

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ: ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΔΥΟ ΣΕΙΡΙΑΚΩΝ ΣΤΑΔΙΩΝ ΜΕ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΖΗΤΗΣΗ ΣΕ
ΚΑΘΕ ΣΤΑΔΙΟ**

ΥΠΟ

Σοϊλεμεζίδη Κωνσταντίνου

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού Βιομηχανίας

2006



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 5057/1
Ημερ. Εισ.: 23-11-2006
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ
2006
ΣΟΙ

Copyright © 2006 Σοϊλεμεζίδης Κων/νος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)

Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής Διοίκησης Παραγωγής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής

Δρ. Αθανάσιος Ζηλιασκόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής Βελτιστοποίησης Συστημάτων Παραγωγής και Μεταφορών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Τρίτος Εξεταστής

Δρ. Γεώργιος Κοζανίδης

Διδάσκων ΠΔ/407, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής μου εργασίας, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Γεώργιο Λυμπερόπουλο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. Κοζανίδη Γιώργο και Ζηλιασκόπουλο Αθανάσιο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους.

Ευχαριστώ τους φίλους και συναδέλφους μου, Παπαπροκοπίου Δημήτριο, Χρυσάφη Νικόλαο, Χοροζίδη Αναστάσιο και Ψωμαδάκη Παναγιώτη για την πολύτιμη βοήθεια στην διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας. Ευχαριστώ επίσης και τους φίλους μου Σαββίδη Γεώργιο και Αλεφραγκή Σπύρο για την ηθική στήριξη. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Χαράλαμπο και Ελένη Σοϊλεμεζίδου, καθώς και στον αδελφό μου Νικόλαο Σοϊλεμεζίδη, για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στους προαναφερθέντες.

Σοϊλεμεζίδης Κων/νος

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</u> : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	9
1.1 : Περιγραφή της Παραγωγικής Διαδικασίας.....	9
1.2 : Ζήτηση.....	10
1.3 : Περιγραφή του Προβλήματος και Διαφορές με την Παραγωγική Διαδικασία.....	11
1.4 : Τα κόστη Διατήρησης Αποθέματος και Καθυστέρησης και η Λειτουργία των Αποθεμάτων.....	12
1.5 : Επεξήγηση των Συμβολισμών και Παραμέτρων του Προβλήματος.....	12
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</u> : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	14
2.1 : Κατηγορίες Συστημάτων.....	14
2.2 : Διαδικασία Προσομοίωσης.....	16
2.3 : Προσομοίωση Συστημάτων Υψηλού Ρυθμού.....	16
2.4 : Θεωρήσεις για τη Μοντελοποίηση Συστημάτων Υψηλού Ρυθμού.....	17
2.5 : Συνδυασμός Συνεχών και Διακριτών Διεργασιών.....	17
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</u> : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ARENA.....	20
3.1 : Χαρακτηριστικά της Διεργασίας.....	21
3.2 : Φόρτωση των silo truck και bulk container.....	23
3.3 : Προσομοίωση της Σακιστικής Μηχανής.....	25
3.4 : Προσομοίωση της Εξυπηρέτησης των Πελατών των Big Bags.....	27
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</u> : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ.....	29
4.1 : Υπολογισμός του Συνολικού Κόστους.....	29
4.2 : Προβολή των Αποτελεσμάτων στο Περιβάλλον του Arena.....	30

4.3 : Εύρεση των Βέλτιστων Αποθεμάτων.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΝΟΨΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	38
5.1 : Συμπεράσματα.....	39
5.2 : Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	41

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΠΙΝΑΚΕΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1-1, Παραγωγική Διαδικασία.....	9
Σχήμα 2-1, Τρόποι Μελέτης Λειτουργίας ενός Συστήματος.....	15
Σχήμα 3-1, tank module με την απεικόνισή του.....	20
Σχήμα 3-2, sensor module.....	21
Σχήμα 3-3, seize regulator module.....	22
Σχήμα 3-4, flow process module.....	22
Σχήμα 3-5, Τροφοδοσία των silo truck και bulk container.....	25
Σχήμα 3-6, Σακιστική μηχανή.....	26

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 (ul – 70, dl – 30, ulb – 150)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 (ul – 50, dl – 30, ulb -150)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 (ul – 40,dl – 30, ulb – 150)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 (ul – 35,dl – 30, ulb – 150)

ΠΙΝΑΚΑΣ 5 (ul – 34,dl – 30, ulb – 150)

ΠΙΝΑΚΑΣ 6 (ul – 35, dl – 25, ulb – 150)

ΠΙΝΑΚΑΣ 7 (ul – 35, dl – 20, ulb – 150)

ΠΙΝΑΚΑΣ 8 (ul – 34, dl – 29, ulb – 150)

ΠΙΝΑΚΑΣ 9 (ul – 35, dl – 20, ulb – 50)

ΠΙΝΑΚΑΣ 10 (ul – 35, dl – 20, ulb – 30)

ΠΙΝΑΚΑΣ 11 (ul – 45, dl – 20, ulb – 30)

ΠΙΝΑΚΑΣ 12 (ul – 60, dl – 20, ulb – 30)

ΠΙΝΑΚΑΣ 13 (ul – 75, dl – 20, ulb – 30)

ΠΙΝΑΚΑΣ 14 (ul – 75, dl – 20, ulb – 20)

ΠΙΝΑΚΑΣ 15 (ul – 75, dl – 20, ulb – 10)

ΠΙΝΑΚΑΣ 16 (ul – 75, dl – 20, ulb – 5)

ΠΙΝΑΚΑΣ 17 (ul – 75, dl – 20, ulb – 4)

ΠΙΝΑΚΑΣ 18 (ul – 75, dl – 20, ulb – 3)

ΠΙΝΑΚΑΣ 19 (ul – 75, dl – 10, ulb – 4)

ΠΙΝΑΚΑΣ 20 (ul – 75, dl – 0, ulb – 4)

ΠΙΝΑΚΑΣ 21 (ul – 75, dl – 0, ulb – 3)

ΠΙΝΑΚΑΣ 22 (ul – 75, dl – 0, ulb – 2)

ΠΙΝΑΚΑΣ 23 (ul – 75, dl – 0, ulb – 1)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΦΥΛΛΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ARENA

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αφορμή για την εκπλήρωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η συνεργασία του εργαστηρίου «Οργάνωσης Παραγωγής και Βιομηχανικής Διοίκησης », με τη χημική βιομηχανία V.P.I. Η επαφή με την παραγωγική διαδικασία που ακολουθείται και η συζήτηση με το προσωπικό της επιχείρησης, αποτέλεσαν το ερέθισμα για την επιστημονική μελέτη αρκετών διεργασιών και τη βελτίωσή τους.

Μία από αυτές είναι και η τροφοδοσία των πελατών στο τελικό στάδιο αποθήκευσης του υλικού στο silo ή στην αποθήκη των big bags. Το σύστημα που θα μελετήσουμε αποτελεί μία παραλλαγή του τρόπου εξυπηρέτησης των πελατών. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα σύστημα παραγωγής σε δύο στάδια, όπου παρουσιάζεται ζήτηση τόσο στο πρώτο στάδιο, όσο και στο δεύτερο. Οι πελάτες στο πρώτο στάδιο (silo trucks και bulk containers) φορτώνουν απευθείας το υλικό από το silo, ενώ στο δεύτερο στάδιο προμηθεύονται το υλικό από την αποθήκη, συσκευασμένο σε σακιά (big bags).

Η διατήρηση του υλικού όμως σε πρώτο και δεύτερο στάδιο έχει κάποιο κόστος για την επιχείρηση. Κόστος επίσης έχει για την επιχείρηση και η μη έγκαιρη εξυπηρέτηση των πελατών της, πρόκειται για το κόστος καθυστέρησης. Λόγω της ιδιαιτερότητας του υλικού και της πολυπλοκότητας στην επεξεργασία, υφίστανται διάφοροι περιορισμοί που εμποδίζουν την υιοθέτηση μιας απλής πολιτικής στη διατήρηση αποθέματος και κατ' επέκταση στην εξυπηρέτηση των πελατών.

Έτσι με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος Arena Simulation 8.1 προσπαθούμε, καταρχήν να προσομοιώσουμε τη διεργασία και στη συνέχεια να βρούμε τις βέλτιστες τιμές για τρία συνολικά αποθέματα, ώστε να έχουμε το χαμηλότερο δυνατό συνολικό κόστος.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

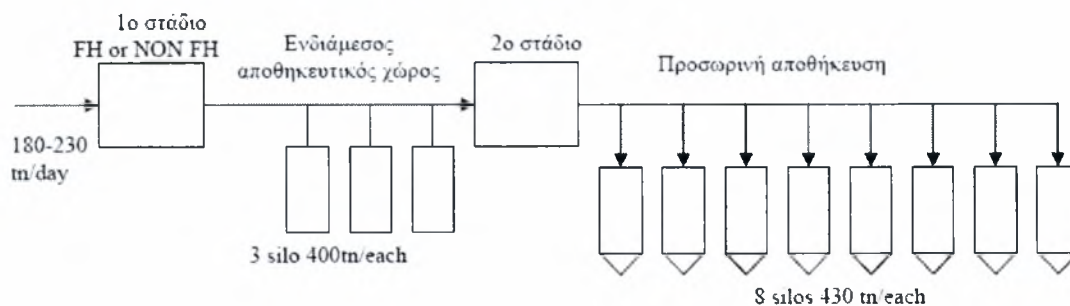
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφουμε το πρόβλημα ελέγχου παραγωγής δύο σταδίων εν σειρά με ανεξάρτητη ζήτηση σε κάθε στάδιο. Το πρόβλημα αυτό προέκυψε ως ένα επιμέρους πρόβλημα σε μια ευρύτερη μελέτη του ελέγχου παραγωγής στη χημική βιομηχανία V.P.I. Για το λόγο αυτό κρίναμε σκόπιμο να περιγράψουμε την παραγωγική διαδικασία και τη ζήτηση που παρουσιάζεται για το προϊόν της συγκεκριμένης βιομηχανίας.

1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Η εταιρία V.P.I. S.A. (VOLOS INDUSTRIAL & COMMERCIAL COMPANY OF PET RESIN PRODUCTION) με έδρα τη βιομηχανική περιοχή του Βόλου, αποτελεί μέλος του ομίλου FRIGOGLASS. Η εταιρία ασχολείται με την παραγωγή πρώτης ύλης για την κατασκευή των φιαλών PET, που χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες ποτών και αναψυκτικών. Στη συγκεκριμένη βιομηχανία παράγονται τέσσερα προϊόντα (grades) για κάθε εφαρμογή. Το WG (water grade), το SD, το FH και το PLUS. Τα προϊόντα διαφοροποιούνται μεταξύ τους, ως προς το χρώμα και το ιξώδες.

Η παραγωγική διαδικασία είναι μια διαδικασία συνεχούς ροής, που εκτελείται συνεχώς 24 ώρες την ημέρα, 7 μέρες την εβδομάδα. Αποτελείται από δύο στάδια μεταποίησης της α' ύλης με ενδιάμεσο αποθηκευτικό χώρο (4 silo, με χωρητικότητα 400 tn), το στάδιο της προσωρινής αποθήκευσης (8 silo, με χωρητικότητα 430 tn) και το στάδιο τελικής φόρτωσης ή αποθήκευσης. Στο σχήμα 1-1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η παραγωγική διαδικασία.



(Σχήμα 1-1, Παραγωγική Διαδικασία)

Όπως φαίνεται και παραπάνω, ο ρυθμός παραγωγής κυμαίνεται από 180 έως 230 τόνους ανά ημέρα και παραμένει σταθερός για τουλάχιστον έναν μήνα.

Στο πρώτο στάδιο δημιουργείται το προϊόν που περιέχει FH ή ένα από τα υπόλοιπα προϊόντα (non FH). Στο δεύτερο στάδιο συνεχίζεται η παραγωγή του FH, εφόσον παράχθηκε στο πρώτο, ενώ σε αντίθετη περίπτωση, γίνεται η διαφοροποίηση σε ένα από τα τρία υπόλοιπα προϊόντα. Στη συνέχεια κάθε προϊόν αποθηκεύεται σε διαφορετικό silo. Από το silo πραγματοποιείται και η εξυπηρέτηση των πελατών, με τρεις διαφορετικούς τρόπους.

Ο πρώτος τρόπος είναι με φόρτωση μεγάλων φορτηγών, χωρητικότητας 28 τόνων, τα λεγόμενα silo trucks. Ο ρυθμός φόρτωσης είναι αρκετά υψηλός και φθάνει τους 56 tn/h. Η διαδικασία ολοκληρώνεται απευθείας από το silo προς τα silo truck.

Εναλλακτικά μπορούμε να έχουμε φόρτωση bulk container μέσω της σακιστικής μηχανής, με ρυθμό παροχής, αρκετά χαμηλότερο, 17,3 tn/h.

Τέλος όταν δεν υπάρχει ζήτηση σε silo truck ή bulk container, το υλικό που παράγεται απθηκεύεται σε σακιά μέσω της σακιστικής μηχανής, με ρυθμό 10 tn/h. Τα σακιά αυτά ονομάζονται big bags και έχουν βάρος 1,1 τόνους.

Το σάκιασμα γίνεται από ένα άτομο ανά βάρδια (3 βάρδιες/day, 5days/week), εκτός της βραδινής όπου λόγω της μειωμένης επάνδρωσης υποθέτουμε ότι ένα άτομο σακιάζει κατά την διάρκεια της μισής βάρδιας.

1.2 ΖΗΤΗΣΗ

Η συνολική ζήτηση των προϊόντων ανέρχεται στους 76000tn/χρόνο αλλά δεν είναι γνωστή η κατανομή ανά προϊόν. Είναι γνωστό ότι η ζήτηση είναι εποχική, κατά μέσο όρο φορτώνουν 10-24 silo trucks/week, ενώ περίπου το 50% ζητείται σε φορτηγά και το άλλο 50% σε BB. Σύμφωνα με στοιχεία και πληροφορίες που αντλήσαμε τόσο από τη μεταπτυχιακή εργασία του Δημήτρη Τσιαμανή, αλλά και από το ίδιο το προσωπικό της επιχείρησης, η ζήτηση για κάθε εβδομάδα είναι γνωστή. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα χρησιμοποιήσουμε έναν μέσο ορο από ένα αρκετά μεγάλο διάστημα 52 εβδομάδων και θα τη θεωρήσουμε σταθερή.

Συγκεκριμένα η ζήτηση σε big bags ανέρχεται σε 633 tn ανά εβδομάδα, δηλαδή 575 σακιά. Για τα silo truck η ζήτηση είναι 395 τόνους την εβδομάδα, που αντιστοιχούν σε περίπου 14 φορτηγά, ενώ τέλος για τα bulk container υπολογίζονται

περίπου 217 τόνοι την εβδομάδα, δηλαδή περίπου 8 bulk container. Με τις ζητήσεις αυτές θα εκτελέσουμε όλες τις προσομοιώσεις μας, ακολουθώντας όμως την εκθετική κατανομή, όπως θα αναφερθεί και πιο αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η παραγωγική διαδικασία που μελετούμε, αποτελεί μόνο ένα μικρό μέρος της συνολικής, που λαμβάνει χώρα στη χημική βιομηχανία V.P.I. Για τις ανάγκες της προσομοίωσης, έχουμε προχωρήσει σε μικρές τροποποιήσεις της πραγματικής διαδικασίας. Για παράδειγμα ο ρυθμός εισαγωγής του υλικού στα silo είναι πολύ μεγαλύτερος από τους 8 tn/h που έχουμε ορίσει και στην πραγματικότητα αγγίζει τους 50 tn/h. Εδώ επικεντρωνόμαστε σε ένα μόλις silo, από τα συνολικά 8 που υπάρχουν στη συγκεκριμένη χημική βιομηχανία. Κάθε silo έχει αποθηκευτικό χώρο 430 tn και η αποθήκη όπου τοποθετούνται τα big bags, έχει χωρητικότητα 3400 τόνους.

Όπως αναφέρθηκε πρωτύτερα, η λειτουργία της σακιστικής μηχανής πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός ατόμου 20 ώρες την ημέρα και με ρυθμό 10 tn/h, για 5 ημέρες την εβδομάδα. Στο πρόγραμμά μας η σακιστική μηχανή λειτουργεί 24 ώρες την ημέρα, 7 μέρες την εβδομάδα, με ρυθμό όμως χαμηλότερο. Με αναγωγή της λειτουργίας της μηχανής σε 24 ώρες, ο ρυθμός “σακιάσματος” προκύπτει ότι είναι 6 tn/h.

Μία ακόμη αλλαγή που έχουμε πραγματοποιήσει για την απλούστευση της διαδικασίας αφορά την φόρτωση των bulk containers. Ενώ λοιπόν η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω της σακιστικής μηχανής, στην προσομοίωση που κάνουμε, τα bulk containers εμφανίζονται να φορτώνουν απευθείας από το silo.

Διαφορές προκύπτουν και από το σχεδιασμό της αποθήκης των big bags, καθώς απεικονίζεται ως δεξαμενή. Μία τροποποίηση που μας επέτρεψε να χρησιμοποιήσουμε ουσιαστικά μόνο δύο templates, το basic process και το flow process, ενώ παράλληλα τα αποτελέσματα που παίρνουμε είναι πιο χρήσιμα γιατί τα μελετούμε συνολικά και σε σύγκριση με τις υπόλοιπες διεργασίες. Έτσι η εξυπηρέτηση των πελατών των big bags, απεικονίζεται ως μία “ροή”, με ρυθμό παροχής-εξυπηρέτησης 10 tn/h. Ως “ροή” και συγκεκριμένα μεταφορά υλικού μεταξύ δύο δεξαμενών απεικονίζεται και η λειτουργία της σακιστικής μηχανής.

1.4 ΤΑ ΚΟΣΤΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΚΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

Δεδομένου ότι η αποθήκευση του υλικού μέσα στο silo έχει για την επιχείρηση ένα κόστος 1 χρηματικής μονάδας ανά ώρα, στην αποθήκη 2 χρηματικές μονάδες ανά ώρα, ενώ το κόστος της καθυστέρησης για τους πελάτες που δεν εξυπηρετούνται, τόσο σε πρώτο επίπεδο από το silo, όσο και σε δεύτερο από την αποθήκη, φθάνει τις 10 χρηματικές μονάδες ανά ώρα, αναζητούμε με τη βοήθεια της προσομοίωσης τα βέλτιστα “αποθέματα”, σε silo και αποθήκη. Βέλτιστα αποθέματα είναι αυτά, για τα οποία προκύπτει το χαμηλότερο δυνατό συνολικό κόστος.

Ο σκοπός αυτός θα επιτευχθεί μέσω του προσδιορισμού των βέλτιστων τιμών για τρία συνολικά επίπεδα διατήρησης υλικού. Στο silo συγκεκριμένα ψάχνουμε για το άνω σημείο διατήρησης αποθέματος (upper level) και το κάτω σημείο διατήρησης αποθέματος ή απόθεμα ασφαλείας (down level). Όταν η ποσότητα του υλικού που βρίσκεται μέσα στο silo (Dexameni) πέσει κάτω από το upper level (υποθέτοντας ότι στην έναρξη της προσομοίωσης το silo είναι γεμάτο), αρχίζει αυτόματα η εισαγωγή υλικού με ρυθμό 8 tn/h από το “ρυθμιστή” entry και σταματάει μόλις ξεπεράσει το upper level. Αντίστοιχα λειτουργεί και το σημείο διατήρησης αποθέματος για την αποθήκη όπου βρίσκονται τα big bags. Η μόνη διαφορά εδώ είναι, ότι υποθέτουμε αρχική ποσότητα για την αποθήκη ίση με το μηδέν. Το τρίτο σημείο που αναζητούμε είναι το απόθεμα ασφαλείας για το silo (down level). Κάτω από τη στάθμη αυτή σταματάει το σάκιασμα, ώστε να υπάρχει πάντα η δυνατότητα εξυπηρέτησης ενός silo truck ή ενός bulk container. Μόλις η ποσότητα του υλικού ξεπεράσει το down level, ενεργοποιείται ξανά η λειτουργία της σακιστικής μηχανής.

1.5 ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στην εργασία κάνουμε χρήση διάφορων συμβολισμών. Στο υπολογιστικό πρόγραμμα επίσης ονομάζουμε αρκετά modules, ώστε να είναι ξεκάθαρο ποια λειτουργία εκτελούν και με ποια παραγωγική διαδικασία συνδέονται. Παρακάτω εξηγούνται ορισμένα από αυτά.

TANKS- ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

- a) *Dexameni- Silo, Χωρητικότητα- 430 tn*
- b) *BB tank- Αποθήκη των big bags (σακία), Χωρητικότητα-3400 tn*

REGULATORS- ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ

- a) *Entry – Ρυθμιστής για την εισαγωγή υλικού στο silo, ρυθμός 8 tn/h (Dexameni)*
- b) *Exit 1 – Ρυθμιστής για τη φόρτωση των silo truck, ρυθμός 56 tn/h (Dexameni)*
- c) *Exit 2 – Ρυθμιστής για τη φόρτωση των bulk container, ρυθμός 17,3 tn/h (Dexameni)*
- d) *Exit 3 – Ρυθμιστής για τη λειτουργία της σακιστικής μηχανής, ρυθμός 6 tn/h (Dexameni)*
- e) *BB Tank.Regulator – Ρυθμιστής για τη λειτουργία της σακιστικής μηχανής, ρυθμός 6 tn/h (BB tank)*
- f) *BB Tank.Regulator 2 – Ρυθμιστής για την εξυπηρέτηση των πελατών των big bags, ρυθμός 10 tn/h (BB tank)*

ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ

- a) *upper level – Άνω απόθεμα του silo (Dexameni)*
- b) *down level – Κάτω απόθεμα του silo (Dexameni)*
- c) *upper level BB – Άνω απόθεμα της αποθήκης των big bags (BB tank)*

Η προσομοίωση εκτελείται για διάστημα 3 μηνών (90 ημέρες). Όλες οι μονάδες του χρόνου αναφέρονται σε ώρες, ενώ μονάδα μάζας είναι ο τόνος. Σε όλες τις σειρές η προτεραιότητα δίνεται σύμφωνα με τον κανόνα FIFO (First In First Out).

2° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Προσομοίωση (simulation) είναι η μίμηση της λειτουργίας συστημάτων ή της εξέλιξης διαδικασιών μέσα στο χρόνο με τη βοήθεια υπολογιστή. Διαδικασία ή σύστημα ονομάζεται ένα σύνολο στοιχείων τα οποία εξελίσσονται και αλληλεπιδρούν σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Οι κανόνες αυτοί εκφράζονται με μαθηματικές ή λογικές σχέσεις και αποτελούν το μοντέλο του συστήματος. Κατάσταση είναι το σύνολο των μεταβλητών οι οποίες δίνουν την απαραίτητη πληροφορία για την περιγραφή του συστήματος.

Αν οι σχέσεις που περιγράφουν την εξέλιξη του συστήματος είναι απλές, τότε το μοντέλο επιλύεται αναλυτικά. Ωστόσο τα περισσότερα συστήματα περιγράφονται από πολύπλοκα μοντέλα των οποίων η αναλυτική επίλυση είναι αδύνατη. Για τη μελέτη τους εφαρμόζονται οι λεγόμενες αριθμητικές μέθοδοι. Τέτοιες είναι η αριθμητική ανάλυση και η προσομοίωση. Η προσομοίωση συνίσταται στην ανάπτυξη ενός μοντέλου του υπό εξέταση συστήματος με τη μορφή προγράμματος σε υπολογιστή και στην εκτέλεση ενός (ή περισσότερων) πειράματος το οποίο καταγράφει την κατάσταση του συστήματος σε διαδοχικές χρονικές στιγμές αποτυπώνοντάς το στο χρόνο.

Μερικά τυπικά πεδία εφαρμογών της προσομοίωσης είναι:

- Ανάλυση και σχεδίαση συστημάτων παραγωγής (βιομηχανία)
- Έλεγχος αποθεμάτων (βιομηχανία, εμπορικές επιχειρήσεις)
- Μελέτη κυκλοφοριακών συστημάτων (οδικό δίκτυο, αεροδρόμια)

Με την προσομοίωση μπορεί κανείς να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα ή απόδοση ενός συστήματος πριν αυτό κατασκευασθεί με σκοπό τη βέλτιστη σχεδίασή του και την αποφυγή λαθών.

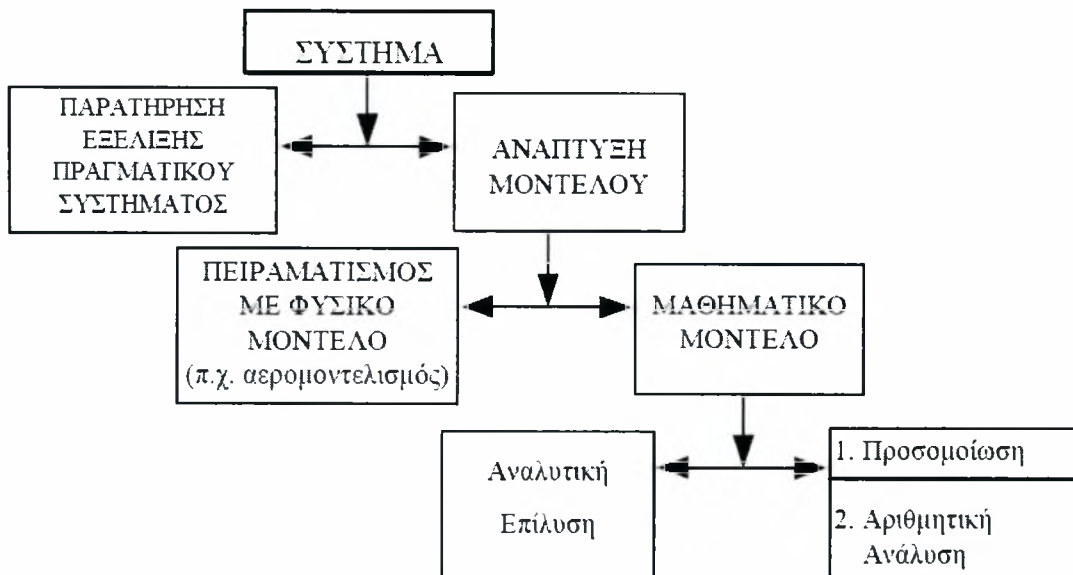
2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ανάλογα με το αν παρουσιάζουν διαχρονική εξέλιξη, τα συστήματα διακρίνονται σε δυναμικά και στατικά (dynamic/static). Δυναμικό είναι το σύστημα του

οποίου η κατάσταση είναι συνάρτηση του χρόνου. Στατικό είναι το σύστημα το οποίο δε μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου.

Τα δυναμικά συστήματα διακρίνονται σε συστήματα διακριτού χρόνου (discrete-time systems), συστήματα συνεχούς χρόνου (continuous-time systems) και υβριδικά συστήματα (hybrid systems). Στα συστήματα διακριτού χρόνου η κατάσταση μεταβάλλεται βηματικά (απότομα) σε διακριτές χρονικές στιγμές t_1, t_2, t_3, \dots , ενώ παραμένει σταθερή στα διαστήματα $[t_1, t_2), [t_2, t_3), \dots$. Συνεχές είναι το σύστημα του οποίου η κατάσταση είναι συνεχής συνάρτηση του χρόνου. Η διαχρονική συμπεριφορά συνεχών συστημάτων περιγράφεται συνήθως από διαφορικές εξισώσεις. Στην πράξη, στα συνήθη συστήματα η κατάσταση είναι κατά διαστήματα συνεχής συνάρτηση του χρόνου και κάποιες χρονικές στιγμές παρουσιάζει βηματικές (απότομες) μεταβολές. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται υβριδικά. Στα υβριδικά συστήματα η κατάσταση μεταβάλλεται βηματικά (απότομα) σε διακριτές χρονικές στιγμές t_1, t_2, t_3, \dots , και συνεχώς στα διαστήματα $[t_1, t_2), [t_2, t_3), \dots$

Τα συστήματα διακρίνονται επίσης σε στοχαστικά (stochastic) και αιτιοκρατικά (deterministic). Αν το μοντέλο του συστήματος είναι συνάρτηση γνωστών παραμέτρων, τότε το σύστημα είναι αιτιοκρατικό. Αν οι παράμετροι εμφανίζουν τυχαίες μεταβολές, τότε είναι στοχαστικό. Για την προσομοίωση στοχαστικών συστημάτων απαιτείται η "παραγωγή" τυχαίων αριθμών που ακολουθούν συγκεκριμένες κατανομές. Το σχήμα 2-1 δείχνει τους τρόπους με τους οποίους μπορεί κανείς να μελετήσει τη λειτουργία ενός συστήματος.



Σχήμα 2-1: Τρόποι Μελέτης Λειτουργίας Ενός Συστήματος

2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η μεθοδολογία ανάπτυξης ενός μοντέλου προσομοίωσης αφήνεται στην κρίση του αναλυτή συστημάτων, αλλά γενικά ακολουθούνται τα εξής βήματα:

1. Διατύπωση του προβλήματος (τι θα μελετήσω)
2. Προσδιορισμός σκοπού του συνολικού έργου μοντελοποίησης
3. Σύλληψη της ιδέας του μοντέλου (πως πρέπει να γίνει)
4. Συλλογή δεδομένων
5. Μεταφορά του μοντέλου σε κάποιο πακέτο προσομοίωσης
6. Επαλήθευση του μοντέλου (είναι σωστά σχεδιασμένο στον υπολογιστή;)
7. Επικύρωση του μοντέλου (ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα;)
8. Σχεδιασμός πειράματος
9. Τρέξιμο του μοντέλου και ανάλυση των αποτελεσμάτων
10. Περισσότερες επαναλήψεις;
11. Δημιουργία αναφορών
12. Εκτέλεση (ακριβής αναπαράσταση της πραγματικότητας)

2.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΨΗΛΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

Τα τελευταία 5 χρόνια έχουν γίνει δραματικές αλλαγές και βελτιώσεις στην τεχνολογία της προσομοίωσης ευρύνοντάς την σε ολόκληρο τον κόσμο. Τα εργαλεία της προσομοίωσης έχουν διευρυνθεί από μια απλή γλώσσα μοντελοποίησης σε πολύ ισχυρά και ευέλικτα γραφικά περιβάλλοντα. Τα εργαλεία γίνονται ολοένα πιο εύκολα και πιο προσιτά σε νέους χρήστες και με την είσοδο των υπολογιστών στην καθημερινότητα η ανάλυση ενός συστήματος μιας επιχείρησης είναι πολύ πιο ευκολότερη από ποτέ. Επιπροσθέτως, τα εργαλεία αυτά επιτρέπουν την υποστήριξη ενός συνόλου παραμέτρων από την αρχική εισαγωγή δεδομένων και την ανάλυσή τους έως την επαλήθευση, επικύρωση, τον σχεδιασμό πειραμάτων και την ανάλυση αποτελεσμάτων. Τέλος, το γραφικό περιβάλλον επιτρέπει την απεικόνιση του συστήματος όπως έχει στην πραγματικότητα.

2.4 ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΨΗΛΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

Αρκετά υψηλής ταχύτητας, μικρά τεμάχια, προσανατολισμένα σε διεργασίες ροής συναντιόνται στη βιομηχανία τροφίμων. Αυτοί οι τύποι λειτουργιών περιλαμβάνουν το μετασχηματισμό ενός προϊόντος από ρευστή κατάσταση σε διακριτά πακέτα. Αυτός ο μετασχηματισμός μπορεί να μοντελοποιηθεί με συνεχείς και διακριτές διεργασίες, με σεβασμό στο χρόνο, ώστε να φτιάξουμε επαρκή μοντέλα.

Πολλά συστήματα προσομοιώνονται είτε με διακριτές διεργασίες είτε με συνεχείς. Όμως, αλλά συστήματα απαιτούν πιο περίπλοκα συνεχή γεγονότα ή ακόμα την προσομοίωση συνδυασμού συνεχών και διακριτών γεγονότων. Η βιομηχανία τροφίμων, όπως και η χημική βιομηχανία, είναι ένας τυπικός τομέας στον οποίο το μοντέλο ξεκινάει με μια προσέγγιση συνεχών γεγονότων (εισαγωγή πρώτης ύλης και επεξεργασία της) και στη συνέχεια καταλήγει σε προσέγγιση διακριτών γεγονότων (γραμμές συσκευασίας). Ο τύπος αυτός μοντέλου δέχεται ότι η πρώτη ύλη βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση (λόγω των πολύ μικρών κομματιών της) και αργότερα μετασχηματίζεται σε ατομικές συσκευασίες.

2.5 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΣΥΝΕΧΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Σ' ένα συνεχές μοντέλο η κατάσταση του συστήματος αλλάζει με το χρόνο. Ακόμα και αν η αλλαγή αυτή μπορεί να παρασταθεί με μια εξίσωση, τις περισσότερες φορές αυτό δεν είναι εφικτό λόγω της πολύπλοκης αλληλεπίδρασης των επιμέρους στοιχείων του συστήματος. Μπορεί να επινοηθεί όμως μια εξίσωση, ώστε να περιλαμβάνει αυτές τις αλλαγές των καταστάσεων του συστήματος. Ο ρυθμός αλλαγής της μεταβλητής είναι η παράγωγος της κατάστασης του συστήματος. Τέτοιες εξισώσεις περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες εξισώσεις και λέγονται διαφορικές εξισώσεις. Οι συνεχείς επομένως διεργασίες των μηχανών παριστάνονται από ένα σετ διαφορικών εξισώσεων. Αυτές οι εξισώσεις χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά του συστήματος συναρτήσει του χρόνου προσομοίωσης. Μια μεταβλητή κατάστασης δεν παραμένει σταθερή μεταξύ δύο γεγονότων και η τιμή της αλλάζει σύμφωνα με τις διαφορικές εξισώσεις. Ένα παράδειγμα μιας μεταβλητής κατάστασης μπορεί να είναι το επίπεδο υλικού σε μια δεξαμενή. Εφόσον η κατάσταση της μεταβλητής αλλάζει με το χρόνο ο αναλυτής του συστήματος θα πρέπει να προσέξει το πεδίο τιμών της. Στο παράδειγμά μας η συγκεκριμένη μεταβλητή δεν μπορεί να πάρει τιμές αρνητικές. Μπορεί αυτή η προσέγγιση των διαφορικών εξισώσεων να μη φαντάζει δύσκολη, σε μεγάλης κλίμακας συστήματα όμως παρουσιάζονται δυσκολίες, όταν αυτά έχουν υψηλούς ρυθμούς παραγωγής και μικρής χωρητικότητας στοιχεία.

Η μοντελοποίηση τέτοιων συστημάτων προσθέτει δυσκολίες λόγω των υψηλών ταχυτήτων. Υπάρχουν τρεις βασικές προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση αυτών των συστημάτων με αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Μια κοινή προσέγγιση μοντελοποίησης είναι η προσομοίωση διακριτών γεγονότων (*discrete-event simulation*). Σ' αυτήν την προσέγγιση κάθε δραστηριότητα ή κατάσταση του συστήματος αλλάζει για κάθε οντότητα που μεταφέρεται. Μας επιτρέπει να μοντελοποιήσουμε με αρκετή ευελιξία και λεπτομέρεια το σύστημα. Δυστυχώς όμως, για τις γραμμές υψηλών ταχυτήτων αυτή η προσέγγιση, της ιχνηλάτησης κάθε οντότητας από τις χιλιάδες που υπάρχουν, έχει ως αποτέλεσμα πολύ αργούς χρόνους εκτέλεσης, ακόμα και για τις πιο ισχυρές μηχανές προσομοίωσης.

Για την αποτελεσματική χρήση της προσομοίωσης διακριτών γεγονότων πρέπει να καταφύγουμε σε μια τεχνική που ονομάζεται συνάθροιση (*aggregation*). Η τεχνική

της συνάθροισης μας επιτρέπει να αναπαραστήσουμε κάθε οντότητα με μια ποσότητα ή παρτίδα οντοτήτων. Για παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε ότι μια οντότητα παριστάνει 1 Kgr ή 20 μπουκαλάκια. Η τεχνική αυτή βελτιώνει την ταχύτητα εκτέλεσης του πειράματος, μειώνοντας παράλληλα την ακρίβεια και τη λεπτομέρεια, ενώ γενικά διατηρεί την ευελιξία του συστήματος. Π.χ. αν μια οντότητα παριστάνει 500 κουτάκια, τότε όλες οι διεργασίες πρέπει να στρογγυλοποιηθούν στα 500 κουτάκια. Επιπλέον είναι δύσκολο να γίνει έλεγχος της ροής. Π.χ. είναι δύσκολο στο παραπάνω μοντέλο να τοποθετήσουμε κάποιον αισθητήρα σ' έναν ιμάντα ο οποίος να δίνει εντολή σ' αυτόν όταν πάνω του υπάρχουν 400 κουτάκια.

Μια δεύτερη προσέγγιση είναι η χρήση συνεχών εξισώσεων (*continuous equations*) σε συνδυασμό με (ή όχι) την προσομοίωση διακριτών γεγονότων. Οι συνεχείς εξισώσεις μπορούν να μοντελοποιήσουν είτε υψηλού ρυθμού γραμμές, είτε απλά τμήματα αυτών. Μας επιτρέπουν την εκτέλεση γρήγορων πειραμάτων και την εύκολη μοντελοποίηση όλων των μηχανημάτων. Η πολυπλοκότητα των μαθηματικών εξισώσεων όμως, αυξάνεται δραματικά με το μέγεθος του προβλήματος. Έτσι, η αναγκαία λεπτομέρεια για τη λύση πραγματικών προβλημάτων συχνά δεν αναπαριστάται με τη χρήση ενός σετ εξισώσεων.

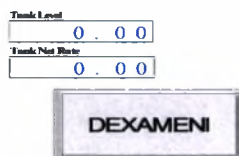
Η τρίτη προσέγγιση αναφέρεται στον προσομοιωτή διεργασιών υψηλού ρυθμού (*high-speed simulator*), ο οποίος βασίζεται σε μια αλγοριθμική προσέγγιση παρά στην προσομοίωση διακριτών γεγονότων. Τα εργαλεία αυτά έχουν δομές για την εύκολη μοντελοποίηση γραμμών υψηλού ρυθμού και χρησιμοποιούν ορολογία η οποία καθιστά εύκολη την εκμάθηση και ανάπτυξη πραγματικών μοντέλων. Επιπλέον οι προσομοιωτές έχουν το πλεονέκτημα της εισαγωγής αλγορίθμων από τον χρήστη, ανάλογα με το σύστημα το οποίο χρειάζεται να αναλυθεί. Παρουσιάζονται πάντως κάποιοι περιορισμοί όσον αφορά την πολυπλοκότητα του συστήματος, το οποίο θέλουμε με ακρίβεια να μοντελοποιήσουμε, ειδικά όταν έχουμε να κάνουμε με προχωρημένες τεχνικές λογικού ελέγχου του συστήματος.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ARENA

Η παραγωγική διαδικασία που καλούμαστε να μελετήσουμε αφορά συνεχείς διεργασίες μεταφοράς, που πραγματοποιούνται σε υψηλές ταχύτητες και με μεγάλες ποσότητες υλικού. Για το λόγο αυτό επιλέξαμε τα templates flow process και basic process, τα οποία έχουν τα κατάλληλα modules για τη σωστή και ακριβή προσομοίωση τέτοιων διεργασιών.

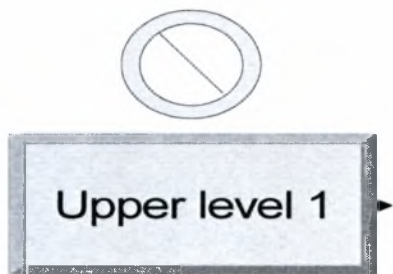
3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ



(Σχήμα 3-1, tank module με την απεικόνιση του)

Το πρώτο module με το οποίο θα ασχοληθούμε είναι το tank, με το οποίο προσομοιώνουμε το silo. Καταρχήν ορίζουμε τη χωρητικότητά του ίση με 430 tn. Θέτουμε επίσης αρχική ποσότητα όση και η χωρητικότητα του silo, 430 tn. Κάθε tank έχει έναν ή περισσότερους “ρυθμιστές” (regulators). Μέσω του regulator ρυθμίζουμε τις διάφορες διεργασίες που συμβαίνουν σε κάθε tank. Για παράδειγμα έχουμε ένα regulator (entry) για την εισαγωγή υλικού στο silo, δύο ακόμη για τη μεταφορά του υλικού από το tank (Dexameni) στα silo truck και στα bulk container και έναν ακόμη που ρυθμίζει τη μεταφορά από το silo κατευθείαν στην αποθήκη των big bags. Ορίζουμε λοιπόν συνολικά τέσσερις regulators και τους αντίστοιχους ρυθμούς μεταφοράς του υλικού. Για την εισαγωγή του υλικού στο silo υπεύθυνος είναι ο entry με ρυθμό 8 tn/h. Για τα silo truck ο exit1 με ρυθμό 50 tn/h. Για τα bulk container ο exit2 με ρυθμό 17.3 tn/h και τέλος για το “σάκιασμα” χρησιμοποιούμε τον exit3 με ρυθμό μεταφοράς ανάμεσα στα δύο tanks 6 tn/h.

Για να μπορέσουμε να μετρήσουμε και στη συνέχεια να ρυθμίσουμε τη ροή του υλικού, όταν η στάθμη στο silo ανεβαίνει ή πέφτει σε μη επιθυμητά επίπεδα, χρησιμοποιούμε ακόμη ένα module απο το flow process template, το sensor.



(Σχήμα 3-2,sensor module)

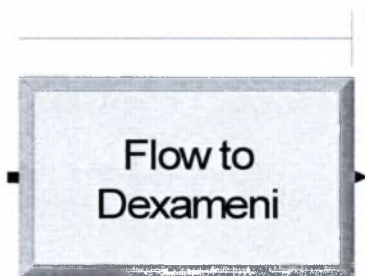
Πρόκειται για αισθητήρες οι οποίοι τοποθετούνται σε μια δεξαμενή και ελέγχουν συνεχώς την ποσότητα μέσα σε αυτή. Μόλις επαληθευτεί η συνθήκη που έχει οριστεί από το χρήστη, ενεργοποιείται ο αισθητήρας, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιούνται και διάφορες ενέργειες, καθώς το συγκεκριμένο module παρέχει αυτή τη δυνατότητα. Στο δικό μας πρόβλημα για να μπορέσουμε να ελέγξουμε την εισαγωγή του υλικού, τη διατήρηση κατάλληλου αποθέματος και την εξαγωγή του υλικού μέσα από τη δεξαμενή, χρησιμοποιήσαμε συνολικά πέντε αισθητήρες. Ο πρώτος αισθητήρας ονομάζεται “Dexameni is full” και ενεργοποιείται μόλις η στάθμη του υλικού μέσα στο silo ξεπεράσει τους 429 tn. Ουσιαστικά μέσω ενός σινιάλου που στέλνει, το signal 1, μας πληροφορεί ότι το silo είναι γεμάτο. Οι επομένον δύο αισθητήρες που χρησιμοποιούμε αφορούν το άνω σημείο διατήρησης αποθέματος ή σημείο ανατροφοδότησης (upper level). Τοποθετούμε λοιπόν έναν αισθητήρα (upper level 1) με σκοπό να ελέγχει πότε η στάθμη του silo πέφτει κάτω από το επίπεδο αυτό και στη συνέχεια να “ανοίγει” το ρυθμιστή (entry) για την εισαγωγή του υλικού, με ρυθμό 8 tn/h. Μόλις το silo, καθώς γεμίζει, ξεπεράσει το άνω σημείο, ενεργοποιείται ένας τρίτος αισθητήρας (upper level 2) και σταματάει η ροή του υλικού. Συνεπώς η στάθμη του υλικού μέσα στο silo, δεν θα ξεπεράσει ποτέ το άνω όριο διατήρησης αποθέματος. Οι δύο τελευταίοι αισθητήρες σχετίζονται με το απόθεμα ασφαλείας και ρυθμίζουν τη ροή του υλικού προς τη σακιστική μηχανή, μέσω του exit3. Ο down level 1 ενεργοποιείται όταν η στάθμη του υλικού πέσει κάτω από το σημείο αυτό. Στη συνέχεια στέλνει ένα σινιάλο, το signal 2, με το οποίο σταματάει το σάκιασμα αμέσως (σε περίπτωση που τη στιγμή εκείνη φορτώνει από τη δεξαμενή silo truck ή bulk container η διαδικασία συνεχίζεται κανονικά),ενώ ταυτόχρονα κλείνει και ο ρυθμιστής exit3, μέχρι η στάθμη να ξεπεράσει το απόθεμα ασφαλείας. Την επανεκκίνηση της σακιστικής μηχανής ενεργοποιεί ο down level 2

ρυθμίζοντας τη ροή του exit3 στους 6 tn/h. Οι αισθητήρες όμως από μόνοι τους δεν μπορούν να προσομοιώσουν ολόκληρη τη διαδικασία της ροής προς τη Dexameni. Χρειάζονται και άλλα modules τα οποία χρησιμοποιούμε και πάλι από το flow process template



(Σχήμα 3-3,seize regulator module)

Με το seize regulator επιλέγουμε το ρυθμιστή αυτόν που χρειαζόμαστε για την επιθυμητή “ροή” του υλικού μας. Ο ρυθμιστής πρέπει πάντα να ανήκει στη δεξαμενή από την οποία μεταφέρουμε το υλικό και όχι σε κάποιο άλλο tank. Σε αντίθετη περίπτωση δεν πρόκειται να έχουμε “ροή”. Δημιουργούμε λοιπόν το seize regulator entry. Το επόμενο module, το οποίο προέρχεται επίσης από το flow process, είναι το flow.



(Σχήμα 3-4,flow process module)

Όπως υποδεικνύει και το όνομα του, με αυτό καθορίζουμε τη “ροή”. Μέσα από το πλαίσιο του flow διαμορφώνουμε το είδος της ροής που επιθυμούμε, δίνοντας τις κατάλληλες πληροφορίες. Καταρχήν επιλέγουμε το είδος της διεργασίας. Αν πρόκειται δηλαδή για προσθήκη υλικού στο tank (add), όπως συμβαίνει στη συγκεκριμένη περίπτωση, για μεταφορά υλικού από το tank (remove), ή τέλος για μεταφορά υλικού ανάμεσα σε δύο tanks (transfer). Στη συνέχεια καθορίζουμε πότε θα σταματήσει η ροή, με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Είτε μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, είτε μετά από μία συγκεκριμένη ποσότητα υλικού που έχει μεταφερθεί, ή τέλος από ένα σινιάλο που θα φροντίσουμε να στείλουμε εμείς από κάποιο άλλο module. Εδώ θα χρησιμοποιήσουμε το σινιάλο, το οποίο στέλνει ο αισθητήρας του ανώ αποθέματος (upper sensor level) και έχει τιμή 1. Θυμίζουμε ότι η

ποσότητα του υλικού δεν πρέπει να ξεπερνάει το άνω απόθεμα, σύμφωνα με τις παραμέτρους που έχουμε θέσει στο πρόβλημά μας. Επιλέγουμε τέλος υψηλή προτεραιότητα για τη διεργασία μας και τη χαρακτηρίζουμε ως value added (προστιθέμενη αξία), κάτι το οποίο θα μας βοηθήσει να μελετήσουμε τους χρόνους ολοκλήρωσης της διεργασίας αργότερα στα αποτελέσματα. Για να ολοκληρωθεί η προσομοίωση της εισαγωγής υλικού χρησιμοποιούμε ακόμη δύο modules. Το release regulator entry και το dispose entry. Με το πρώτο αποδεσμεύουμε το ρυθμιστή, ενώ με το δεύτερο απελευθερώνουμε την οντότητα (entity) από το περιβάλλον μας και συγχρόνως καταγράφουμε το γεγονός, ώστε να γνωρίζουμε στο τέλος της προσομοίωσης, πόσες φορές πραγματοποιήθηκε η διεργασία αυτή.

Το επόμενο βήμα είναι να προσομοιώσουμε τη μεταφορά του υλικού από το silo προς τα silo trucks, τα bulk containers και τη σακιστική μηχανή. Η διεργασία αυτή έχει ορισμένες ιδιαιτερότητες, καθώς δεν είναι δυνατόν να μεταφέρεται υλικό ταυτόχρονα και από τις τρεις εξόδους του silo. Πραγματοποιείται δηλαδή πάντα, μόνο μία διεργασία. Βασική αρχή μιας τέτοιου είδους χημικής βιομηχανίας είναι, η λειτουργία ολόκληρης της γραμμής παραγωγής να μην σταματάει ποτέ, γιατί το κόστος επανεκκίνησης είναι πολύ υψηλό. Για τον λόγο αυτό λειτουργεί συνεχώς η σακιστική μηχανή, η οποία τοποθετεί το υλικό του silo σε σακιά και αυτά στη συνέχεια αποθηκεύονται στην αποθήκη (BB tank). Ένας άλλος περιορισμός που καλούμαστε επίσης να λάβουμε υπόψη μας, είναι ότι τα silo trucks και τα bulk containers έχουν πάντα προτεραιότητα σε σχέση με τη σακιστική μηχανή. Συνεπώς ένα silo truck ή ένα bulk container θα εξυπηρετηθεί αμέσως, σταματώντας τη λειτουργία της σακιστικής μηχανής έως ότου γεμίσει το ανάλογο φορτίο. Ανάμεσα στα silo trucks και τα bulk containers δεν υπάρχει σχέση προτεραιότητας και έτσι ακολουθείται ο κανόνας FIFO, αυτός που περιμένει δηλαδή περισσότερη ώρα εξυπηρετείται πρώτος.

3.2 ΦΟΡΤΩΣΗ ΤΩΝ SILO TRUCK ΚΑΙ BULK CONTAINER

Θα ξεκινήσουμε πρώτα με την παρουσίαση του τρόπου προσομοίωσης της “φόρτωσης” των silo trucks και των bulk containers. Χρησιμοποιούμε το module create από το basic process template, για να εκφράσουμε τη ζήτηση και το ρυθμό αφίξεων των silo truck και bulk container. Αφού το ονομάσουμε, στη συνέχεια

καθορίζουμε τον τύπο της “οντότητας” ή entity type, ο οποίος αποτελεί ένα είδος ταυτότητας που θα μας βοηθήσει τόσο στην προσομοίωση όσο και στην παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων. Για το silo truck ο τύπος είναι entity 1. Στη συνέχεια καθορίζουμε το ρυθμό αφίξεων και πιο συγκεκριμένα το χρονικό διάστημα ανάμεσα στα αφίξεις. Σύμφωνα με τα στοιχεία της χημικής βιομηχανίας VPI, η ζήτηση για silo trucks κυμαίνεται περίπου στα δεκατέσσερα φορτηγά την εβδομάδα. Κάτι το οποίο σημαίνει ότι αναμένουμε μία άφιξη φορτηγού κάθε δώδεκα ώρες. Άρα επιλέγουμε οι αφίξεις να πραγματοποιούνται στο σύστημά μας, σύμφωνα με μία τυχαία εκθετική κατανομή με μέσο όρο μία άφιξη κάθε δώδεκα ώρες.

Για τα bulk containers τα στοιχεία που έχουμε, προσδιορίζουν τη ζήτηση περίπου στα οχτώ container την εβδομάδα. Ο χρόνος λοιπόν ανάμεσα σε δύο αφίξεις είναι εικοσιμία ώρες. Όπως και στα silo truck, έτσι και εδώ ορίζουμε μία τυχαία εκθετική κατανομή με μέσο χρόνο άφιξης τις εικοσιμία ώρες. Ο τύπος για τις “οντότητες” που εκφράζουν τα bulk containers είναι entity 2.

Μετά τα create modules ακολουθεί το assign, το οποίο προέρχεται επίσης από το basic process και μας βοηθάει να απεικονίσουμε τα φορτηγά και τα container μέσα στο περιβάλλον του arena. Το συγκεκριμένο module είναι πολύ χρήσιμο γιατί μας παρέχει τη δυνατότητα να δίνουμε νέες τιμές, να αλλάζουμε τα χαρακτηριστικά και γενικότερα να συλλέγουμε χρήσιμες πληροφορίες για τις μεταβλητές του συστήματος προσομοίωσης.

Τα δύο entities προχωρούν στη συνέχεια στο hold module. Εκεί τοποθετούνται σε μία ουρά, όποτε είναι περισσότερα από ένα και περιμένουν το σινιάλο 10, με την έλευση του οποίου μπορούν να συνεχίσουν στο υπόλοιπο σύστημα. Το module Hold ST and BC φροντίζει σε συνεργασία με το Hold BBmaschine να μην πραγματοποιούνται δύο ή τρεις “ροές” ταυτόχρονα, αλλά μία κάθε φορά. Από το hold module μπορεί να φύγει ένα μόνο entity κάθε φορά που έρχεται ένα σινιάλο 10. Το σινιάλο έρχεται από το signal module, μόλις ολοκληρωθεί η μεταφορά του υλικού, καθώς περνάει το entity μέσα από αυτό. Ο τύπος του hold module είναι wait for signal και το όριο που μπορεί να απελευθερώσει κάθε φορά, είναι ένα.

Το επόμενο module που ακολουθεί, είναι το decide module με το οποίο διαχωρίζουμε τα silo trucks και τα bulk containers και τα κατευθύνουμε προς τα αντίστοιχα modules. Ο διαχωρισμός γίνεται με βάση το entity type. Εάν είναι entity 1

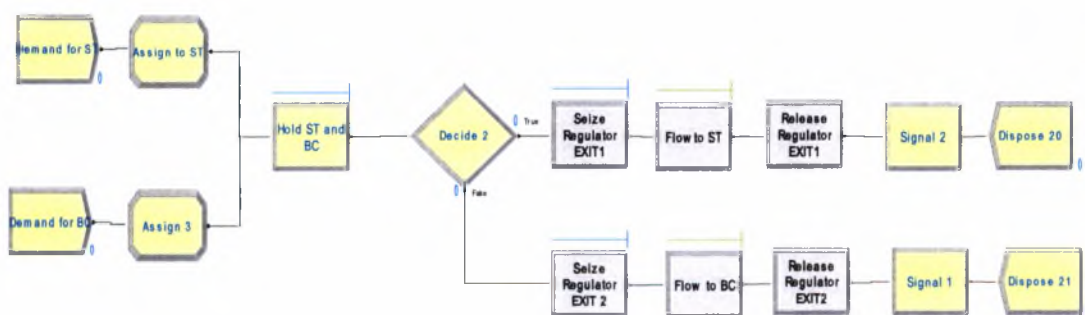
οδηγείται στο seize regulator exit1 (silo truck), ενώ εάν είναι entity 2 οδηγείται στο seize regulator exit2 (bulk container). Έπειτα ακολουθείται η ίδια διαδικασία που περιγράψαμε και παραπάνω για την εισαγωγή του υλικού με το ρυθμιστή entry.

Δεσμεύουμε δηλαδή το ρυθμιστή exit1, δίνοντας υψηλή προτεραιότητα, χρησιμοποιούμε το module flow to ST για τη “ροή” και στη συνέχεια ελευθερώνουμε το ρυθμιστή, με το release regulator exit1. Να αναφέρουμε ότι στο flow to ST έχουμε ορίσει, η “ροή” να σταματάει αφού μεταφερθούν 28 tn, όση είναι δηλαδή η ποσότητα που μεταφέρει ένα silo truck.

Μετά το flow to ST ακολουθεί το signal 2, με το οποίο στέλνουμε σινιάλο σε όλα τα hold modules που περιμένουν για το signal 10. Το σινιάλο δηλαδή φθάνει τόσο στο Hold ST and BC, όσο και στο Hold BBmaschine, ελευθερώνεται όμως μόνο ένα entity. Έτσι εάν περιμένει κάποιο silo truck ή bulk container, αρχίζει να γεμίζει, αλλιώς ξεκινάει να λειτουργεί η σακιστική μηχανή.

Τα entities που απεικονίζουν τα bulk container, οδηγούνται στο seize regulator exit2. Από εκεί περνούν στο flow to BC και παραμένουν εκεί μέχρι να φορτωθεί ποσότητα 17.6 tn, ένα bulk container δηλαδή. Ακολουθούν το release regulator exit2 και το signal 1, το οποίο στέλνει επίσης ένα σινιάλο 10, ακριβώς όπως συμβαίνει και με τα silo trucks.

Συνολικά η διαδικασία όπως απεικονίζεται στο γραφικό περιβάλλον του Arena:



(Σχήμα 3-5, Τροφοδοσία των silo truck και bulk container)

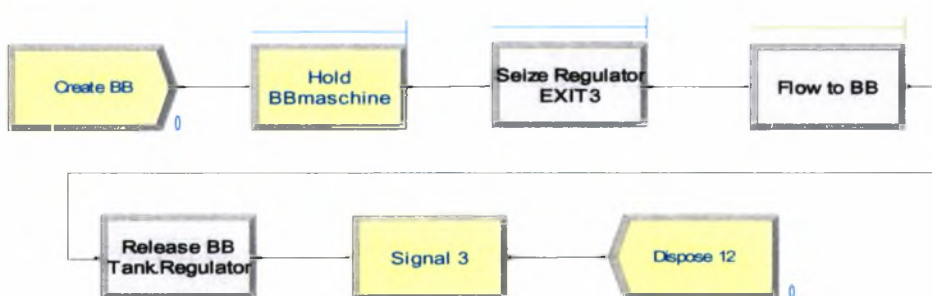
3.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΑΚΙΣΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Η προσομοίωση της λειτουργίας της σακιστικής μηχανής γίνεται με τα ίδια modules και την ίδια διάταξη. Ξεκινάμε λοιπόν με το module create, το οποίο το ονομάζουμε create BB. Σκοπός μας είναι να εξασφαλίσουμε τη συνεχή λειτουργία

της σακιστικής μηχανής. Για το λόγο αυτό ο ρυθμός των αφίξεων για τα entities που προσομοιώνουν τη σακιστική μηχανή, θα είναι υψηλός και ο αριθμός μεγάλος.

Επιλέγουμε σταθερό ρυθμό αφίξεων με μέσο όρο μεταξύ δύο διαδοχικών αφίξεων το ένα λεπτό. Ορίζουμε επίσης ως μέγιστο αριθμό αφίξεων τις 30000, ώστε να είμαστε βέβαιοι πως η λειτουργία της μηχανής μας δεν θα σταματήσει ποτέ, κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Ο τύπος των entities είναι entity 3.

Το Hold BBmaschine module που ακολουθεί λειτουργεί ακριβώς όπως και το Hold ST and BC, έχοντας όμως χαμηλότερη προτεραιότητα από αυτό. Το seize regulator exit3 δεσμεύει το ρυθμιστή του silo και το Flow το BB ρυθμίζει τη “ροή”. Στο module αυτό χρειάζεται προσοχή, γιατί το είδος της “ροής” τώρα είναι transfer μεταξύ δύο tanks και απαιτείται η δέσμευση δύο regulator, τόσο του exit3, όσο και του BBTank.Regulator από το BB Tank (πρόκειται για την αποθήκη των Big Bags). Η λειτουργία της σακιστικής μηχανής για ένα entity ολοκληρώνεται αφού μεταφερθεί 1.1 tn, μόλις δηλαδή γεμίσει ένα σακί. Μπορεί όμως να διακοπεί, εάν η στάθμη του silo πέσει κάτω από το απόθεμα ασφαλείας, όπως προαναφέρθηκε εξάλλου. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα σινιάλο το οποίο στέλνει ο Down Level 1 sensor, το signal 2. Μόλις το silo ξεπεράσει το Down Level, αρχίζει ξανά η λειτουργία της σακιστικής μηχανής, εφόσον δεν υπάρχει silo truck ή bulk container σε αναμονή, από το σημείο που σταμάτησε. Τα υπόλοιπα modules δεν παρουσιάζουν διαφορές με τα προηγούμενα. Συνολικά η λειτουργία της σακιστικής μηχανής όπως εμφανίζεται στο περιβάλλον του arena είναι:



(Σχήμα 3-6, Σακιστική μηχανή)

Η αποθήκη όπου τοποθετούνται τα big bags, προσομοιώνεται στο σύστημά μας με το tank module και έχει το όνομα BB tank. Η χωρητικότητά της είναι, σύμφωνα με στοιχεία της V.P.I., 3400 tn. Για την αποθήκη υποθέτουμε αρχική ποσότητα, ίση με το μηδέν. Οι ρυθμιστές της αποθήκης είναι δύο, ο BB tank regulator που συνδέεται

με τον exit3 και μεταφέρει το υλικό από το silo (Dexameni-λειτουργία σακιστικής μηχανής) και ο BB tank regulator 2, ο οποίος ρυθμίζει την προμήθεια των πελατών σε σακιά. Η διαδικασία αυτή δηλαδή προσομοιώνεται ως “ροή”. Οι ρυθμοί τους είναι 6 tn/h (όσο και του exit3) και 10 tn/h αντίστοιχα. Για να μπορέσουμε να προσομοιώσουμε τη λειτουργία του άνω αποθέματος στην αποθήκη, χρησιμοποιούμε και πάλι τρεις sensors.

Ο upper level BB 1 σταματάει τη “ροή” από τη Dexameni, μόλις η ποσότητα ξεπεράσει το άνω απόθεμα, “κλείνοντας” ουσιαστικά το ρυθμιστή exit3. Μόλις η ποσότητα αυτή πέσει κάτω από το άνω απόθεμα, ο exit3 “ανοίγει” ξανά, μέσω του upper level BB 2. Ο τρίτος sensor που έχουμε τοποθετήσει, ενεργοποιείται σε περίπτωση που για κάποιο λόγο δεν λειτουργήσει ο upper level BB 1.

Η ζήτηση για τα big bags, σύμφωνα με τα στοιχεία της VPI, κυμαίνεται στους 633 tn ανά εβδομάδα. Πωλούνται δηλαδή, περίπου 575 σακιά την εβδομάδα και 82 ημερησίως. Η ζήτηση αυτή εκφράζεται και πάλι μέσω του module create. Δημιουργούμε έτσι το Demand for BB και ορίζουμε το ρυθμό αφίξεων μέσω της τυχαίας εκθετικής κατανομής με μέσο χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών αφίξεων, τα 18 λεπτά. Ο τύπος της “οντότητας” που αναπαριστά τους πελάτες των big bags είναι entity 4.

3.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΛΑΤΩΝ ΤΩΝ BIG BAGS

Η προσομοίωση της “ροής” των big bags γίνεται με τα ίδια modules που χρησιμοποιήθηκαν προηγουμένως. Είναι όμως σχετικά απλούστερη, γιατί είναι ανεξάρτητη από τις υπόλοιπες και δεν υπόκειται σε περιορισμούς. Έτσι μετά το Demand for BB ακολουθεί το assign, με τη βοήθεια του οποίου απεικονίζουμε τα entities ως κουτιά. Στη συνέχεια ενεργοποιούμε το ρυθμιστή BB Tank.Regulator και ορίζουμε τη διεργασία μέσω του module BB Flow. Πρόκειται για μεταφορά υλικού από την αποθήκη και γι αυτό την ορίζουμε ως remove. Η “ροή” σταματάει μόλις μεταφερθούν 1.1 τόνοι. Και αυτή η διεργασία χαρακτηρίζεται ως value added. Τα δύο τελευταία modules είναι το release regulator και το dispose. Ολοκληρώνεται έτσι και η τελευταία διεργασία ροής.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε πως όλες οι διεργασίες και αφίξεις ξεκινούν από το χρονικό σημείο 0, με την έναρξη δηλαδή της προσομοίωσης. Επειδή όμως στην αρχή της προσομοίωσης δεν έχουμε σινιάλο από τα εως τώρα signal modules, καθώς δεν έχει περάσει καμία οντότητα ακόμη, δημιουργούμε ένα μόνο entity το οποίο θα στείλει το πρώτο σινιάλο με την έναρξη της προσομοίωσης. Επίσης μέσω του Assign Variables δίνει σε τρεις μεταβλητές που έχουμε ορίσει τις τιμές που παίρνουν σε κάθε διαφορετική προσομοίωση. Οι μεταβλητές αυτές είναι οι upper level Dexameni, down level Dexameni και upper level BB Tank. Πρόκειται δηλαδή για τις τιμές των αποθεμάτων που μας ενδιαφέρουν και εμφανίζονται στην τελευταία σελίδα των αποτελεσμάτων κάθε προσομοίωσης, έτσι ώστε να γνωρίζουμε για ποιες τιμές αποθεμάτων εμφανίζονται τα συγκεκριμένα αποτελέσματα.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης ακολουθεί η συλλογή και ανάλυση των αποτελεσμάτων, για διαφορετικά σετ τιμών των παραμέτρων μας. Υπενθυμίζουμε ότι αναζητούμε τρεις διαφορετικές τιμές αποθεμάτων, το upper και down level για το silo και το upper level για την αποθήκη των big bags. Τις τιμές αυτές θα τις εντοπίσουμε, ύστερα από δοκιμή πολλών και διαφορετικών τιμών και για τις τρεις παραμέτρους, με μοναδικό κριτήριο το χαμηλότερο συνολικό κόστος. Στο συνολικό κόστος, όπως προαναφέρθηκε, συμπεριλαμβάνονται το κόστος καθυστέρησης εξυπηρέτησης των πελατών και το κόστος διατήρησης του υλικού.

4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

Όταν η προσομοίωση σταματήσει τα στατιστικά αποτελέσματα αποθηκεύονται σε ένα αρχείο της Microsoft Access. Τα στατιστικά αποθηκεύονται με μορφή αναφορών (reports) και δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για τους επιμέρους πόρους του συστήματος.

Πριν την έναρξη της προσομοίωσης ρυθμίζουμε διάφορες παραμέτρους που σχετίζονται με τη διάρκεια και τον αριθμό των επαναλήψεων. Ένας μεγάλος αριθμός επαναλήψεων μας εξασφαλίζει περισσότερο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό επιλέγουμε κάθε προσομοίωση μας να έχει δέκα επαναλήψεις. Η διάρκεια κάθε επανάληψης είναι τρεις μήνες, ενενήντα μέρες δηλαδή. Η προσομοίωση εκτελείται 24 ώρες την ημέρα.

Τα στατιστικά στοιχεία υπολογίζονται συνολικά και από τις δέκα επαναλήψεις, έτσι ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν καλύτερη εικόνα της κατάστασης λειτουργίας.

Κάθε σετ αποτελεσμάτων αποτελείται από έντεκα συνολικά σελίδες. Ο χρήστης του προγράμματος έχει τη δυνατότητα να διαμορφώσει σελίδες που θα απεικονίζουν συγκεκριμένα αποτελέσματα που τον ενδιαφέρουν. Κάτι ανάλογο πραγματοποιούμε και εμείς στην τελευταία. Μέσω του data module statistic από το advanced process template ορίζουμε τις εκφράσεις για κάθε κόστος ξεχωριστά καθώς και για το

συνολικό κόστος. Πρώτα ορίζουμε το κόστος διατήρησης υλικού για το silo, πολλαπλασιάζοντας το μέσο επίπεδο του tank Dexameni με μία μονάδα. Το κόστος διατήρησης στην αποθήκη των big bags ορίζεται ως το μέσο επίπεδο του BB tank πολλαπλασιασμένο με δύο μονάδες. Τα κόστη καθυστέρησης υπολογίζονται ανά entity, προσθέτοντας το μέσο χρόνο αναμονής και εξυπηρέτησης και πολλαπλασιάζοντας το άθροισμα με δέκα μονάδες. Όπως προαναφέρθηκε το entity 1 αντιστοιχεί στα silo truck, το entity 2 στα bulk container και το entity 4 στους πελάτες των big bags. Τέλος ορίζουμε το συνολικό κόστος αθροίζοντας τα τρία κόστη καθυστέρησης και τα δύο διατήρησης του υλικού.

4.2 ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ ARENA

Στην πρώτη σελίδα των αποτελεσμάτων περιγράφονται γενικές πληροφορίες που αφορούν όλα τα entities και τις πηγές. Τα μόνα κόστη τα οποία έχουν μη μηδενικές τιμές είναι το value added cost (κόστος χρόνου εξυπηρέτησης) και το wait cost (κόστος αναμονής). Στις σελίδες 2 και 3 παρουσιάζονται αναλυτικά όλοι οι χρόνοι για κάθε entity. Πρόκειται για τους value added (VA), non value added (NVA), transfer, other. Επειδή στο πρόβλημά μας δεν έχουμε διεργασίες μεταφοράς και non value added, οι αντίστοιχοι χρόνοι εμφανίζουν μηδενικές τιμές. Για κάθε τιμή του χρόνου εμφανίζονται έξι διαφορετικοί αριθμοί, σε έξι στήλες. Ο μέσος χρόνος, η απόκλιση από τη μέση τιμή σε διάστημα εμπιστοσύνης 95%, η ελάχιστη μέση τιμή, η μέγιστη μέση τιμή, η χαμηλότερη τιμή που παρατηρήθηκε σε όλες τις επαναλήψεις κατά την προσομοίωση και τέλος η μέγιστη τιμή. Στο τέλος υπολογίζεται και ο συνολικός χρόνος (Total Time). Στις σελίδες 4 και 5 προβάλλονται τα κόστη που προέρχονται από τους χρόνους που προαναφέρθηκαν, σε έξι επίσης στήλες. Στην έκτη σελίδα παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τον αριθμό των entities που μπήκαν μέσα στο περιβάλλον της προσομοίωσης και πόσα από αυτά βγήκαν. Μετά τα στατιστικά στοιχεία που σχετίζονται με τα entities, ακολουθούν τα στατιστικά στοιχεία που σχετίζονται με τις διάφορες ουρές που σχηματίζονται στα hold και seize regulator modules. Τα στοιχεία αφορούν το μέσο χρόνο παραμονής για κάθε entity και τον αριθμό που περιμένουν στα modules αυτά. Οι δύο επόμενες σελίδες μας παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις δεξαμενές. Αναφέρονται το μέσο επίπεδο κάθε

tank, η συνολική ποσότητα που προστέθηκε και η συνολική ποσότητα που μεταφέρθηκε από τη Dexameni και το BB tank. Στην τελευταία σελίδα, η οποία δημιουργήθηκε για να συλλέξουμε τις πληροφορίες που μας ενδιαφέρουν περισσότερο, προβάλλονται οι τιμές των τριών αποθεμάτων και τα κόστη που προκύπτουν από την προσομοίωση με τις συγκεκριμένες τιμές.

4.3 ΕΥΡΕΣΗ ΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

Ξεκινάμε τη διαδικασία εύρεσης των βέλτιστων αποθεμάτων, επιλέγοντας τυχαία ένα σετ τιμών. Κάθε φορά αλλάζουμε μόνο ένα από τα τρία αποθέματα, διατηρώντας τις άλλες δύο τιμές σταθερές. Φιλοδοξούμε έτσι, μέσω πολλών διαφορετικών δοκιμών, να εντοπίσουμε το σετ που θα μας δώσει το χαμηλότερο συνολικό κόστος.

Επιλέγουμε λοιπόν τυχαία τρεις τιμές για τα αποθέματα. Για το upper level του silo(ul) επιλέγουμε την τιμή 70, το down level(dl) το ορίζουμε στους 30 τόνους και το upper level για την αποθήκη των big bags(ulb) στους 150. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρουσιάζονται στο παράρτημα (πιν.1, Παράρτημα A,B). Σύμφωνα με αυτά το κόστος όλων των entities, σε συνολικά δέκα επαναλήψεις, για το χρόνο φόρτωσης τους φθάνει τις 65000 χρηματικές μονάδες, ενώ το κόστος καθυστέρησης ανέρχεται στις 382000. Το συνολικό κόστος είναι 447000. Αυτό είναι μόνο το κόστος καθυστέρησης, δεν περιλαμβάνεται δηλαδή το κόστος διατήρησης του υλικού στο silo και την αποθήκη και δεν είναι αυτό το οποίο αναζητούμε καθώς αναφέρεται και στις δέκα επαναλήψεις της προσομοίωσης. Ο μέσος χρόνος φόρτωσης για τα silo trucks είναι 0,77 ώρες και για τα bulk containers 1,63 ώρες, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο αφού ο ρυθμός φόρτωσης των silo trucks είναι πολύ υψηλότερος. Οι χρόνοι για τις διεργασίες non value added είναι μηδέν γιατί δεν υπάρχει καμιά τέτοιου είδους διεργασία στο σύστημά μας. Οι χρόνοι καθυστέρησης είναι 0,35 ώρες για τα silo truck, 0,31 ώρες για τα bulk container και 0,75 ώρες για τους πελάτες των Big Bags. Ο συνολικός χρόνος για κάθε ένα entity προκύπτει από το άθροισμα των δύο χρόνων, γιατί οι χρόνοι transfer και other είναι μηδέν. Το κόστος καθυστέρησης που μας ενδιαφέρει προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του συνολικού χρόνου με το 10. Έτσι έχουμε μέσο κόστος καθυστέρησης για τα silo truck 11,2 χρηματικές μονάδες, για τα bulk container 19,4 και για τα big bags 8,6.

Το επίπεδο εξυπηρέτησης είναι αρκετά υψηλό, καθώς σχεδόν όλα τα entities που μπήκαν στο σύστημα, βγήκαν. Μόλις δέκα entities που μπήκαν στο σύστημα δεν κατάφεραν να βγουν, κυρίως πελάτες για big bags.

Οι χρόνοι καθυστέρησης στις ουρές τόσο για τα silo truck και bulk container (Hold ST and BC), όσο και για την αποθήκη των σακιών είναι αρκετά μικροί. Ο αριθμός των πελατών που περιμένουν να εξυπηρετηθούν είναι επίσης μικρός, εκτός από εξαιρετικές περιπτώσεις. Η κατάσταση αυτή δικαιολογείται, καθώς το σημείο ανατροφοδότησης (upper level) είναι αρκετά ψηλά με αποτέλεσμα το silo και η αποθήκη να διατηρούν αρκετή ποσότητα υλικού.

Το μέσο επίπεδο του silo βρίσκεται στους 48 τόνους περίπου, ενώ για την αποθήκη η τιμή είναι 123 τόνοι. Μία τιμή η οποία πιθανόν να ήταν ακόμη υψηλότερη, εάν δεν είχαμε τοποθετήσει το άνω απόθεμα της αποθήκης στους 150 τόνους (ulb). Αρκετά υψηλά επίπεδα τα οποία περιμένουμε να μας δώσουν και υψηλά κόστη.

Πράγματι το κόστος διατήρησης υλικού στην αποθήκη φθάνει τις 246 χρηματικές μονάδες και το κόστος για το silo τις 48. Αντίθετα τα κόστη καθυστέρησης κυμαίνονται σε αρκετά χαμηλές τιμές, με μεγαλύτερο το κόστος για τα bulk container που φθάνει τις 19,4 μονάδες, γεγονός που οφείλεται όμως κυρίως στο μικρό ρυθμό παροχής (17,3 tn/h), με αποτέλεσμα να εμφανίζεται υψηλό το value added cost (16,3). Το κόστος καθυστέρησης των silo truck είναι 11,2 μονάδες και των πελατών για τα big bags 8,6. Συνολικά το κόστος φθάνει τις 334 χρηματικές μονάδες.

Παρατηρώντας πως το υψηλότερο κόστος είναι αυτό της διατήρησης υλικού, υποθέτουμε πως μία χαμηλότερη τιμή για το upper level του silo, θα μας έδινε πιθανότατα και ένα χαμηλότερο κόστος για την αποθήκη. Μειώνουμε λοιπόν το upper level στους 50 τόνους και κρατάμε πάντα σταθερές τις τιμές του down level(dl) και του upper level BB (ulb).

Τα νέα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την υπόθεση μας (πιν.2, Παράρτημα Α). Το κόστος διατήρησης για την αποθήκη πέφτει στις 220 μονάδες, το κόστος του silo πέφτει επίσης στις 38 μονάδες, ενώ όπως ήταν αναμενόμενο, αυξάνονται τα κόστη καθυστέρησης, με μεγαλύτερη αύξηση για τους πελάτες των big bags. Από 8,6 το κόστος φθάνει τις 17,7 μονάδες. Αυξάνονται βέβαια και οι χρόνοι καθυστέρησης στις ουρές, όπως και ο αριθμός των ατόμων που περιμένουν σε αυτές, κυρίως στην ουρά

για την εξυπηρέτηση των πελατών των big bags. Το επίπεδο του BB tank βρίσκεται στους 110 τόνους, ενώ του silo στους 38. Έτσι το συνολικό κόστος εμφανίζεται μειωμένο κατά 26 μονάδες. Χαμηλώνουμε ακόμη περισσότερο την τιμή του upper level, με σκοπό να μειώσουμε περαιτέρω το συνολικό κόστος.

Τοποθετούμε το άνω απόθεμα στους 40 τόνους και ξεκινάμε μία νέα προσομοίωση. Τα αποτελέσματα εμφανίζουν το συνολικό κόστος χαμηλότερο (πιν.3, Παράρτημα Α). Το κόστος διατήρησης αποθέματος για την αποθήκη παρουσιάζει τώρα μεγαλύτερη διαφορά, η τιμή του πέφτει στις 173 χρηματικές μονάδες. Σημαντική αύξηση παρουσιάζει και το κόστος καθυστέρησης στην προμήθεια των big bags, καθώς τώρα φθάνει τις 55 χρηματικές μονάδες. Τα άλλα δύο κόστη καθυστέρησης αυξάνονται ελαφρώς, ενώ παράλληλα μειώνεται και το κόστος για το silo κατά 5 μονάδες. Το συνολικό κόστος διαμορφώνεται στις 295 χρηματικές μονάδες. Παρατηρούμε πως οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις παρουσιάζονται ανάμεσα στο κόστος καθυστέρησης για τα big bags και διατήρησης αποθέματος για το BB tank. Υποθέτουμε λοιπόν πως το συνολικό κόστος θα συνεχίσει να μειώνεται, έως ότου αρχίσει να αυξάνεται δραματικά το κόστος καθυστέρησης για τα big bags.

Ορίζουμε το upper level στους 35 τόνους. Το κόστος καθυστέρησης για τα big bags αυξάνεται αρκετά, αγγίζοντας τις 168 χρηματικές μονάδες (πιν.4, Παράρτημα Α). Οι χρόνοι καθυστέρησης πλέον για τους πελάτες των σακιών είναι πολύ μεγάλοι, φθάνουν μέχρι και τις 25 ώρες. Μεγάλος είναι επίσης και ο αριθμός των πελατών που περιμένουν στην ουρά για να εξυπηρετηθούν, ενώ για ορισμένους η διαδικασία φόρτωσης δεν θα ολοκληρωθεί ποτέ. Τα κόστη καθυστέρησης για τα silo truck και τα bulk container δεν παρουσιάζουν μεγάλη αύξηση στις τιμές τους, ενώ το κόστος διατήρησης αποθέματος για την αποθήκη των big bags συνεχίζει να μειώνεται εντυπωσιακά, φθάνοντας τις 28,7 χρηματικές μονάδες. Το μέσο επίπεδο του BB tank είναι μόλις 14,3 τόνοι. Το συνολικό κόστος, παρόλο το υψηλό κόστος καθυστέρησης των big bags, είναι 262 χρηματικές μονάδες και αποτελεί τη χαμηλότερη τιμή έως τώρα.

Ελλατώνουμε το upper level ακόμη περισσότερο, με την προσδοκία να μειώσουμε το συνολικό κόστος. Ορίζουμε τους 34 τόνους ως το άνω απόθεμα. Το κόστος καθυστέρησης έχει γίνει τόσο υψηλό, από τις 168 μονάδες φθάνει τις 236, ώστε το συνολικό κόστος αρχίζει πλέον να αυξάνεται (πιν.5, Παράρτημα Α). Μία αναμενόμενη εξέλιξη, καθώς πλέον η σακιστική μηχανή δουλεύει πολύ λίγο, μόνο

στο διάστημα ανάμεσα στους 30 και 34 τόνους, με αποτέλεσμα να μην τροφοδοτείται σε ικανοποιητικό βαθμό η αποθήκη των big bags και να εμφανίζονται μεγάλες καθυστερήσεις. Το συνολικό κόστος για τα συγκεκριμένα επίπεδα αποθέματος είναι 314 χρηματικές μονάδες.

Αξίζει να σημειωθεί πως η αύξηση αυτή οφείλεται σε πολύ μεγάλο ποσοστό μόνο στο κόστος καθυστέρησης καθώς όλα τα άλλα κόστη εμφανίζουν αρκετά μικρότερες διακυμάνσεις. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως για τις δύο συγκεκριμένες τιμές, του κάτω αποθέματος του silo(dl-30) και του άνω αποθέματος για την αποθήκη των σακίων (ulb-150), η βέλτιστη τιμή για το άνω απόθεμα του silo(ul) είναι οι 35 τόνοι.

Διατηρώντας σταθερές τις τιμές του upper level και του upper level BB, πειραματιζόμαστε τώρα με την τιμή του down level. Ξεκινάμε την πρώτη μας δοκιμή, θέτοντας το κάτω απόθεμα ίσο με 25 τόνους. Το συνολικό κόστος που προκύπτει είναι υψηλότερο από την τιμή των 30 τόνων (πιν.6, Παράρτημα Α). Το κόστος διατήρησης αποθέματος για το BB tank βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα, είναι 173 χρηματικές μονάδες, κάτι το οποίο οφείλεται λογικά στο μεγάλο διάστημα λειτουργίας της σακιστικής μηχανής.

Για να βεβαιωθούμε για την υπόθεση μας, δοκιμάζουμε να κατεβάσουμε το down level στους 20 τόνους. Πράγματι το κόστος διατήρησης αποθέματος για το BB tank αυξάνεται και φθάνει τις 203 χρηματικές μονάδες (πιν.7, Παράρτημα Α). Το κόστος καθυστέρησης για τα big bags μειώνεται από τις 55 στις 26 μονάδες, ενώ αυξάνονται ελαφρώς και τα άλλα δύο κόστη καθυστέρησης για τα silo truck και τα bulk container.

Είναι πλέον σίγουρο ότι όσο χαμηλώνουμε το down level, αυξάνεται το κόστος διατήρησης αποθέματος σε σακιά και συνεπώς το συνολικό κόστος. Πρέπει επομένως να μπορέσουμε να μειώσουμε το υψηλό επίπεδο του BB tank. Ένας τρόπος είναι να μειώσουμε τη διαφορά των δύο αποθεμάτων του silo, έτσι ώστε η σακιστική μηχανή να λειτουργεί λιγότερο. Η βέλτιστη διαφορά σε αυτή την περίπτωση, μετά από αρκετές προσομοιώσεις προκύπτει ότι είναι οι 5 τόνοι, με το upper level να βρίσκεται στους 34 τόνους και το down level στους 29. Το συνολικό κόστος για τις τιμές (ul-34,dl-29,ulb-150), είναι 261,75 χρηματικές μονάδες (πιν.8, Παράρτημα Α).

Έχουμε όμως και τη δυνατότητα να μειώσουμε το άνω απόθεμα διατήρησης στην αποθήκη των big bags, έτσι ώστε να μην είμαστε αναγκασμένοι να κρατάμε μεγάλες ποσότητες, οι οποίες ανεβάζουν το συνολικό κόστος. Για τις τιμές που δοκιμάσαμε νωρίτερα, το upper level στους 35 τόνους και το down level στους 20, θέτουμε στην αποθήκη των σακίων ως άνω απόθεμα τους 50 τόνους. Τα αποτελέσματα είναι σαφώς καλύτερα, καθώς το κόστος διατήρησης αποθέματος για το BB tank έχει μειωθεί αισθητά, από τις 203 μονάδες στις 44 (πιν.9, Παράρτημα Α). Το κόστος καθυστέρησης αντιθέτως για τους πελάτες των big bags αυξήθηκε κατά 54 μονάδες. Τα υπόλοιπα τρία κόστη διαφοροποιούνται ελάχιστα και έτσι το συνολικό κόστος φθάνει τις 190 χρηματικές μονάδες, μειωμένο κατά 105 μονάδες.

Προσπαθώντας να μειώσουμε το συνολικό κόστος ακόμη περισσότερο, ορίζουμε το άνω απόθεμα στους 30 τόνους. Το κόστος διατήρησης για την αποθήκη έχει φθάσει τώρα τις 21 χρηματικές μονάδες (πιν.10, Παράρτημα Α). Το κόστος καθυστέρησης όμως για τους πελάτες των big bags, συνεχίζει να αυξάνεται, με αποτέλεσμα το συνολικό κόστος να έχει αυξηθεί ελαφρώς. Συνεπώς, πρέπει με κάποιο τρόπο να ρίξουμε το υψηλό κόστος καθυστέρησης. Δοκιμάζουμε να μεγαλώσουμε τη διαφορά μεταξύ των δύο αποθεμάτων του silo, ώστε να τροφοδοτείται καλύτερα το BB tank.

Ανεβάζουμε το upper level στους 45 τόνους. Η πτώση του κόστους καθυστέρησης είναι αρκετά σημαντική, από τις 104 μονάδες στις 61. Το κόστος διατήρησης για την αποθήκη και το silo αυξάνονται, ενώ τα άλλα δύο κόστη καθυστέρησης μειώνονται (πιν.11, Παράρτημα Α). Το συνολικό κόστος βρίσκεται τώρα στις 159 χρηματικές μονάδες. Αναζητώντας τη βελτιστη λύση θέτουμε το upper level στους 60 και 75 τόνους. Τα αποτελέσματα εμφανίζουν μειωμένο το συνολικό κόστος με υψηλότερα κόστη, το κόστος διατήρησης αποθέματος για το BB tank και τη Dexameni (πιν.12,13, Παράρτημα Α).

Στην προσπάθειά μας να μειώσουμε το συνολικό κόστος, κατεβάζουμε το ulb από τους 30 στους 20 τόνους. Παρουσιάζεται πράγματι μείωση στο συνολικό κόστος, καθώς το κόστος διατήρησης για την αποθήκη πέφτει κατά 16 μονάδες, ενώ παράλληλα το κόστος καθυστέρησης για τα big bags αυξάνεται 6 μονάδες (πιν.14, Παράρτημα Α).

Συνεχίζουμε να μειώνουμε το ulb, έως ότου βρούμε το βέλτιστο απόθεμα για την αποθήκη των big bags. Εκτελούμε τις προσομοιώσεις για τις τιμές του upper level 10,5,4,3 (πιν. 15,16,17,18, Παράρτημα Α). Η βέλτιστη τιμή εμφανίζεται στους 4 τόνους και το συνολικό κόστος είναι 134,88 χρηματικές μονάδες. Το κόστος καθυστέρησης στην εξυπηρέτηση των πελατών των big bags όμως, εμφανίζεται και πάλι υψηλό. Ανοίγουμε τη διαφορά ανάμεσα στο άνω και κάτω απόθεμα του silo, με την ελπίδα να μειώσουμε το κόστος καθυστέρησης, καθώς με αυτό τον τρόπο το BB tank θα τροφοδοτείται καλύτερα.

Κρατάμε σταθερή την τιμή του upper level και συγχρόνως θέτουμε το down level στους 10 τόνους. Το κόστος διατήρησης αποθέματος στο silo είναι μειωμένο, όπως και το κόστος καθυστέρησης για τα big bags (πιν.19, Παράρτημα Α). Συνεχίζουμε την ίδια διαδικασία, έως ότου βρούμε το ελάχιστο δυνατό κόστος.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το βέλτιστο κάτω απόθεμα για το silo είναι οι 0 τόνοι (πιν.20, Παράρτημα Α). Ουσιαστικά δηλαδή δεν είναι επιθυμητή η λειτουργία του κάτω αποθέματος. Το μόνο κόστος που είναι ακόμη σχετικά υψηλό συγκριτικά με τα υπόλοιπα είναι αυτό της διατήρησης αποθέματος στο silo. Έτσι λοιπόν θα επιχειρήσουμε να θέσουμε το upper level χαμηλότερα, με την προσδοκία να μειώσουμε κι άλλο το συνολικό κόστος.

Το κόστος για τη Dexameni ελατώνεται, δεν συμβαίνει όμως το ίδιο με τα κόστη καθυστέρησης, με αποτέλεσμα το συνολικό κόστος να εμφανίζεται ελάχιστα υψηλότερο.

Η τελευταία δοκιμή που θα επιχειρήσουμε, είναι να μειώσουμε ακόμη περισσότερο το upper level BB. Διατηρούμε τις τιμές των αποθεμάτων του silo, στους 75 και 0 τόνους και θέτουμε το άνω απόθεμα του BB tank στους 3 τόνους. Το συνολικό κόστος εμφανίζεται χαμηλότερο, καθώς μειώνεται το κόστος διατήρησης για την αποθήκη, ενώ το κόστος καθυστέρησης δεν αυξάνεται σημαντικά (πιν.21, Παράρτημα Α). Το συνολικό κόστος που προκύπτει είναι πλέον 124,83 χρηματικές μονάδες. Το ίδιο κόστος εμφανίζεται και για την τιμή 2 του upper level BB (πιν.22, Παράρτημα Α).

Μειώνουμε το άνω απόθεμα της αποθήκης στον 1 μόλις τόνο. Υποθέτουμε πως το κόστος καθυστέρησης θα εμφανίζεται αρκετά υψηλότερο, γιατί πλέον το BB tank δεν διατηρεί απόθεμα. Πράγματι το συνολικό κόστος εμφανίζεται υψηλότερο, το

κόστος καθυστέρησης όμως δεν αυξάνεται όσο θα περιμέναμε. Το συνολικό κόστος φτάνει τώρα τις 125,29 μονάδες (πιν.23, Παράρτημα Α).

Μετά λοιπόν από αρκετές δοκιμές και για τις τρεις τιμές των αποθεμάτων καταλήγουμε πως τα βέλτιστα αποθέματα είναι, 75 τόνοι για το άνω απόθεμα του silo, 0 για το κάτω απόθεμα και 3 τόνοι για το άνω απόθεμα του BB tank. Το ελάχιστο συνολικό κόστος είναι 124,83 χρηματικές μονάδες, από τις οποίες οι 3,3 προέρχονται από το κόστος διατήρησης αποθέματος για το BB tank, οι 45,5 (είναι και το μεγαλύτερο από όλα τα κόστη) προέρχονται από τη διατήρηση αποθέματος στο silo, ενώ για τα κόστη καθυστέρησης οι τιμές είναι 37,1 για τους πελάτες των big bags, 22,7 για τα bulk containers και 15,9 για τα silo truck. Ουσιαστικά με αυτό τον τρόπο διατηρούμε περισσότερη ποσότητα στο silo, όπου και το κόστος είναι χαμηλότερο σε σχέση με το BB tank, έχοντας τη δυνατότητα να τροφοδοτούμε άμεσα την αποθήκη με σακιά, καθώς δεν υφίσταται ο περιορισμός στην λειτουργία της σακιστικής μηχανής, που επέβαλλε η ύπαρξη του κάτω αποθέματος.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΝΟΨΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία προήλθε από τη μελέτη της παραγωγικής διαδικασίας που ακολουθείται στη χημική βιομηχανία V.P.I. Ασχοληθήκαμε όμως κυρίως, με το τελευταίο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας, της τελικής αποθήκευσης του υλικού (στο silo και στην αποθήκη των big bags) και της εξυπηρέτησης των πελατών.

Δημιουργήσαμε ουσιαστικά ένα δικό μας πρόβλημα δύο σταδίων, όπου σε πρώτο στάδιο το υλικό που παράγεται αποθηκεύεται στο silo και σε δεύτερο μέσω της λειτουργίας της σακιστικής μηχανής τα σακιά που δημιουργούνται τοποθετούνται στην αποθήκη (BB tank). Η ζήτηση, όπως συμβαίνει και στην πραγματικότητα, εμφανίζεται τόσο σε πρώτο (φόρτωση απευθείας από το silo), όσο και σε δεύτερο στάδιο (από την αποθήκη).

Υποθέσαμε πως η διατήρηση του υλικού στο silo και την αποθήκη, καθώς και η καθυστέρηση στην εξυπηρέτηση των πελατών έχουν ένα κόστος για την εταιρία. Μία υπόθεση που λογικά ευσταθεί και ίσως δεν έχει εκτιμηθεί όσο θα έπρεπε. Για να μπορέσουμε να ελέγξουμε την παραγωγή υλικού και τα επίπεδα αποθέματος, επινοήσαμε την ύπαρξη των τριών αποθεμάτων με τον ανάλογο τρόπο λειτουργίας για το καθένα από αυτά.

Στη συνέχεια, αφού είχαμε διαμορφώσει το πρόβλημά μας και τις παραμέτρους του, προχωρήσαμε στην προσομοίωση της διαδικασίας στο γραφικό περιβάλλον του Arena. Μία διαδικασία η οποία ήταν χρονοβόρα, γιατί παρόλο που το κομμάτι της παραγωγικής διαδικασίας που προσομοιώσαμε ήταν μικρό, εντούτοις υπήρχαν αρκετές λεπτομέρειες που έπρεπε να προσομοιωθούν με ακρίβεια και σε αντιστοιχία με το πρόβλημα, ώστε τα αποτελέσματα που προέκυψαν, να είναι αξιόπιστα.

Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης ακολούθησε η διαδικασία της ανεύρεσης των βέλτιστων αποθεμάτων. Μία διαδικασία βελτιστοποίησης που ολοκληρώθηκε, ύστερα από τη διεξαγωγή πολλών πειραμάτων με διαφορετικές κάθε φορά τιμές για τα τρία αποθέματα.

Οι τιμές που προέκυψαν για τα αποθέματα, υποδεικνύουν ουσιαστικά μια πολιτική διατήρησης σημαντικής ποσότητας υλικού σε πρώτο στάδιο στο silo, όπου

η οικονομική επιβάρυνση είναι μικρότερη, ενός ελάχιστου αποθέματος σε δεύτερο στάδιο στην αποθήκη, αλλά με τη δυνατότητα άμεσης τροφοδοσίας σε big bags, καθώς υπάρχει πάντα υλικό στο αμέσως προηγούμενο στάδιο, μέσα στο silo.

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το πρόβλημά που πραγματεύεται η διπλωματική αυτή εργασία όπως προαναφέρθηκε εξάλλου, δεν αποτελεί κομμάτι μιας πραγματικής παραγωγικής διαδικασίας. Συνεπώς δεν μπορούμε να καταλήξουμε σε συγκεκριμένα συμπεράσματα που θα μπορούσαν να βρουν άμεση εφαρμογή και επομένως να ωφελήσουν την εταιρία, Αυτό που επιζητούμε είναι η προσπάθεια αυτή να αποτελέσει το ερέθισμα και τη βάση για την υιοθέτηση μιας πολιτικής στην αποθήκευση του υλικού και στην εξυπηρέτηση των πελατών, με σκοπό την καλύτερη λειτουργία της επιχείρησης. Θα αναφέρουμε ενδεικτικά μόνο κάποιες σκέψεις που προκύπτουν από τη μελέτη των αποτελεσμάτων και θα προτείνουμε ιδέες για περαιτέρω μελλοντική έρευνα. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως δεν έχουμε λάβει υπόψη μας στην ανάλυση του προβλήματος, το ενδεχόμενο κόστος που έχει το συνεχόμενο “άνοιξε-κλείσε” των ρυθμιστών, που προκύπτει από τον τρόπο λειτουργίας των αποθεμάτων. Ορισμένα από τα “συμπεράσματα” στα οποία καταλήξαμε :

- Ο ρυθμός παροχής για τα bulk container είναι αρκετά χαμηλός συγκριτικά με αυτό των silo truck, με αποτέλεσμα να προκύπτει υψηλό value added cost (χρόνος φόρτωσης) και άρα αυξημένο κόστος καθυστέρησης

- Η χωρητικότητα της αποθήκης των big bags είναι πολύ μεγάλη (3400 τόνοι). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα χρειάζεται ένα απόθεμα μόλις 3 τόνων, ώστε να μπορέσει η επιχείρηση να ανταποκριθεί ικανοποιητικά στη ζήτηση

- Αύξηση του ρυθμού λειτουργίας της σακιστικής μηχανής (περισσότερες ουσιαστικά βάρδιες), ώστε να τροφοδοτείται πιο γρήγορα το BB tank και να μειωθεί το κόστος καθυστέρησης.

5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω μελέτη είναι :

- Επανασχεδιασμός του προβλήματος συμπεριλαμβανομένων του κόστους επανεκκίνησης των ρυθμιστών και του κόστους λειτουργίας της σακιστικής μηχανής

- Μελέτη του προβλήματος με γνωστή και προκαθορισμένη ζήτηση. Μία ζήτηση γνώστη και καθορισμένη για μεγάλο χρονικό διάστημα, που δεν ακολουθεί κάποια τυχαία κατανομή, μας δίνει τη δυνατότητα νέου σχεδιασμού της παραγωγικής διαδικασίας, στην οποία η ύπαρξη και λειτουργία του κάτω αποθέματος του silo είναι απαραίτητη. Εάν γνωρίζαμε για παράδειγμα ότι μία περίοδο αναμένουμε υψηλή ζήτηση σε silo truck ή bulk container, θα σταματούσαμε πιθανόν τη λειτουργία της σακιστικής μηχανής, ώστε να ικανοποιηθεί η παραγγελία και να μη σημειωθούν μεγάλες καθυστερήσεις.

- Προσομοίωση όλης της παραγωγικής διαδικασίας, που περιλαμβάνει την παραγωγή τεσσάρων προϊόντων. Εξαιτίας της ιδιαιτερότητας του προϊόντος απαιτείται διαφορετική επεξεργασία για κάθε προϊόν και σημαντικό χρονικό διάστημα για τη μετάβαση από τη μία στην άλλη. Από τη μελέτη ολόκληρης της παραγωγικής διαδικασίας θα προκύψουν σίγουρα χρήσιμα συμπεράσματα, τα οποία θα οδηγήσουν σε νέες βελτιωμένες διεργασίες.

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Kelton W. D, Sadowski P. R, Sadowski A. D (1998), *Simulation with Arena*, Industrial Engineering Series, McGraw-Hill Int. Editions,

Rockwell Software Inc., (2003) *Flow Process and Basic Process Template – User’s Guide*

Sturrock T. D (2001), “Effective Simulation of High Speed Systems”, Systems Modeling Corporation, SAT (Simulations und Automations Technologie) GmbH, Gesellschaft für IT Consulting und System Integration

Huda M. A, Chung A. C. (2002), “Simulation modeling and analysis issues for high-speed combined continuous and discrete food industry manufacturing processes”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 43, pp. 473-483

George Liberopoulos and Yves Dallery (2002), “Comparative modeling of multi-stage production-inventory control policies with lot sizing”, Vol.41, NO.6, pp.1273-1298

Axsater, S. and Rosling, K., 1994, Multilevel production-inventory control: material requirements planning or reorder point policies? *European Journal of Operations Research*, 75, 405-412

Buzacott, J. A. and Shanthikumar, J. G., 1994, Safety stock versus safety time in MRP controlled production systems, *Management Science*, 45(7), 936-953

Liberopoulos, G. and Koukournialos, S., 2002, Numerical investigation of tradeoffs between base stock levels, numbers of kanbans and production lead times in production-inventory supply chains with advance demand information. Working paper, Production Management Laboratory, Department of Mechanical & Industrial Engineering, University of Thessaly, Greece.

Μεταπτυχιακή εργασία Δημήτρη Τσιαμανή, Προγραμματισμός Παραγωγής Βιομηχανίας Ρητίνης Πολυεστέρα, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών – Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος 2003.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΠΙΝΑΚΕΣ (1 -23)

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Replications: 10 Time Units: Hours

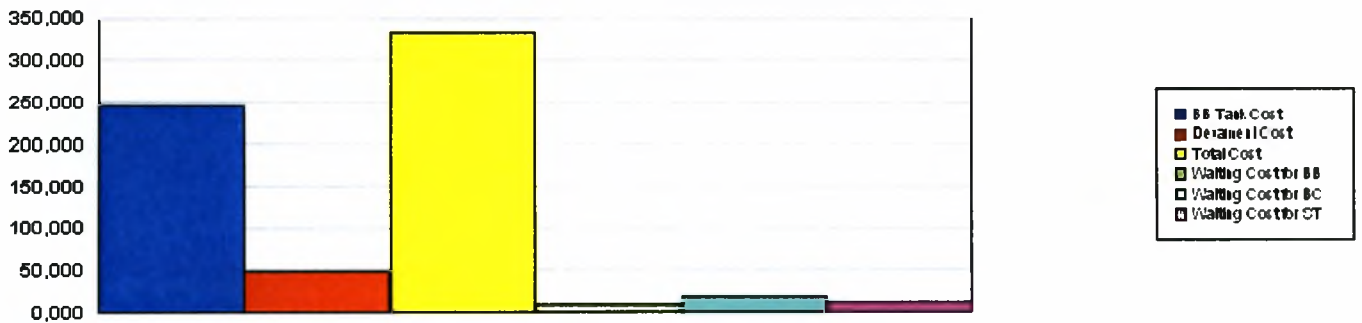
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	30.0000	0, 00	30.0000	30.0000	0.00	30.0000
Upper Level BB Tank	150.00	0, 00	150.00	150.00	0.00	150.00
Upper Level Dexameni	70.0000	0, 00	70.0000	70.0000	0.00	70.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	246.54	0, 00	246.54	246.54
Dexameni Cost	48.2895	0, 00	48.2895	48.2895
Total Cost	334.17	4, 13	324.63	339.44
Waiting Cost for BB	8.6616	3, 53	1.6395	13.8529
Waiting Cost for BC	19.4587	0, 35	18.4473	19.9845
Waiting Cost for ST	11.2131	0, 53	9.6618	12.1458



ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Replications: 10 Time Units: Hours

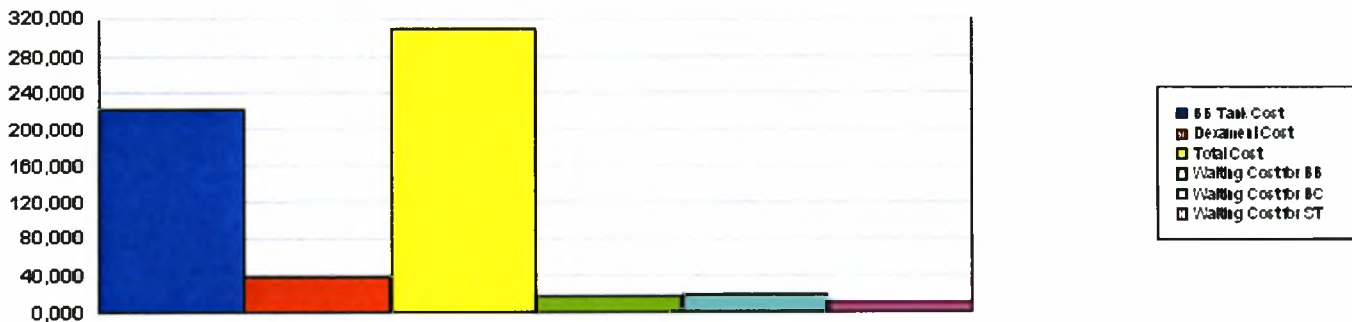
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	30.0000	0, 00	30.0000	30.0000	0.00	30.0000
Upper Level BB Tank	150.00	0, 00	150.00	150.00	0.00	150.00
Upper Level Dexameni	50.0000	0, 00	50.0000	50.0000	0.00	50.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	220.57	0, 00	220.57	220.57
Dexameni Cost	37.8731	0, 00	37.8731	37.8731
Total Cost	308.07	7, 91	290.72	318.62
Waiting Cost for BB	17.7309	7, 82	2.0669	28.2669
Waiting Cost for BC	19.9314	0, 29	19.1812	20.7200
Waiting Cost for ST	11.9603	0, 39	10.9825	13.2424

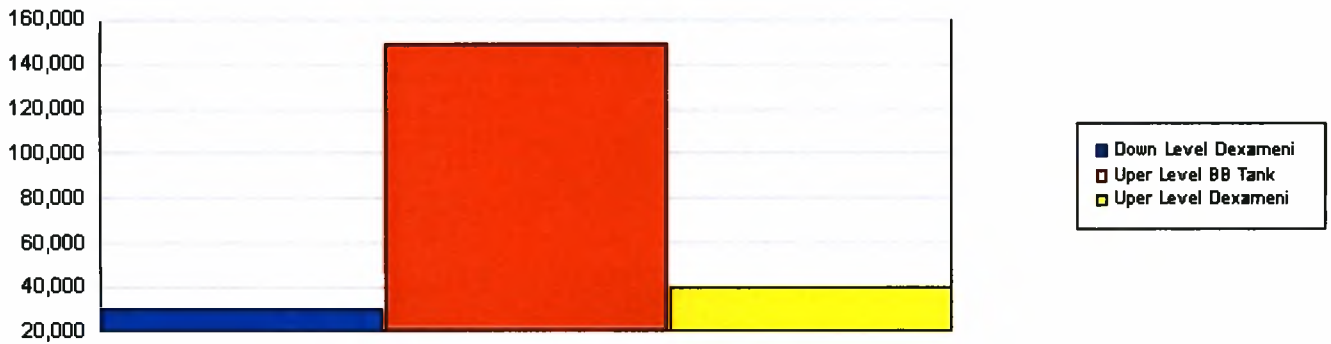


ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Replications: 10 Time Units: Hours

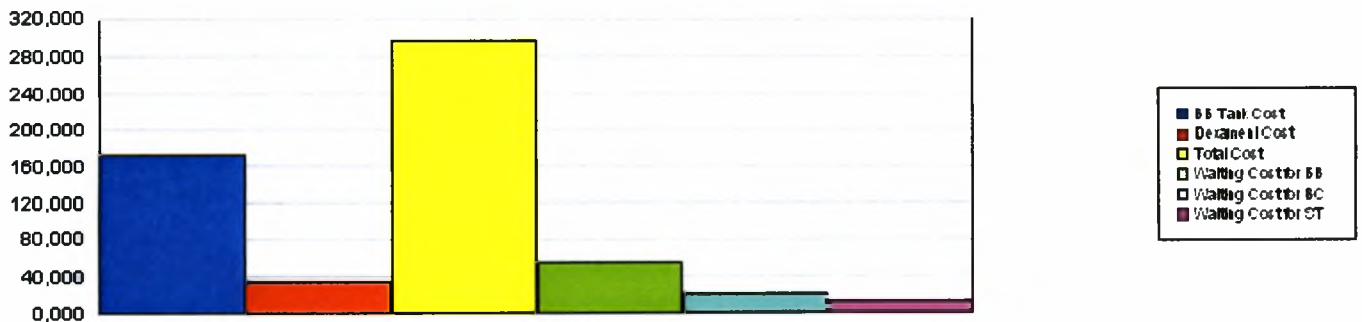
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	30.0000	0, 00	30.0000	30.0000	0.00	30.0000
Upper Level BB Tank	150.00	0, 00	150.00	150.00	0.00	150.00
Upper Level Dexameni	40.0000	0, 00	40.0000	40.0000	0.00	40.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	172.62	0, 00	172.62	172.62
Dexameni Cost	33.1046	0, 00	33.1046	33.1046
Total Cost	295.30	25, 24	240.69	325.23
Waiting Cost for BB	55.4037	24, 93	3.4955	85.0502
Waiting Cost for BC	20.7561	0, 36	19.4924	21.1863
Waiting Cost for ST	13.4193	0, 43	11.9792	14.3960



ΠΙΝΑΚΑΣ 4

Replications: 10 Time Units: Hours

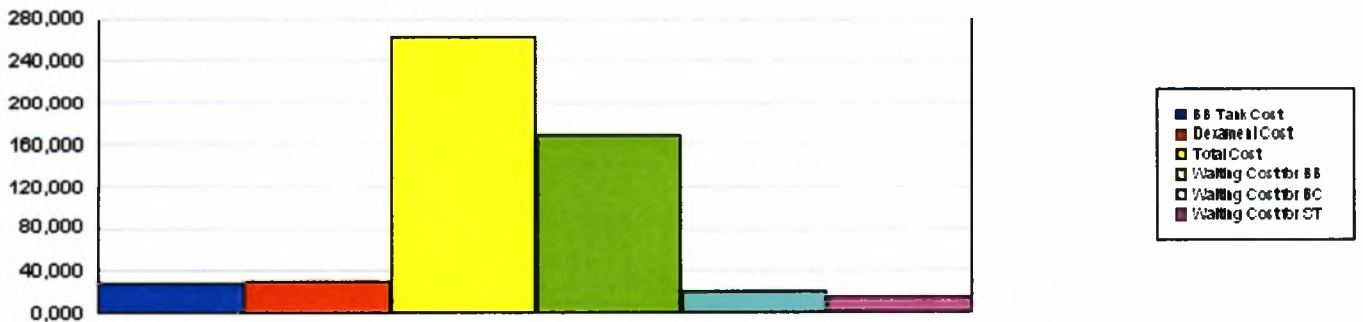
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	30.0000	0, 00	30.0000	30.0000	0.00	30.0000
Upper Level BB Tank	150.00	0, 00	150.00	150.00	0.00	150.00
Upper Level Dexameni	35.0000	0, 00	35.0000	35.0000	0.00	35.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	28.7418	0, 00	28.7418	28.7418
Dexameni Cost	30.1456	0, 00	30.1456	30.1456
Total Cost	262.63	59, 79	131.36	347.75
Waiting Cost for BB	168.42	59, 52	39.6287	253.49
Waiting Cost for BC	21.0780	0, 36	19.9279	21.7843
Waiting Cost for ST	14.2439	0, 47	12.9185	15.5755

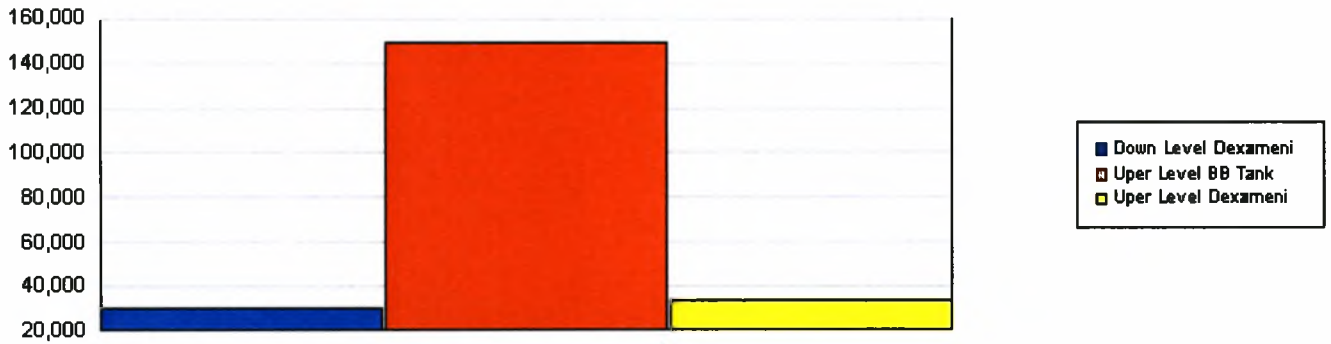


ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Replications: 10 Time Units: Hours

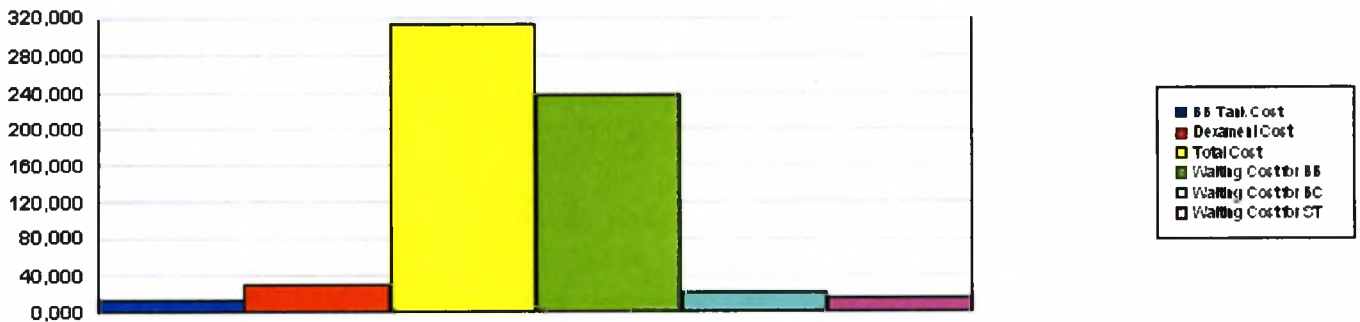
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	30.0000	0, 00	30.0000	30.0000	0.00	30.0000
Upper Level BB Tank	150.00	0, 00	150.00	150.00	0.00	150.00
Upper Level Dexameni	34.0000	0, 00	34.0000	34.0000	0.00	34.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	12.4588	0, 00	12.4588	12.4588
Dexameni Cost	29.4416	0, 00	29.4416	29.4416
Total Cost	314.01	60, 78	163.95	402.84
Waiting Cost for BB	236.51	60, 47	87.0058	325.06
Waiting Cost for BC	21.2208	0, 36	20.0898	22.0529
Waiting Cost for ST	14.3834	0, 45	13.1641	15.7553

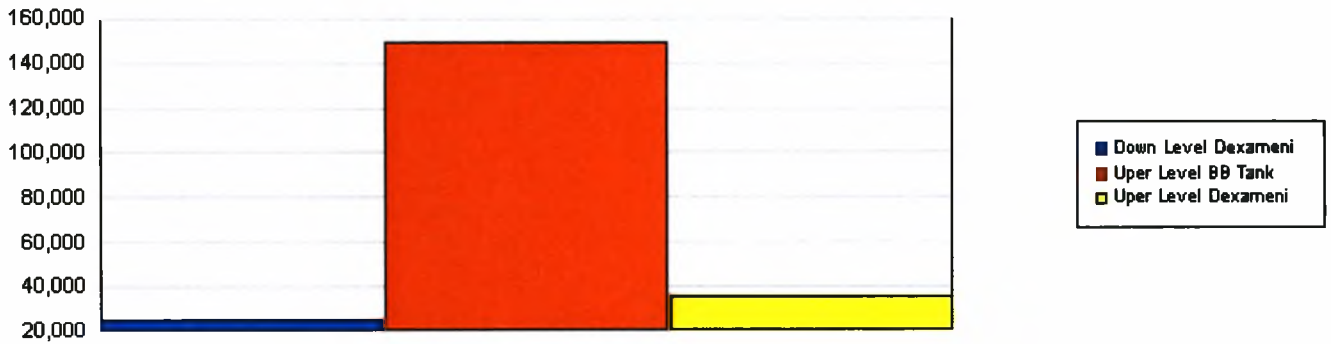


ΠΙΝΑΚΑΣ 6

Replications: 10 Time Units: Hours

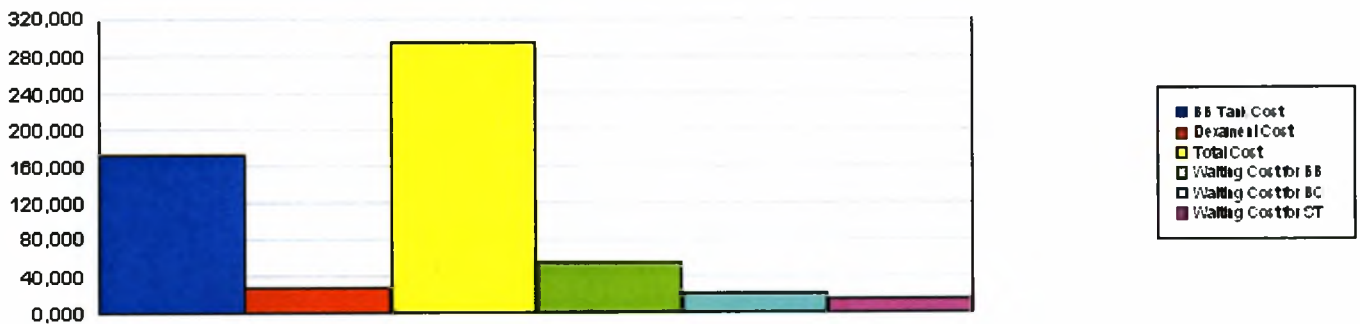
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	25.0000	0, 00	25.0000	25.0000	0.00	25.0000
Upper Level BB Tank	150.00	0, 00	150.00	150.00	0.00	150.00
Upper Level Dexameni	35.0000	0, 00	35.0000	35.0000	0.00	35.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	173.34	0, 00	173.34	173.34
Dexameni Cost	28.5571	0, 00	28.5571	28.5571
Total Cost	294.01	25, 38	239.07	324.29
Waiting Cost for BB	55.5207	25, 00	3.4991	85.3333
Waiting Cost for BC	21.5839	0, 44	20.2148	22.3595
Waiting Cost for ST	15.0060	0, 47	13.4560	15.9535



ΠΙΝΑΚΑΣ 7

Replications: 10 Time Units: Hours

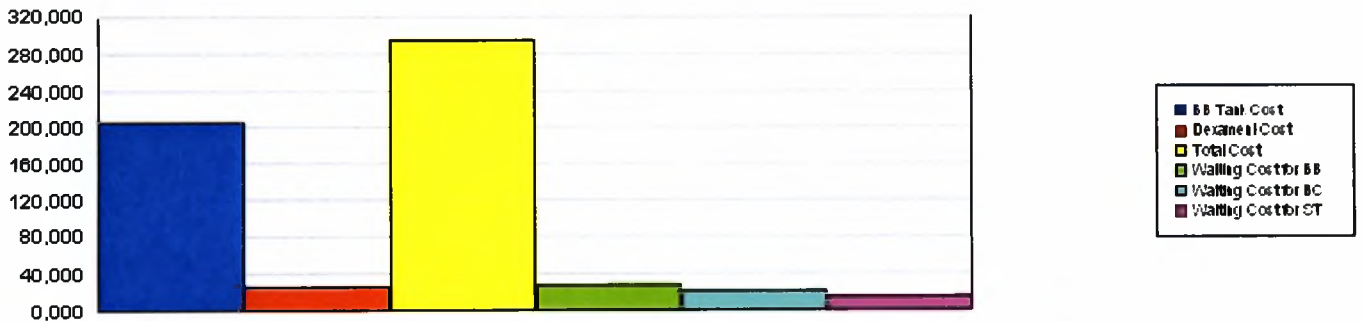
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	20.0000	0, 00	20.0000	20.0000	0.00	20.0000
Upper Level BB Tank	150.00	0, 00	150.00	150.00	0.00	150.00
Upper Level Dexameni	35.0000	0, 00	35.0000	35.0000	0.00	35.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	203.42	0, 00	203.42	203.42
Dexameni Cost	26.5509	0, 00	26.5509	26.5509
Total Cost	295.23	12, 22	268.21	310.54
Waiting Cost for BB	26.9364	11, 94	2.5859	41.6120
Waiting Cost for BC	22.1112	0, 46	20.7916	23.2724
Waiting Cost for ST	16.2115	0, 41	14.8558	17.1288

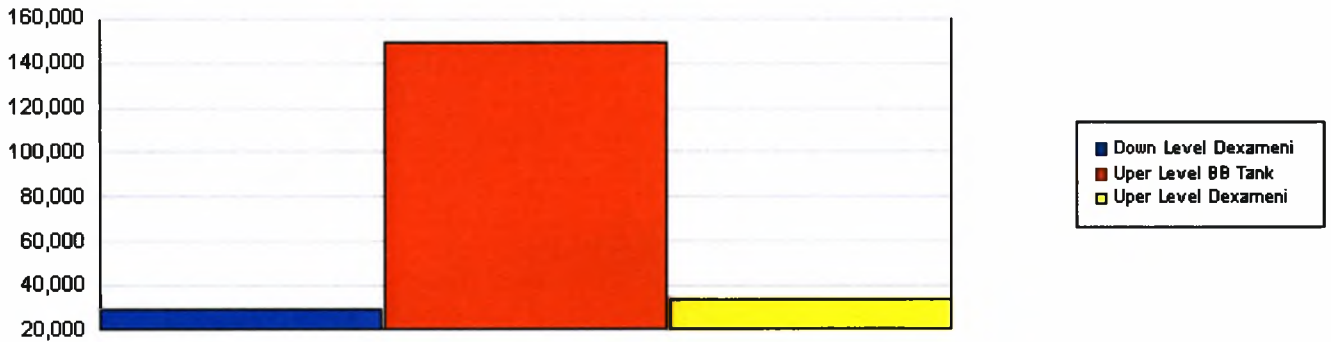


ΠΙΝΑΚΑΣ 8

Replications: 10 Time Units: Hours

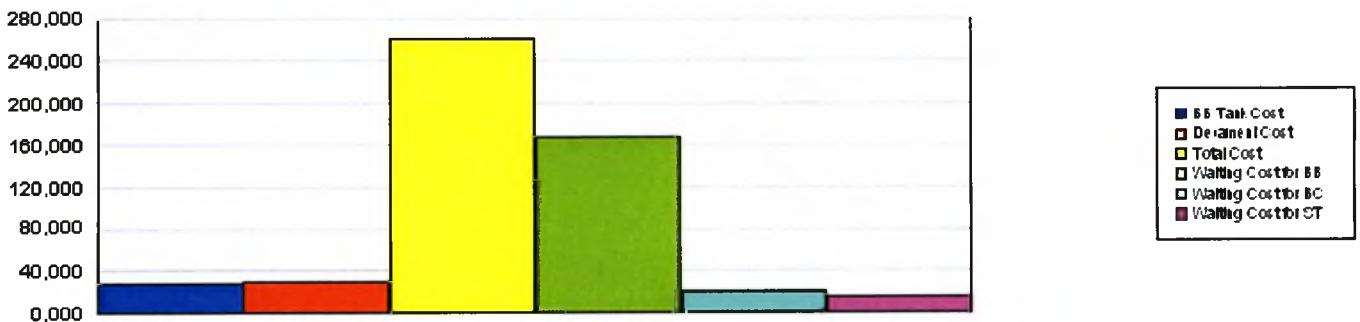
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	29.0000	0, 00	29.0000	29.0000	0.00	29.0000
Upper Level BB Tank	150.00	0, 00	150.00	150.00	0.00	150.00
Upper Level Dexameni	34.0000	0, 00	34.0000	34.0000	0.00	34.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	28.4136	0, 00	28.4136	28.4136
Dexameni Cost	29.2155	0, 00	29.2155	29.2155
Total Cost	261.75	59, 42	131.06	346.28
Waiting Cost for BB	168.24	59, 14	40.0989	252.67
Waiting Cost for BC	21.2954	0, 37	20.1170	22.0454
Waiting Cost for ST	14.5902	0, 47	13.2147	15.8891



ΠΙΝΑΚΑΣ 9

Replications: 10 Time Units: Hours

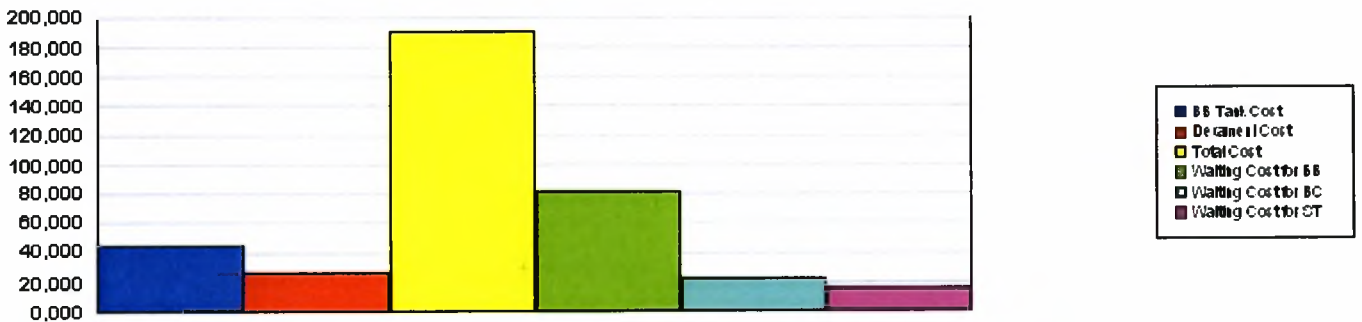
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	20.0000	0, 00	20.0000	20.0000	0.00	20.0000
Upper Level BB Tank	50.0000	0, 00	50.0000	50.0000	0.00	50.0000
Upper Level Dexameni	35.0000	0, 00	35.0000	35.0000	0.00	35.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	44.4062	0, 00	44.4062	44.4062
Dexameni Cost	26.6295	0, 00	26.6295	26.6295
Total Cost	190.66	24, 21	131.90	220.07
Waiting Cost for BB	81.0852	23, 84	25.0231	109.74
Waiting Cost for BC	22.1652	0, 46	20.8081	23.2588
Waiting Cost for ST	16.3722	0, 40	15.0379	17.1150



ΠΙΝΑΚΑΣ 10

Replications: 10 Time Units: Hours

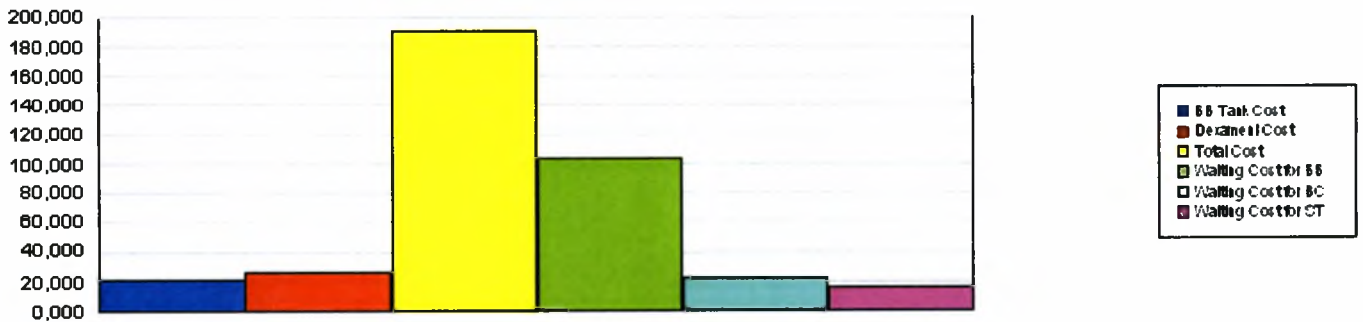
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	20.0000	0, 00	20.0000	20.0000	0.00	20.0000
Upper Level BB Tank	30.0000	0, 00	30.0000	30.0000	0.00	30.0000
Upper Level Dexameni	35.0000	0, 00	35.0000	35.0000	0.00	35.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	21.0923	0, 00	21.0923	21.0923
Dexameni Cost	26.7590	0, 00	26.7590	26.7590
Total Cost	190.77	26, 59	125.25	222.70
Waiting Cost for BB	104.40	26, 19	41.5771	135.56
Waiting Cost for BC	22.1682	0, 46	20.8185	23.2489
Waiting Cost for ST	16.3564	0, 40	15.0002	17.0490

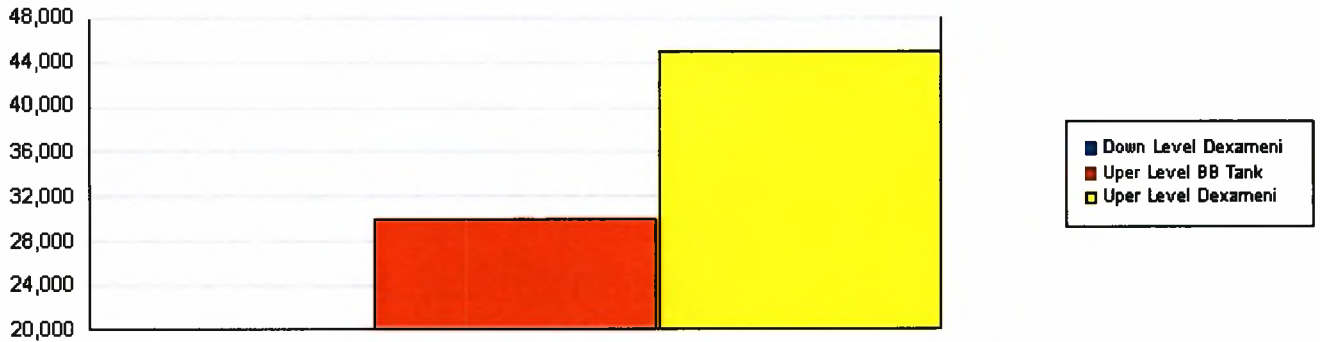


ΠΙΝΑΚΑΣ 11

Replications: 10 Time Units: Hours

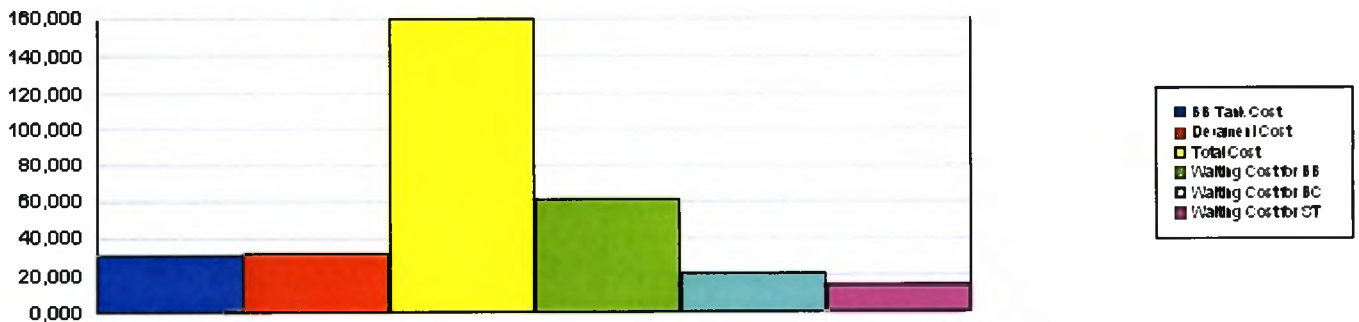
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	20.0000	0, 00	20.0000	20.0000	0.00	20.0000
Upper Level BB Tank	30.0000	0, 00	30.0000	30.0000	0.00	30.0000
Upper Level Dexameni	45.0000	0, 00	45.0000	45.0000	0.00	45.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	30.5861	0, 00	30.5861	30.5861
Dexameni Cost	31.6759	0, 00	31.6759	31.6759
Total Cost	159.75	16, 04	119.51	183.15
Waiting Cost for BB	61.4931	15, 65	23.9888	84.7439
Waiting Cost for BC	21.3432	0, 41	20.2255	22.4491
Waiting Cost for ST	14.6513	0, 48	13.0349	15.5115

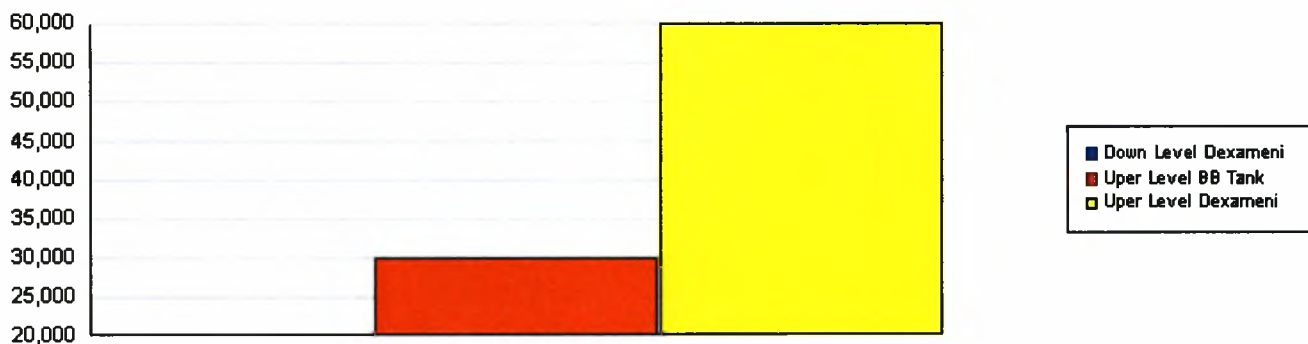


ΠΙΝΑΚΑΣ 12

Replications: 10 Time Units: Hours

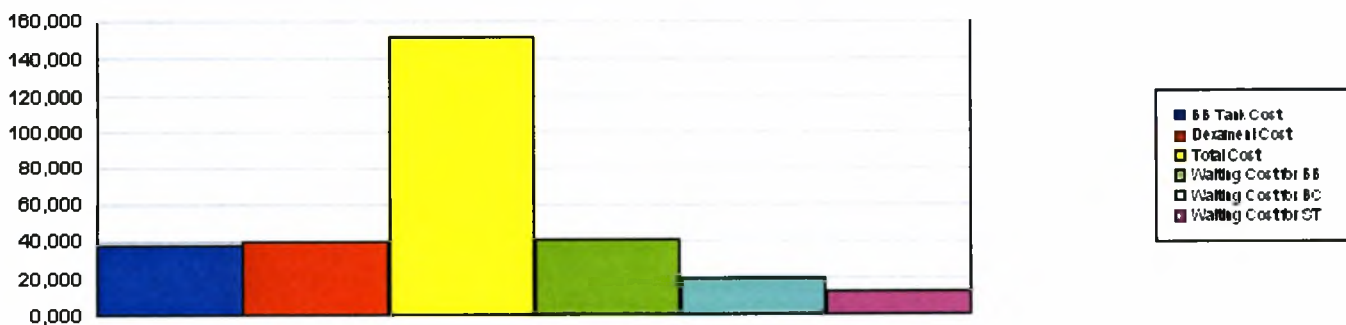
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	20.0000	0, 00	20.0000	20.0000	0.00	20.0000
Upper Level BB Tank	30.0000	0, 00	30.0000	30.0000	0.00	30.0000
Upper Level Dexameni	60.0000	0, 00	60.0000	60.0000	0.00	60.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	37.6154	0, 00	37.6154	37.6154
Dexameni Cost	39.8698	0, 00	39.8698	39.8698
Total Cost	151.70	11, 72	123.26	170.18
Waiting Cost for BB	40.8777	11, 37	14.8125	59.2176
Waiting Cost for BC	20.5222	0, 39	19.6259	21.6574
Waiting Cost for ST	12.8147	0, 45	11.3335	13.5525

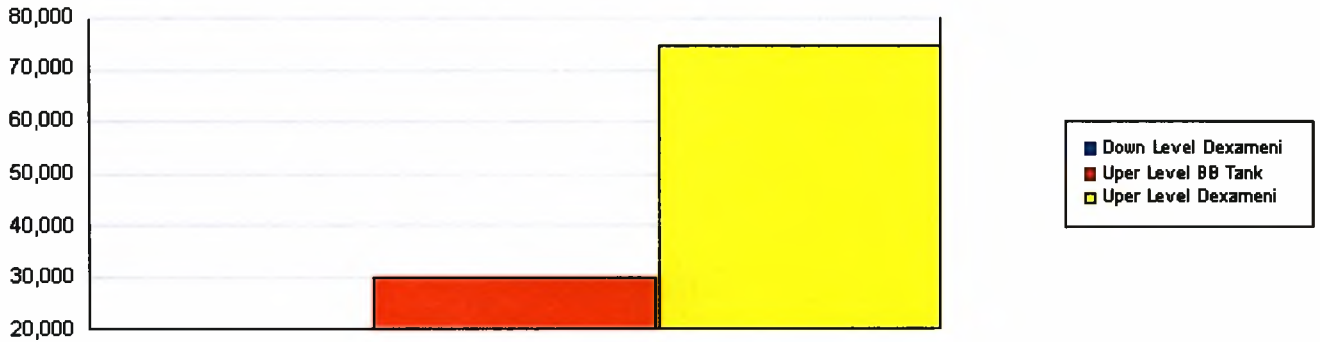


ΠΙΝΑΚΑΣ 13

Replications: 10 Time Units: Hours

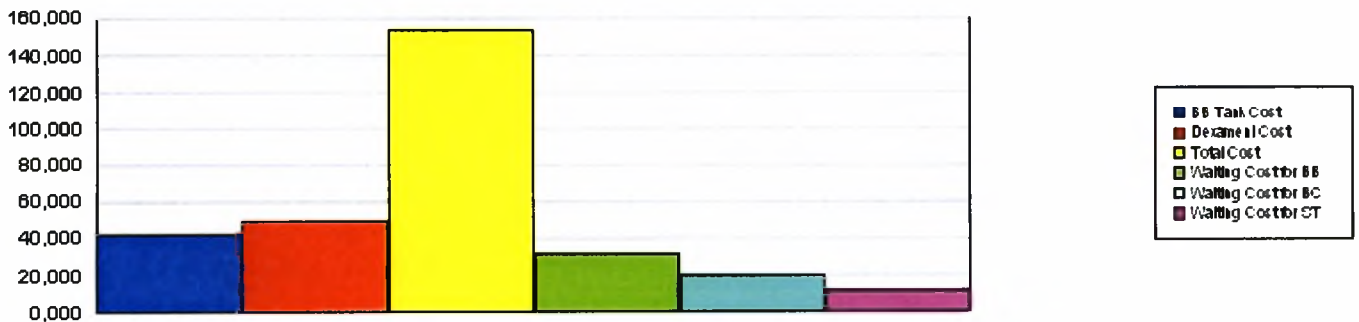
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	20.0000	0, 00	20.0000	20.0000	0.00	20.0000
Upper Level BB Tank	30.0000	0, 00	30.0000	30.0000	0.00	30.0000
Upper Level Dexameni	75.0000	0, 00	75.0000	75.0000	0.00	75.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	42.3735	0, 00	42.3735	42.3735
Dexameni Cost	49.1926	0, 00	49.1926	49.1926
Total Cost	153.90	9, 98	130.61	169.56
Waiting Cost for BB	31.2771	9, 77	9.8218	46.9293
Waiting Cost for BC	19.7630	0, 36	19.1669	20.9658
Waiting Cost for ST	11.2969	0, 37	10.0529	11.7929

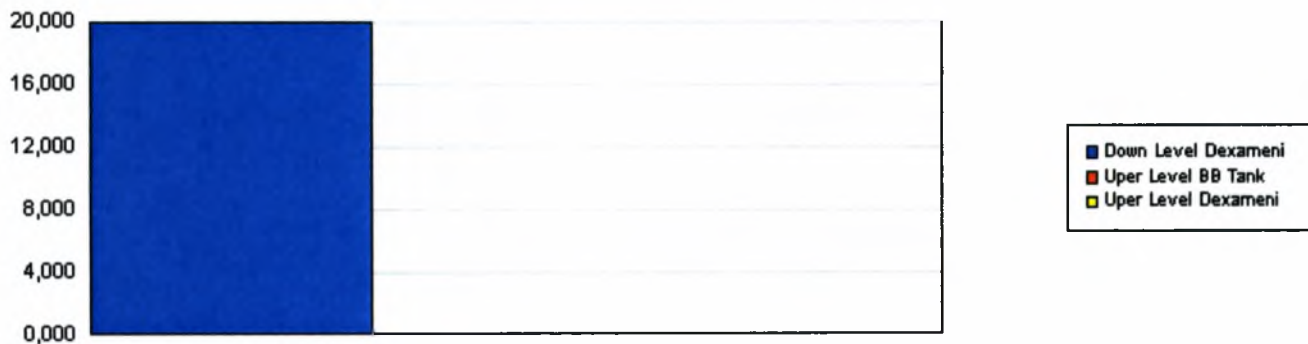


ΠΙΝΑΚΑΣ 14

Replications: 10 Time Units: Hours

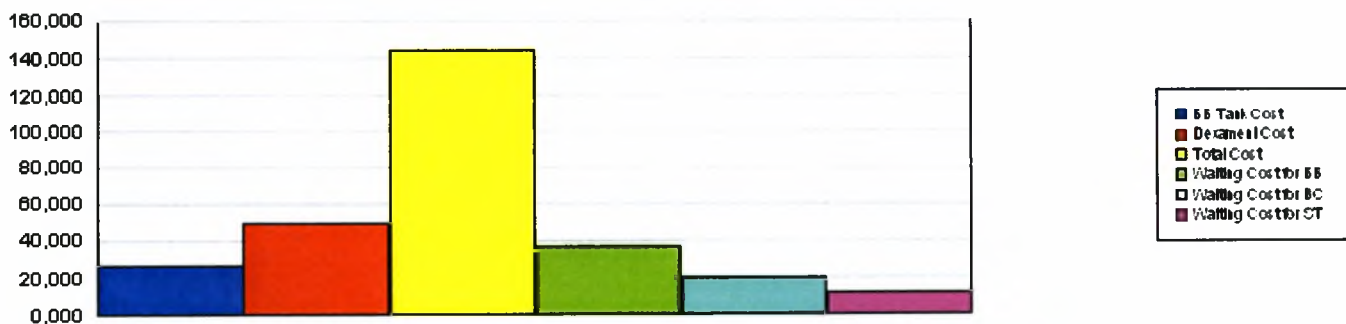
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	20.0000	0, 00	20.0000	20.0000	0.00	20.0000
Upper Level BB Tank	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Upper Level Dexameni	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	26.5842	0, 00	26.5842	26.5842
Dexameni Cost	49.3754	0, 00	49.3754	49.3754
Total Cost	144.10	10, 73	118.54	160.98
Waiting Cost for BB	37.0699	10, 52	13.3384	53.9575
Waiting Cost for BC	19.7731	0, 35	19.1862	20.9613
Waiting Cost for ST	11.2940	0, 37	10.0534	11.7923



ΠΙΝΑΚΑΣ 15

Replications: 10 Time Units: Hours

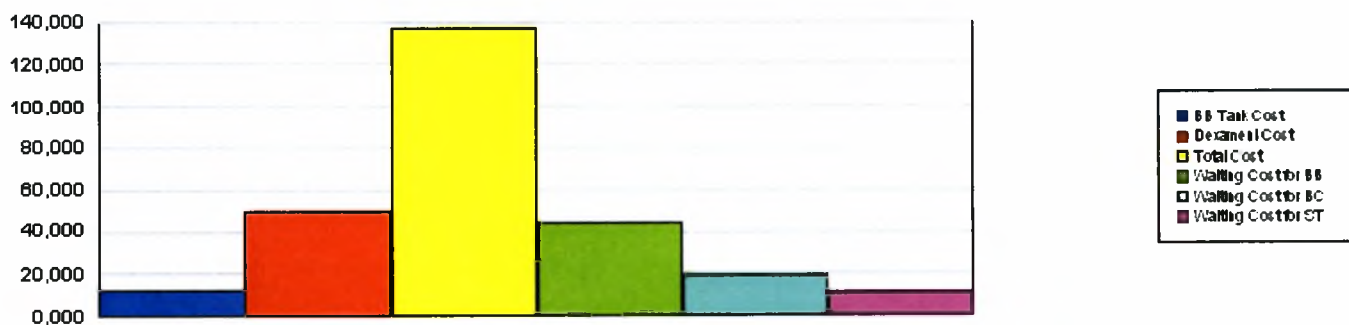
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	20.0000	0, 00	20.0000	20.0000	0.00	20.0000
Upper Level BB Tank	10.0000	0, 00	10.0000	10.0000	0.00	10.0000
Upper Level Dexameni	75.0000	0, 00	75.0000	75.0000	0.00	75.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	11.8771	0, 00	11.8771	11.8771
Dexameni Cost	49.6159	0, 00	49.6159	49.6159
Total Cost	136.94	11, 50	108.95	154.99
Waiting Cost for BB	44.3730	11, 28	18.2147	62.4161
Waiting Cost for BC	19.7794	0, 36	19.1959	20.9801
Waiting Cost for ST	11.2990	0, 37	10.0488	11.8131



ΠΙΝΑΚΑΣ 16

Replications: 10 Time Units: Hours

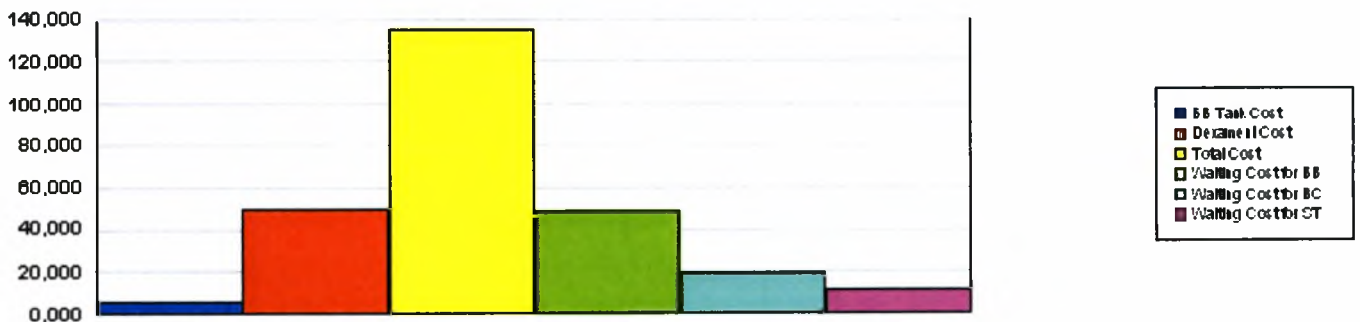
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	20.0000	0, 00	20.0000	20.0000	0.00	20.0000
Upper Level BB Tank	5.0000	0, 00	5.0000	5.0000	0.00	5.0000
Upper Level Dexameni	75.0000	0, 00	75.0000	75.0000	0.00	75.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	5.2776	0, 00	5.2776	5.2776
Dexameni Cost	49.6918	0, 00	49.6918	49.6918
Total Cost	134.97	11, 85	105.83	153.51
Waiting Cost for BB	48.9165	11, 63	21.6085	67.4733
Waiting Cost for BC	19.7751	0, 36	19.1862	21.0003
Waiting Cost for ST	11.3047	0, 37	10.0652	11.8396

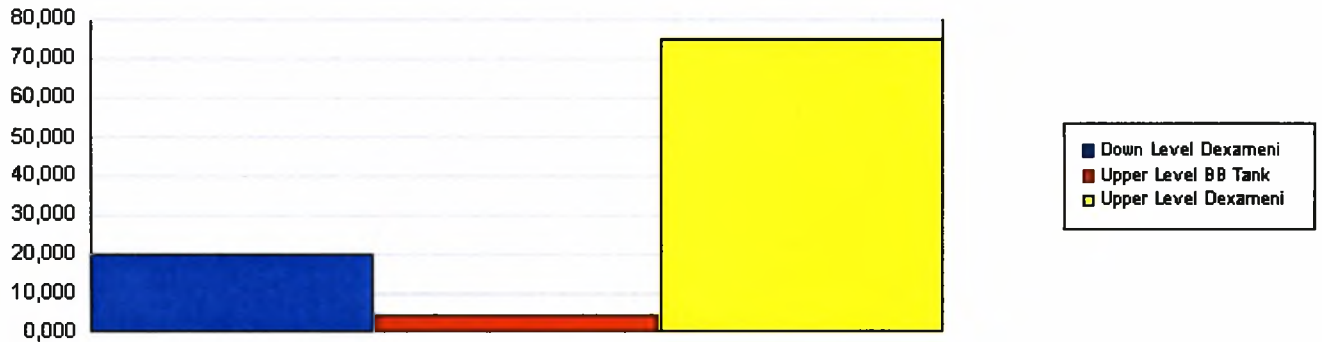


ΠΙΝΑΚΑΣ 17

Replications: 10 Time Units: Hours

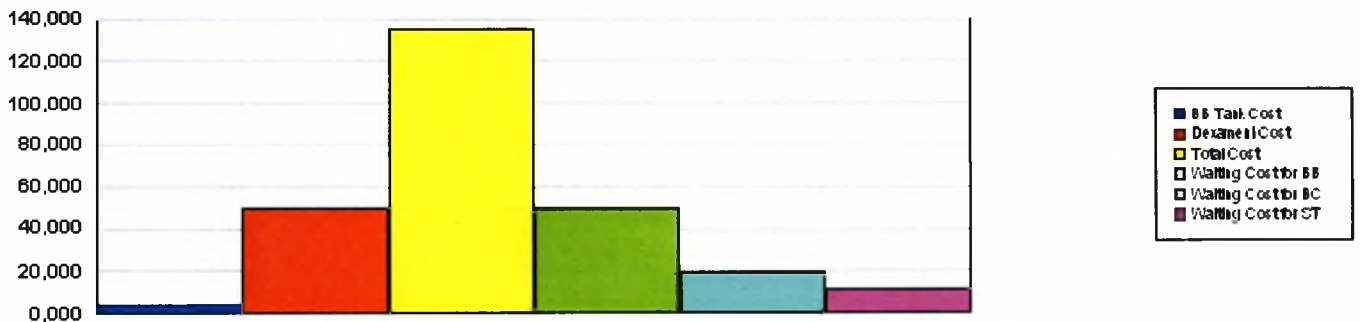
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	20.0000	0, 00	20.0000	20.0000	0.00	20.0000
Upper Level BB Tank	4.0000	0, 00	4.0000	4.0000	0.00	4.0000
Upper Level Dexameni	75.0000	0, 00	75.0000	75.0000	0.00	75.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	4.0759	0, 00	4.0759	4.0759
Dexameni Cost	49.7061	0, 00	49.7061	49.7061
Total Cost	134.88	11, 92	105.52	153.52
Waiting Cost for BB	50.0267	11, 69	22.5201	68.6618
Waiting Cost for BC	19.7741	0, 36	19.1763	20.9671
Waiting Cost for ST	11.2934	0, 37	10.0410	11.7978



ΠΙΝΑΚΑΣ 18

Replications: 10 Time Units: Hours

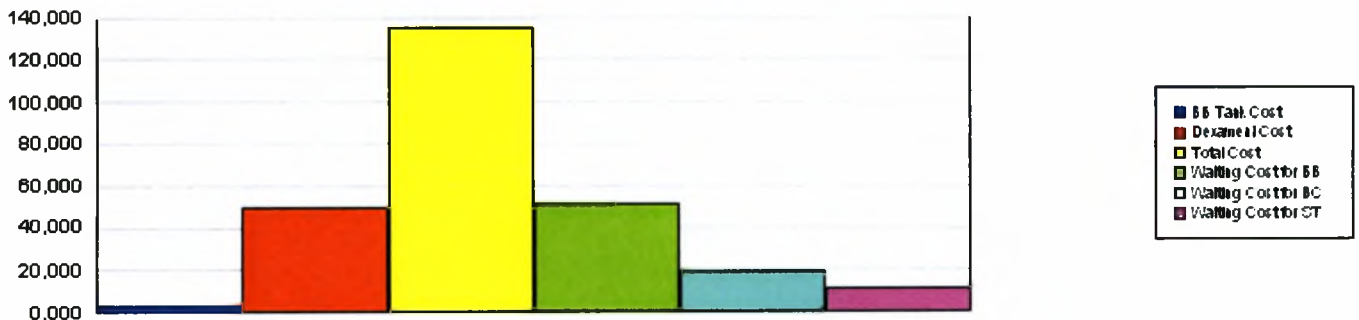
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	20.0000	0, 00	20.0000	20.0000	0.00	20.0000
Upper Level BB Tank	3.0000	0, 00	3.0000	3.0000	0.00	3.0000
Upper Level Dexameni	75.0000	0, 00	75.0000	75.0000	0.00	75.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	2.9409	0, 00	2.9409	2.9409
Dexameni Cost	49.7275	0, 00	49.7275	49.7275
Total Cost	134.94	11, 97	105.42	153.67
Waiting Cost for BB	51.2079	11, 74	23.5235	69.9293
Waiting Cost for BC	19.7776	0, 36	19.1929	20.9832
Waiting Cost for ST	11.2879	0, 38	10.0309	11.7911



ΠΙΝΑΚΑΣ 19

Replications: 10 Time Units: Hours

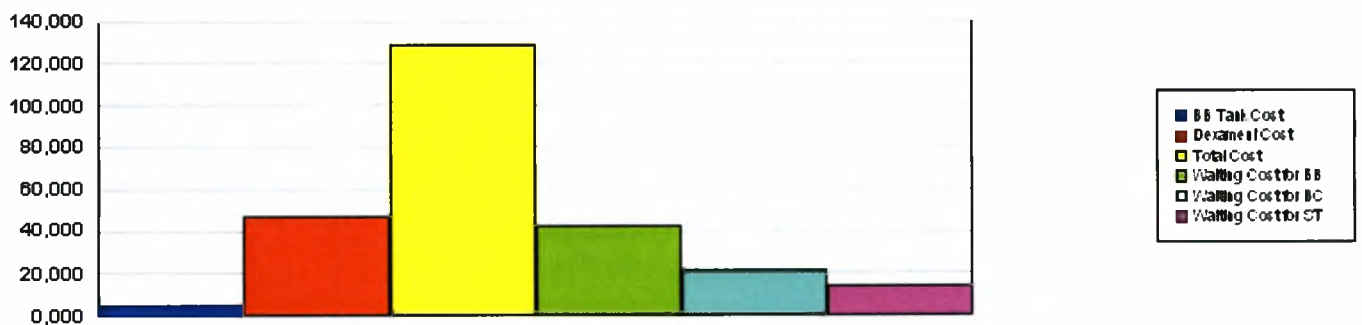
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	10.0000	0, 00	10.0000	10.0000	0.00	10.0000
Upper Level BB Tank	4.0000	0, 00	4.0000	4.0000	0.00	4.0000
Upper Level Dexameni	75.0000	0, 00	75.0000	75.0000	0.00	75.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	4.4165	0, 00	4.4165	4.4165
Dexameni Cost	47.3103	0, 00	47.3103	47.3103
Total Cost	128.50	11, 29	101.00	146.36
Waiting Cost for BB	42.3242	10, 86	17.3576	59.8837
Waiting Cost for BC	20.9120	0, 46	20.0647	22.4777
Waiting Cost for ST	13.5379	0, 52	11.8511	14.0810

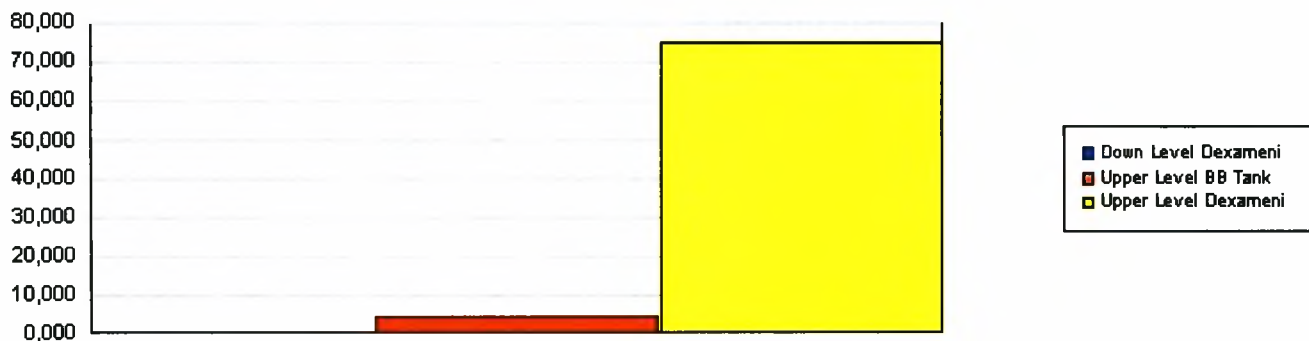


ΠΙΝΑΚΑΣ 20

Replications: 10 Time Units: Hours

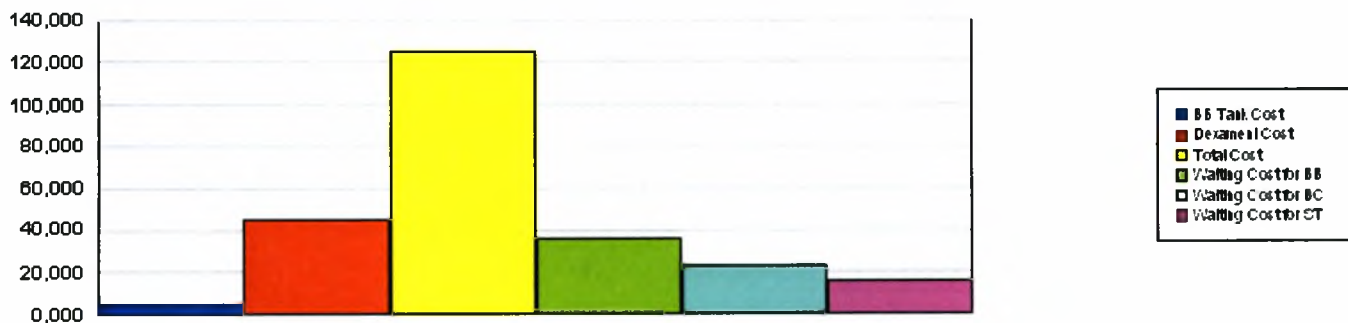
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Upper Level BB Tank	4.0000	0, 00	4.0000	4.0000	0.00	4.0000
Upper Level Dexameni	75.0000	0, 00	75.0000	75.0000	0.00	75.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	4.6575	0, 00	4.6575	4.6575
Dexameni Cost	45.5724	0, 00	45.5724	45.5724
Total Cost	125.16	10, 97	98.6301	142.56
Waiting Cost for BB	36.1659	10, 11	13.4052	52.4788
Waiting Cost for BC	22.7863	0, 55	21.4252	24.4380
Waiting Cost for ST	15.9825	0, 78	13.5698	17.0056



ΠΙΝΑΚΑΣ 21

Replications: 10 Time Units: Hours

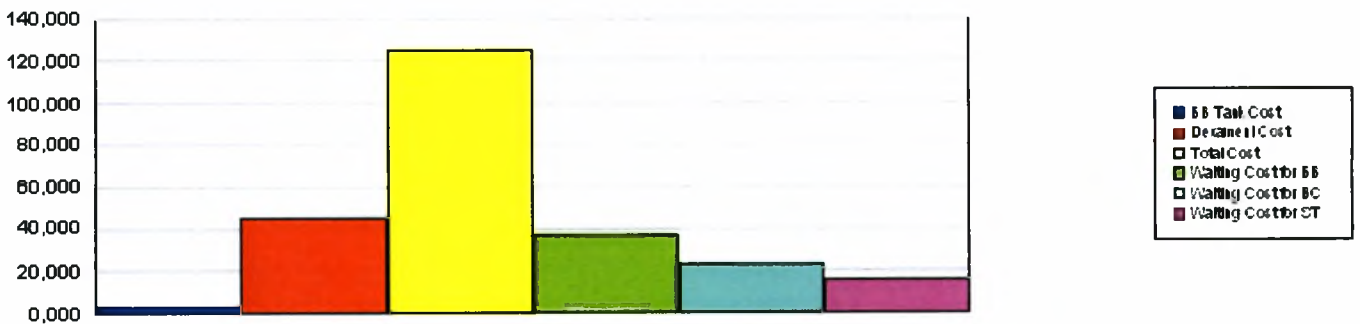
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Upper Level BB Tank	3.0000	0, 00	3.0000	3.0000	0.00	3.0000
Upper Level Dexameni	75.0000	0, 00	75.0000	75.0000	0.00	75.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	3.3598	0, 00	3.3598	3.3598
Dexameni Cost	45.5833	0, 00	45.5833	45.5833
Total Cost	124.83	11, 05	98.0775	142.35
Waiting Cost for BB	37.1388	10, 18	14.1646	53.5678
Waiting Cost for BC	22.7704	0, 55	21.3981	24.3909
Waiting Cost for ST	15.9787	0, 77	13.5716	17.0015



ΠΙΝΑΚΑΣ 22

Replications: 10 Time Units: Hours

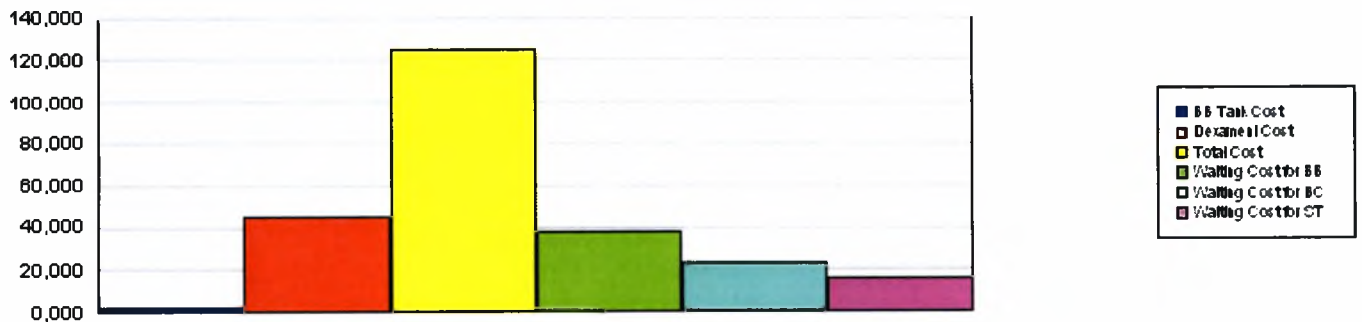
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Upper Level BB Tank	2.0000	0, 00	2.0000	2.0000	0.00	2.0000
Upper Level Dexameni	75.0000	0, 00	75.0000	75.0000	0.00	75.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	2.1498	0, 00	2.1498	2.1498
Dexameni Cost	45.6280	0, 00	45.6280	45.6280
Total Cost	124.83	11, 09	97.9275	142.42
Waiting Cost for BB	38.2886	10, 22	15.1510	54.7943
Waiting Cost for BC	22.7821	0, 55	21.4184	24.4247
Waiting Cost for ST	15.9822	0, 77	13.5804	17.0016



ΠΙΝΑΚΑΣ 23

Replications: 10 Time Units: Hours

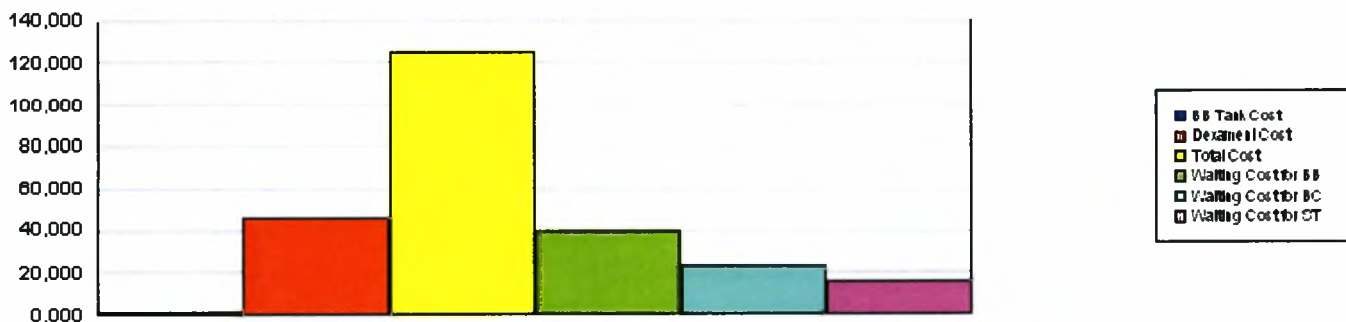
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Upper Level BB Tank	1.0000	0, 00	1.0000	1.0000	0.00	1.0000
Upper Level Dexameni	75.0000	0, 00	75.0000	75.0000	0.00	75.0000



COST

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	1.0639	0, 00	1.0639	1.0639
Dexameni Cost	45.6537	0, 00	45.6537	45.6537
Total Cost	125.29	11, 24	97.9786	142.97
Waiting Cost for BB	39.8029	10, 36	16.3084	56.3997
Waiting Cost for BC	22.7791	0, 55	21.3975	24.3936
Waiting Cost for ST	15.9866	0, 78	13.5550	17.0096



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1

Replications: 10 Time Units: Hours

Key Performance Indicators

All Entities

	Average
Non-Value Added Cost	0
Other Cost	0
Transfer Cost	0
Value Added Cost	64,579
Wait Cost	382,429
Total Cost	447,008



All Resources

	Average
Busy Cost	0
Idle Cost	0
Usage Cost	0
Total Cost	0

System

	Average
Total Cost	447,008
Number Out	90,189

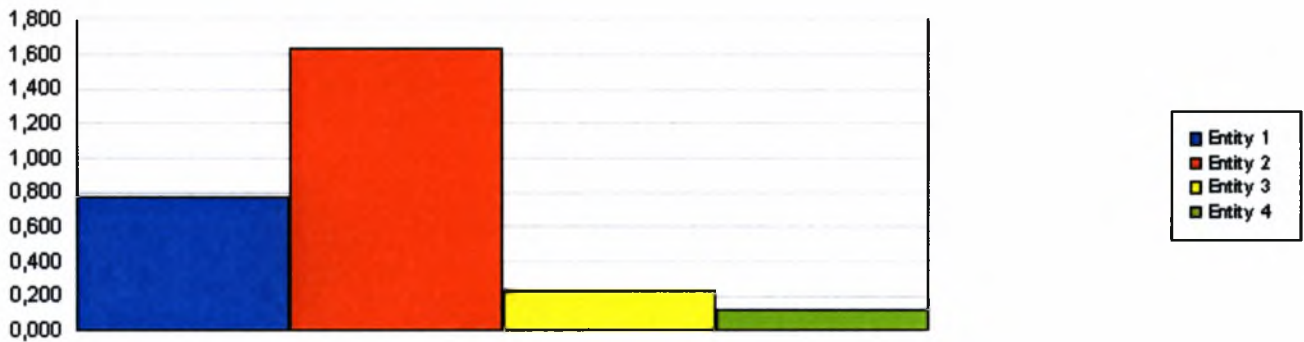
2

Replications: 10 Time Units: Hours

Entity

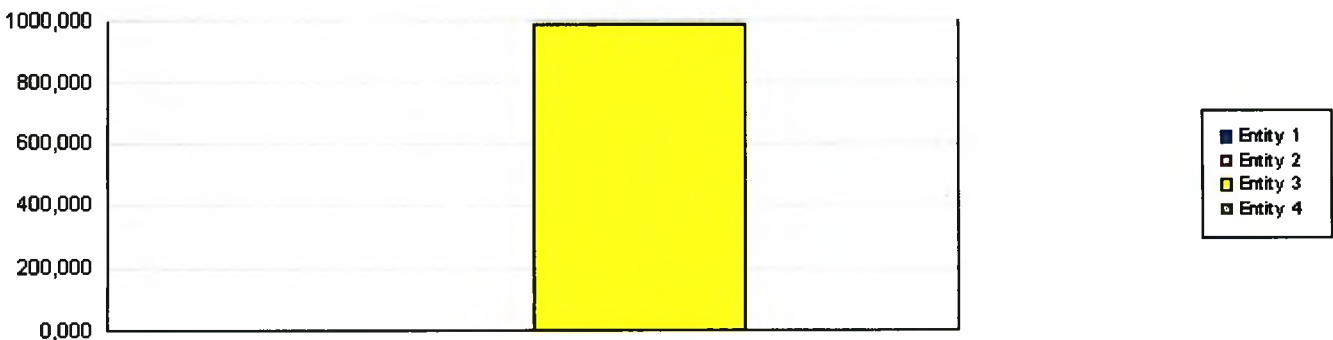
Time

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.7721	0, 03	0.6818	0.8117	0.5000	3.5000
Entity 2	1.6306	0, 02	1.5811	1.6553	1.5029	3.2500
Entity 3	0.2338	0, 00	0.2323	0.2374	0.1833	0.5000
Entity 4	0.1172	0, 00	0.1116	0.1223	0.1100	33.1772



NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 2	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 3	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.3492	0, 02	0.2844	0.4029	0.00	14.2917
Entity 2	0.3152	0, 02	0.2637	0.3516	0.00000017	9.0020
Entity 3	991.06	4, 01	981.17	996.43	2.0029	2031.64
Entity 4	0.7489	0, 35	0.05237195	1.2629	0.00	53.3033



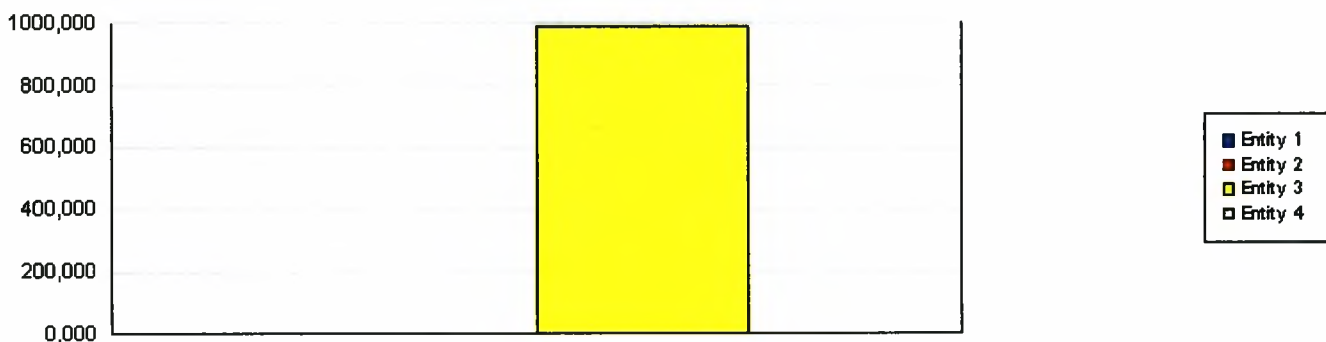
3

Replications: 10 Time Units: Hours

Entity

Time

Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 2	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 3	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 2	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 3	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	1.1213	0, 05	0.9662	1.2146	0.5000	17.7917
Entity 2	1.9459	0, 04	1.8447	1.9984	1.5029	12.2520
Entity 3	991.30	4, 00	981.41	996.67	2.1862	2031.82
Entity 4	0.8662	0, 35	0.1640	1.3853	0.1100	53.4866



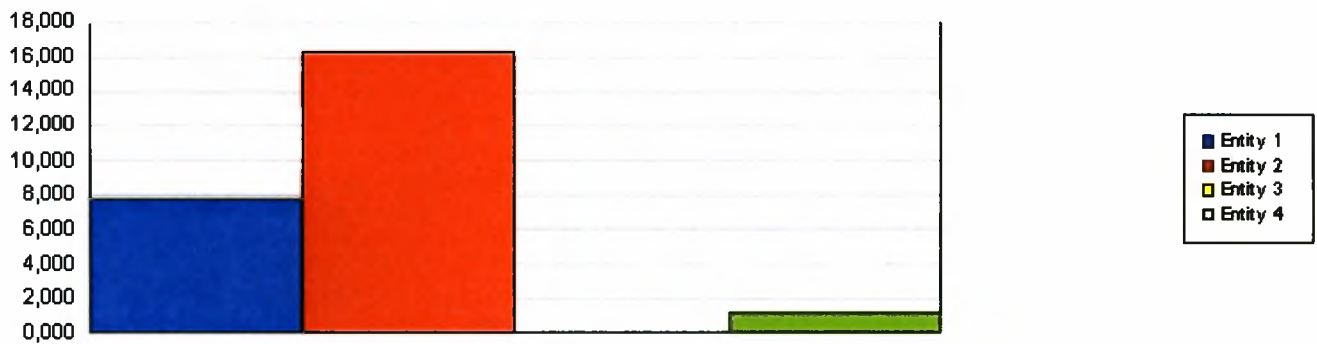
4

Replications: 10 Time Units: Hours

Entity

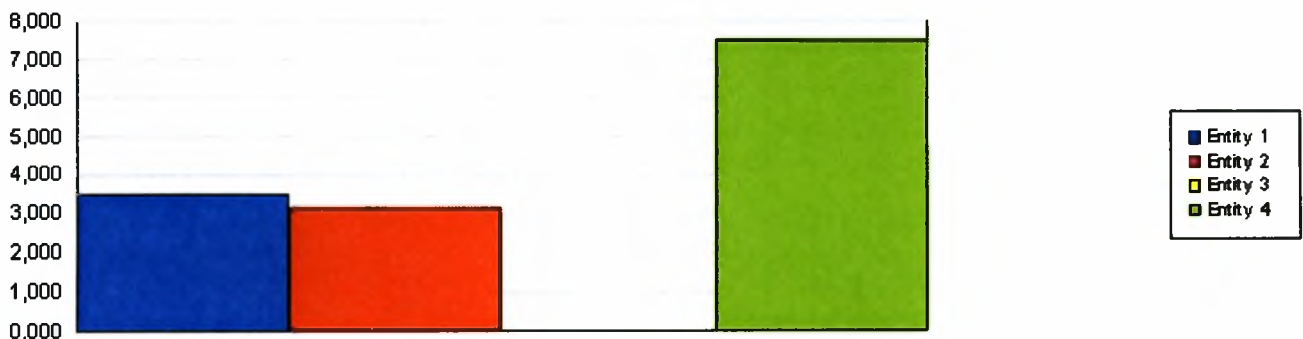
Cost

VA Cost	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	7.7209	0, 31	6.8176	8.1169	5.0000	35.0000
Entity 2	16.3063	0, 19	15.8106	16.5534	15.0289	32.5000
Entity 3	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	1.1723	0, 03	1.1158	1.2235	1.1000	331.77



NVA Cost	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 2	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 3	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00

Wait Cost	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	3.4923	0, 25	2.8442	4.0289	0.00	142.92
Entity 2	3.1524	0, 19	2.6367	3.5159	0.00000174	90.0201
Entity 3	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	7.4894	3, 50	0.5237	12.6294	0.00	533.03



5

Replications: 10 Time Units: Hours

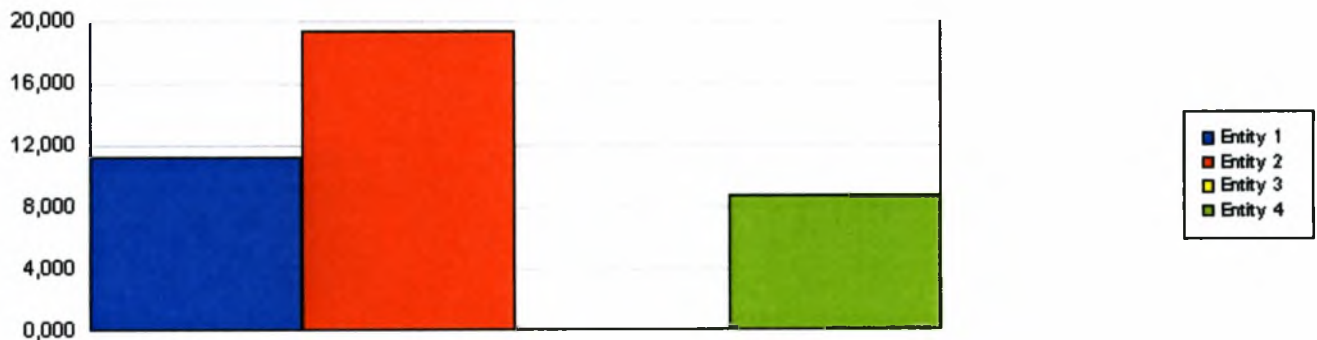
Entity

Cost

Other Cost	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 2	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 3	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00

Transfer Cost	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 2	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 3	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00

Total Cost	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	11.2131	0, 53	9.6618	12.1458	5.0000	177.92
Entity 2	19.4587	0, 35	18.4473	19.9845	15.0289	122.52
Entity 3	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Entity 4	8.6616	3, 53	1.6395	13.8529	1.1000	534.87



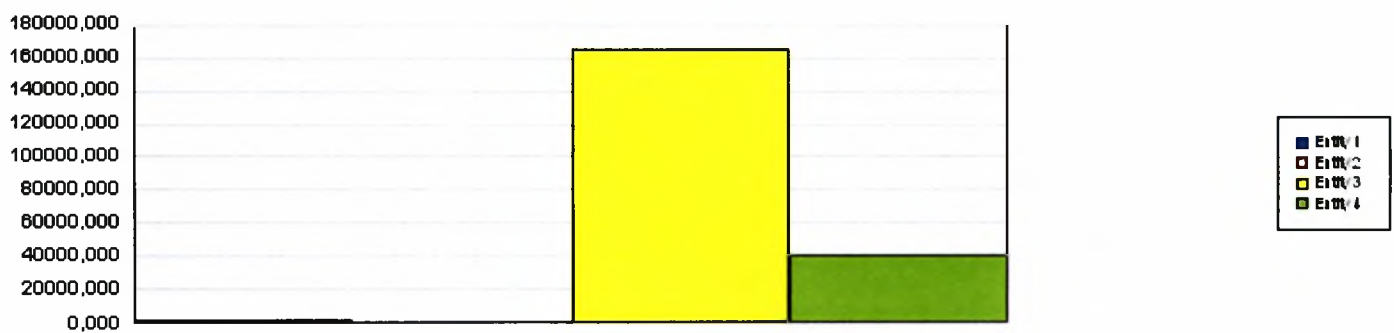
6

Replications: 10 Time Units: Hours

Entity

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Entity 1	971.90	389, 77	173.00	1768.00
Entity 2	586.10	228, 61	114.00	1069.00
Entity 3	165000.00	64.971, 00	30000.00	300000.00
Entity 4	39913.60	15.668,72	7262.00	72423.00



Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Entity 1	971.50	389, 46	173.00	1767.00
Entity 2	585.10	228, 19	114.00	1067.00
Entity 3	43545.10	17.152,95	7874.00	79186.00
Entity 4	39903.70	15.666,90	7262.00	72411.00

WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Entity 1	0.0906	0, 00	0.07581843	0.0969	0.00	5.0000
Entity 2	0.0970	0, 00	0.0950	0.1049	0.00	3.0000
Entity 3	22488.75	10, 68	22467.30	22505.84	0.00	28333.00
Entity 4	2.9123	1, 18	0.5556	4.6445	0.00	185.00

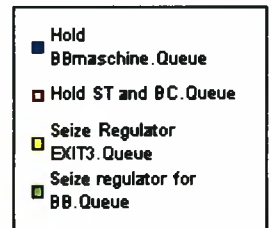
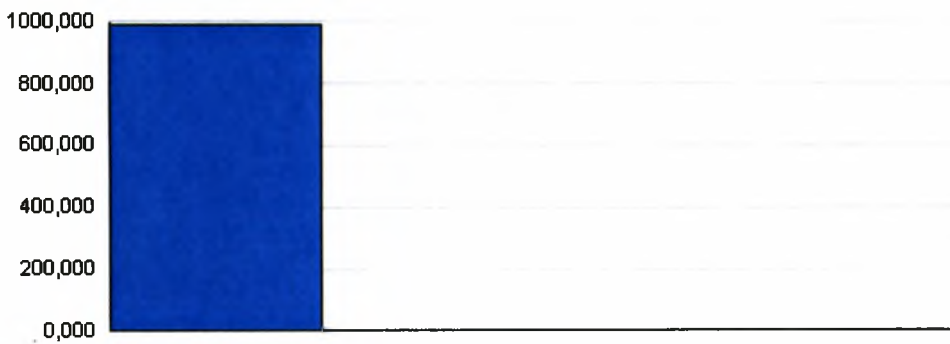
7

Replications: 10 Time Units: Hours

Queue

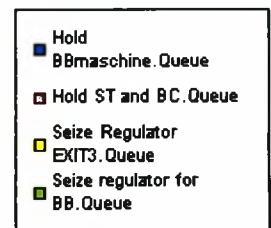
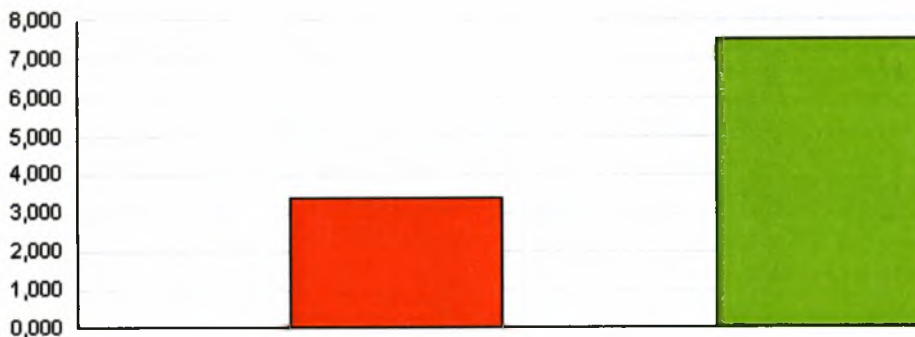
Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Hold BBmaschine. Queue	991.17	4, 00	981.31	996.53	2.0029	2031.81
Hold ST and BC. Queue	0.3371	0, 02	0.2762	0.3745	0.00	14.2917
Seize Regulator EXIT3.Queue	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Seize regulator for BB.Queue	0.7490	0, 35	0.05251766	1.2629	0.00	53.3033



Cost

Waiting Cost	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Hold BBmaschine.Queue	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hold ST and BC.Queue	3.3708	0, 22	2.7619	3.7451	0.00	142.92
Seize Regulator EXIT3.Queue	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Seize regulator for BB.Queue	7.4897	3, 50	0.5252	12.6291	0.00	533.03



8

Replications: 10 Time Units: Hours

Queue

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Hold BBmaschine.Queue	22487.89	10, 68	22466.43	22504.98	0.00	28332.00
Hold ST and BC.Queue	0.04399489	0, 00	0.03592968	0.04860111	0.00	5.0000
Seize Regulator EXIT3.Queue	0.00	0, 00	0.00	0.00	0.00	0.00
Seize regulator for BB.Queue	2.5182	1, 18	0.1792	4.2344	0.00	184.00

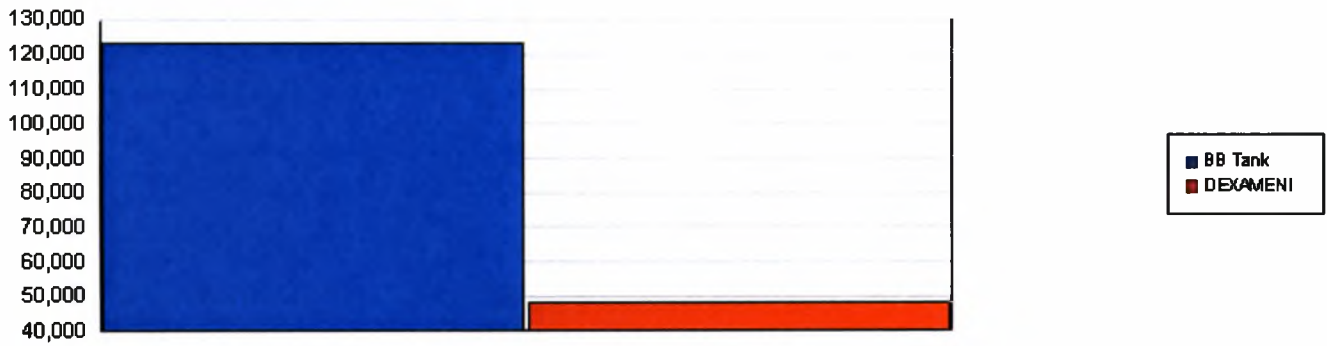
9

Replications: 10 Time Units: Hours

Tank

Usage

Level	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
BB Tank	123.27	0, 00	123.27	123.27	0.00	151.00
DEXAMENI	48.2895	0, 00	48.2895	48.2895	0.00	430.00



Total Quantity Added	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank	44301.23	17.450,73	8008.29	80527.92
DEXAMENI	84392.62	33.368,97	15403.66	153502.97

10

Replications: 10 Time Units: Hours

Tank

Usage

Total Quantity Removed	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank	43895.18	17.233,90	7988.20	79653.54
DEXAMENI	86587.74	34.237,12	15788.29	157516.07

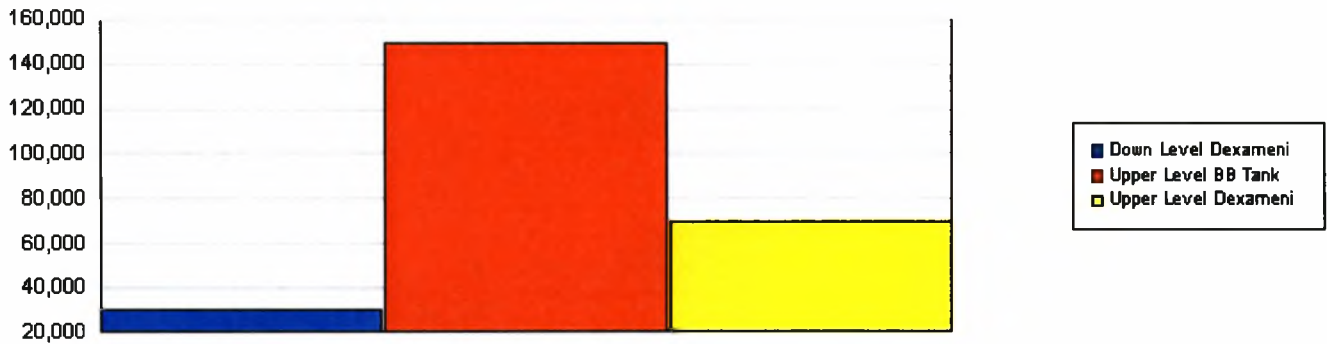
11

Replications: 10 Time Units: Hours

User Specified

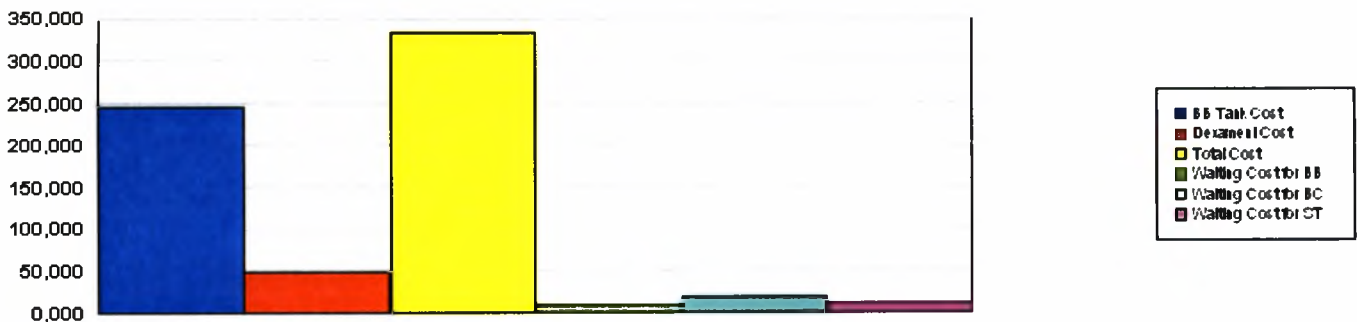
Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Down Level Dexameni	30.0000	0,00	30.0000	30.0000	0.00	30.0000
Upper Level BB Tank	150.00	0,00	150.00	150.00	0.00	150.00
Upper Level Dexameni	70.0000	0,00	70.0000	70.0000	0.00	70.0000



Output

Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
BB Tank Cost	246.54	0,00	246.54	246.54
Dexameni Cost	48.2895	0,00	48.2895	48.2895
Total Cost	334.17	4,13	324.63	339.44
Waiting Cost for BB	8.6616	3,53	1.6395	13.8529
Waiting Cost for BC	19.4587	0,35	18.4473	19.9845
Waiting Cost for ST	11.2131	0,53	9.6618	12.1458





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000089119