson με ρυθμούς λ_1 και λ_2 αντίστοιχα. Σε περίπτωση εκκρεμών παραγγελιών και των δύο κατηγοριών πελατών, το σύστημα δίνει προτεραιότητα στη κατηγορία 1.

Οι χρόνοι επεξεργασίας του προϊόντος από τις μηχανές του συστήματος παραγωγής είναι ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές, εκθετικά κατανομημένες με μέση τιμή $1/\mu_i$.

Μετά την ολοκλήρωση της κατεργασίας ενός προϊόντος από την μηχανή i αυτό προωθείται στην αντίστοιχη ενδιάμεση αποθήκη, η οποία τροφοδοτεί την επόμενη μηχανή. Τα έτοιμα προϊόντα αποθηκεύονται σε μία αποθήκη ετοιμών προϊόντων η οποία είναι η αποθήκη της τελευταίας μηχανής.

Η διαδικασία παραγωγής χρησιμοποιεί ένα κατώφλι ασφαλείας αποθέματος για να προστατεύει το σύστημα από ελλείψεις αποθέματος αλλά και από υπερβολική συσσώρευση αποθέματος. Το σύστημα παράγει προϊόντα όσο ο αριθμός αποθέματος είναι μικρότερος από το κατώφλι βασικού αποθέματος s και σταματάει να λειτουργεί όταν το απόθεμα γίνει ίσο με s .

Κατά τη διάρκεια έλλειψης αποθέματος το σύστημα δέχεται μια παραγγελία πελάτη τύπου 1 εάν οι εκκρεμείς παραγγελίες του πελάτη 1 δεν ξεπερνούν το κατώφλι εκκρεμών παραγγελιών c_1 , διαφορετικά απορρίπτεται.

Η αποδοχή ή μη των παραγγελιών του πελάτη 2 εξαρτάται από τις συσσωρευμένες εκκρεμείς παραγγελίες οι οποίες είναι το άθροισμα των παραγγελιών και των δυο τύπων πελατών που εκκρεμούν μείον το υπάρχον απόθεμα. Η ποσότητα αυτή ονομάζεται καθαρό έλλειμμα. Μια παραγγελία πελατών της κατηγορίας 2 γίνεται αποδεκτή όταν το καθαρό έλλειμμα είναι μικρότερο από το κατώφλι c_2 και απορρίπτεται διαφορετικά.

Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι όλες οι παραγγελίες τύπου 1 να έχουν ικανοποιηθεί (τόσο αυτές που εκκρεμούν όσο και αυτές που αφίχθησαν στο ενδιάμεσο) και το σύστημα έχει πλέον μόνο εκκρεμείς παραγγελίες τύπου 2. Από το σημείο αυτό και έπειτα η παραγωγή συνεχίζεται και οι παραγγελίες τύπου 2 που γίνονται αποδεκτές αναμένουν στην ουρά μέχρι το απόθεμα ετοιμών προϊόντων να φτάσει το απόθεμα προτεραιότητας r .

Το απόθεμα προτεραιότητας r διασφαλίζει ότι μελλοντικές παραγγελίες τύπου 1 θα ικανοποιηθούν χωρίς καθυστέρηση. Τέλος, οι παραγγελίες τύπου 2 εξυπηρετούνται άμεσα μόνο όταν το απόθεμα είναι μεγαλύτερο από το κατώφλι r .

Όταν το απόθεμα ετοιμών προϊόντων γίνει s η τελευταία μηχανή απενεργοποιείται και παραμένει απενεργοποιημένη μέχρι το απόθεμα να πέσει κάτω από τα επίπεδα του κατωφλίου s . Κάθε φορά που ένα έτοιμο προϊόν πωλείται σε έναν πελάτη εισάγεται μια μονάδα πρώτης ύλης στην αποθήκη πρώτων υλών. Με αυτό τον τρόπο το συνολικό απόθεμα του συστήματος παραμένει σταθερό και ίσο με s .

Οι πελάτες είναι ανυπόμονοι δηλαδή αν δεν ικανοποιηθούν άμεσα από το απόθεμα ετοιμών προϊόντων είναι διατεθειμένοι να περιμένουν για ένα πεπερασμένο αλλά τυχαίο χρονικό διάστημα. Αν υπερβούμε αυτό το διάστημα τότε οι πελάτες αναχωρούν. Ο χρόνος «υπομονής» των πελατών ακολουθεί την εκθετική κατανομή με ρυθμό γ_j , για κάθε πελάτη της κατηγορίας j

Μέτρο απόδοσης είναι το μέσο κέρδος ανά μονάδα χρόνου, για άπειρο χρονικό ορίζοντα λειτουργίας της παραγωγής. Το κέρδος είναι το κέρδος πωλήσεων μείον το κόστος αποθέματος, το κόστος εκκρεμών παραγγελιών, το κόστος απορριφθέντων παραγγελιών και το κόστος αναχώρησης ανυπόμονων πελατών.

$$J = p_1 T H_1 + p_2 T H_2 - \sum h_i H_i - b_1 B_1 - b_2 B_2 - q_1 Q_1 - q_2 Q_2 - w_1 W_1 - w_2 W_2$$

όπου:

- $T H_j$: ο μέσος ρυθμός πωλήσεων στους πελάτες της κατηγορίας j .
- H_i : το μέσο συνολικό απόθεμα της αποθήκης i .
- B_1 : το μέσο πλήθος εκκρεμών παραγγελιών πελάτη τύπου 1
- B_2 : το μέσο πλήθος εκκρεμών παραγγελιών πελάτη τύπου 2
- Q_1 : το μέσο πλήθος των απορριφθέντων παραγγελιών πελάτη τύπου 1 στη μονάδα του χρόνου.
- Q_2 : το μέσο πλήθος των απορριφθέντων παραγγελιών πελάτη τύπου 2 στη μονάδα του χρόνου.
- W_1 : το μέσο πλήθος των παραγγελιών πελάτη τύπου 1 που αναχωρούν στη μονάδα του χρόνου.
- W_2 : το μέσο πλήθος των παραγγελιών πελάτη τύπου 2 που αναχωρούν στη μονάδα του χρόνου

- p_j : το κέρδος από την πώληση μίας μονάδας προϊόντος (τιμή πώλησης μείον κόστος πρώτων υλών και επεξεργασίας) σε πελάτες κατηγορίας j , $j=1,2$.
- h_i : το μοναδιαίο κόστος αποθέματος, που είναι το κόστος διατήρησης αποθέματος μία μονάδας προϊόντος στην αποθήκη της μηχανής i για μια χρονική μονάδα.
- b_j : μοναδιαίο κόστος εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου j , $j=1,2$.
- q_j : μοναδιαίο κόστος απορριφθέντων παραγγελιών πελατών τύπου j , $j=1,2$.
- w_j : μοναδιαίο κόστος παραγγελιών πελατών τύπου j ($j=1,2$) που αναχωρούν στη μονάδα του χρόνου

Τα συστήματα της μορφής που εξετάζουμε είναι ιδιαίτερα σύνθετα και είναι δύσκολο να μελετηθούν αναλυτικά. Τα συστήματα αυτά μπορούν να μελετηθούν με την βοήθεια των αλυσίδων Markov εφού οι χρόνοι των γεγονότων που παρατηρούνται είναι εκθετικοί. Στην περίπτωση γραμμών παραγωγής με πολλές μηχανές, το πλήθος των δυνατών καταστάσεων που δημιουργούνται είναι τόσο μεγάλο ώστε η ανάλυση τους είναι πρακτικά αδύνατη. Για αυτόν τον λόγο, χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία από τον χώρο της προσομοίωσης διακριτών συστημάτων για την μελέτη της συμπεριφοράς των προς εξέταση συστημάτων.

2.2 Περιγραφή του αλγόριθμου προσομοίωσης

Προσομοίωση είναι η μίμηση της λειτουργίας συστημάτων ή της εξέλιξης διαδικασιών στο χρόνο με την βοήθεια υπολογιστή. Τα συστήματα παραγωγής είναι δυναμικά συστήματα, διακριτών γεγονότων, στα οποία εισέρχονται πρώτες ύλες και αφού υποστούν κάποια επεξεργασία από τις μηχανές του συστήματος, εξέρχονται ως έτοιμα προϊόντα. Ένα δυναμικό σύστημα είναι μία συλλογή οντοτήτων που εξελίσσονται στο χρόνο σύμφωνα με ορισμένους κανόνες. Οι μεταβλητές που περιγράφουν το σύστημα αποτελούν την κατάσταση του συστήματος και ονομάζονται μεταβλητές κατάστασης. Ως εξέλιξη ενός συστήματος μπορούμε να θεωρήσουμε μία ακολουθία καταστάσεων, τις οποίες επισκέπτεται στο σύστημα κατά τη διάρκεια μιας περιόδου παρατήρησης. Το μοντέλο ενός δυναμικού συστήματος είναι η συμβολική περιγραφή των κανόνων που διέπουν τη λειτουργία του και συνδέουν την τρέχουσα κατάσταση με τις προηγούμενες καταστάσεις του συστήματος. Ένα σύστημα διακριτών γεγονότων είναι ένα σύστημα που μετακινείται με τυχαίο τρόπο μεταξύ διαφόρων καταστάσεων σε διακριτές χρονικές στιγμές, ενώ η κατάσταση του συστήματος παραμένει σταθερή μεταξύ των διαφορετικών χρονικών στιγμών. Οι αλλαγές καταστάσεων προκαλούνται από ένα σύνολο διακριτών γεγονότων που "συναγωνίζονται" για το ποιο θα συμβεί ενωρίτερα. Στη γενική του μορφή ένας αλγόριθμος προσομοίωσης συστημάτων διακριτών περιέχει τις παρακάτω μεταβλητές.

Ρολοί προσομοίωσης: Μία μεταβλητή που δίνει τον τρέχοντα χρόνο t .

Κατάσταση του συστήματος: Συλλογή μεταβλητών για την περιγραφή του συστήματος.

Εξισώσεις κατάστασης: Δίνουν την μεταβολή των μεταβλητών καταστάσεως με την πάροδο του χρόνου.

Χρόνος προηγούμενου γεγονότος: Η αμέσως προηγούμενη στιγμή κατά την οποία σημειώθηκε βηματική μεταβολή στο διάνυσμα κατάστασης. Αυτή η μεταβλητή είναι απαραίτητη για την "ενημέρωση" των μεταβλητών κατάστασης.

Λίστα επόμενων γεγονότων: Αν το σύστημα αποτελείται από πολλές συνιστώσες (π.χ πολλές μηχανές) τότε σε κάθε μία από αυτές μπορεί να συμβεί μια βηματική μεταβολή στο μέλλον. Κάθε στοιχείο της λίστας αναφέρεται σε μια συνιστώσα του συστήματος. Είναι ένα ζευγάρι που αποτελείται από το είδος και τον χρόνο του επόμενου γεγονότος που πρόκειται να συμβεί στην συγκεκριμένη συνιστώσα.

Σε μια γραμμή παραγωγής η κατάσταση του συστήματος περιγράφεται από τις ακόλουθες μεταβλητές κατάστασης και απόδοσης του συστήματος:

- Τη στάθμη της αποθήκης i , $H_i(t)$.
- Το πλήθος των εκκρεμών παραγγελιών πελατών j , $B_j(t)$.
- Το ύψος του αποθέματος έτοιμων προϊόντων.
- Το πλήθος των πελατών της κατηγορίας j , που έχουν εξυπηρετηθεί $TH_j(t)$.
- Το πλήθος των πελατών της κατηγορίας j , που έχουν αποχωρήσει πριν εξυπηρετηθούν $W_j(t)$.
- Το πλήθος των πελατών της κατηγορίας j , που έχουν απορριφθεί $Q_j(t)$

Τα γεγονότα που μπορεί να συμβούν είναι:

- Παραγωγή στην μηχανή i .
- Άφιξη νέας παραγγελίας.
- Αναχώρηση ανυπόμονου πελάτη της κατηγορίας j .

Κάθε φορά που εκτελείται ένα γεγονός ενημερώνονται οι μεταβλητές κατάστασης και απόδοσης της συνιστώσας του συστήματος, που επηρεάζονται από την εκτέλεση του γεγονότος, σύμφωνα με τις εξισώσεις κατάστασης του συστήματος. Οι εξισώσεις καταστάσεων των εξεταζόμενων γραμμών παραγωγής διαμορφώνονται ως εξής:

Παραγωγή στην μηχανή i :

$$H_{i-1}(t_k) = H_{i-1}(t_{k-1}) - 1$$

$$H_i(t_k)$$

$$= \begin{cases} H_i(t_{k-1}) + 1, & \text{αν } i < n \text{ ή } i = n \text{ και } B_1(t_{k-1}) = 0 \text{ ή } B_2(t_{k-1}) > 0 \text{ και } H_i(t_{k-1}) < r, (j = 1,2) \\ 0, & \text{αν } i = n \text{ και } B_j(t_{k-1}) > 0, (j = 1,2) \end{cases}$$

$$B_1(t_k) = \max \{0, B_1(t_{k-1}) - 1\} \text{ αν } i=n$$

$$B_2(t_k) = \max \{0, B_2(t_{k-1}) - 1\} \text{ αν } i=n \text{ και } B_1(t_{k-1})=0 \text{ και } H_n(t_{k-1})=r$$

$$TH_1(t_k) = TH_1(t_{k-1}) + 1, \text{ αν } B_1(t_{k-1}) > 0$$

$$TH_2(t_k) = TH_2(t_{k-1}) + 1, \text{ αν } i = n \text{ και } B_1(t_k - 1) = 0 \text{ και } B_2(t_k - 1) > 0 \text{ και } H_n(t_{k-1}) = r$$

Αφιξη νέας παραγγελίας πελάτη τύπου j (j=1,2):

$$H_n(t_k) = H_n(t_{k-1}) - 1, \text{ αν } j=1 \text{ και } H_n(t_k) > 0 \text{ ή } j=2 \text{ και } H_n(t_k) > r$$

$$B_1(t_k) = \begin{cases} B_1(t_{k-1}) + 1, & \text{αν } 0 \leq B_1(t_{k-1}) < c_1 \\ B_1(t_{k-1}), & \text{αν } B_1(t_{k-1}) = c_1 \end{cases}$$

$$B_2(t_k) = \begin{cases} B_2(t_{k-1}) + 1, & \text{αν } 0 \leq B_2(t_{k-1}) + B_1(t_{k-1}) - H_n(t_{k-1}) < c_2 \\ B_2(t_{k-1}), & \text{αν } B_2(t_{k-1}) + B_1(t_{k-1}) - H_n(t_{k-1}) = c_2 \end{cases}$$

$$Q_1(t_k) = Q_1(t_{k-1}) + 1, \text{ αν } B_1(t_k) = c_1$$

$$Q_2(t_k) = Q_2(t_{k-1}) + 1, \text{ αν } B_2(t_{k-1}) + B_1(t_{k-1}) - H_n(t_{k-1}) = c_2$$

$$TH_1(t_k) = TH_1(t_{k-1}) + 1, \text{ αν } H_n(t_{k-1}) > 0$$

$$TH_2(t_k) = TH_2(t_{k-1}) + 1, \text{ αν } H_n(t_{k-1}) > r$$

Αναχώρηση ανυπόμονου πελάτη της κατηγορίας j (j=1,2):

$$W_j(t_k) = W_j(t_{k-1}) + 1$$

$$B_j(t_k) = B_j(t_{k-1}) - 1$$

όπου t_k είναι η χρονική στιγμή εκτέλεσης του γεγονότος k , t_{k-1} είναι η χρονική στιγμή που εκτελείται το προηγούμενο γεγονός.

Εκτός από τις μεταβλητές κατάστασης θα πρέπει να δίνεται προσοχή στην παρακολούθηση και στην εκτίμηση κάποιων μεταβλητών απόδοσης του συστήματος που εξετάζεται. Στην περίπτωση που εξετάζουμε θέλουμε να έχουμε μια εκτίμηση του αναμενόμενου κέρδους του συστήματος. Όπως έχει παρουσιαστεί και παραπάνω το αναμενόμενο κέρδος J είναι μια γραμμική συνάρτηση των μέσων αποθεμάτων σε κάθε αποθήκη H_i , του μέσου πλήθους εκκρεμών παραγγελιών για κάθε πελάτη κατηγορίας j B_j , του μέσου πλήθους απορριφθέντων παραγγελιών κάθε πελάτη j Q_j , του μέσου πλήθους παραγγελιών πελατών j που αναχωρούν στη μονάδα του χρόνου W_j και του αναμενόμενου ρυθμού παραγωγής του συστήματος TH . Οι παραπάνω μεταβλητές είναι κατά τμήματα συνεχείς συναρτήσεις της κατάστασης του συστήματος και ως αποτέλεσμα οι εκτιμήσεις των μέσων τιμών τους υπολογίζονται όπως φαίνεται στην συνέχεια.

$$\begin{aligned}\overline{H_i} &= \frac{1}{T_{\text{sim}}} \int_0^{T_{\text{sim}}} H_i(t) dt = \frac{1}{T_{\text{sim}}} \sum_{k=1}^K (t_k - t_{k-1}) H_i(t_{k-1}) \\ \overline{B_j} &= \frac{1}{T_{\text{sim}}} \int_0^{T_{\text{sim}}} B_j(t) dt = \frac{1}{T_{\text{sim}}} \sum_{k=1}^K (t_k - t_{k-1}) B_j(t_{k-1}) \\ \overline{Q_j} &= \frac{Q_j(T_{\text{sim}})}{T_{\text{sim}}} \\ \overline{W_j} &= \frac{W_j(T_{\text{sim}})}{T_{\text{sim}}} \\ TH_j &= \frac{P_j(T_{\text{sim}})}{T_{\text{sim}}}\end{aligned}$$

Όπου $H_i(t)$ είναι η στάθμη το αποθέματος της αποθήκης i , $B_j(t)$ το πλήθος των εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου j , $Q_j(T_{\text{sim}})$ το συνολικό πλήθος πελατών τύπου j που απορρίφθηκαν, $W_j(T_{\text{sim}})$ το συνολικό πλήθος πελατών τύπου j που αναχώρησαν από το σύστημα και $P_j(T_{\text{sim}})$ το συνολικό πλήθος προϊόντων που πουλήθηκαν στους πελάτες κατηγορίας j .

Αφού όλοι οι χρόνοι είναι εκθετικοί μπορεί να θεωρηθεί ότι η διαδικασία "γέννησης" γεγονότων είναι μια διαδικασία Poisson με μέσο ρυθμό R , όπου R αντιστοιχεί ο αντίστοιχος ρυθμός σε κάθε γεγονός. Αυτό σημαίνει ότι οι χρόνοι μεταξύ δύο διαδοχικών γεγονότων είναι εκθετικοί με ρυθμό R . Συνεπώς αν το γεγονός $k - 1$ πραγματοποιήθηκε τη χρονική στιγμή t_{k-1} το γεγονός k πραγματοποιείται τη χρονική στιγμή $t_k = t_{k-1} - \ln(u) / R$. Ο όρος $-\ln(u) / R$ εκφράζει ένα ψευδοτυχαίο αριθμό που ακολουθεί την εκθετική κατανομή με ρυθμό R , ενώ το u είναι ένας ψευδοτυχαίος αριθμός που ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή $U(0,1)$ και προκύπτει με τη χρήση μιας γεννήτριας τυχαίων αριθμών.

Η ανάλυση δυναμικών συστημάτων, τα οποία δεν μπορούν να περιγραφούν ή να μελετηθούν αναλυτικά, γίνεται με την χρήση αλγορίθμου προσομοίωσης, όπως αυτόν που έχει περιγραφεί παραπάνω. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων του συστήματος για τις οποίες βελτιστοποιείται το αναμενόμενο κέρδος. Οι παράμετροι του συστήματος είναι το κατώφλι βασικού αποθέματος s , το κατώφλι βασικού ελλείμματος r και τα κατώφλια εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου 1 και 2, c_1 και c_2 , αντίστοιχα. Για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης εύρεσης τοπικού μεγίστου.

Η προσομοίωση είναι ένα στατιστικό εργαλείο ανάλυσης δυναμικών συστημάτων. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων είναι συνάρτηση της διάρκειας και του πλήθους των προσομοιώσεων. Επειδή η χρήση της προσομοίωσης είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία προσπαθούμε να υπολογίσουμε την ελάχιστη διάρκεια της προσομοίωσης T_{sim} για την οποία επιτυγχάνουμε ικανοποιητική ακρίβεια στις εκτιμήσεις των μέτρων

απόδοσης που μας ενδιαφέρουν. Για την ακρίβεια ξεκινώντας από μία αρχική τιμή της διάρκειας των προσομοιώσεων $T_{sim,0}$ και χρησιμοποιώντας τη στατιστική θεωρία των διαστημάτων εμπιστοσύνης εκτιμούμε το ελάχιστο πλήθος n των προσομοιώσεων, που απαιτούνται ώστε το μέγιστο σχετικό σφάλμα στην εκτίμηση του αναμενόμενου κέρδους J , να είναι μικρότερο από μία επιθυμητή τιμή ed με πιθανότητα $1 - \alpha$. Στην περίπτωση μας, η επιθυμητή τιμή του σχετικού σφάλματος ed είναι 0.01 με πιθανότητα $1 - \alpha = 0.95$.

Από την θεωρία των διαστημάτων εμπιστοσύνης γνωρίζουμε, ότι για πιθανότητα $1 - \alpha$, η μέγιστη απόκλιση της εκτίμησης του κέρδους J από την πραγματική της τιμή δίδεται από τον τύπο:

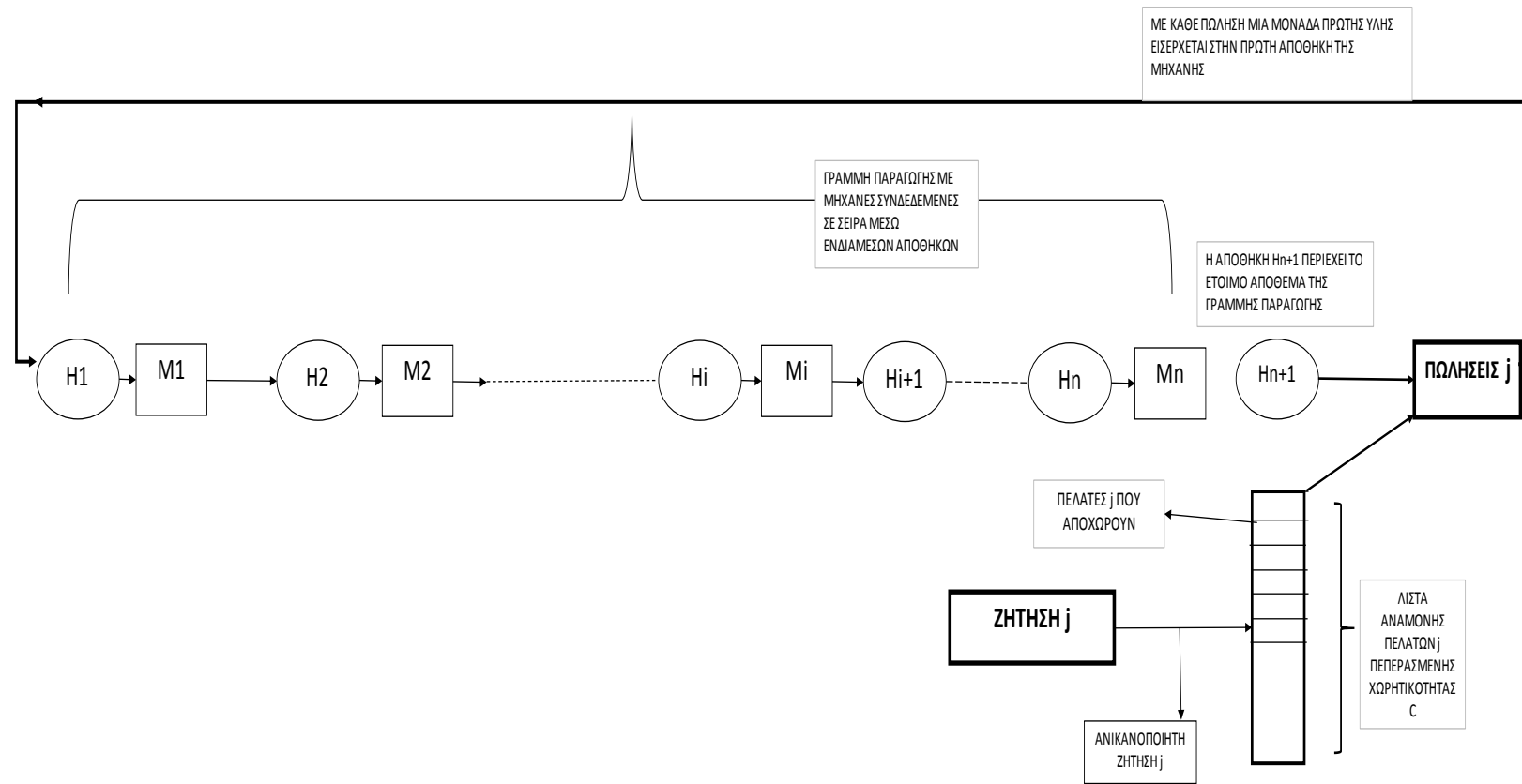
$$e = z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{S_{(n)}^2(J)}{n}}$$

όπου $z_{\alpha/2}$ είναι το σημείο της κανονικής κατανομής $N(0,1)$, για το οποίο $P(Z_n \geq z) = \alpha/2$, $S_{(n)}^2(J)$ είναι η δειγματική διασπορά της J μετά από n προσομοιώσεις και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$S_{(n)}^2(J) = \frac{\sum_{k=1}^n (J_j^{(k)} - \overline{J_j^{(n)}})^2}{n - 1}$$

όπου $J_j^{(k)}$ είναι η εκτίμηση της J_i από την k προσομοίωση και $\overline{J_j^{(n)}}$ ο δειγματικός μέσος όρος της J_i μετά από n προσομοιώσεις. Αποδεικνύεται ότι εάν ικανοποιείται η ανισότητα $e < \frac{ed \left| \overline{J_j^{(n)}} \right|}{1 + ed}$ τότε το σχετικό σφάλμα είναι μικρότερο της επιθυμητής τιμής ed . Το μικρότερο n , για το οποίο ικανοποιείται η παραπάνω σχέση για όλες τα κέρδη J_i , χρησιμοποιείται για την τελική επιλογή της διάρκειας των προσομοιώσεων, η οποία είναι ίση με $T_{sim} = nT_{sim,0}$.

Το Σχήμα 1 δείχνει την αναπαράσταση της γραμμής παραγωγής.



Σχήμα 1: Ενδεικτική γραμμή παραγωγής τύπου CONWIP στην οποία εφαρμόζεται πολιτική μερικής αποδοχής της μη ικανοποιημένης ζήτησης για δύο κατηγορίες ανυπόμονων πελατών

2.3 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης

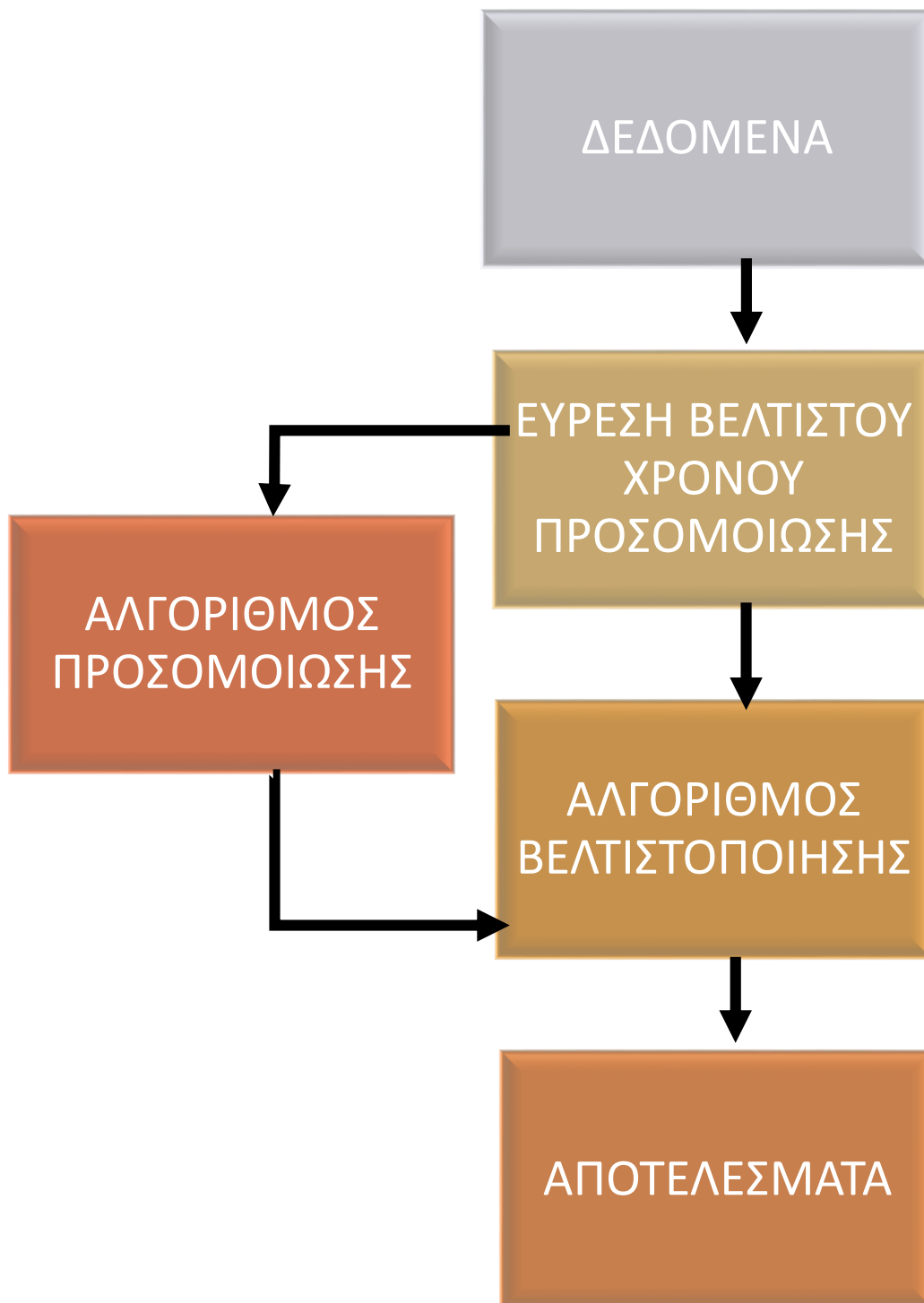
Όπως έχει ήδη αναφερθεί και παραπάνω, στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση των τιμών των μεταβλητών ελέγχου, δηλαδή του κατωφλιού βασικού αποθέματος s , του κατωφλιού απόδοσης προτεραιότητας r και των κατωφλίων εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου 1 και 2 c_1 και c_2 , αντίστοιχα, που μεγιστοποιούν το αναμενόμενο κέρδος του συστήματος. Για την βελτιστοποίηση του αναμενόμενου κέρδους χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της τοπικής αναζήτησης (local search).

Η τοπική αναζήτηση είναι μια πολύ γενική τεχνική, περιγράφει κάθε αλγόριθμο που «εξερευνά» το χώρο των δυνατών λύσεων με σειριακό τρόπο, μετακινούμενος σε ένα βήμα από την τρέχουσα λύση σε μία «γειτονική». Η γενικότητα και η ευελιξία αυτής της μεθόδου έχει το πλεονέκτημα ότι δεν είναι δύσκολος ο σχεδιασμός ενός αλγορίθμου τοπικής αναζήτησης για σχεδόν οποιοδήποτε πρόβλημα που είναι υπολογιστικά δύσκολο. Σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι συχνά είναι πολύ δύσκολο να πούμε κάτι επακριβές σχετικά με την ποιότητα των λύσεων που βρίσκει ένας αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης, επομένως είναι πολύ δύσκολο να πούμε αν ο αλγόριθμος που χρησιμοποιούμε είναι ένας καλός αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης ή ένας μη αποδοτικός αλγόριθμος.

Σε ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης έχουμε ένα μεγάλο σύνολο δυνατών λύσεων C , έχουμε επίσης μια συνάρτηση κέρδους $c(\cdot)$ που μετρά την ποιότητα κάθε λύσης, για μια λύση $S \in C$ συμβολίζουμε το κόστος της με το $c(S)$. Σκοπός είναι να βρεθεί μία λύση $S^* \in C$ για την οποία το $c(S^*)$ να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερο.

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, έχουμε ένα σύνολο τρέχουσας λύσης (s, r, c_1, c_2) με κέρδος J . Αν υπάρχει κάποιος γείτονας (s', r', c_1', c_2') με αυστηρά μεγαλύτερο κέρδος, τότε επιλέγουμε τον γείτονα του οποίου το κέρδος είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερο. Διαφορετικά τερματίζουμε τον αλγόριθμο. Με αυτόν τον τρόπο βρίσκουμε τα τοπικά μέγιστα της συνάρτησης κέρδους. Τέλος θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν και τους περιορισμούς που υπάρχουν για τα παραπάνω κατώφλια. Εφ' όσον τα κατώφλια αναφέρονται σε απόθεμα και πελάτες, δεν μπορούν να πάρουν αρνητικές τιμές, άρα το κάτω όριο τους είναι το μηδέν. Το κατώφλι προτεραιότητας r έχει άνω όριο την τιμή του κατωφλιού s .

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής, το οποίο απεικονίζει σχηματικά την δομή του συνολικού αλγορίθμου και την αλληλεπίδραση του κάθε βασικού δομικού στοιχείου με τα υπόλοιπα.



Σχήμα 2: Διάγραμμα ροής αλγόριθμου

3. Αριθμητικά Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετήθηκε η απόδοση της προτεινόμενης πολιτικής διεξάγοντας μια σειρά αριθμητικών πειραμάτων. Πιο αναλυτικά προσπαθήσαμε να εξετάσουμε τις ιδιότητες της συνάρτησης αναμενόμενου κέρδους λειτουργίας, δηλαδή αν αυτή είναι κοίλη συνάρτηση ή έχει κάποια μορφή κυρτότητας ως προς τις παραμέτρους ελέγχου. Η κυρτότητα εξασφαλίζει ότι ένα τοπικό βέλτιστο είναι και ολικό βέλτιστο. Στη συνέχεια συγκρίθηκε η προτεινόμενη πολιτική ελέγχου με άλλες ευρύτερα χρησιμοποιούμενες πολιτικές και πιο συγκεκριμένα με την πολιτική πλήρους αποδοχής της μη ικανοποιημένης ζήτησης (CB). Για τον πρακτικό υπολογισμό της βέλτιστης πολιτικής αναπτύχθηκε κώδικας προσομοίωσης σε γλώσσα προγραμματισμού C και υλοποιήθηκε σε περιβάλλον προγραμματισμού DEV-C/C++. Μέσω του κώδικα υπολογίζεται το αναμενόμενο κέρδος του συστήματος. Ο χρήστης μπορεί να πειραματιστεί αλλάζοντας τόσο τα κατώφλια ελέγχου του συστήματος όσο και τους ρυθμούς άφιξης παραγγελιών, παραγωγής, ανυπομονεσίας όπως επίσης και τους συντελεστές μοναδιαίου κόστους. Ο πλήρης κώδικας παρουσιάζεται στο παράρτημα Α στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

3.1 Μελέτη των ιδιοτήτων της συνάρτησης κόστους ως προς τις μεταβλητές ελέγχου

Παρακάτω εξετάζεται η επίδραση που έχει στη συνάρτηση κόστους η αλλαγή ενός από τα τέσσερα κατώφλια ελέγχου, κρατώντας τα υπόλοιπα τρία σταθερά. Για να γίνει αυτό ορίζονται οι τιμές των τριών κατωφλίων και η τιμή του κατωφλίου που μεταβάλλεται λαμβάνει τιμές από ένα προκαθορισμένο εύρος.

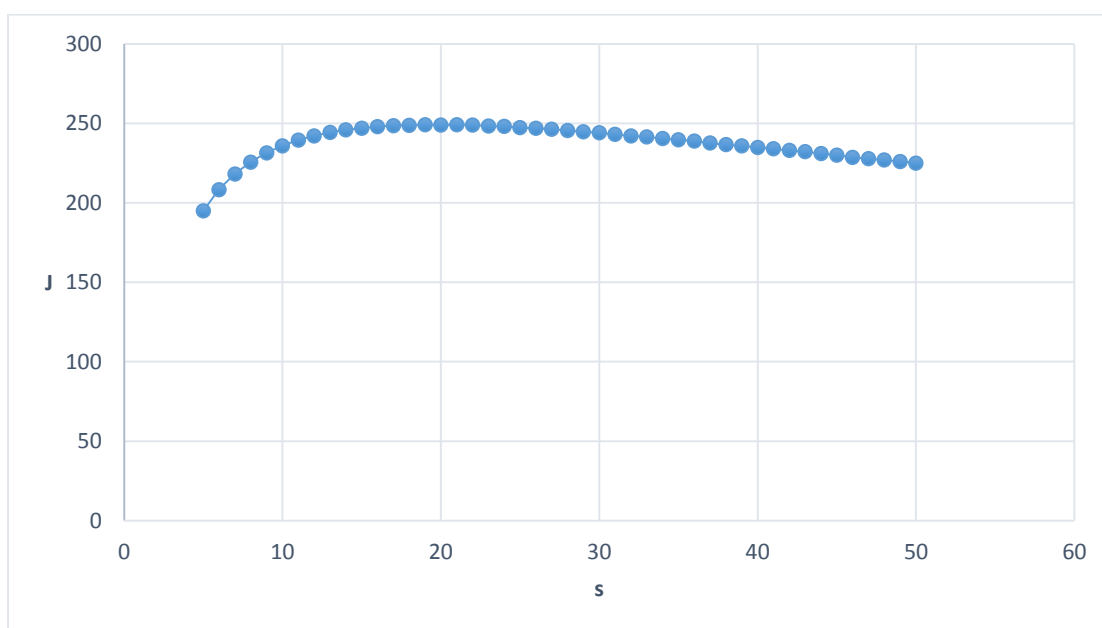
Αρχικά θα εξεταστεί η περίπτωση όπου μεταβάλλεται το απόθεμα CONWIP s και όλα τα υπόλοιπα κατώφλια μένουν σταθερά. Οι τιμές των παραμέτρων για αυτό το παράδειγμα είναι η ακόλουθη: $tsim=60000$, $machines=5$, $\lambda_1=3.5$, $\lambda_2=2.5$, $b_1=2$, $b_2=1$, $q_1=60$, $q_2=48$, $w_1=75$, $w_2=60$, $g_1=0.30$, $g_2=0.25$, $p_1=50$, $p_2=42$, $\mu_i=8$, $h_i=0.5$, $r=0$, $c_1=20$, $c_2=10$. Οι τιμές που παίρνει η συνάρτηση κέρδους για τις διάφορες τιμές του s παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Αναμενόμενο κέρδος – κατώφλι αποθέματος conwir **Error! Bookmark not defined.**

s	J	DJ
5	195,042772	0
6	208,340565	13,297793
7	218,153258	9,812693
8	225,63253	7,479272
9	231,524576	5,892046
10	235,86822	4,343644
11	239,537832	3,669612
12	242,125863	2,588031
13	244,367212	2,241349
14	245,952161	1,584949
15	247,028586	1,076425
16	247,999368	0,970782
17	248,669017	0,669649
18	248,848629	0,179612
19	249,126904	0,278275
20	248,998529	-0,128375
21	249,241368	0,242839
22	248,976694	-0,264674
23	248,4	-0,576694
24	248,08601	-0,31399
25	247,38286	-0,70315
26	246,938426	-0,444434
27	246,357147	-0,581279
28	245,591146	-0,766001
29	244,840182	-0,750964
30	244,064967	-0,775215
31	243,122579	-0,942388
32	242,239074	-0,883505
33	241,569704	-0,66937
34	240,550696	-1,019008
35	239,795589	-0,755107
36	238,957628	-0,837961
37	237,726798	-1,23083
38	236,606625	-1,120173
39	235,839938	-0,766687
40	234,957988	-0,88195
41	233,984348	-0,97364
42	233,00295	-0,981398
43	232,208412	-0,794538
44	231,08589	-1,122522
45	230,102432	-0,983458

46	228,706838	-1,395594
47	227,851529	-0,855309
48	227,001708	-0,849821
49	226,094896	-0,906812
50	225,106152	-0,988744

Η γραφική παράσταση που προκύπτει από τις παραπάνω τιμές φαίνεται στο γράφημα 1. Παρατηρώντας τα αποτελέσματα βλέπουμε ότι η συνάρτηση κέρδους δεν είναι κοίλη αλλά φαίνεται, πως παρόλα αυτά υπάρχει ένα μοναδικό βέλτιστο, είναι δηλαδή μονοκόρυφη. Το μέγιστο σημείο είναι $s=19$ με $J=249,126904$.



Γράφημα 1: Αναμενόμενο κέρδος- κατώφλι αποθέματος conwip

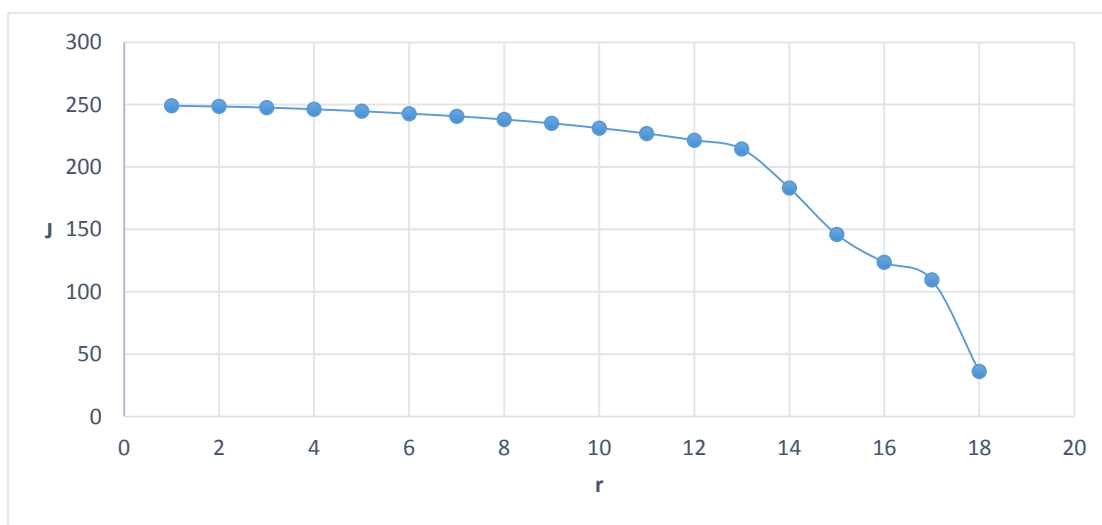
Στην συνέχεια, εξετάζουμε τη μεταβολή του κατωφλίου απόδοσης προτεραιότητας πελατών r κρατώντας σταθερές τις τιμές για τα υπόλοιπα κατώφλια ελέγχου. Οι τιμές των παραμέτρων του συστήματος σε αυτό το παράδειγμα είναι οι ακόλουθες: $t_{sim}=60000$, $machines=5$, $\lambda_1=3.5$, $\lambda_2=2.5$, $b_1=2$, $b_2=1$, $q_1=60$, $q_2=48$, $w_1=75$, $w_2=60$, $g_1=0.30$, $g_2=0.25$, $p_1=50$, $p_2=42$, $\mu_i=8$, $h_i=0.5$, $s=19$, $c_1=20$, $c_2=10$. Οι τιμές που παίρνει η συνάρτηση κέρδους για τις διάφορες τιμές του r παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2: Αναμενόμενο κέρδος- κατώφλι απόδοσης προτεραιότητας πελατών.

r	J	DJ
1	249,120165	0
2	248,531168	-0,588997
3	247,675416	-0,855752
4	246,307063	-1,368353
5	244,714416	-1,592647
6	242,78602	-1,928396
7	240,731658	-2,054362

8	238,120758	-2,6109
9	235,039597	-3,081161
10	231,249128	-3,790469
11	226,874521	-4,374607
12	221,467166	-5,407355
13	214,53874	-6,928426
14	183,264652	-31,274088
15	145,987765	-37,276887
16	123,721914	-22,265851
17	109,571958	-14,149956
18	36,126717	-73,445241

Η γραφική παράσταση που προκύπτει από τις παραπάνω τιμές φαίνεται στο γράφημα 2. Παρατηρώντας το παρακάτω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι η συνάρτηση κέρδους μειώνεται όσο αυξάνεται το r . Οπότε σε αυτή την περίπτωση, για να κρατήσουμε το κέρδος του συστήματος υψηλό πρέπει το κατώφλι απόδοσης προτεραιότητας πελατών να είναι όσο το δυνατό μικρότερο. Γενικά η συνάρτηση κέρδους φαίνεται να είναι σχεδόν κοίλη και ως προς τη μεταβλητή ελέγχου r .



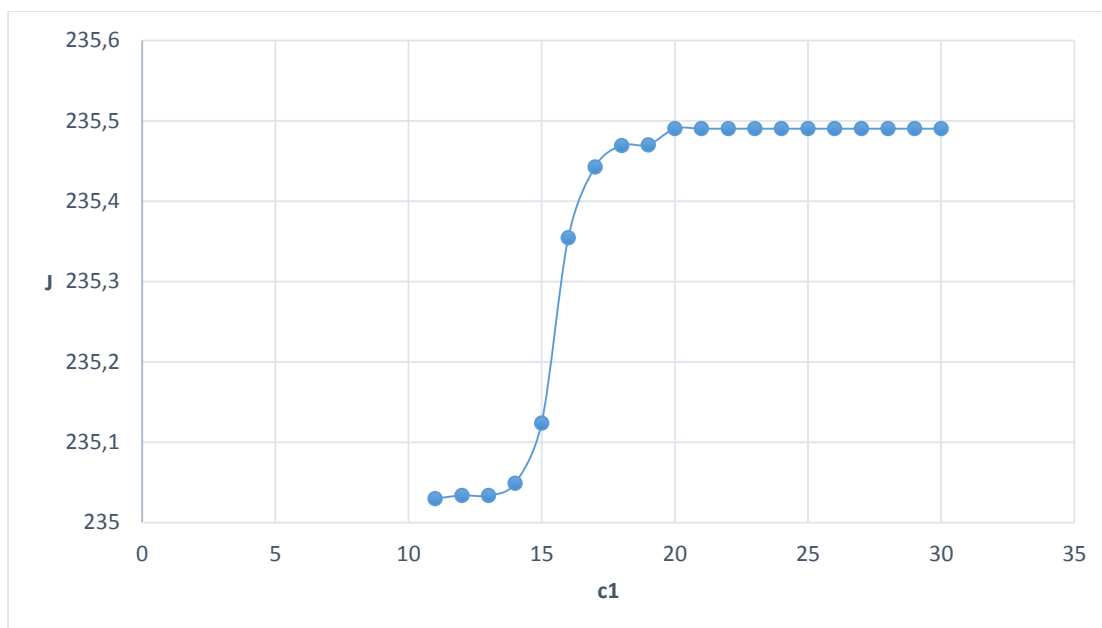
Γράφημα 2: Αναμενόμενο κέρδος- κατώφλι απόδοσης προτεραιότητας πελατών.

Έπειτα εξετάζουμε τη μεταβολή του κατωφλίου εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου 1 κρατώντας τα υπόλοιπα κατώφλια ελέγχου σταθερά. Οι τιμές των παραμέτρων του συστήματος σε αυτό το παράδειγμα είναι οι ακόλουθες: $tsim=60000$, $machines=5$, $\lambda_1=3.5$, $\lambda_2=2.5$, $b_1=2$, $b_2=1$, $q_1=60$, $q_2=48$, $w_1=75$, $w_2=60$, $g_1=0.30$, $g_2=0.25$, $p_1=50$, $p_2=42$, $\mu_i=8$, $h_i=0.5$, $s=19$, $r=9$, $c_2=10$. Οι τιμές που παίρνει η συνάρτηση κέρδους για τις διάφορες τιμές του s παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3: Αναμενόμενο κέρδος – κατώφλι εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου 1

c1	J	DJ
11	235,029597	0
12	235,033597	0,004
13	235,033677	8E-05
14	235,04869	0,015013
15	235,12369	0,075
16	235,3545698	0,2308798
17	235,442365	0,0877952
18	235,469317	0,026952
19	235,4701235	0,0008065
20	235,490256	0,0201325
21	235,490256	0
22	235,490256	0
23	235,490256	0
24	235,490256	0
25	235,490256	0
26	235,490256	0
27	235,490256	0
28	235,490256	0
29	235,490256	0
30	235,490256	0

Η γραφική παράσταση που προκύπτει από τις παραπάνω τιμές φαίνεται στο γράφημα 3. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η συνάρτηση κέρδους αυξάνεται αυξάνοντας το c_1 μέχρι μια συγκεκριμένη τιμή στην οποία και συγκλίνει. Στο παράδειγμα μας η τιμή αυτή είναι $J = 235,490256$. Περαιτέρω αύξηση του κατωφλιού εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου 1 δεν επιφέρει μεταβολή στη συνάρτηση κέρδους.



Γράφημα 3: Αναμενόμενο κέρδος – κατώφλι εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου 1.

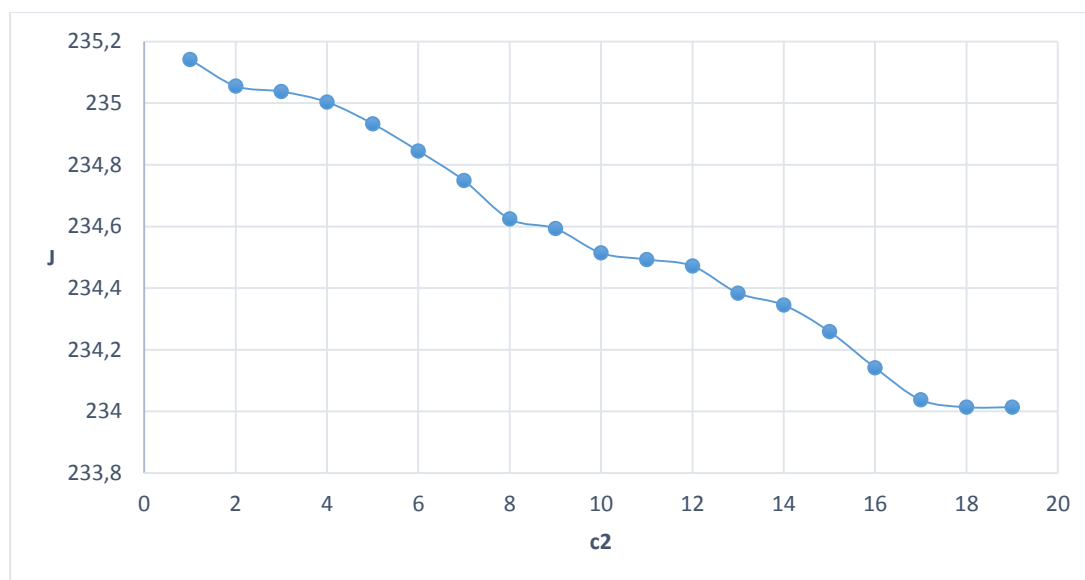
Τέλος, εξετάζουμε την περίπτωση όπου μεταβάλλεται το κατώφλι εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου 2 c_2 , διατηρώντας τις τιμές στα υπόλοιπα κατώφλια ελέγχου σταθερές. Οι τιμές των παραμέτρων του συστήματος σε αυτό το παράδειγμα είναι οι ακόλουθες: $t_{sim}=60000$, $machines=5$, $\lambda_1=3.5$, $\lambda_2=2.5$, $b_1=2$, $b_2=1$, $q_1=60$, $q_2=48$, $w_1=75$, $w_2=60$, $g_1=0.30$, $g_2=0.25$, $p_1=50$, $p_2=42$, $\mu_i=8$, $h_i=0.5$, $s=19$, $r=9$, $c_1=20$. Οι τιμές που παίρνει η συνάρτηση κέρδους για τις διάφορες τιμές του c_2 παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4: Αναμενόμενο κέρδος- κατώφλι εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου 2

c2	J	DJ
1	235,141475	0
2	235,055482	-0,085993
3	235,03755	-0,017932
4	235,003402	-0,034148
5	234,932912	-0,07049
6	234,844824	-0,088088
7	234,748721	-0,096103
8	234,623974	-0,124747
9	234,592912	-0,031062
10	234,513873	-0,079039
11	234,492887	-0,020986
12	234,471633	-0,021254
13	234,383784	-0,087849
14	234,344824	-0,03896
15	234,258917	-0,085907
16	234,141475	-0,117442
17	234,03755	-0,103925

18	234,013821	-0,023729
19	234,013819	-2E-06

Η γραφική παράσταση που προκύπτει από τις παραπάνω τιμές φαίνεται στο γράφημα 4. Από το γράφημα συμπεραίνουμε ότι το κατώφλι εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου 2 πρέπει να παραμένει χαμηλό γιατί με την αύξηση του μειώνεται και η συνάρτηση κέρδους.



Γράφημα 4: Αναμενόμενο κέρδος- κατώφλι εκκρεμών παραγγελιών πελατών τύπου 2

Από τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η συνάρτηση κέρδους δεν φαίνεται είναι κοίλη πιθανόν όμως να είναι «μονοκόρυφη» ως προς κάθε μία από τις μεταβλητές ελέγχου. Η μεταβολή κάθε μίας από τις μεταβλητές ελέγχου, οδηγεί στην βελτίωση κάποιων από τα μέτρα απόδοσης που επηρεάζουν το κόστος λειτουργίας του συστήματος, αλλά και στην χειροτέρευση κάποιων άλλων.

3.2 Σύγκριση πολιτικής CONWIP

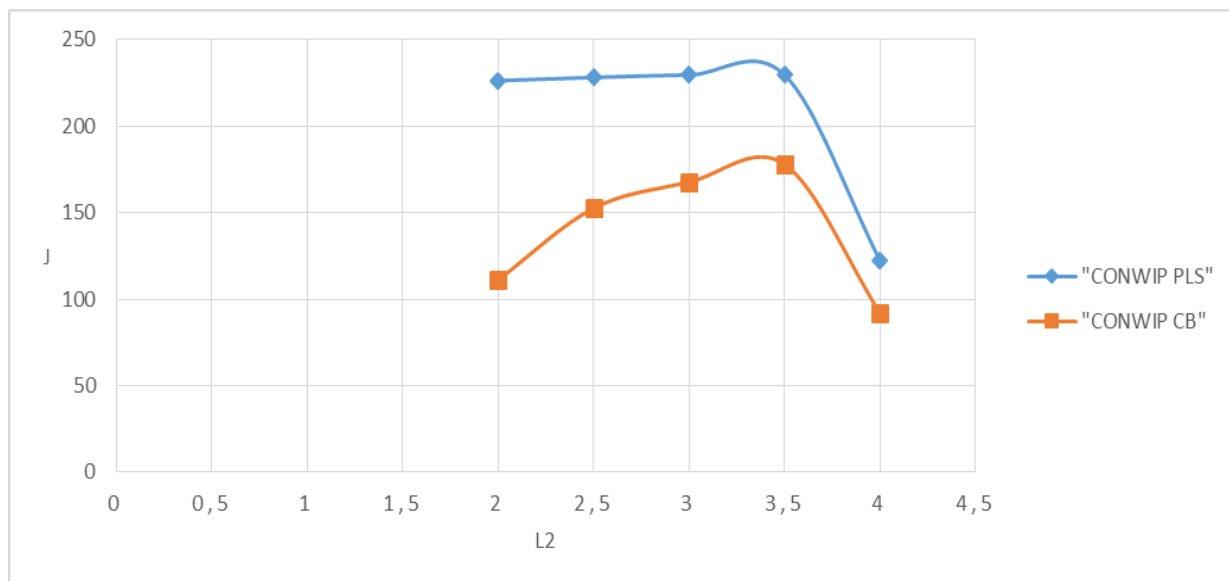
Παρακάτω συγκρίνουμε την πολιτική CONWIP εφαρμόζοντας πολιτική PLS με την ευρέως διαδεδομένη πολιτική της πλήρους αποδοχής της μη ικανοποιημένης ζήτησης (CB, Complete Backordering).

Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των αριθμητικών πειραμάτων, τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στους παρακάτω πίνακες είναι: $tsim=60000$, $machines=5$, $\lambda_1=3.5$, $\lambda_2=2.5$, $b_1=2$, $b_2=1$, $q_1=60$, $q_2=48$, $w_1=75$, $w_2=60$, $g_1=0.30$, $g_2=0.25$, $p_1=50$, $p_2=42$, $\mu_i=8$, $h_i=0.5$, $s=20$, $r=10$, $c_1=20$, $c_2=10$.

Επίσης σε κάθε πίνακα παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες διαφορές, οι οποίες δείχνουν τη μεταβολή της συνάρτησης κέρδους μεταξύ των πολιτικών. Το ποσοστό ΔJ ορίζεται ως $\Delta J = \frac{(CONWIP_PLS - CONWIP_CB)}{CONWIP_PLS} 100\%$. Δηλαδή, τα ΔJ μας δείχνουν την αύξηση του κέρδους που επιτυγχάνεται με την χρήση της προτεινόμενης πολιτικής σε σύγκριση με κάθε μια από τις άλλες εξεταζόμενες πολιτικές. Τα αριθμητικά αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την εκτίμηση, ότι η πολιτική CONWIP-PLS μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του συστήματος. Σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάσαμε η προτεινόμενη πολιτική επιτυγχάνει μεγαλύτερο αναμενόμενο κέρδος από την υπό εξέταση πολιτική. Σε κάποιες περιπτώσεις η βελτίωση ξεπερνάει και το 50%.

Πίνακας 5: Βέλτισες λύσεις πολιτικών συναρτήσεων του λ_2 .

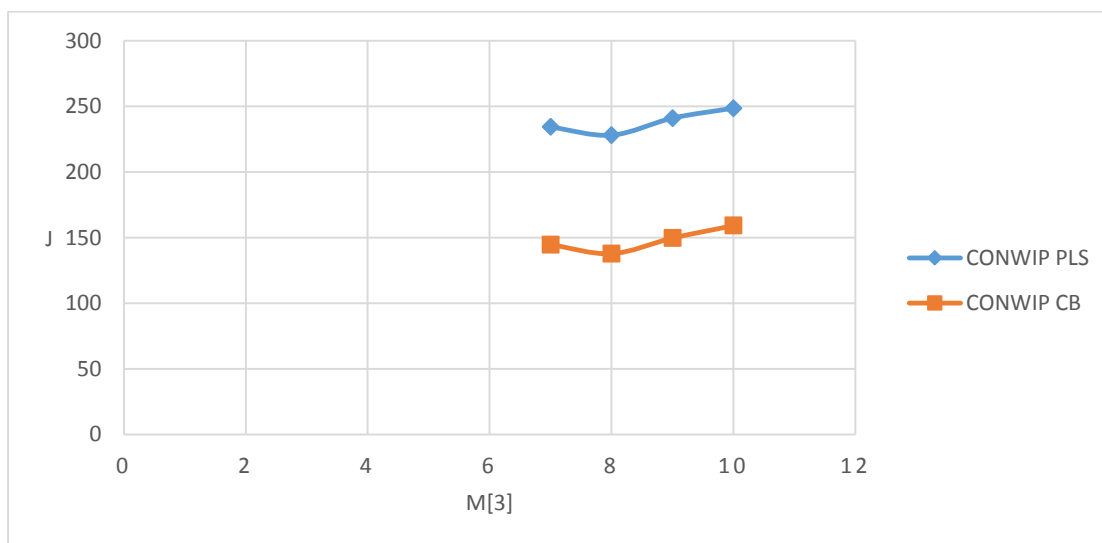
λ_2		CONWIP PLS	CONWIP CB	ΔJ
2.00	J	226.334892	111.2458	50.84%
	s	18	10	
	r	8	5	
	c1	19	-	
	c2	9	-	
2.50	J	228.21030	152.6516	33.11%
	s	16	12	
	r	6	7	
	c1	17	-	
	c2	6	-	
3.00	J	229.626972	167.7157	26.96%
	s	14	15	
	r	4	8	
	c1	15	-	
	c2	3	-	
3.50	J	229.5448872	177.9752	22.46%
	s	12	10	
	r	2	5	
	c1	13	-	
	c2	0	-	
4.0	J	122.1164	91.81548	24.81%
	s	10	10	
	r	0	5	
	c1	11	-	
	c2	0	-	



Γράφημα 5: Αναμενόμενο κέρδος – ρυθμός άφιξης πελατών τύπου 2.

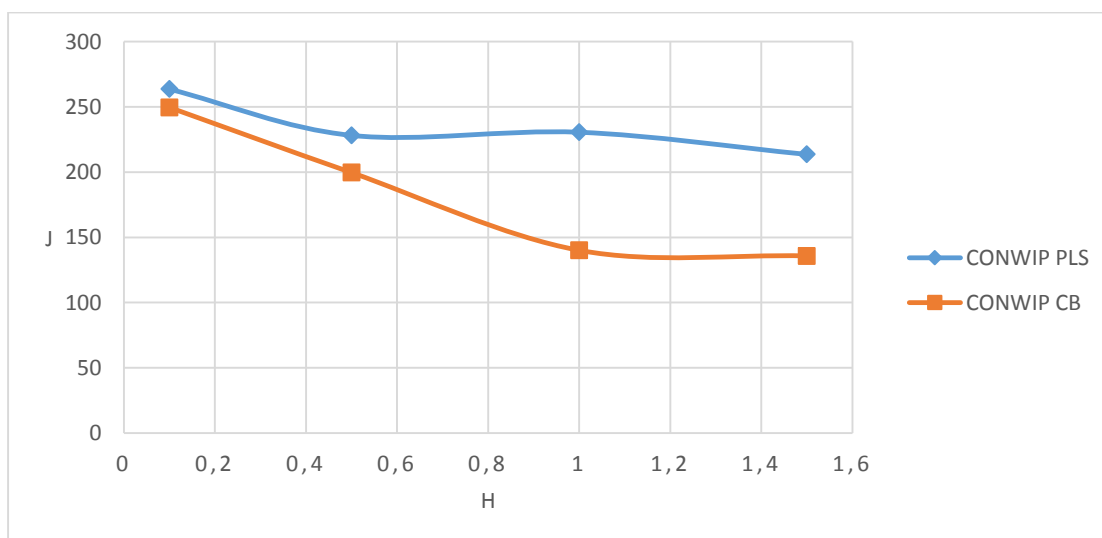
Πίνακας 6: Βέλτισες λύσεις πολιτικών συναρτήσεων του μ_3

μ_3		CONWIP PLS	CONWIP CB	ΔJ
7.00	J s r c1 c2	234.405674 15 5 16 6	144.6987 10 5 - -	38.27%
8.00	J s r c1 c2	228.21030 16 6 17 6	137.6986 7 3 - -	39.66%
9.00	J s r c1 c2	241.12008 14 4 16 6	149.6987 11 6 - -	37.91%
10.00	J s r c1 c2	248.714319 20 4 17 7	159.2864 10 5 - -	35.96%

Γράφημα 6: Αναμενόμενο κέρδος – ρυθμός παραγωγής 3^{ης} μηχανής.

Πίνακας 7: Βέλτιστες λύσεις πολιτικών συναρτήσεων του h_i .

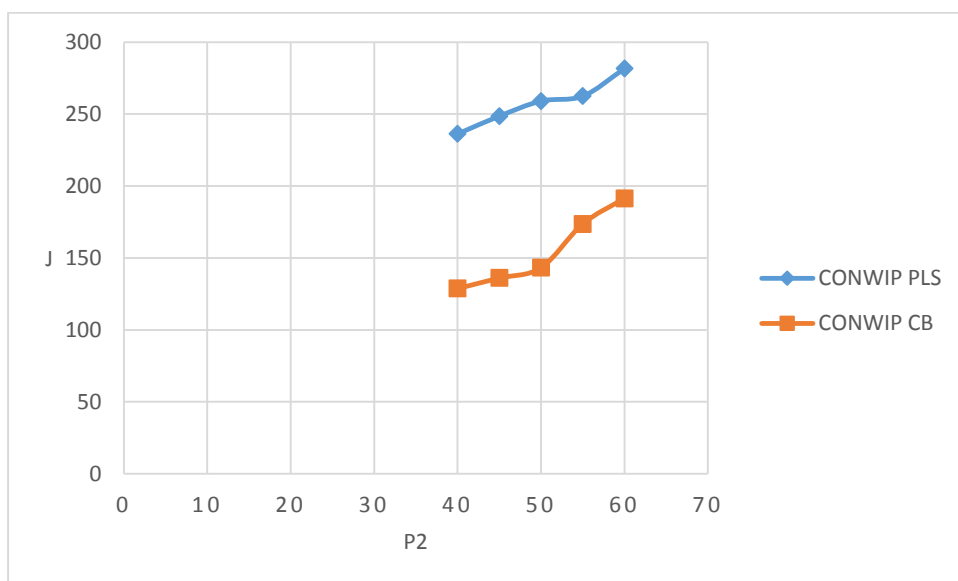
h_i		CONWIP PLS	CONWIP CB	ΔJ
0.10	J	263.715918	249.6548	5.33%
	s	19	21	
	r	3	11	
	c1	16	-	
	c2	6	-	
0.50	J	228.21030	199.6343	12.52%
	s	16	20	
	r	6	10	
	c1	17	-	
	c2	6	-	
1.00	J	230.627472	139.9569	39.31%
	s	18	17	
	r	2	6	
	c1	15	-	
	c2	5	-	
1.50	J	213.6274472	135.6596	36.50%
	s	19	18	
	r	2	8	
	c1	15	-	
	c2	5	-	



Γράφημα 7: Αναμενόμενο κέρδος – μοναδιαίο κόστος αποθήκευσης.

Πίνακας 8: Βέλτισες λύσεις πολιτικών συναρτήσεων του p_2 .

p_2		CONWIP PLS	CONWIP CB	ΔJ
40.0	J s r c1 c2	236.173522 19 9 19 9	128.7442 17 9 - -	45.48%
45.0	J s r c1 c2	248.576719 18 8 18 8	136.0584 16 10 - -	45.26%
50.0	J s r c1 c2	259.037269 16 8 18 8	143.2012 14 7 - -	44.77%
55.0	J s r c1 c2	262.441463 15 7 17 7	173.6108 13 7 - -	33.84%
60.0	J s r c1 c2	281.57931 19 8 17 7	191.4357 12 6 - -	32.01%



Γράφημα 8: Αναμενόμενο κέρδος – μοναδιαίο κέρδος πώλησης προϊόντος σε πελάτες κατηγορίας 2.

4. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία εξετάσαμε τα οφέλη από την χρήση της πολιτικής CONWIP σε γραμμές παραγωγής με δύο κατηγορίες ανυπόμονων πελατών. Η πολιτική CONWIP διατηρεί σταθερό απόθεμα στην γραμμή παραγωγής. Επίσης, χρησιμοποιήσαμε την πολιτική μερικής αποδοχής της μη ικανοποιημένης ζήτησης σε περιόδους ανικανοποίητης ζήτησης και χρησιμοποιήσαμε κατώφλι για την απόδοση προτεραιότητας πελατών της κατηγορίας ένα.

Για τον υπολογισμό του αναμενόμενου κέρδους εφαρμόσαμε προσομοίωση διακριτών γεγονότων. Με την εκτίμηση της συνάρτησης κέρδους μπορέσαμε να υπολογίσουμε τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων ελέγχου με την χρήση αλγόριθμου τοπικής αναζήτησης.

Τέλος πραγματοποιήσαμε μια σειρά αριθμητικών πειραμάτων για να εξετάσουμε τις ιδιότητες της συνάρτησης κέρδους ως προς τις μεταβλητές ελέγχου, αλλά και για να συγκρίνουμε την απόδοση της προτεινόμενης πολιτικής σε σχέση με την συχνά χρησιμοποιούμενη πολιτική πλήρους αποδοχής της μη ικανοποιημένης ζήτησης. Τα αριθμητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η συνάρτηση κέρδους μπορεί να είναι μονοκόρυφη άρα πιθανόν να υπάρχει μοναδικό τοπικό και ολικό βέλτιστο. Τέλος, η προτεινόμενη πολιτική CONWIP-PLC υπερτερεί της πολιτικής CONWIP-CB με την οποία συγκρίθηκε καθώς επιτυγχάνει σημαντική αύξηση του κέρδους λειτουργίας σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάσαμε.

Βιβλιογραφία

- Caldentey, R. (2001). *Analyzing the make-to-stock queue in the supply chain and e-business settings. Ph.D dissertation*. Massachusetts: Sloan School of Management, MIT.
- Ha, A. Y. (1997). Stock-Rationing Policy for a Make-to-Stock Production System with Two Priority Classes and Backordering. *Naval Research Logistics* vol.44, σσ. 457-472.
- Hadley, G. and Whithin, T.M. (1963). *Analysis of Inventory Systems*. NJ: Prentice Hall.
- Kouikoglou, V.S and Phillis, Y.A. (2002). Design of product specifications and control policies in a single-stage production system. *IIE Transaction* 34, 590-600.
- S.Ioannidis, V.S Kouikoglou and Y.A Phillis. (2004). Analysis of admission and control policies for make-to-stock production networks. *9th World Automation Congress 2004*. Seville, Spain.
- Smith, S. (1977). Optimal Inventories for an (S-1,S) system with no backorders. *Management Science* 239, 522-528.
- Spearman, M. L. (1990). Conwip: a pull alternative to Kanban. *International Journal of Production Research* 28, 879-894.
- Spearman, M. L., and Zazanis. (1992). Push and pull production systems: issues and comparisons. *Operations Research* 40, 521-532.
- Zipkin, P. (2000). *Foundations of Inventory Management*. NY: McGraw-Hill.
- Οικονομόπουλος, Α. Α. (2010). *Ανάλυση και σύγκριση πολιτικών ελέγχου σε συστήματα παραγωγής με πελάτες που αποθαρρύνονται*. Διδακτορική διατριβή, τμήμα Μ.Π.Δ., Πολυτεχνείο Κρήτης.

Παράρτημα Α

```
#include<stdio.h>

#include<math.h>

#include<conio.h>

#include<stdlib.h>

#define MAX 9

#define MODLUS 2147483647

#define MULT1 24112

#define MULT2 26143

#define SIZE 100

#define SEED 123

#define SEED1 1234

#define pi 3.14159

double zinext(long zi,long *pzi);

void simulator(double tsim,int num_sim,double b1,double b2,double q1,double q2, double
w1, double w2,double l1,double l2,double g1,double g2,double p1,double p2,double
G1,double G2,double h,int D[],double m[],int mach);

double U;

long zi;

double JC;

int main (void)

{

    int k,j,i,l,y,x,num_sim1,c11,c21,r1,s1,mach1,Dmax[SIZE],proc,direct,step;

    double
MDJ,VAR,MJ,MDJPR,VARPR,JC1,m1[SIZE],h1,JC1max,MJPR,sum,athroisma,meso,kerdos[SIZE
];

    double
za2,e,error,deserror,GAM,tsim1,l11,l21,g11,g21,p11,p21,b11,b21,q11,q21,w11,w21,jmax[SI
ZE],JNEW,CONST,JPR,check,tcheck,check1,eps,G11,G21,tixaio1;

    int D1[SIZE];
```

```
    za2=1.96;

    FILE *fp,*fd;

    fp=fopen("dedomena_1.txt","r");
    if(fp==(FILE*)NULL)
    {
        printf("error opening fille 1\n");
        exit(1);
    }
    else
    {
        fscanf(fp,"%d",&mach1);
        fscanf(fp,"%lf",&tsim1);

        fscanf(fp,"%lf",&b11);
        fscanf(fp,"%lf",&b21);
        fscanf(fp,"%lf",&q11);
        fscanf(fp,"%lf",&q21);

        fclose (fp);
    }

    fp=fopen("dedomena_2.txt","r");
    if(fp==(FILE *)NULL)
    {
        printf("error opening file 2\n");
        exit(2);
    }
    else
    {
        fscanf(fp,"%lf",&w11);
```

```
fscanf(fp,"%lf",&w21);

fscanf(fp,"%lf",&l11);

fscanf(fp,"%lf",&l21);

fclose (fp);
}

fp=fopen("dedomena_3.txt","r");

if(fp==(FILE *)NULL)

{

    printf("error opening file 3\n");

    exit(3);

}

else

{

    fscanf(fp,"%lf",&g11);

    fscanf(fp,"%lf",&g21);

    fscanf(fp,"%lf",&p11);

    fscanf(fp,"%lf",&p21);

    fclose(fp);

}

fp=fopen("dedomena_4.txt","r");

if(fp==(FILE *)NULL)

{

    printf("error opening file 4\n");

    exit(4);

}

else

{
```

```
    for(k=0;k<5;k++)
    {
        fscanf(fp,"%lf",&m1[k]);
    }
    fclose(fp);
}
fp=fopen("dedomena_5.txt","r");
if(fp==(FILE *)NULL)
{
    printf("error opening file 5\n");
    exit(5);
}
else
{
    fscanf (fp,"%lf",&h1);
    fclose(fp);
}
fp=fopen("dedomena_6.txt","r");
if(fp==(FILE *)NULL)
{
    printf("error opening file 6\n");
    exit(6);
}
else
{
    for(y=0;y<4;y++)
    {
```

```
fscanf (fp,"%d",&D1[y]);

}

fclose(fp);

}

zi=12345678;

VAR=0;

sum=0;

meso=0;

athroisma=0;

for(j=0;j<4;j++)

{

    tixaios1=SEED1;

    simulator(tsim1,num_sim1,b11,b21,q11,q21,w11,w21,l11,l21,g11,g21,p11,p21,G11,

G21,h1,D1,m1,mach1);

    kerdos[j]=JC1;

    sum=sum+kerdos[j];

}

meso=sum/5;

for(j=0;j<4;j++)

{

    athroisma=athroisma+(kerdos[j]-meso)*(kerdos[j]-meso);

}

VAR=athroisma/(5-1);

error=za2*sqrt(VAR/5);

deserror=e*fabs(meso)/(1+e);

k=5;

if (error<deserror)

{
```

```
    tsim1=k*tsim1;
}
while(error>deserror && k<100)
{
    k=k+1;
    tixaos1=SEED1;
    simulator(tsim1,num_sim1,b11,b21,q11,q21,w11,w21,l11,l21,g11,g21,p11,p21,G11,
G21,h1,D1,m1,mach1);
    sum=sum+JC1;
    meso=sum/k;
    athroisma=athroisma+(JC1-meso);
    VAR=athroisma/k-1;
    error=za2*sqrt(VAR/5);
    deserror=e*fabs(meso)/(1+e);
}
    tsim1=k*tsim1;
printf("tsim1=%lf\n",tsim1);
fd=fopen("apotelesmata.txt","a");
if(fd==(FILE*)NULL)
{
    printf("error writting fille \n");
    exit(1);
}
else
{
    fprintf(fd,"veltisto tsim =%lf\n",tsim1);
}
JC1max=-100000000;
```



```
Dmax[0]=D1[0];
Dmax[1]=D1[1];
Dmax[2]=D1[2];
Dmax[3]=D1[3];
proc=0;
for(j=0;j<4;j++)
{
    D1[j]=D1[j]+1;
    if(D1[1]<D1[0])
    {

simulator(tsim1,num_sim1,b11,b21,q11,q21,w11,w21,l11,l21,g11,g21,p11,p21,G11,G21,h1,
D1,m1,mach1);

        if(JC>JC1max)
        {
            JC1max=JC1;
            Dmax[0]=D1[0];
            Dmax[1]=D1[1];
            Dmax[2]=D1[2];
            Dmax[3]=D1[3];
            proc=1;
            direct=j;
            step=1;
        }
    }

    D1[j]=D1[j]-2;
    if(D1[j]>=0 && D1[0]>=1)
    {
```

```
simulator(tsim1,num_sim1,b11,b21,q11,q21,w11,w21,l11,l21,g11,g21,p11,p21,G11,G21,h1,
D1,m1,mach1);

    if(JC>JC1max)
    {
        JC1max=JC1;

        Dmax[0]=D1[0];

        Dmax[1]=D1[1];

        Dmax[2]=D1[2];

        Dmax[3]=D1[3];

        proc=1;

        direct=j;

        step=-1;

    }

}

while(proc==1)
{
    for(j=0;j<4;j++)
    {
        D1[j]=Dmax[j];

    }

    D1[direct]=D1[direct]+step;

    if(D1[1]<D1[0] && D1[1]>0 && D1[direct]>=0)
    {

        simulator(tsim1,num_sim1,b11,b21,q11,q21,w11,w21,l11,l21,g11,g21,p11,p21,G11,
G21,h1,D1,m1,mach1);

        if(JC1>JC1max)
```

```

        {

            proc=1;

            JC1max=JC;

            Dmax[0]=D1[0];

            Dmax[1]=D1[1];

            Dmax[2]=D1[2];

            Dmax[3]=D1[3];

            D1[direct]=D1[direct]+step;

            if(D1[1]<D1[0] && D1[1]>0 && D1[direct]>=0)

            {

                simulator(tsim1,num_sim1,b11,b21,q11,q21,w11,w21,l11,l21,g11,g21,p11,p21,G11,
                G21,h1,D1,m1,mach1);

                }

            }

        }

        proc=0;

        for(j=0;j<4;j++)

    {

        D1[j]=D1[j]+1;

        if(D1[1]<D1[0])

        {

            simulator(tsim1,num_sim1,b11,b21,q11,q21,w11,w21,l11,l21,g11,g21,p11,p21,G11,G21,h1,
            D1,m1,mach1);

            if(JC1>JC1max)

            {

                JC1max=JC;

                Dmax[0]=D1[0];

```

```
Dmax[1]=D1[1];

Dmax[2]=D1[2];

Dmax[3]=D1[3];

proc=1;

direct=j;

step=1;

}

}

D1[j]=D1[j]-2;

if(D1[j]>=0 && D1[0]>=1)

{

simulator(tsim1,num_sim1,b11,b21,q11,q21,w11,w21,l11,l21,g11,g21,p11,p21,G11,G21,h1,
D1,m1,mach1);

if(JC1>JC1max)

{

JC1max=JC;

Dmax[0]=D1[0];

Dmax[1]=D1[1];

Dmax[2]=D1[2];

Dmax[3]=D1[3];

proc=1;

direct=j;

step=-1;

}

}

}

}
```

```
for(j=0;j<4;j++)
{
    fprintf(fd,"Dmax[%d]=%d\n",j,Dmax[j]);
    printf("Dmax[%d]=%d\n",j,Dmax[j]);
}

fprintf(fd,"veltisto kerdos=%lf\n",JC1max);

fclose(fd);

return 0;
}

void simulator(double tsim,int num_sim,double b1,double b2,double q1,double q2, double
w1, double w2,double l1,double l2,double g1,double g2,double p1,double p2,double
G1,double G2,double h,int D[],double m[],int mach)
{
    int i,k,epomeno_gegonos,B1,B2,W1,W2,Q1,Q2,etoima_pr,sales_1,sales_2,H[SIZE];

    double
ws,l,t,tnext,tpr,waiting_time_1,waiting_time_2,T[SIZE],meso_apothema[SIZE],TH1,TH2,AVB
1,AVB2,AVH[SIZE],E,AVpr,min;

    t=0;

    tpr=0;

    tnext=0;

    B1=0;

    B2=0;

    Q1=0;

    Q2=0;

    W1=0;

    W2=0;
```

```
sales_1=0;

sales_2=0;

TH1=0;

TH2=0;

AVpr=0;

etoima_pr=D[0];

for(k=0;k<mach;k++)
{
    H[k]=0;
}

for(k=0;k<mach;k++)
{
    AVH[k]=0;
}

for(i=0;i<MAX;i++)
{
    T[i]=tsim+1;
}

U=znext(zi,&zi);

T[0]=t-log(U)/(I1);

U=znext(zi,&zi);

T[1]=t-log(U)/(I2);

while(t<=tsim)
{

    tpr=t;

    min=T[0];
```

```
epomeno_gegonos=0;

for(i=1;i<MAX;i++)
{
    if(T[i]<min)
    {
        min=T[i];
        epomeno_gegonos=i;
    }
}

t=min;

if(epomeno_gegonos==0)
{
    U=znext(zi,&zi);
    T[epomeno_gegonos]=t-log(U)/(l1);
}

if(etoima_pr>0)
{
    etoima_pr=etoima_pr-1;
    sales_1=sales_1+1;
    H[0]=H[0]+1;
    if(H[0]==1)
    {
        U=znext(zi,&zi);
        T[4]=t-log(U)/(m[0]);
    }
}

else
{
```

```
        if(B1>=D[2])
        {
            Q1=Q1+1;
        }
    else
    {
        B1=B1+1;
        U=znext zi,&zi);
        T[2]=t-log(U)/(g1*B1);
    }
}
}
else if(epomeno_gegonos==1)
{
    U=znext zi,&zi);
    T[epomeno_gegonos]=t-log(U)/(l2);
    if(etoima_pr>0 && etoima_pr>D[1])
    {
        etoima_pr=etoima_pr-1;
        sales_2=sales_2+1;
        H[0]=H[0]+1;
        if(H[0]==1)
        {
            U=znext zi,&zi);
            T[4]=t-log(U)/(m[0]);
        }
    }
}
```



```
else
{
    if((B1+B2-etoima_pr)>=D[3])
    {
        Q2=Q2+1;
    }
    else
    {
        B2=B2+1;
    }
    U=zinext(zi,&zi);
    T[3]=t-log(U)/(g2*B2);
}
}

else if(epomeno_gegonos==2)
{
    W1=W1+1;
    B1=B1-1;
    if (B1>0)
    {
        U=zinext(zi,&zi);
        T[epomeno_gegonos]=t-log(U)/(g1*B1);
    }
    else
    {
        T[epomeno_gegonos]=tsim+1;
```

```
    }  
}  
else if(epomeno_gegonos==3)  
{  
    W2=W2+1;  
    B2=B2-1;  
    if (B2>0)  
    {  
        U=zinext(zi,&zi);  
        T[epomeno_gegonos]=t-log(U)/(g1*B2);  
    }  
    else  
    {  
        T[epomeno_gegonos]=tsim+1;  
    }  
}  
else if (epomeno_gegonos==4)  
{  
    H[0]=H[0]-1;  
    H[1]=H[1]+1;  
    if(H[0]<=0)  
    {  
        T[epomeno_gegonos]=tsim+1;  
    }  
    else  
    {  
        U=zinext(zi,&zi);
```

```
T[epomeno_gegonos]=t-log(U)/m[0];

}

if(H[1]==1)

{

U=znext(zi,&zi);

T[5]=t-log(U)/m[1];

}

}

else if (epomeno_gegonos==MAX-1)

{

if(B1>0)

{

H[mach-1]=H[mach-1]-1;

B1=B1-1;

if(B1>0)

{

U=znext(zi,&zi);

T[2]=t-log(U)/(g1*B1);

}

else

{

T[2]=tsim+1;

}

sales_1=sales_1+1;

H[0]=H[0]+1;

if(H[0]==1)

{
```

```
        U=znext zi,&zi);

        T[4]=t-log(U)/(m[0]);

    }

    if(H[mach-1]>0)

    {

        U=znext zi,&zi);

        T[epomeno_gegonos]=t-log(U)/(m[mach-1]);

    }

    else

    {

        T[epomeno_gegonos]=tsim+1;

    }

}

else if(B2>0 && etoima_pr>=D[1])

{

    H[mach-1]=H[mach-1]-1;

    B2=B2-1;

    if(B2>0)

    {

        U=znext zi,&zi);

        T[3]=t-log(U)/(g2*B2);

    }

    else

    {

        T[3]=tsim+1;

    }

    sales_2=sales_2+1;
```

```
H[0]=H[0]+1;
if(H[0]==1)
{
    U=znext(zi,&zi);
    T[4]=t-log(U)/(m[0]);
}

if(H[mach-1]>0)
{
    U=znext(zi,&zi);
    T[epomeno_gegonos]=t-log(U)/m[mach-1];
}
else
{
    T[epomeno_gegonos]=tsim+1;
}
else
{
    etoima_pr=etoima_pr+1;
    H[mach-1]=H[mach-1]-1;
    if(H[mach-1]==0)
    {
        T[epomeno_gegonos]=tsim+1;
    }
else
{
```

```

        U=znext(zi,&zi);

        T[epomeno_gegonos]=t-log(U)/m[mach-1];

    }

}

else

{

    H[epomeno_gegonos-4]=H[epomeno_gegonos-4]-1;

    H[epomeno_gegonos-4+1]=H[epomeno_gegonos-4+1]+1;

    if(H[epomeno_gegonos-4+1]==1)

    {

        U=znext(zi,&zi);

        T[epomeno_gegonos+1]=t-log(U)/m[epomeno_gegonos-4+1];

    }

    if(H[epomeno_gegonos-4]>0)

    {

U=znext(zi,&zi);

        T[epomeno_gegonos]=t-log(U)/m[epomeno_gegonos-4];

    }

    else

    {

        T[epomeno_gegonos]=tsim+1;

    }

}

for(k=0;k<mach;k++)

{

```

```

        AVH[k]=AVH[k]+(t-tpr)*H[k];

    }

    AVpr=AVpr+(t-tpr)*etoimapr;

    AVB1=AVB1+(t-tpr)*B1;

    AVB2=AVB2+(t-tpr)*B2;

    }

    TH1=sales1/tsim;

    TH2=sales2/tsim;

    Q1=Q1/tsim;

    Q2=Q2/tsim;

    W1=W1/tsim;

    W2=W2/tsim;

    AVB1=AVB1/tsim;

    AVB2=AVB2/tsim;

    AVpr=(AVpr+tsim*etoimapr)/tsim;

    JC=(p1)*TH1+(p2)*TH2;

    for(k=0;k<mach;k++)

    {

        AVH[k]=(AVH[k]+tsim*H[k])/tsim;

        JC=JC- (h)*AVH[k];

    }

    JC=JC-(h)*AVpr-(b1)*AVB1-(b2)*AVB2-(q1)*Q1-(q2)*Q2-(w1)*W1-(w2)*W2;

    printf("KERDOS=%lf\n",JC);

}

```

```
double zinext(long zi,long *pzi)
{
    long lowprd, hi31;
    lowprd = (zi & 65535) * MULT1;
    hi31 = (zi >> 16) * MULT1 + (lowprd >> 16);
    zi = ((lowprd & 65535)-MODLUS)+((hi31 & 32767) << 16) + (hi31 >> 15);
    if (zi < 0) zi += MODLUS;
    lowprd = (zi & 65535) * MULT2;
    hi31 = (zi >> 16) * MULT2 + (lowprd >> 16);
    zi=((lowprd&65535)-MODLUS)+((hi31&32767)<<16)+(hi31>>15);
    if (zi < 0) zi += MODLUS;
    *pzi=zi;
    return ((zi>>7|1)+1)/16777216.0;
}
```