ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μεταπτυχιακή Εργασία

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΔΥΟ ΑΝΑΞΙΟΠΙΣΤΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΝ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΧΩΡΟ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

υπό

ΚΡΑΪΑ ΙΩΑΝΝΗ

Διπλωματούχου Μηχανικού Παραγωγής & Διοίκησης, 2011

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 9445/1
Ημερ. Εισ.: 30-03-2011
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ
658.5
ΚΡΑ

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

2011

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

© 2011 Ιωάννης Κράιας

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

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Γεώργιος Κοζανίδης Λέκτορας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Δημήτριος Παντελής Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας μου, 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 μεταπτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. Γεώργιο Κοζανίδη, Δημήτριο Παντελή, για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Ευχαριστώ τον συνάδελφο και συνεργάτη μου Κολωνιάρη Γεώργιο για την πολύτιμη βοήθειά του στον προγραμματισμό με C. Ευχαριστώ τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξή τους. Επίσης, ευχαριστώ τον συνέταιρο μου Βαγγέλη Βούλγαρη για την κατανόησή του, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων μηνών της προσπάθειάς μου. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στην οικογένεια μου, στον αδελφό μου Παναγιώτη Κράια και στη μητέρα μου Κωνσταντίνα Κράια Πετρέλη για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτήν την μεταπτυχιακή εργασία στη μνήμη του πατέρα μου Εμμανουήλ Κράια.

Ιωάννης Κράιας

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΔΥΟ ΑΝΑΞΙΟΠΙΣΤΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΝ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΧΩΡΟ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΡΑΪΑΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2011

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Γεώργιος Λυμπερόπουλος, Καθηγητής Στοχαστικών Μεθόδων στη Διοίκηση Παραγωγής

Περίληψη

Το αντικείμενο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας είναι η εκτίμηση της απόδοσης μέσω προσομοίωσης ενός συστήματος παραγωγής που αποτελείται από δυο αναξιόπιστες μηχανές εν σειρά με ενδιάμεσο χώρο αποθήκευσης. Αρχικά, περιγράφονται αναλυτικά όλες οι πιθανές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί το σύστημα καθώς και όλα τα πιθανά γεγονότα που μπορούν να αλλάξουν κάθε κατάσταση. Στη συνέχεια, αναπτύσσεται ένας αλγόριθμος προσομοίωσης του συστήματος, ο οποίος κωδικοποιείται στη γλώσσα προγραμματισμού C. Το προκύπτον πρόγραμμα προσομοίωσης χρησιμοποιείται για να διερευνηθεί η επίδραση σημαντικών παραμέτρων του συστήματος, όπως είναι οι μέσοι ρυθμοί επεξεργασίας, βλάβης και επισκευής των μηχανών και η χωρητικότητα του ενδιάμεσου χώρου αποθήκευσης σε σημαντικά μέτρα απόδοσης του συστήματος, όπως είναι η παροχή, η πιθανότητα μπλοκαρίσματος της πρώτης μηχανής και η πιθανότητα «ατροφίας» της δεύτερης μηχανής. Στο τέλος, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή 1

1.1 Γραμμές παραγωγής 1

1.2 Βασικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες πραγματικών γραμμών παραγωγής 3

Κεφάλαιο 2 Προσομοίωση συστήματος δύο μηχανών εν σειρά με χώρο ενδιάμεσης αποθήκευσης 7

2.1 Περιγραφή του συστήματος 7

2.2 Γεγονότα και καταστάσεις συστήματος 7

2.3 Προσομοίωση συστήματος 13

2.4 Μεγέθη που υπολογίζονται με την προσομοίωση του συστήματος 16

Κεφάλαιο 3 Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοίωσης 19

3.1 Αρχικοποίηση του συστήματος 19

3.1.1 Έναρξη αλγορίθμου και προσομοίωσης 19

3.2 Παρουσίαση πειραματικών ελέγχων 19

3.2.1 Πρώτος πειραματικός έλεγχος 19

3.2.2 Δεύτερος πειραματικός έλεγχος 22

3.2.3 Τρίτος πειραματικός έλεγχος 23

3.2.4 Τέταρτος πειραματικός έλεγχος 25

3.2.5 Πέμπτος πειραματικός έλεγχος 27

3.2.6 Έκτος πειραματικός έλεγχος 29

3.2.7 Έβδομος πειραματικός έλεγχος 33

Κεφάλαιο 4 Συμπεράσματα 36

Βιβλιογραφία 37

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 3-1: Μέσος όρος για *P1=P2=10, F1=F2=0.1, R1=R2=2* 20

Πίνακας 3-2: Τυπική απόκλιση για *P1=P2=10, F1=F2=0.1, R1=R2=2* 21

Πίνακας 3-3: Διάστημα εμπιστοσύνης για *P1=P2=10, F1=F2=0.1, R1=R2=2* 21

Πίνακας 3-4: Μέσος όρος για *P1=P2=10, F1=F2=0.1, N=10* 22

Πίνακας 3-5: Τυπική απόκλιση για *P1=P2=10, F1=F2=0.1, N=10* 23

Πίνακας 3-6: Διάστημα εμπιστοσύνης για *P1=P2=10, F1=F2=0.1, N=10* 23

Πίνακας 3-7: Μέσος όρος για *P1=P2=10, R1=R2=2, N=10* 24

Πίνακας 3-8: Τυπική απόκλιση για *P1=P2=10, R1=R2=2, N=10* 25

Πίνακας 3-9: Διάστημα εμπιστοσύνης για *P1=P2=10, R1=R2=2, N=10* 25

Πίνακας 3-10: Μέσος όρος για *P1=P2=10, N=10* 26

Πίνακας 3-11: Τυπική απόκλιση για *P1=P2=10, N=10* 27

Πίνακας 3-12: Διάστημα εμπιστοσύνης για *P1=P2=10, N=10* 27

Πίνακας 3-13: Μέσος όρος για *P1=10, F1=F2=0.1, R1=R2=2, N=10* 28

Πίνακας 3-14: Τυπική απόκλιση για *P1=10, F1=F2=0.1, R1=R2=2, N=10* 29

Πίνακας 3-15: Διάστημα εμπιστοσύνης για *P1=10, F1=F2=0.1, R1=R2=2, N=10* . 29

Πίνακας 3-16: Μέσος όρος για *P1=P2 με a=0.05 και b=0.15, F1=F2=0,1, R1=R2=2* 31

Πίνακας 3-17: Τυπική απόκλιση για *P1=P2 με a=0.05 και b=0.15, F1=F2=0,1, R1=R2=2* 32

Πίνακας 3-18: Διάστημα εμπιστοσύνης για *P1=P2 με a=0.05 και b=0.15, F1=F2=0,1, R1=R2=2* 32

Πίνακας 3-19: Μέσος όρος για *P1=P2=10, F1=F2 με a=5 και b=15, R1=R2 με a=0,16 και b=0.83* 33

Πίνακας 3-20: Τυπική απόκλιση για *P1=P2=10, F1=F2 με a=5 & b=15, R1=R2 με a=0,16& b=0.83* 35

Πίνακας 3-21:Διάστημα εμπιστοσύνης *P1=P2=10, F1=F2 με a=5& b=15, R1=R2 με a=0,1& b=0.83* 35

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1-1: Διάγραμμα συστήματος παραγωγής 1

Σχήμα 2-1 :Κατάσταση A=3, 0<=n<=N, b=0, s=0..... 9

Σχήμα 2-2:Κατάσταση A=1, 0<=n<=N, b=0, s=0..... 10

Σχήμα 2-3:Κατάσταση A=2, 0<=n<=N, b=0, s=0..... 10

Σχήμα 2-4:Κατάσταση A=0, 0<=n<=N, b=0, s=0..... 10

Σχήμα 2-5:Κατάσταση A=3, n=N, b=1, s=0 11

Σχήμα 2-6:Κατάσταση A=1, 0n=N, b=1, s=0 11

Σχήμα 2-7:Κατάσταση A=2, n=N, b=1, s=0 11

Σχήμα 2-8:Κατάσταση A=0, n=N, b=1, s=0 12

Σχήμα 2-9:Κατάσταση A=3, n=0, b=0, s=1 12

Σχήμα 2-10:Κατάσταση A=1, n=0, b=0, s=1 12

Σχήμα 2-11:Κατάσταση A=2, n=0, b=0, s=1 13

Σχήμα 2-12:Κατάσταση A=0, n=0, b=0, s=1 13

Σχήμα 3-1: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει της χωρητικότητας του buffer..... 20

Σχήμα 3-2 Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρισματος και πείνας συναρτήσει της χωρητικότητας του buffer 21

Σχήμα 3-3: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει των ρυθμών επιδιόρθωσης 22

Σχήμα 3-4: Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρίσματος και πείνας συναρτήσει των ρυθμών επιδιόρθωσης 23

Σχήμα 3-5: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει των ρυθμών βλαβών..... 24

Σχήμα 3-6: Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρίσματος και πείνας συναρτήσει των ρυθμών βλαβών..... 25

Σχήμα 3-7: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει των ρυθμών βλαβών και επιδιόρθωσης 26

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Σχήμα 3-8: Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρίσματος και πείνας συναρτήσει των ρυθμών βλαβών και επιδιόρθωσης 27

Σχήμα 3-9: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει του ρυθμού παραγωγής της M2 28

Σχήμα 3-10: Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρίσματος και πείνας συναρτήσει του ρυθμού παραγωγής της M2 29

Σχήμα 3-11: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει της χωρητικότητας του buffer 31

Σχήμα 3-12: Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρίσματος και πείνας συναρτήσει της χωρητικότητας του buffer 32

Σχήμα 3-13: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει της χωρητικότητας του buffer 34

Σχήμα 3-14: Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρίσματος και πείνας συναρτήσει της χωρητικότητας του buffer 34

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Γραμμές παραγωγής

Τα συστήματα γραμμών παραγωγής συνεχόμενης ροής προϊόντων αποτελούνται από σταθμούς επεξεργασίας και χώρους ενδιάμεσης αποθήκευσης. Τα προϊόντα προς επεξεργασία ρέουν από έναν σταθμό επεξεργασίας στον χώρο ενδιάμεσης αποθήκευσης που έπεται και στη συνέχεια στον επόμενο σταθμό επεξεργασίας. Στο μοντέλο που θα εξεταστεί και περιγραφεί, τα προϊόντα προς επεξεργασία περνάνε μόνο μια φορά από κάθε σταθμό επεξεργασίας και χώρο αποθήκευσης με καθορισμένη σειρά. Στη γενική μορφή, υπάρχει ένας αρχικός σταθμός επεξεργασίας στον όποιο αρχικά εισέρχονται τα προϊόντα και ένας τελικός σταθμός επεξεργασίας από τον οποίο τα προϊόντα εξέρχονται του συστήματος. Οι χρόνοι επεξεργασίας των προϊόντων στον εκάστοτε σταθμό επεξεργασίας μπορεί να θεωρηθούν τυχαίοι, επειδή κατά την λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος υπάρχουν παράγοντες που τους επηρεάζουν και που δεν μπορεί να προβλεφτούν, όπως είναι διαφορές στην ποιότητα των υλικών, την ταχύτητα εργασίας των εργαζομένων, την διαθεσιμότητα εργαλείων και αναλωσίμων υλικών, απρόβλεπτες βλάβες που μπορεί να προκύψουν στην λειτουργία των σταθμών επεξεργασίας καθώς και στους χρόνους επιδιόρθωσης αυτών. Οι ενδιάμεσοι αποθηκευτικοί χώροι έχουν συγκεκριμένη χωρητικότητα αποθήκευσης προϊόντων. Είθισται οι χώροι επεξεργασίας να αποκαλούνται μηχανές. Υποθέτουμε ότι κάθε μηχανή δεν μπορεί να επεξεργασθεί ένα καινούργιο προϊόν εφόσον δεν έχει ολοκληρώσει το προϊόν που ήδη επεξεργάζεται. Επίσης, υποθέτουμε ότι κάθε προϊόν προς επεξεργασία ακολουθεί με την σειρά τις μηχανές στις οποίες πρόκειται να επεξεργαστεί καθώς και τους ενδιάμεσους αποθηκευτικούς χώρους.

Μεγάλη χρησιμότητα των εν λόγω γραμμών παραγωγής παρατηρείται στις περιπτώσεις οπού απαιτείται μεγάλη και μαζική παραγωγή. Παρατίθεται διάγραμμα συστήματος γραμμής παραγωγής το όποιο αποτελείται από πέντε μηχανές και τέσσερις αποθηκευτικούς χώρους.

Σχήμα 1-1: Διάγραμμα συστήματος παραγωγής

Οι κύκλοι συμβολίζουν τις μηχανές και τα τετράγωνα τους ενδιάμεσους αποθηκευτικούς χώρους. Οι μηχανές αριθμούνται από 1 έως k όπου k είναι ο συνολικός αριθμός μηχανών στο σύστημα. Σε ένα τέτοιο σύστημα, υπάρχουν $k-1$ αποθηκευτικοί χώροι και συμβολίζονται με $B_{i,i+1}$, όπου i η μηχανή πριν τον

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

αποθηκευτικό χώρο και $i + 1$ η επομένη. Έτσι, τα προϊόντα προς επεξεργασία εισέρχονται στην μηχανή M1, στη συνέχεια στον αποθηκευτικό χώρο $B_{1,2}$, στην μηχανή M2 κ.ο.κ. μέχρι την μηχανή Mk, από όπου και εξέρχονται του συστήματος. Σε κάθε έξοδό τους από μια μηχανή, αν η επόμενη μηχανή είναι διαθέσιμη, τότε η παραμονή τους στον χώρο ενδιάμεσης αποθήκευσης είναι ακαριαία. Πρακτικά, αυτό μπορεί να σημαίνει ότι δεν περνούν καν από τον χώρο ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Είναι προφανές ότι σε ένα τέτοιο σύστημα παίζει μεγάλο ρόλο ο χρόνος των βλαβών και ο χρόνος των επιδιορθώσεων για αυτό και είναι πολύ σημαντικό να προσδιορίζεται ο τρόπος της τυχαιότητας των χρονών αυτών. Τα μέτρα απόδοσης τα όποια προσδιορίζονται και επηρεάζονται άμεσα από την αλλαγή ή μετατροπή των χρονών αυτών, είναι η παροχή του συστήματος, η πιθανότητες μπλοκαρίσματος και ατροφίας των μηχανών, καθώς επίσης και ο μέσος όρος του επιπέδου του ενδιάμεσου αποθηκευτικού χώρου.

Όταν μια μηχανή τελειώνει την επεξεργασία ενός προϊόντος δέχεται το επόμενο είτε από την προηγούμενη μηχανή απευθείας, αν συμπίπτουν οι χρόνοι ολοκλήρωσης, είτε από τον προηγούμενο αποθηκευτικό ενδιάμεσο χώρο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του επιπέδου του αποθηκευτικού χώρου. Από την άλλη πλευρά, όταν μια μηχανή υποστεί βλάβη ή ο χρόνος επεξεργασίας είναι αρκετά μεγάλος τότε το επίπεδο του αποθηκευτικού χώρου που βρίσκεται πριν από αυτή τη μηχανή αυξάνεται. Αντίθετα, το επίπεδο του αποθηκευτικού χώρου μετά την μηχανή αυτή πέφτει. Συνεπώς όταν ο αποθηκευτικός χώρος πριν την μηχανή που έπαθε βλάβη γεμίσει τότε λέμε ότι η μηχανή που είναι πριν από την χαλασμένη μηχανή είναι μπλοκαρισμένη μιας και δεν μπορεί να αδειάσει το προϊόν που μόλις επεξεργάστηκε και να ξεκινήσει άλλο καινούργιο προϊόν. Επίσης όταν ο αποθηκευτικός χώρος μετά την μηχανή αδειάσει τότε η μηχανή που είναι μετά την χαλασμένη μηχανή δεν θα μπορεί πλέον να δουλέψει, επειδή δεν υπάρχει προϊόν διαθέσιμο προς επεξεργασία. Σε αυτήν την περίπτωση λέμε ότι η μηχανή αυτή πεινάει ή βρίσκεται σε ατροφία. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι τέτοιες μακροχρόνιες βλάβες ή ακόμα και μεγάλοι χρόνοι επιδιόρθωσης επηρεάζουν άμεσα την απόδοση του συστήματος. Δηλαδή των συνολικό αριθμό τελικών παραγόμενων προϊόντων στο σύνολο όλης της γραμμής παραγωγής. Επομένως ο ρυθμός παραγωγής του συστήματος ή παροχή περιορίζεται από δυο βασικούς παράγοντες

- Ο ρυθμός παραγωγής του συστήματος (παροχή) δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερος από το μικρότερο ρυθμό επεξεργασίας οποιασδήποτε μηχανής.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

- Όταν οι ρυθμοί επεξεργασίας είναι αρκετά διαφοροποιημένοι ή όταν συμβαίνουν βλάβες, ιδιαίτερα με μεγάλους χρόνους επιδιόρθωσης, είναι συχνά τα φαινόμενα μπλοκαρίσματος και ατροφίας σε κάποιες μηχανές.

Είναι λοιπόν σαφές ότι εάν είναι εφικτό οι χρόνοι επεξεργασίας όλων των μηχανών να είναι σωστά συγχρονισμένοι καθώς επίσης και οι ρυθμοί των βλαβών και των επιδιορθώσεων τότε αυτό θα μειώσει τις περιπτώσεις των φαινομένων μπλοκαρίσματος και ατροφίας με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας της γραμμής παραγωγής.

Για το σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων παραγωγής και την μελέτη αυτών με στόχο την όσο δυνατόν καλύτερη και αξιόπιστη εφαρμογή τους, απαιτείται η δημιουργία και ανάλυση μοντέλων που να ανταποκρίνονται στις πραγματικές καταστάσεις στις οποίες μπορούν να βρεθούν. Κατά την λειτουργία τέτοιων συστημάτων, ένα σύνολο από πιθανές καταστάσεις και ενδεχόμενα είναι υπαρκτά και είναι πιθανόν να συμβούν. Για αυτό το λόγο θα πρέπει πάντα να είναι προσεκτική η επιλογή των οποιοδήποτε μαθηματικών εργαλείων η μοντελοποιήσεων ώστε ο κάθε πειραματικός έλεγχος να ανταποκρίνεται στις πραγματικές καταστάσεις. Για παράδειγμα είναι τελείως διαφορετικό ένα σύστημα που επεξεργάζεται το ίδιο προϊόν και απλά υπάρχει μια τυχαιότητα στους χρόνους επεξεργασίας και τελείως διαφορετικό η επεξεργασία διαφορετικής φύσης προϊόντων.

Η προσπάθεια μελέτης τέτοιων συστημάτων αναξιόπιστων ως προς την ποικιλία των παραγόντων που μπορούν να τα επηρεάσουν, οδηγεί στην εφαρμογή μοντέλων με ιδανικές συνθήκες και εκτιμήσεις ενσωματώνοντας όμως την τυχαιότητα όλων αυτών των παραγόντων.

1.2 Βασικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες πραγματικών γραμμών παραγωγής

Οι γραμμές παραγωγής εκτός από ακαδημαϊκό ενδιαφέρον παρουσιάζουν και μεγάλο οικονομικό ενδιαφέρον μιας και αποτελούν εργαλείο για την μαζική αλλά και ποιοτική παραγωγή μεγάλης γκάμας προϊόντων. Μεγάλο τμήμα των οικονομιών των κρατών παγκοσμίως στηρίζεται σε αυτές. Οπότε η αξία τους είναι πολυσήμαντη και για αυτό ο άνθρωπος επιχειρεί την συνεχή εξέλιξη τους, οργάνωσης τους, βελτιστοποίηση τους, με σκοπό την όσο δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση τους.

Τα περισσότερα συστήματα σε πραγματικές συνθήκες είναι ασυγχρόνιστα. Και αυτό διότι οι μηχανές του συστήματος δεν είναι περιορισμένες στο να ξεκινάνε και να τελειώνουν την λειτουργία τους συγχρονισμένα. Ακόμα και στα συστήματα οπού οι χρόνοι λειτουργίας είναι κοντρολαρισμένοι και έχουν ίδιους χρόνους κύκλου η

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

παρουσία των χωρών αποθήκευσης τους δίνει τη δυνατότητα να ξεκινάνε και τελειώνουν την λειτουργία τους σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητα. Εν τέλει και η ύπαρξη απροβλέπτων και ακαθόριστων βλαβών των μηχανών καθώς και των χρόνων επιδιόρθωσης δεν μπορούν να καταστίσουν χρόνους λειτουργίας των μηχανών συγχρονισμένους.

Έτσι λόγο της αβεβαιότητας των χρόνων, τα ασυγχρόνιστα μοντέλα τέτοιων συστημάτων παραγωγής δεν μπορούν να χειριστούν με ντετερμινιστικά μαθηματικά μοντέλα. Ο μη προσδιορισμός ακριβών και μη σταθεροποιημένων χρόνων καθιστά το χειρισμό τους εξαιρετικά δύσκολο.

Για την εύρεση ακριβών λύσεων λοιπόν, έχουν μελετηθεί και δημιουργηθεί αναλυτικές μαθηματικές μέθοδοι. Όταν όμως τα συστήματα αυτά γίνονται μεγάλα και οι παράμετροι παρά πολλοί δεν είναι δυνατόν να επιλυθούν από τις αναλυτικές μεθόδους. Για το λόγο αυτό καταφεύγουμε σε προσεγγιστικά μαθηματικά μοντέλα ή προτιμάται η προσομοίωση τους για μεγάλο χρονικό διάστημα με προσεκτική πάντα επιλογή των μαθηματικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται.

Οι πρώτες ύλες που απαιτούνται για την κατασκευή των τελικών πριονωτών φτάνουν και είναι σε διαθεσιμότητα με διαφόρους τρόπους. Καθώς επίσης και μετά το τέλος της συνολικής επεξεργασία τους. Με βάσει λοιπόν τον τρόπο που τροφοδοτείται η γραμμή παραγωγής και τον τρόπο με τον όποιο απομακρύνονται τα προϊόντα υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες. Στη μια κατηγορία υποθέτετε ότι το σύστημα συνεχώς τροφοδοτείται ενώ υπάρχει πάντα αρκετός χώρος αποθήκευσης μετά το τέλος της συνολικής επεξεργασίας τους. Σε αυτή την κατηγορία η πρώτη μηχανή δεν υπάρχει περίπτωση να πεινάσει ενώ η τελευταία μηχανή δεν υπάρχει περίπτωση να μπλοκαριστεί. Στη δεύτερη κατηγορία υπάρχουν συνήθως αποθηκευτικοί χώροι στην αρχή και στο τέλος της γραμμής παραγωγής οπότε εισέρχονται και νέα δεδομένα στο σύστημα καθώς πλέον οι ρυθμοί που τροφοδοτείται και αδειάζει το σύστημα είναι συγκεκριμένοι. Στη παρούσα θα γίνει έλεγχος για την πρώτη κατηγορία.

Έχουν αναφερθεί τα φαινόμενα πείνας και μπλοκαρίσματος. Επίσης ότι οι αποθηκευτικοί ενδιάμεσοι χώροι είναι ανάμεσα από δυο μηχανές. Μια μηχανή πεινάει όταν είναι σε λειτουργία και ο αποθηκευτικός χώρος πριν από αυτήν είναι άδειος με αποτέλεσμα ενώ μπορεί να επεξεργαστεί αυτό να μην γίνεται. Μια μηχανή μπλοκάρεται όταν, ενώ είναι σε λειτουργία και έχει ολοκληρώσει ένα προϊόν δεν μπορεί να το διώξει και να δεχθεί ένα επόμενο διότι ο χώρος αποθήκευσης μετά την μηχανή αυτή είναι γεμάτος. Επομένως είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερος είναι αποθηκευτικός χώρος τόσο αυξάνεται ο ρυθμός απόδοσης του συστήματος.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Επιπλέον οι γραμμές παραγωγής χωρίζονται και σε δυο επιπλέον κατηγορίες. Στις γραμμές παραγωγής με αξιόπιστες μηχανές. Και σε γραμμές παραγωγής με αναξιόπιστες μηχανές. Πολλές φόρες διάφοροι παράγοντες επιδρούν και απλά συμβαίνουν και οι μηχανές των γραμμών παραγωγής μπορούν να πάθουν βλάβες. Μια ποικιλία υποθέσεων μπορεί να γίνει κάτω από ποιες συνθήκες συμβαίνουν οι βλάβες σε μια μηχανή, πόσο χρόνο διαρκούν, την τυχαιότητα των χρονών αυτών καθώς και πόσος χρόνος θα περάσει μέχρι την επομένη βλάβη. Μια γραμμή παραγωγή με τέτοιες μηχανές ονομάζεται γραμμή παραγωγής με αναξιόπιστες μηχανές. Μια γραμμή παραγωγής οπού οι μηχανές δεν παθαίνουν βλάβες ονομάζεται γραμμή παραγωγής με αξιόπιστες μηχανές.

Έτσι μεγάλο ενδιαφέρον αποτελεί στις γραμμές παραγωγής με αναξιόπιστες μηχανές πόσο επηρεάζεται το σύστημα από τις βλάβες, πόσο τυχαίες ή όχι είναι οι βλάβες, αν ακολουθούν κάποια κατανομή και ποια είναι αυτή. Έτσι περά από την τυχαιοτητα των χρόνων επεξεργασίας το σύστημα επηρεάζεται και από την τυχαιοτητα των ρυθμών και την τυχαιοτητα των βλαβών. Ενώ στις γραμμές παραγωγής με αξιόπιστες μηχανές η τυχαιοτητα τους συστήματος εξαρτάται μονό από την τυχαιοτητα των ρυθμών επεξεργασίας. Συνήθως βέβαια οι ρυθμοί βλαβών ακολουθούν εκθετική κατανομή στις περισσότερες περιπτώσεις αλλά στη παρούσα θα μελετηθεί και άλλο είδος κατανομής.

Υπάρχουν δυο είδη ροών στις γραμμές παραγωγής. Οι γραμμές παραγωγής με διακριτό τύπο προϊόντων προς εξεργασία και η συνεχής ροη. Στην πρώτη περίπτωση συγκαταλέγονται διακριτοί τύποι προϊόντων τα όποια μεμονωμένα μπαίνουν στην γραμμή παραγωγής προς επεξεργασία ενώ στην δεύτερη περίπτωση συγκαταλέγονται προϊόντα συνεχούς ροής. Τα συστήματα που έχουν συνεχή ροή πολλές φόρες για να μοντελοποιηθούν γίνεται κατηγοριοποίηση τους σε διακριτά μεγέθη. Και στις δυο περιπτώσεις οι μηχανές μπορούν πάθουν βλάβη και να επηρεαστούν οι ρυθμοί παραγωγής τους συστήματος.

Έχει μεγάλο ενδιαφέρον από οικονομικής κυρίως άποψης όταν γίνονται προσπάθειες βελτιώσεις των ρυθμών απόδοσης μιας γραμμής παραγωγής. Στις πραγματικές γραμμές παραγωγής οι χρόνοι επεξεργασίας των μηχανών δεν διαφέρουν πολύ και αυτό για το λόγο που αναφέρθηκε ότι ο ρυθμός παραγωγής δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερος από το μικρότερο ρυθμό παραγωγής μιας μηχανής τους συστήματος. Είναι προφανές ότι οποιαδήποτε επένδυση για την αντικατάσταση μιας μηχανής με σκοπό την αύξηση του ρυθμού παραγωγής της αν δε γίνει με προσεκτική μελέτη όλου του συστήματος συνολικά ενδεχομένως να αποδειχθεί ασύμφορη. Και αυτό γιατί η βελτίωση θα είναι ελάχιστη έως μηδαμινή αν γίνουν προσπάθειες για βελτίωση

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

ρυθμών παραγωγής μηχανών που έχουν αρκετά μεγαλύτερο χρόνο από την μηχανή με το χαμηλότερο ρυθμό παραγωγής.

Η σύνηθες πολιτική διαχείρισης τέτοιων γραμμή παραγωγής είναι η προσπάθεια αύξησης του ρυθμού παραγωγής με τον περιορισμό των καταστάσεων μπλοκαρίσματος και πείνας και αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο προσδιορισμό της χωρητικότητας του ενδιάμεσου χώρου αποθήκευσης.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Κεφάλαιο 2 Προσομοίωση συστήματος δύο μηχανών εν σειρά με χώρο ενδιάμεσης αποθήκευσης

2.1 Περιγραφή του συστήματος

Το σύστημα που θα μελετηθεί και θα προσομοιωθεί αποτελείται από δυο μηχανές σε σειρά. Ανάμεσα στις δυο μηχανές υπάρχει προσωρινός χώρος ενδιάμεσης αποθήκευσης για τα προϊόντα που έχουν τελειώσει την επεξεργασία τους στην πρώτη μηχανή.

Κάθε μηχανή έχει την δυνατότητα να επεξεργάζεται μόνο ένα προϊόν την φορά. Η πρώτη μηχανή μπορεί να τροφοδοτείται συνέχεια με νέα προϊόντα προς επεξεργασία χωρίς κάποιο περιορισμό ενώ ο ενδιάμεσος χώρος αποθήκευσης έχει συγκεκριμένη χωρητικότητα ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη.

Καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος, οι χρόνοι επεξεργασίας των προϊόντων σε κάθε μηχανή ακολουθούν κάποια συγκεκριμένη κατανομή με τις αντίστοιχες παραμέτρους της.

Κατά την λειτουργία του συστήματος, μπορεί να συμβεί βλάβη σε οποιαδήποτε μηχανή. Οι χρόνοι μέχρι να συμβεί βλάβη σε κάθε μηχανή ακολουθούν κάποια κατανομή με τις αντίστοιχες παραμέτρους της.

Όταν μια μηχανή πάθει βλάβη, ξεκινά η διαδικασία επιδιόρθωσής της. Οι χρόνοι επιδιόρθωσης κάθε μηχανής ακολουθούν και αυτοί με τη σειρά τους κάποια συγκεκριμένη κατανομή με τις παραμέτρους τους.

Τα κομμάτια ή προϊόντα που είναι προς επεξεργασία πρώτα εισέρχονται στην πρώτη μηχανή και εν συνέχεια για το πέρας της επεξεργασίας τους εισέρχονται στην δεύτερη μηχανή. Σε περίπτωση όπου ένα προϊόν εξέλθει από την πρώτη μηχανή ενώ η δεύτερη ήδη έχει κάποιο προϊόν προς επεξεργασία τότε αποθηκεύεται προσωρινά στον ενδιάμεσο αποθηκευτικό χώρο και περιμένει με την σειρά του να εισέλθει στην δεύτερη μηχανή.

2.2 Γεγονότα και καταστάσεις συστήματος

Υπάρχουν δυο μέθοδοι προσομοίωσης. Αυτές όπου η κατάσταση του συστήματος παρατηρείται σε τακτές χρονικές περιόδους (προσομοίωση βάσει του χρόνου) και αυτές όπου η κατάσταση παρατηρείται κάθε φορά που συμβαίνει ένα γεγονός που αλλάζει την κατάσταση (προσομοίωση βάσει των γεγονότων). Στην παρούσα θα γίνει

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

προσομοίωση βάσει των γεγονότων. Στο συγκεκριμένο σύστημα που αναλύεται θεωρούνται ως πιθανά γεγονότα τα εξής:

Γεγονότα (events)

- *Event 1*: η πρώτη μηχανή τελειώνει την επεξεργασία ενός προϊόντος
- *Event 2*: η δεύτερη μηχανή τελειώνει την επεξεργασία ενός προϊόντος
- *Event 3*: η πρώτη μηχανή παθαίνει βλάβη
- *Event 4*: η δεύτερη μηχανή παθαίνει βλάβη
- *Event 5*: η πρώτη μηχανή επισκευάζεται
- *Event 6*: η δεύτερη μηχανή επισκευάζεται

Ως κατάσταση συστήματος μια ορισμένη χρονική στιγμή, θεωρείται η κατάσταση στην όποια βρίσκονται οι βασικές παράμετροι τους συστήματος. Δηλαδή σε τι κατάσταση βρίσκονται οι μηχανές, το επίπεδο του αποθηκευτικού χώρου καθώς επίσης και κάποιες ιδιαίτερες καταστάσεις οι οποίες θα προσδιοριστούν στη συνέχεια.

Οι βασικές καταστάσεις των μηχανών προσδιορίζονται με το αν οι μηχανές βρίσκονται η όχι σε λειτουργία.

Η κατάσταση του αποθηκευτικού χώρου προσδιορίζεται από το επίπεδο στο όποιο βρίσκεται σε σχέση με την χωρητικότητα του.

Επίσης υφίστανται δυο ιδιάζουσες καταστάσεις κατά τις οποίες συμβαίνει το εξής. Σε περίπτωση οπού η δεύτερη μηχανή είναι σε λειτουργία χωρίς όμως να επεξεργάζεται κάποιο προϊόν, ο αποθηκευτικός χώρος είναι άδειος και η πρώτη μηχανή είναι χαλασμένη ή δεν έχει τελειώσει την επεξεργασία της τότε λέμε ότι η δεύτερη μηχανή πεινάει ή είναι σε ατροφία.

Στη δεύτερη ιδιάζουσα κατάσταση συμβαίνει το εξής. Όταν η πρώτη μηχανή είναι σε λειτουργία και τελειώσει την επεξεργασία της και ο αποθηκευτικός χώρος είναι γεμάτος, τότε λέμε ότι η πρώτη μηχανή είναι μπλοκαρισμένη.

Χρονική στιγμή για τη συγκεκριμένη προσομοίωση που αναλύεται όπως αναφέρθηκε παραπάνω, θεωρείται η χρονική στιγμή που πραγματοποιείται ένα γεγονός (*event*).

Έτσι κατά την πραγματοποίηση ενός γεγονότος κάποιες από τις καταστάσεις των βασικών παραμέτρων αλλάζουν οπότε αλλάζει και η συνολική κατάσταση του συστήματος.

Ως εκ τούτου διαμορφώνεται ένα γενικό σύνολο καταστάσεων του συστήματος όπου προσδιορίζονται από τις επιμέρους καταστάσεις των παραμέτρων που αναφέρθηκαν

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

παραπάνω και η μετάβαση από κατάσταση σε κατάσταση γίνεται με την πραγματοποίηση κάποιου γεγονότος.

Προς διευκόλυνση του προσδιορισμού όλων των πιθανών καταστάσεων του συστήματος γίνεται ο ακόλουθος συμβολισμός ο όποιος θα διευκολύνει εκτός από τον προσδιορισμό των καταστάσεων και την προσομοίωση του συστήματος στη συνέχεια.

Με A συμβολίζεται η κατάσταση λειτουργίας των μηχανών, όπου το A παίρνει τιμές από 0 έως 3 ως εξής:

- $A = 0$: και οι δυο μηχανές είναι εκτός λειτουργίας (χαλασμένες)
- $A = 1$: η πρώτη μηχανή είναι εκτός λειτουργίας και η δεύτερη είναι σε λειτουργία
- $A = 2$: η πρώτη μηχανή είναι σε λειτουργία και η δεύτερη είναι εκτός λειτουργίας
- $A = 3$: και οι δυο μηχανές είναι σε λειτουργία

Με n συμβολίζεται το επίπεδο του αποθηκευτικού χώρου, όπου το n παίρνει τις τιμές $n = 0, \ldots, N$, όπου N το μέγιστο επιτρεπόμενο επίπεδο του αποθηκευτικού χώρου.

Με b συμβολίζεται η κατάσταση μπλοκαρίσματος της πρώτης μηχανής, όπου το b παίρνει τις τιμές $b = 1$: η μηχανή 1 είναι μπλοκαρισμένη και $b = 0$: η μηχανή 1 δεν είναι μπλοκαρισμένη.

Με s συμβολίζεται η κατάσταση ατροφίας της δεύτερης μηχανής, όπου το s παίρνει τις τιμές $s = 1$: η μηχανή 2 είναι σε ατροφία (πεινασμένη) και $s = 0$: η μηχανή 2 δεν είναι σε ατροφία.

Με βάσει τον παραπάνω συμβολισμό των επιμέρους καταστάσεων οι πιθανές καταστάσεις τους συστήματος είναι οι εξής.

1. $A=3$, $0<= n <= N$, $b=0$, $s=0$

   Και οι δυο μηχανές είναι σε λειτουργία, το επίπεδο του αποθηκευτικού χώρου κυμαίνεται από 0 έως N, η πρώτη μηχανή δεν είναι μπλοκαρισμένη και η δεύτερη δεν πεινάει.

Σχήμα 2-1 :Κατάσταση A=3, 0<=n<=N, b=0, s=0

2. $A=1$, $0<= n <= N$, $b=0$, $s=0$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Η πρώτη μηχανή είναι σε λειτουργία και η δεύτερη είναι εκτός λειτουργίας, το επίπεδο του αποθηκευτικού χώρου κυμαίνεται από 0 έως *N*, η πρώτη μηχανή δεν είναι μπλοκαρισμένη και η δεύτερη δεν πεινάει.

Σχήμα 2-2:Κατάσταση A=1, 0<=n<=N, b=0, s=0

3. *A=2, 0<= n <=N, b=0, s=0*

Η πρώτη μηχανή είναι εκτός λειτουργίας και η δεύτερη είναι σε λειτουργία, το επίπεδο του αποθηκευτικού χώρου κυμαίνεται από 0 έως *N*, η πρώτη μηχανή δεν είναι μπλοκαρισμένη και η δεύτερη δεν πεινάει.

Σχήμα 2-3:Κατάσταση A=2, 0<=n<=N, b=0, s=0

4. *A=0, 0<= n <= N, b=0, s=0*

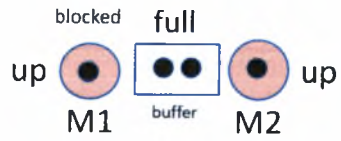
Η πρώτη και η δεύτερη μηχανή είναι εκτός λειτουργίας , το επίπεδο του αποθηκευτικού χώρου κυμαίνεται από 0 έως *N*, η πρώτη μηχανή δεν είναι μπλοκαρισμένη και η δεύτερη δεν πεινάει.

Σχήμα 2-4:Κατάσταση A=0, 0<=n<=N, b=0, s=0

5. *A=3, n=N, b=1, s=0*

Η πρώτη και η δεύτερη μηχανή είναι σε λειτουργία, ο αποθηκευτικός χώρος είναι γεμάτος, η πρώτη μηχανή είναι μπλοκαρισμένη και η δεύτερη μηχανή δεν πεινάει.

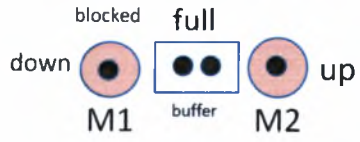
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88



Σχήμα 2-5:Κατάσταση A=3, n=N, b=1, s=0

6. *A=1, n=N, b=1, s=0*

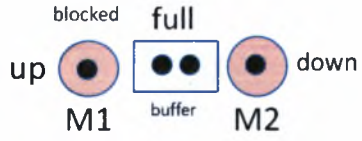
Η δεύτερη μηχανή είναι σε λειτουργία, η πρώτη μηχανή είναι εκτός λειτουργίας, ο αποθηκευτικός χώρος είναι γεμάτος, η πρώτη μηχανή είναι μπλοκαρισμένη, η δεύτερη μηχανή δεν πεινάει.



Σχήμα 2-6:Κατάσταση A=1, 0n=N, b=1, s=0

7. *A=2, n=N, b=1, s=0*

Η πρώτη μηχανή είναι σε λειτουργία, η δεύτερη μηχανή είναι εκτός λειτουργίας, ο αποθηκευτικός χώρος είναι γεμάτος, η πρώτη μηχανή είναι μπλοκαρισμένη, η δεύτερη μηχανή δεν πεινάει.

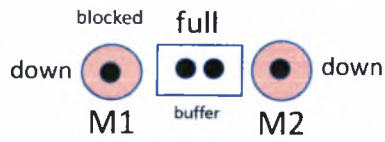


Σχήμα 2-7:Κατάσταση A=2, n=N, b=1, s=0

8. *A=0, n=N, b=1, s=0*

Η πρώτη και η δεύτερη μηχανή είναι εκτός λειτουργίας, ο αποθηκευτικός χώρος είναι γεμάτος, η πρώτη μηχανή είναι μπλοκαρισμένη, η δεύτερη μηχανή δεν πεινάει.

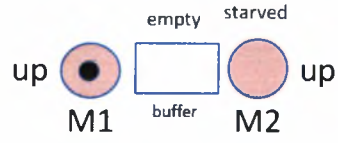
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88



Σχήμα 2-8:Κατάσταση A=0, n=N, b=1, s=0

9. *A=3, n=0, b=0, s=1*

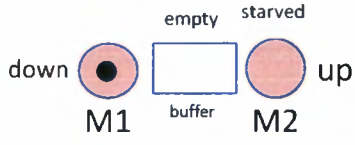
Η πρώτη και η δεύτερη μηχανή είναι σε λειτουργία, ο αποθηκευτικός χώρος είναι άδειος, η πρώτη μηχανή δεν είναι μπλοκαρισμένη, η δεύτερη μηχανή πεινάει.



Σχήμα 2-9:Κατάσταση A=3, n=0, b=0, s=1

10. *A=1, n=0 , b=0, s=1*

Η πρώτη μηχανή είναι εκτός λειτουργίας, η δεύτερη μηχανή είναι σε λειτουργία, ο αποθηκευτικός χώρος είναι άδειος, η δεύτερη μηχανή πεινάει.

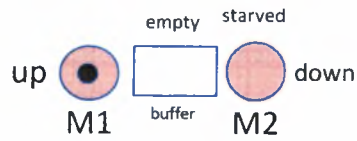


Σχήμα 2-10:Κατάσταση A=1, n=0, b=0, s=1

11. *A=2, n=0, b=0, s=1*

Η πρώτη μηχανή είναι σε λειτουργία, η δεύτερη μηχανή είναι εκτός λειτουργίας, ο αποθηκευτικός χώρος είναι άδειος, η δεύτερη μηχανή πεινάει.

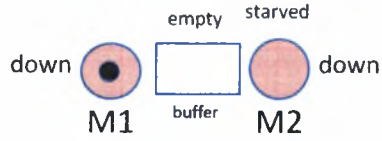
Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88



Σχήμα 2-11:Κατάσταση A=2, n=0, b=0, s=1

12. A=0, n=0, b=0, s=1

Η πρώτη και η δεύτερη μηχανή είναι εκτός λειτουργίας, ο αποθηκευτικός χώρος είναι άδειος, και η δεύτερη μηχανή πεινάει.



Σχήμα 2-12:Κατάσταση A=0, n=0, b=0, s=1

Μετά τον προσδιορισμό όλων των πιθανών γεγονότων και πιθανών καταστάσεων γίνεται ανάλυση των μαθηματικών εργαλείων και η προσομοίωση του συστήματος.

2.3 Προσομοίωση συστήματος

Έχοντας καθορίσει όλες οι πιθανές καταστάσεις του συστήματος και τα γεγονότα που μπορούν να τις αλλάξουν, είναι εφικτό πλέον να αναπτυχθεί ο αλγόριθμος της προσομοίωσης. Για να γίνει αυτό, ορίζουμε τους τυχαίους χρόνους μέχρι την πραγματοποίηση κάθε ενός από τα έξι πιθανά γεγονότα που ορίσθηκαν στο κεφάλαιο 2.2, ως εξής:

- *Event 1: tp1*
- *Event 2: tp2*
- *Event 3: tf1*
- *Event 4: tf2*
- *Event 5: tr1*
- *Event 6: tr2*

Όλοι οι παραπάνω χρόνοι ακολουθούν κάποια συγκεκριμένη κατανομή.

Η κατανομή προσδιορίζεται από τον χρήστη ανάλογα με τις ανάγκες ή τις απαιτήσεις του. Στη περίπτωση της συγκεκριμένης προσομοίωσης θα γίνει χρήση της εκθετικής

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

κατανομής για όλους τους παραπάνω χρόνους. Ο τύπος της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής μιας εκθετικά κατανεμημένης τυχαίας μεταβλητής x είναι:

$$y = F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$$

όπου λ η παράμετρος της εκθετικής κατανομής και $x = tp1, tp2, tf1, tf2, tr1, tr2$.

Το y, όντας πιθανότητα, παίρνει τιμές στο διάστημα [0, 1]. Λύνοντας ως προς x τον παραπάνω τύπο προκύπτει:

$$x = -\log(1 - y)/\lambda$$

Με βάση την παραπάνω σχέση, για να γεννηθεί ένας τυχαίος αριθμός που ακολουθεί την κατανομή του x, γεννάται πρώτα ένας τυχαίος αριθμός y που ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα [0, 1] (οι συνηθισμένες γεννήτριες τυχαίων αριθμών γεννούν τέτοιους αριθμούς) και στη συνέχεια προκύπτει ο τυχαίος αριθμός x από την παραπάνω σχέση. Μάλιστα, οι συνηθισμένες γεννήτριες τυχαίων αριθμών που είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι στο διάστημα [0, 1] δεν γεννούν πραγματικά τυχαίους αριθμούς y_1, y_2, y_3, … αλλά ψευδοτυχαίους αριθμούς χρησιμοποιώντας κάποια επαναληπτική συνάρτηση φ, τέτοια ώστε $y_n = \varphi(y_{n-1})$, $n = 1, 2, \ldots$ Ο πρώτος αριθμός που γεννάται είναι ο $y_1 = \varphi(y_0)$, όπου ο αριθμός y_0 ονομάζεται «σπόρος» (*seed*) της γεννήτριας. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται ότι ο ίδιος σπόρος θα γεννήσει το ίδιο δείγμα «τυχαίων» αριθμών. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο, γιατί συχνά μπορεί να θέλουμε να συγκρίνουμε μέσω προσομοίωσης δύο η περισσότερα συστήματα που είναι πανομοιότυπα και διαφέρουν μόνο ως προς κάποιες παραμέτρους. Για να είναι η σύγκριση «δίκαιη», θέλουμε να προσομοιώσουμε τα δύο συστήματα υπό το ίδιο δείγμα τυχαίων αριθμών.

Η παράμετρος λ της εκθετικής κατανομής δίνεται από τον χρήστη για το αντίστοιχο γεγονός. Συμβολίζουμε τη παράμετρο λ για το κάθε γεγονός ως εξής :

- *Event 1: P1*
- *Event 2: P2*
- *Event 3: F1*
- *Event 4: F2*
- *Event 5: R1*
- *Event 6: R2*

Επομένως ο τελικός μαθηματικός τύπος υπολογισμού των τυχαίων χρονών των γεγονότων είναι:

$$tp1, tp2, tf1, tf2, tr1, tr2 = -\log(1 - y)/P1,P2,F1,F2,R1,R2$$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Συνυπολογίζοντας όλα τα παραπάνω δεδομένα που έχουν αναφερθεί μπορεί να δημιουργηθεί και να μοντελοποιηθεί ένας αλγόριθμος ο όποιος θα προσομοιώσει την λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος σε βάθος χρόνου και θα μπορεί να δώσει τα επιθυμητά αποτέλεσμα που πρέπει να μετρηθούν και ενδιαφέρουν τον χρήστη.

Απαραίτητα στοιχεία για την αρχικοποίηση του αλγορίθμου είναι

- Ο προσδιορισμός της παραμέτρου λ της εκθετικής κατανομής για κάθε γεγονός που είναι πιθανό να συμβεί
- Ο προσδιορισμός της χωρητικότητας του αποθηκευτικού χώρου
- Ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης του συστήματος

Εφόσον γίνει η αρχικοποίηση του αλγορίθμου ορίζεται σαν πρώτη κατάσταση από την φύση του συστήματος η κατάσταση κατά την όποια η πρώτη μηχανή και η δεύτερη μηχανή λειτουργούν, ο αποθηκευτικός χώρος είναι άδειος και η δεύτερη μηχανή πεινάει.

Παρατίθενται στη συνέχεια στο σύνολο τους οι επιθυμητές καταστάσεις και τα πιθανά γεγονότα που μπορούν να συμβούν δεδομένου ότι το σύστημα είναι στην κατάσταση αυτή.

1. $A=3$, $0<= n <= N$, $b=0$, $s=0$

   Πιθανά γεγονότα *tp1, tp2, tf1, tf2, tr1, tr2*

2. $A=1$, $0<= n <= N$, $b=0$, $s=0$

   Πιθανά γεγονότα *tp2, tf2, tr1*

3. $A=2$, $0<= n <=N$, $b=0$, $s=0$

   Πιθανά γεγονότα *tp1, tf1, tr2*

4. $A=0$, $0<= n <= N$, $b=0$, $s=0$

   Πιθανά γεγονότα *tr1, tr2*

5. $A=3$, $n=N$, $b=1$, $s=0$

   Πιθανά γεγονότα *tp2, tf1, tf2,*

6. $A=1$, $n=N$, $b=1$, $s=0$

   Πιθανά γεγονότα *tp2, tf2, tr1*

7. $A=2$, $n=N$, $b=1$, $s=0$

   Πιθανά γεγονότα *tp1, tp2, tf1, tf2, tr1, tr2*

8. $A=0$, $n=N$, $b=1$, $s=0$

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Πιθανά γεγονότα *tf1, tr2*

9. *A=3, n=0, b=0, s=1*

   Πιθανά γεγονότα *tp1,tf1, tf2*

10. *A=1, n=0 , b=0, s=1*

    Πιθανά γεγονότα *tf2, tr1*

11. *A=2, n=0, b=0, s=1*

    Πιθανά γεγονότα *tp1, tf1, tr2*

12. *A=0, n=0, b=0, s=1*

    Πιθανά γεγονότα *tr1, tr2*

Με βάση την αρχική κατάσταση $A = 3$, $n = 0$, $b = 0$, $s = 1$ και συμφώνα με το διάγραμμα των συγκεκριμένων πιθανών γεγονότων που θα προκαλέσουν την μετάβαση του συστήματος σε μια άλλη κατάσταση και αφού για κάθε κατάσταση και για κάθε νέα κατάσταση που βρίσκεται το σύστημα παράγονται οι τυχαίοι χρόνοι των επόμενων πιθανών γεγονότων, ο αλγόριθμος με τον τρόπο που είναι δομημένος ελέγχει σε ποια κατάσταση βρίσκεται το σύστημα και ποιες είναι οι πιθανές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί το σύστημα και με ποια γεγονότα γίνεται η μετάβαση.

Το κριτήριο επιλογής του πιθανού γεγονότος είναι με βάσει τον τυχαίο χρόνο που έχει παραχθεί. Ο αλγόριθμος επιλεγεί και πραγματοποιεί το γεγονός που είναι επιτρεπτό να συμβεί βάσει της κατάστασης που βρίσκεται και έχει το μικρότερο χρόνο. Στη συνέχεια παράγεται νέος τυχαίος χρόνος για το γεγονός που πραγματοποιήθηκε και ανανεώνονται οι χρόνοι των γεγονότων που δεν πραγματοποιήθηκαν.

Με το πέρας του χρόνου προσομοίωσης ο αλγόριθμος τερματίζει και επιστρέφει τα μεγέθη που του έχουν ζητηθεί να υπολογίσει.

2.4 Μεγέθη που υπολογίζονται με την προσομοίωση του συστήματος

Απώτερος και βασικός σκοπός της προσομοίωσης αποτελεί η εξαγωγή όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστων και σωστότερων αποτελεσμάτων στα ποσοτικά η ποιοτικά μεγέθη που θέλει ο χρήστης.

Με την εξαγωγή των αποτελεσμάτων ο χρήστης είναι σε θέση να αξιολογήσει όλες τις παραμέτρους του συστήματος και να κάνει τις απαραίτητες μετατροπές για την βελτίωση του.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Τα ποσοτικά και ποιοτικά μεγέθη που μπορούν να υπολογιστούν με τον αλγόριθμο που αναλύθηκε είναι.

- Υπολογίζεται ο συνολικός χρόνος που το σύστημα βρέθηκε σε κάθε επιμέρους κατάσταση. Και εν συνέχεια υπολογίζεται το ποσοστό επί τοις εκατό αυτού του χρόνου στο συνολικό χρόνο προσομοίωσης για κάθε κατάσταση τους συστήματος.

  $Casetime(i) = casetime(i) / tsim$

  όπου,

  $Casetime$ = το ποσοστό του συνολικού χρόνου σε μια κατάσταση και i από 1 έως 12 όσες και οι πιθανές καταστάσεις

  $Tsim$ = ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης

- Για κάθε διακριτή στάθμη του αποθηκευτικού χώρου υπολογίζεται ο συνολικός χρόνος στο χρόνο της προσομοίωσης και εν συνέχεια το αντίστοιχο ποσοστό επί τοις εκατό.

  $Buffertime(i) = buffertime(i) / tsim$

  όπου,

  $Buffertime$ = το ποσοστό του συνολικού χρόνου σε ένα επίπεδο και i από 0 έως N όσα και τα πιθανά επίπεδα του αποθηκευτικού χώρου.

  $Tsim$ = ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης

- Υπολογίζεται η μέση στάθμη του αποθηκευτικού χώρου στο συνολικό χρόνο προσομοίωσης.

  $$Averagebuffer = \sum_{i=0}^{N} i * buffertime(i)$$

- Υπολογίζεται το ποσοστό του συνολικού χρόνου κατά το όποιο η πρώτη μηχανή είναι μπλοκαρισμένη. για να υπολογιστεί αυτό το ποσοστό αθροίζουμε τα ποσοστά χρόνου των αντιστοιχών καταστάσεων κατά τις οποίες η πρώτη μηχανή είναι μπλοκαρισμένη. Αυτό συμβαίνει στις καταστάσεις 5, 6, 7 ,8

  $P_b = casetime(5) + casetime(6) + casetime(7) + casetime(8)$

- Υπολογίζεται το ποσοστό του συνολικού χρόνου κατά το όποιο η δεύτερη μηχανή πεινάει. Αυτό συμβαίνει στις καταστάσεις 9,10,11,12. Οπότε αθροίζονται τα ποσοστά αυτών των καταστάσεων.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

$P_s = casetime(9) + casetime(10) + casetime(11) + casetime(12)$

- Υπολογίζεται ο συνολικός αριθμός παραγόμενων προϊόντων δηλαδή το σύνολο των προϊόντων που παραχώθηκαν από την δεύτερη μηχανή

  Throughput = συνολικός αριθμός παραγόμενων προϊόντων στο συνολικό χρόνο προσομοίωσης

- Υπολογίζεται η δυναμικότητα παραγωγής του συστήματος

  Averthroughput = throughput / tsim

Για κάθε αρχικοποίηση και αλλαγή των παραμέτρων τους συστήματος ο αλγόριθμος εξετάζεται τριάντα φόρες με διαφορετικό σπόρο (*seed*) κάθε φορά, για πιο αξιόπιστα και ασφαλή δεδομένα. Έτσι για κάθε αλλαγή των παραμέτρων ο αλγόριθμος υπολογίζει:

- *Τον μέσο όρο,* $X = \dfrac{\sum_{i=0}^{30} Xi}{30}$
- *Την τυπική απόκλιση,* $S = \sqrt{\dfrac{\sum (X_i - X)^2}{30}}$
- *Το διάστημα εμπιστοσύνης, Δ.Ε.* $= X \pm 1{,}96 * \dfrac{S}{\sqrt{30}}$

όπου ο αριθμός 1,96 είναι για διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Με τον υπολογισμό όλων αυτών των παραμέτρων είναι εφικτό να γίνει αξιολόγηση διαφόρων σεναρίων με διαφορετική παραμετροποίηση κάθε φορά.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Κεφάλαιο 3 Αριθμητικά αποτελέσματα προσομοίωσης

3.1 Αρχικοποίηση του συστήματος

Για την προσομοίωση του συστήματος πρέπει να οριστούν οι βασικές παράμετροι τους συστήματος και εν συνέχεια με την μεταβολή αυτών των παραμέτρων γίνεται οι διάφοροι πειραματικοί έλεγχοι και η εξαγωγή και επεξεργασία των αντιστοιχών αποτελεσμάτων.

3.1.1 Έναρξη αλγορίθμου και προσομοίωσης

Όπως αναφέρθηκε για την αρχικοποίηση του αλγορίθμου θα πρέπει να οριστούν οι βασικοί παράμετροι του συστήματος.

Ζητείται από τον χρήστη να οριστούν οι ρυθμοί επεξεργασίας στη μηχανή ένα και στην μηχανή δυο. Οι ρυθμοί επεξεργασίας αποτελούν και την παράμετρο λ της εκθετικής κατανομής για κάθε αντίστοιχο πραγματοποιήσιμο γεγονός. Επίσης ζητείται να προσδιοριστούν ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης και η μέγιστη χωρητικότητα του αποθηκευτικού χώρου.

Έπειτα εκτελείται ο αλγόριθμος και δίνει τα αποτελέσματα. Ο αλγόριθμος εκτελείται τριάντα φόρες για κάθε παραμετροποίηση τους συστήματος με διαφορετικό σπόρο κάθε φορά έτσι ώστε να γίνεται στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Υπολογίζεται ο μέσος όρος των τριάντα επαναλήψεων, η τυπική απόκλιση και το διάστημα εμπιστοσύνης για 95%.

Μετά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων για κάθε αλλαγή των παραμέτρων τους συστήματος παρατίθενται πινάκες με τις τιμές του μέσου, της τυπικής απόκλισης και του διαστήματος εμπιστοσύνης για τα μεγέθη του μέσου αποθέματος, του ρυθμού παραγωγής, του ποσοστού του χρόνου οπού η μηχανή ένα είναι μπλοκαρισμένη και του ποσοστού του χρόνου οπού η μηχανή δυο πεινάει. Τέλος δημιουργούνται γραφήματα οπού απεικονίζεται η συμπεριφορά του μέσου ορού για κάθε μετρούμενο μέγεθος και εξάγονται συμπεράσματα και παρατηρήσεις των μεγεθών σε σχέση με την αλλαγή των παραμέτρων.

3.2 Παρουσίαση πειραματικών ελέγχων

3.2.1 Πρώτος πειραματικός έλεγχος

Ορίζονται οι ρυθμοί επεξεργασίας στις μηχανές ένα και δυο που αποτελούν και την παράμετρο λ των αντιστοιχών εκθετικών κατανομών.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

P1=P2= 10 parts/hr

Οι ρυθμοί βλαβών για κάθε μηχανή

F1=F2= 0,1 failures/hr

Οι ρυθμοί επιδιορθώσεων για κάθε βλάβη μηχανής

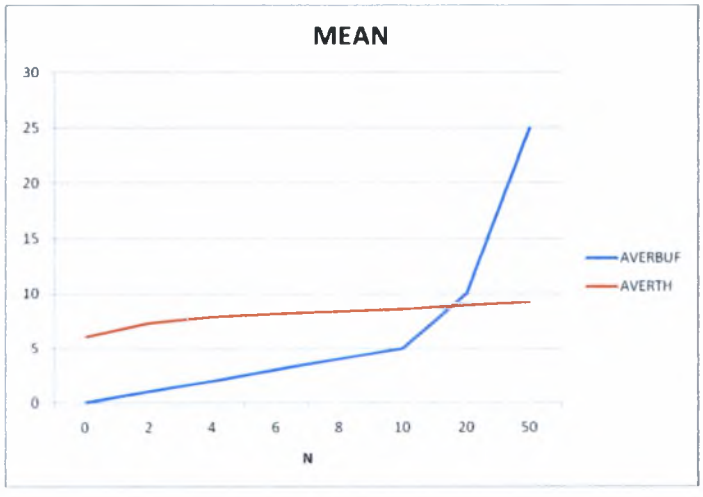
R1=R2= 2 repair/hr

Και στο συγκεκριμένο έλεγχο γίνεται αλλαγή της χωρητικότητας του αποθηκευτικού χώρου και εξετάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Επομένως για *P1=P2= 10 parts/hr, F1=F2= 0,1 failures/hr, R1=R2= 2 repair/hr* και για *N=0, 2 ,4, 6, 8 ,10 ,20, 50* τα αποτελέσματα διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 3-1: Μέσος όρος για *P1=P2=10, F1=F2=0.1, R1=R2=2*

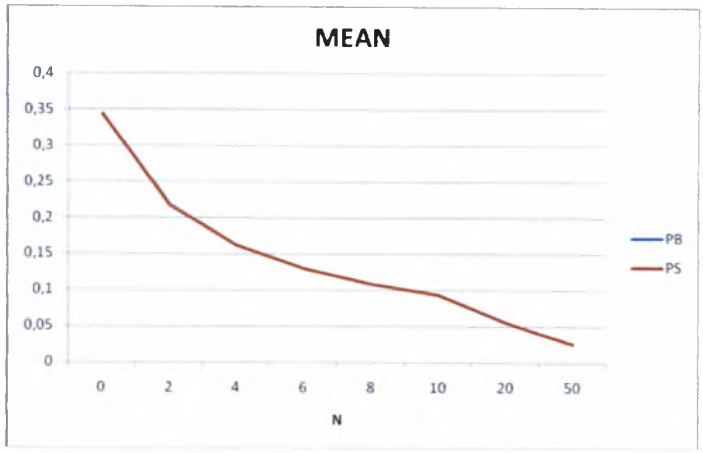
N	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0	0	6,115486	0,344564	0,34457
2	1,000245	7,366723	0,218242	0,217902
4	1,999324	7,92187	0,162145	0,162238
6	3,000324	8,23764	0,130125	0,129887
8	3,999938	8,444562	0,10919	0,108877
10	5,006757	8,596454	0,094124	0,093784
20	10,004353	8,96819	0,056081	0,056085
50	24,962651	9,271977	0,02535	0,025401



Σχήμα 3-1: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει της χωρητικότητας του buffer

Παρατηρείται ότι με την αύξηση του χώρου του ενδιάμεσου χώρου αποθήκευσης η αποδοτικότητα του συστήματος αυξάνεται. Το ίδιο συμβαίνει και με το μέσο επίπεδου του ενδιάμεσου αποθηκευτικού χώρου.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88



Σχήμα 3-2 Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρισματος και πείνας συναρτήσει της χωρητικότητας του buffer

Παρατηρείται ότι καθώς αυξάνεται η χωρητικότητα τους ενδιάμεσου χώρου αποθήκευσης τα ποσοστά μπλοκαρίσματος της πρώτης μηχανής αλλά και τα ποσοστά πείνας της δεύτερης μειώνονται δραστικά.

Πίνακας 3-2: Τυπική απόκλιση για *P1=P2=10, F1=F2=0.1, R1=R2=2*

N	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0	0	0,010944	0,000852	0,000892
2	0,001885	0,009411	0,000702	0,000774
4	0,005575	0,009063	0,000835	0,001213
6	0,009983	0,01072	0,001103	0,001018
8	0,015962	0,01011	0,00118	0,000959
10	0,014616	0,007465	0,000762	0,000695
20	0,052661	0,010037	0,000916	0,000848
50	0,312987	0,008928	0,000864	0,000708

Πίνακας 3-3: Διάστημα εμπιστοσύνης για *P1=P2=10, F1=F2=0.1, R1=R2=2*

N	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0	[0.000000-0.000000]	[6.111570-6.119402]	[0.344259-0.344869]	[0.344250-0.344889]
2	[0.999570-1.000920]	[7.363355-7.370091]	[0.217990-0.218493]	[0.217625-0.218179]
4	[1.997329-2.001319]	[7.918626-7.925113]	[0.161847-0.162444]	[0.161804-0.162672]
6	[2.996752-3.003896]	[8.233804-8.241476]	[0.129730-0.130519]	[0.129523-0.130251]
8	[3.994226-4.005650]	[8.440944-8.448180]	[0.108768-0.109612]	[0.108534-0.109221]
10	[5.001527-5.011988]	[8.593782-8.599125]	[0.093852-0.094397]	[0.093535-0.094033]
20	[9.985509-10.023197]	[8.964599-8.971782]	[0.055753-0.056408]	[0.055781-0.056388]
50	[24.850650-25.074652]	[9.268782-9.275172]	[0.025041-0.025659]	[0.025148-0.025654]

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

3.2.2 Δεύτερος πειραματικός έλεγχος

Ορίζονται οι ρυθμοί επεξεργασίας στις μηχανές ένα και δυο που αποτελούν και την παράμετρο λ των αντιστοιχών εκθετικών κατανομών.

P1=P2= 10 parts/hr

Οι ρυθμοί βλαβών για κάθε μηχανή

F1=F2= 0,1 failures/hr

Η χωρητικότητα του αποθηκευτικού χώρου

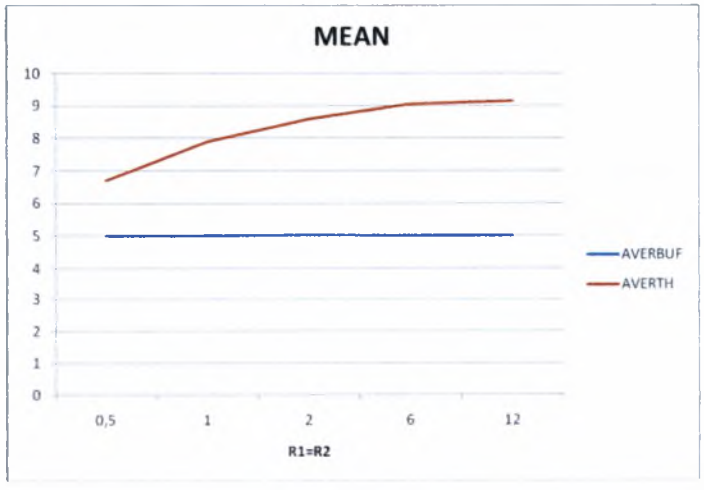
N=10

Και στο συγκεκριμένο έλεγχο γίνεται αλλαγή των ρυθμών του χρόνου επιδιόρθωσης των βλαβών της κάθε μηχανής και εξετάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Επομένως για *P1=P2= 10 parts/hr, F1=F2= 0,1 failures/hr, N=10 και για R1=R2 = 0.5, 1, 2, 6, 12* τα αποτελέσματα διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 3-4: Μέσος όρος για *P1=P2=10, F1=F2=0.1, N=10*

R1=R2	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0,5	4,996165	6,70916	0,172896	0,173427
1	4,993236	7,911644	0,121171	0,12165
2	5,006757	8,596454	0,094124	0,093784
6	4,991873	9,047333	0,079069	0,079692
12	4,997228	9,145937	0,077297	0,077513

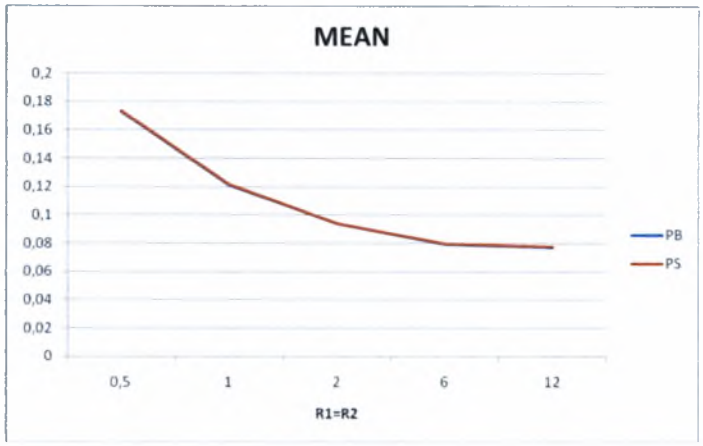


Σχήμα 3-3: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει των ρυθμών επιδιόρθωσης

Παρατηρείται ότι με την αύξηση των ρυθμών επιδιόρθωσης το επίπεδο του μέσου ενδιάμεσου χωρου απο αποθήκευσης δεν μεταβαλεται ιδιαίτερα. Ενώ αντίθετα η

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

απόδοση του συστήματος αυξάνεται μιας και το σύστημα είναι περισσότερη ώρα σε λειτουργία.



Σχήμα 3-4: Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρίσματος και πείνας συναρτήσει των ρυθμών επιδιόρθωσης

Με τη αύξηση των ρυθμών επιδιόρθωσης το ποσοστό του χρόνου οπού η πρώτη μηχανή είναι μπλοκαρισμένη και το ποσοστό του χρόνου οπού η δεύτερη μηχανή πεινάσει ελαύνεται.

Πίνακας 3-5: Τυπική απόκλιση για *P1=P2=10, F1=F2=0.1, N=10*

R1=R2	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0,5	0,022614	0,023761	0,002123	0,001643
1	0,025306	0,017462	0,001596	0,001523
2	0,014616	0,007465	0,000762	0,000695
6	0,024791	0,007525	0,000796	0,000824
12	0,020004	0,007584	0,000735	0,000656

Πίνακας 3-6: Διάστημα εμπιστοσύνης για *P1=P2=10, F1=F2=0.1, N=10*

R1=R2	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0,5	[4.988072-5.004257]	[6.700657-6.717662]	[0.172136-0.173655]	[0.172839-0.174015]
1	[4.984180-5.002291]	[7.905395-7.917892]	[0.120600-0.121742]	[0.121105-0.122195]
2	[5.001527-5.011988]	[8.593782-8.599125]	[0.093852-0.094397]	[0.093535-0.094033]
6	[4.983001-5.000744]	[9.044640-9.050026]	[0.078784-0.079354]	[0.079397-0.079987]
12	[4.990070-5.004386]	[9.143223-9.148651]	[0.077034-0.077560]	[0.077278-0.077748]

3.2.3 Τρίτος πειραματικός έλεγχος

Ορίζονται οι ρυθμοί επεξεργασίας στις μηχανές ένα και δυο που αποτελούν και την παράμετρο λ των αντιστοιχών εκθετικών κατανομών.

P1=P2= 10 parts/hr

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Οι ρυθμοί επιδιορθώσεων για κάθε βλάβη μηχανής

R1=R2= 2 repair/hr

Η χωρητικότητα του αποθηκευτικού χώρου

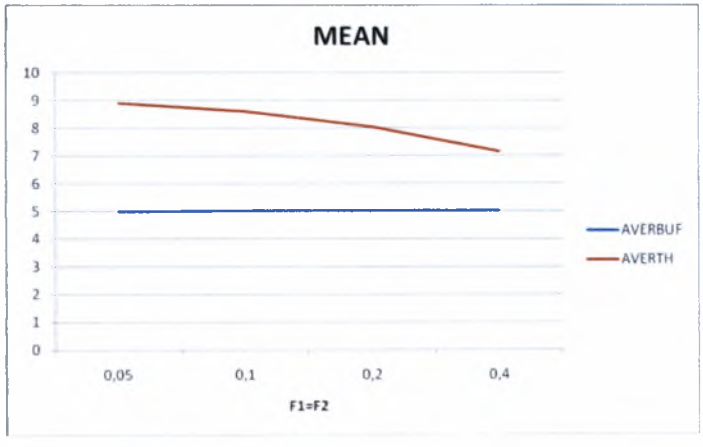
N=10

Και στο συγκεκριμένο έλεγχο γίνεται αλλαγή των ρυθμών του χρόνου βλαβών της κάθε μηχανής και εξετάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Επομένως για *P1=P2= 10 parts/hr, R1=R2= 2 failures/hr, N=10 και για F1=F2 = 0.05, 0.1, 0.2, 0.4* τα αποτελέσματα διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 3-7: Μέσος όρος για *P1=P2=10, R1=R2=2, N=10*

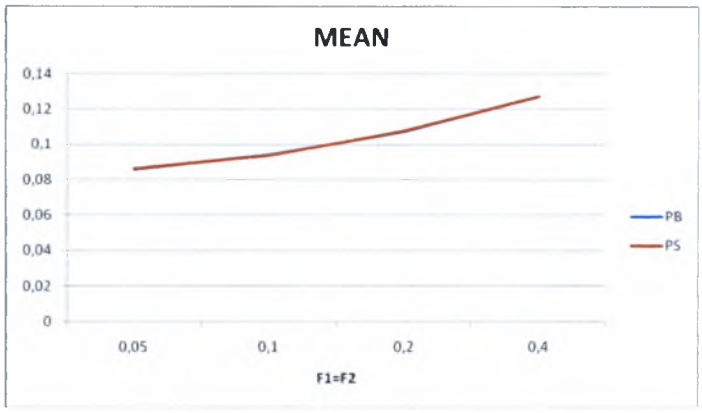
F1=F2	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0,05	4,994646	8,900764	0,08571	0,086151
0,1	5,006757	8,596454	0,094124	0,093784
0,2	4,997524	8,045004	0,107465	0,107733
0,4	5,000055	7,14358	0,127523	0,127301



Σχήμα 3-5: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει των ρυθμών βλαβών

Παρατηρείται ότι με την αύξηση των ρυθμών βλαβών στο σύστημα το μέσο επίπεδο του ενδιάμεσου χώρου αποθήκευσης δε μεταβάλλεται ιδιαίτερα ενώ η απόδοση του συστήματος μειώνεται.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88



Σχήμα 3-6: Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρίσματος και πείνας συναρτήσει των ρυθμών βλαβών

Είναι λογικό με την αύξηση των ρυθμών βλαβών, τα ποσοστά μπλοκαρίσματος και πείνας να αυξάνονται μιας και το σύστημα λειτούργει λιγότερο χρόνο.

Πίνακας 3-8: Τυπική απόκλιση για *P1=P2=10, R1=R2=2, N=10*

F1=F2	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0,05	0,024532	0,010204	0,001047	0,000986
0,1	0,014616	0,007465	0,000762	0,000695
0,2	0,022033	0,009762	0,00105	0,000966
0,4	0,020413	0,012219	0,00122	0,001206

Πίνακας 3-9: Διάστημα εμπιστοσύνης για *P1=P2=10, R1=R2=2, N=10*

F1=F2	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0,05	[4.985868-5.003425]	[8.897113-8.904415]	[0.085335-0.086085]	[0.085798-0.086504]
0,1	[5.001527-5.011988]	[8.593782-8.599125]	[0.093852-0.094397]	[0.093535-0.094033]
0,2	[4.989639-5.005408]	[8.041510-8.048497]	[0.107089-0.107841]	[0.107387-0.108079]
0,4	[4.992751-5.007360]	[7.139208-7.147953]	[0.127086-0.127959]	[0.126870-0.127733]

3.2.4 Τέταρτος πειραματικός έλεγχος

Ορίζονται οι ρυθμοί επεξεργασίας στις μηχανές ένα και δυο που αποτελούν και την παράμετρο λ των αντιστοιχών εκθετικών κατανομών.

P1=P2= 10 parts/hr

Η χωρητικότητα του αποθηκευτικού χώρου

N=10

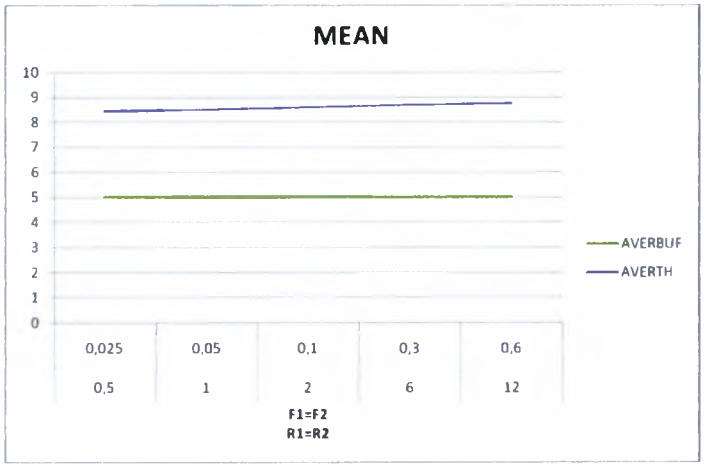
Και στο συγκεκριμένο έλεγχο γίνεται αλλαγή των ρυθμών του χρόνου βλαβών της κάθε μηχανής , των ρυθμών του χρόνου επιδιόρθωσης της κάθε μηχανής αντίστοιχα και εξετάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Επομένως για *P1=P2= 10 parts/hr, N=10, για F1=F2 = 0.0025, 0.05, 0.1, 0.3, 0.6 failures/hr και R1=R2= 0.5, 1, 2, 6, 12 repairs/hr* τα αποτελέσματα διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 3-10: Μέσος όρος για *P1=P2=10, N=10*

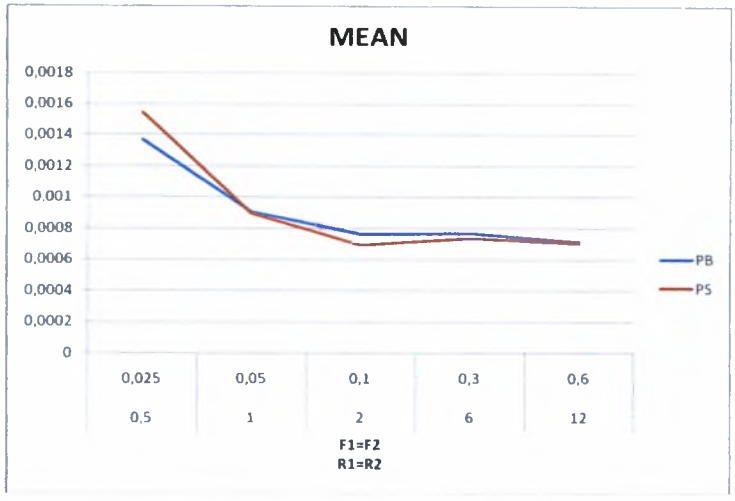
R1=R2	F1=F2	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0,5	0,025	4,99588	8,459364	0,107376	0,107533
1	0,05	4,997467	8,515661	0,101534	0,101696
2	0,1	5,006757	8,596454	0,094124	0,093784
6	0,3	4,996867	8,702561	0,08362	0,083837
12	0,6	4,998391	8,742944	0,08017	0,080196



Σχήμα 3-7: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει των ρυθμών βλαβών και επιδιόρθωσης

Όπως παρατηρήθηκε και στον προηγούμενο πειραματικό έλεγχο η αύξηση των ρυθμών επιδιόρθωσης και βλαβών δεν επηρεάζουν το μέσο επίπεδο του ενδιάμεσου χώρου αποθήκευσης. Το ίδιο συμβαίνει και με την ταυτόχρονη αύξηση τους. Παρόλα αυτά παρατηρείται ότι με την ταυτόχρονη αύξηση των ρυθμών επιδιόρθωσης και βλαβών η απόδοση του συστήματος αυξάνεται.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88



Σχήμα 3-8: Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρίσματος και πείνας συναρτήσει των ρυθμών βλαβών και επιδιόρθωσης

Τα ποσοστά του χρόνου μπλοκαρίσματος και πείνας παρατηρείται ότι μειώνεται όσο αυξάνονται οι ρυθμοί βλαβών και επιδιορθώσεων.

Πίνακας 3-11: Τυπική απόκλιση για *P1=P2=10, N=10*

R1=R2	F1=F2	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0,5	0,025	0,022734	0,01824	0,001367	0,001547
1	0,05	0,019341	0,010127	0,000906	0,000895
2	0,1	0,014616	0,007465	0,000762	0,000695
6	0,3	0,018387	0,009413	0,000767	0,00074
12	0,6	0,018124	0,00696	0,000712	0,000702

Πίνακας 3-12: Διάστημα εμπιστοσύνης για *P1=P2=10, N=10*

R1=R2	F1=F2	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0,5	0,025	[4.987745-5.004015]	[8.452837-8.465891]	[0.106887-0.107865]	[0.106979-0.108087]
1	0,05	[4.990546-5.004388]	[8.512037-8.519285]	[0.101210-0.101858]	[0.101376-0.102016]
2	0,1	[5.001527-5.011988]	[8.593782-8.599125]	[0.093852-0.094397]	[0.093535-0.094033]
6	0,3	[4.990287-5.003446]	[8.699193-8.705929]	[0.083345-0.083894]	[0.083572-0.084102]
12	0,6	[4.991906-5.004876]	[8.740453-8.745434]	[0.079915-0.080425]	[0.079945-0.080448]

3.2.5 Πέμπτος πειραματικός έλεγχος

Ορίζεται ο ρυθμός επεξεργασίας για την πρώτη μηχανή

P1=10 parts/hr

Οι ρυθμοί βλαβών για κάθε μηχανή

F1=F2= 0,1 failures/hr

Οι ρυθμοί επιδιορθώσεων για κάθε βλάβη μηχανής

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

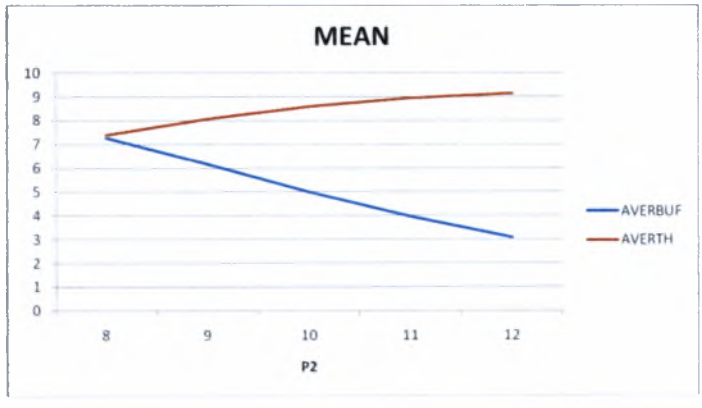
R1=R2= 2 repair/hr

Και στο συγκεκριμένο έλεγχο γίνεται αλλαγή των ρυθμών του χρόνου επεξεργασίας της δεύτερης μηχανής και εξετάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Επομένως για *P1= 10 parts/hr, N=10, για F1=F2 = 0.1 failures/hr για R1=R2= 2 repairs/hr και για P2 = 8, 9, 10, 11, 12 parts/hr* τα αποτελέσματα διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 3-13: Μέσος όρος για *P1=10, F1=F2=0.1, R1=R2=2, N=10*

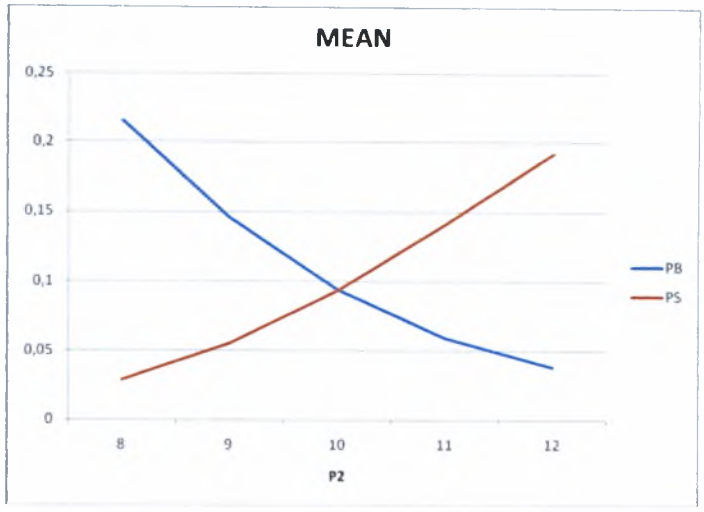
P2	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
8	7,257551	7,393709	0,215323	0,028709
9	6,153303	8,082597	0,145685	0,055324
10	5,006757	8,596454	0,094124	0,093784
11	3,955029	8,937348	0,059503	0,141273
12	3,098394	9,14714	0,038144	0,192292



Σχήμα 3-9: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει του ρυθμού παραγωγής της M2

Όσο αυξάνεται ο ρυθμός επεξεργασίας στην δεύτερη μηχανή είναι λογικό να αυξάνεται η συνολική απόδοση του συστήματος και φυσικά να μειώνεται το μέσο επίπεδο του ενδιάμεσου αποθηκευτικού χώρου.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88



Σχήμα 3-10: Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρίσματος και πείνας συναρτήσει του ρυθμού παραγωγής της M2

Η αύξηση του ρυθμού επεξεργασίας της δεύτερης μηχανής είναι λογικό να ελαύνει το ποσοστό του χρόνου οπού η πρώτη μηχανή είναι μπλοκαρισμένη και να αυξάνει το ποσοστό του χρόνου οπού η δεύτερη μηχανή πεινάει.

Πίνακας 3-14: Τυπική απόκλιση για *P1=10, F1=F2=0.1, R1=R2=2, N=10*

P2	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
8	0,017713	0,009042	0,001145	0,000564
9	0,019978	0,009809	0,001053	0,00076
10	0,014616	0,007465	0,000762	0,000695
11	0,021897	0,010291	0,000797	0,001094
12	0,021045	0,009576	0,000716	0,001276

Πίνακας 3-15: Διάστημα εμπιστοσύνης για *P1=10, F1=F2=0.1, R1=R2=2, N=10*

P2	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
8	[7.251212-7.263889]	[7.390474-7.396945]	[0.214913-0.215732]	[0.028508-0.028911]
9	[6.146154-6.160452]	[8.079086-8.086107]	[0.145308-0.146062]	[0.055052-0.055596]
10	[5.001527-5.011988]	[8.593782-8.599125]	[0.093852-0.094397]	[0.093535-0.094033]
11	[3.947194-3.962865]	[8.933665-8.941031]	[0.059218-0.059788]	[0.140882-0.141665]
12	[3.090863-3.105925]	[9.143713-9.150567]	[0.037887-0.038400]	[0.191835-0.192748]

3.2.6 Έκτος πειραματικός έλεγχος

Σε αυτόν τον πειραματικό έλεγχο θα γίνουν κάποιες μετατροπές. Οι χρόνοι παραγωγής στις μηχανές θα γεννιούνται τυχαία χρησιμοποιώντας διαφορετική

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

κατανομή. Θα χρησιμοποιηθεί η ομοιόμορφη κατανομή. Ο τύπος της αθροιστικής ομοιόμορφης κατανομής είναι:

$F(x) = 1 / (b-a)$ *για* $a<x<b$

Λύνοντας ως προς x τότε

Οι τυχαίοι χρόνοι επεξεργασίας δίνονται από τον τύπο:

$$x = a + (b - a)y$$

Οπού $\chi = tp1,\ tp2$

y = τυχαίοι αριθμοί από *0* έως *1*

Τα a και b είναι τα όρια για την ομοιόμορφη κατανομή και δίνεται από το χρήστη. Επομένως για κάθε μηχανή ορίζεται κάποιο a και κάποιο b είτε για τους χρόνους επεξεργασίας είτε για τους χρόνους βλαβών είτε για τους χρόνους επιδιόρθωσης.

Στο συγκεκριμένο πειραματικό έλεγχο θα χρησιμοποιηθεί η ομοιόμορφη κατανομή για τους χρόνους παραγωγής και η εκθετική κατανομή για τους χρόνους βλαβών και επιδιορθώσεων.

Ορίζονται οι παράμετροι για τους χρόνους παραγωγής

P1=P2 με *a=0.05hour/part* και *b=0.15hour/part*

Οι ρυθμοί βλαβών για κάθε μηχανή

F1=F2= 0,1 failures/hr

Οι ρυθμοί επιδιορθώσεων για κάθε βλάβη μηχανής

R1=R2= 2 repair/hr

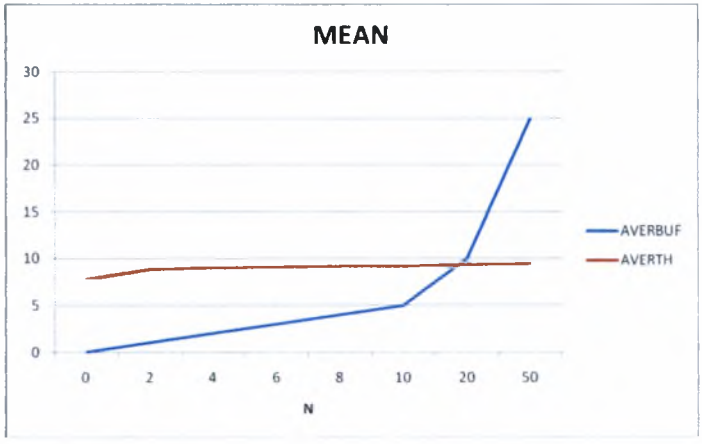
Και στο συγκεκριμένο έλεγχο γίνεται αλλαγή της χωρητικότητας του αποθηκευτικού χώρου και εξετάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Επομένως για *P1= P2 με a=0.05hour/part* και *b=0.15hour/part, για F1=F2 = 0.1 failures/hr για R1=R2= 2 repairs/hr και για N=0,2,4,6,8,10,20,50* τα αποτελέσματα διαμορφώνονται ως εξής:

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Πίνακας 3-16: Μέσος όρος για *P1=P2 με a=0.05 και b=0.15, F1=F2=0,1, R1=R2=2*

N	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0	0	7,803547	0,173547	0,173594
2	0,999797	8,845665	0,068721	0,068741
4	1,999956	9,022139	0,050912	0,050941
6	3,000206	9,115752	0,04178	0,041662
8	4,001114	9,169278	0,035995	0,036002
10	4,997483	9,213296	0,031582	0,031522
20	9,994384	9,33183	0,01961	0,019587
50	24,902911	9,432858	0,009171	0,009334



Σχήμα 3-11: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει της χωρητικότητας του buffer

Παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα σε σύγκριση με την εκθετική κατανομή είναι καλυτέρα. Το σύστημα έχει καλύτερες αποδόσεις σε σχέση με την εκθετική κατανομή. Αυτό συμβαίνει διότι η εκθετική κατανομή έχει μεγαλύτερη μεταβλητότητα σε σχέση με την ομοιόμορφη. Η μεταβλητότητα της εκθετικής είναι:

$CV = s / x$

Όπου CV η μεταβλητότητα

S = *τυπική απόκλιση*

X = *ο μέσος όρος*

Για την εκθετική ισχύει

$s = 1/\lambda$ *και* $x = 1/\lambda$

επομένως CV εκθετικής είναι 1

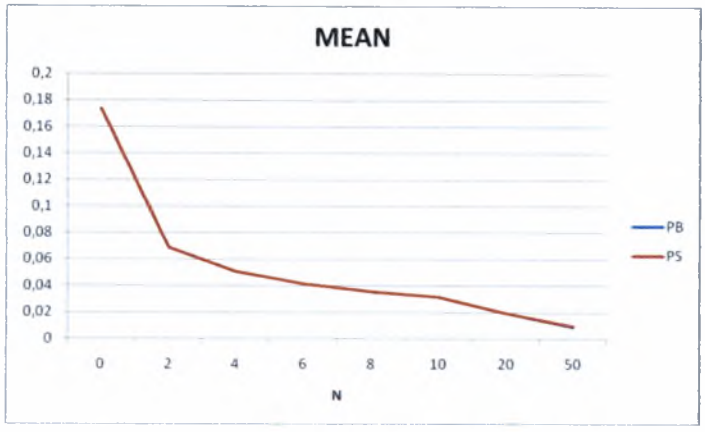
Για την ομοιόμορφη ισχύει

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

$s = \frac{b-a}{\sqrt{12}}$ *και* $x = (b-a)/2$

επομένως για $a = 0.05$ και $b = 0.15$

$CV = 0.56 < 1$ *της εκθετικής*



Σχήμα 3-12: Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρίσματος και πείνας συναρτήσει της χωρητικότητας του buffer

Το ίδιο συμβαίνει και για τα ποσοστά μπλοκαρίσματος και πείνας. Εφόσον είναι πιο γρήγορο σχετικά και αποδοτικότερο το σύστημα.

Πίνακας 3-17: Τυπική απόκλιση για *P1=P2 με a=0.05 και b=0.15, F1=F2=0,1, R1=R2=2*

N	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0	0	0,005548	0,000498	0,000538
2	0,001998	0,007994	0,000509	0,000493
4	0,00943	0,007934	0,000533	0,000656
6	0,01605	0,008044	0,000504	0,000642
8	0,026872	0,008265	0,000673	0,000617
10	0,037982	0,009169	0,000682	0,000647
20	0,114083	0,006298	0,000543	0,000526
50	0,518385	0,00551	0,000563	0,000537

Πίνακας 3-18: Διάστημα εμπιστοσύνης για *P1=P2 με a=0.05 και b=0.15, F1=F2=0,1, R1=R2=2*

N	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0	[0.000000-0.000000]	[7.801561-7.805532]	[0.173369-0.173726]	[0.173401-0.173786]
2	[0.999082-1.000511]	[8.842805-8.848526]	[0.068539-0.068904]	[0.068565-0.068918]
4	[1.996581-2.003330]	[9.019300-9.024979]	[0.050722-0.051103]	[0.050706-0.051176]
6	[2.994462-3.005949]	[9.112874-9.118631]	[0.041600-0.041960]	[0.041432-0.041892]
8	[3.991498-4.010730]	[9.166321-9.172236]	[0.035755-0.036236]	[0.035781-0.036223]
10	[4.983892-5.011075]	[9.210015-9.216577]	[0.031338-0.031826]	[0.031290-0.031753]
20	[9.953560-10.035208]	[9.329577-9.334084]	[0.019416-0.019804]	[0.019399-0.019775]
50	[24.717410-25.088413]	[9.430886-9.434830]	[0.008970-0.009373]	[0.009142-0.009527]

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

3.2.7 Έβδομος πειραματικός έλεγχος

Σε αυτόν τον πειραματικό έλεγχο οι χρόνοι παραγωγής θα γεννιούνται από την εκθετική κατανομή ενώ αντίθετα οι χρόνοι βλαβών και οι χρόνοι επιδιορθώσεων θα γεννιούνται από την ομοιόμορφη κατανομή.

Ορίζονται οι παράμετροι για τους χρόνους παραγωγής

P1=P2= 10 parts/hr

Οι ρυθμοί βλαβών για κάθε μηχανή

F1=F2= με *a=5hr/failure* και *b=15hr/failure*

\Οι ρυθμοί επιδιορθώσεων για κάθε βλάβη μηχανής

R1=R2 με *a=0.16hr/repair* και *b=0.83hr/repair*

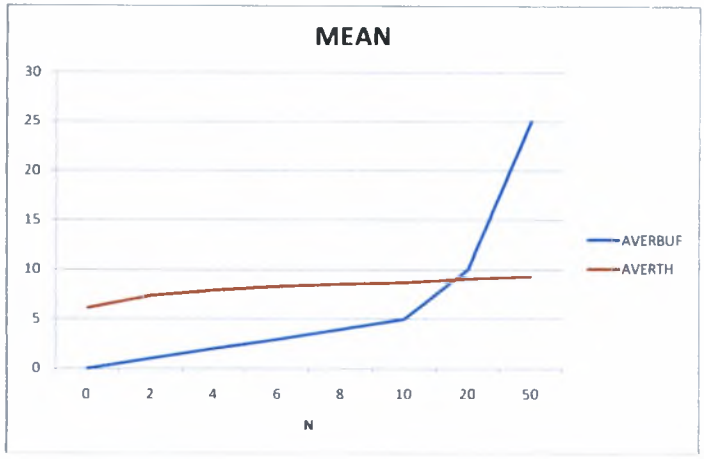
Και στο συγκεκριμένο έλεγχο γίνεται αλλαγή της χωρητικότητας του αποθηκευτικού χώρου και εξετάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Επομένως για *P1= P2=10 parts/hr* , *για F1=F2* με *a=5hr/failure* και *b=0.15hr/failure για R1=R2* με *a=0.16hr/repair* και *b=0.83hr/repair και για N=0,2,4,6,8,10,20,50* τα αποτελέσματα διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 3-19: Μέσος όρος για *P1=P2=10, F1=F2 με a=5 και b=15, R1=R2 με a=0,16 και b=0.83*

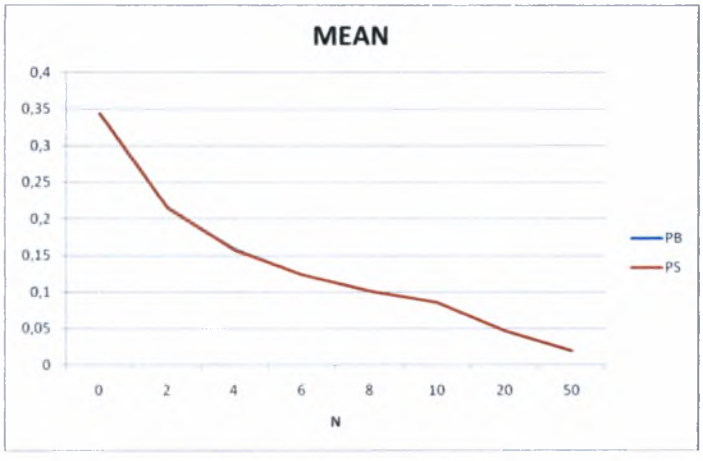
N	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0	0	6,128087	0,343753	0,343572
2	0,999539	7,397322	0,215146	0,215531
4	2,002312	7,96666	0,158107	0,157504
6	3,000701	8,298597	0,124241	0,124048
8	4,002647	8,516712	0,102122	0,101835
10	4,99843	8,674353	0,085949	0,086118
20	9,993689	9,060123	0,046986	0,047056
50	24,969967	9,328052	0,019792	0,01974

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88



Σχήμα 3-13: Μεταβολή μέσου όρου του μέσου επιπέδου του buffer και του μέσου όρου απόδοσης(throughput) συναρτήσει της χωρητικότητας του buffer

Λόγω της μεταβλητότητας που αναφέρθηκε στον προηγούμενο πειραματικό έλεγχο παρατηρείται ότι η απόδοση αυξάνεται ελάχιστα σε σχέση με την εκθετική μιας και η ομοιόμορφη κατανομή στους χρόνους βλαβών και επιδιορθώσεων επιταχύνει ελάχιστα την παραγωγική διαδικασία.



Σχήμα 3-14: Μεταβολή μέσου όρου των ποσοστών μπλοκαρίσματος και πείνας συναρτήσει της χωρητικότητας του buffer

Παρατηρείται επίσης ελάχιστη μείωση στα ποσοστά μπλοκαρίσματος και πείνας μιας και η απόδοση του συστήματος είναι ελάχιστα μεγαλύτερη.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Πίνακας 3-20: Τυπική απόκλιση για *P1=P2=10, F1=F2 με a=5 & b=15, R1=R2 με a=0,16& b=0.83*

N	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0	0	0,005865	0,000714	0,000726
2	0,00173	0,007396	0,000629	0,000561
4	0,004152	0,008032	0,000583	0,000644
6	0,00947	0,009022	0,000779	0,000921
8	0,013773	0,008149	0,000996	0,000851
10	0,017417	0,008489	0,000742	0,0008
20	0,05938	0,007121	0,000815	0,000888
50	0,367907	0,007025	0,000727	0,000864

Πίνακας 3-21:Διάστημα εμπιστοσύνης *P1=P2=10, F1=F2 με a=5& b=15, R1=R2 με a=0,1& b=0.83*

N	AVERBUF	AVERTH	PB	PS
0	[0.000000-0.000000]	[6.125989-6.130186]	[0.343497-0.344008]	[0.343312-0.343831]
2	[0.998920-1.000158]	[7.394676-7.399969]	[0.214921-0.215371]	[0.215331-0.215732]
4	[2.000826-2.003798]	[7.963786-7.969534]	[0.157898-0.158316]	[0.157273-0.157734]
6	[2.997312-3.004090]	[8.295369-8.301826]	[0.123962-0.124520]	[0.123718-0.124377]
8	[3.997718-4.007576]	[8.513796-8.519628]	[0.101765-0.102478]	[0.101530-0.102139]
10	[4.992197-5.004662]	[8.671315-8.677391]	[0.085683-0.086214]	[0.085832-0.086404]
20	[9.972440-10.014938]	[9.057575-9.062671]	[0.046694-0.047278]	[0.046738-0.047374]
50	[24.838313-25.101621]	[9.325538-9.330566]	[0.019532-0.020052]	[0.019431-0.020049]

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Κεφάλαιο 4 Συμπεράσματα

Παρατηρώντας προσεκτικά τα αποτελέσματα που εξάγονται από τους πειραματικούς ελέγχους διαπιστώνονται οι αλλαγές και οι μεταβολές που υπόκειται το σύστημα διαφοροποιώντας τις βασικές παραμέτρους του.

Στην περίπτωση όπου οι χρόνοι επεξεργασίας βλαβών και επιδιορθώσεων γεννιούνται από την εκθετική κατανομή εύκολα διαπιστώνεται ότι η αύξηση της χωρητικότητας του ενδιάμεσου αποθηκευτικού χώρου αυξάνει την απόδοση του συστήματος. Αυτό συμβαίνει αφού στην ουσία αυξάνεται ο διαθέσιμος χώρος προς αποθήκευση και οι μηχανές τους συστήματος έχουν την δυνατότητα να επεξεργάζονται περισσότερη ώρα τα προς επεξεργασία προϊόντα. Ελαττώνονται τα ποσοστά οπού η πρώτη μηχανή είναι μπλοκαρισμένη και η δεύτερη μηχανή πεινάει.

Επίσης με την αύξηση του ρυθμού των επιδιορθώσεων η απόδοση τους συστήματος αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει μιας και τα ποσοστά μπλοκαρίσματος και πείνας περιορίζονται όσο αυξάνονται οι ρυθμοί επιδιορθώσεων.

Το αντίθετο συμβαίνει με την αύξηση των ρυθμών βλαβών στις μηχανές. Σε αυτή την περίπτωση εφόσον έχουμε περισσότερες βλάβες τα ποσοστά μπλοκαρίσματος και πείνας αυξάνονται.

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι με την ταυτόχρονη αύξηση των ρυθμών επιδιόρθωσης αλλά και βλαβών παρατηρείται αύξηση της απόδοσης. Αυτό δείχνει ότι είναι προτιμότερο να έχουμε περισσότερες βλάβες μικρής διάρκειας και γρήγορης επιδιόρθωσης παρά μεγάλης διάρκειας με αργό χρόνο επιδιόρθωσης.

Με την αύξηση του ρυθμού παραγωγικότητας της δεύτερης μηχανής παρατηρείται η αύξηση της απόδοσης. Προφανώς η αύξηση του ρυθμού στην δεύτερη μηχανή μειώνει τα ποσοστά μπλοκαρίσματος στην πρώτη μηχανή επομένως επεξεργάζεται περισσότερο χρόνο προϊόντα και άρα αυξάνει την απόδοση μιας και η συνολική παραγωγικότητα επί της ουσίας είναι η συνολική παραγωγικότητα της δεύτερης μηχανής.

Τέλος η χρησιμοποίηση της ομοιόμορφης κατανομής αντί της εκθετικής επηρεάζει θετικά το σύστημα λόγω της μικρότερης μεταβλητότητας σε σχέση με την εκθετική κατανομή.

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Βιβλιογραφία

[1] Yves Dallery, Manufacturing flow lines systems: a review of models and analytical results 8 (1992)

[2] T.Altiok and S.Stidham, Jr, A note on transfer lines with unreliable machines, random processing times, and infinite buffers, IIE Trans. 14(1982) 125-127

[3] M.H. Ammar, Modeling and analysis of unreliable manufacturing assembly networks with finite storages, Technical Report LIDS-TH-1004, MIT Laboratory for Information and Decision Systems(1980)

[4] T.Altiok, Approximate analysis of exponential tandem queues with blocking, Europ. J. Oper. Res 11 (1982

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```c
#include <stdio.h>
#include <assert.h>
#include <ctype.h>
#include <errno.h>
#include <float.h>
#include <limits.h>
#include <locale.h>
#include <math.h>
#include <setjmp.h>
#include <signal.h>
#include <stddef.h>
#include <stdarg.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/errno.h>
#include <sys/signal.h>
#include <time.h>

double p1,p2,f1,f2,r1,r2;
double tend,tsim,tmin;
int a,n,N,b,s,cases;
double tp1,tp2,tf1,tf2,tr1,tr2;

double *CUMCASE,*CUMBUF;
int CUMTH;
double AVERBUF, AVERTH, PB, PS;
double sumAVERBUF, sumAVERTH, sumPB, sumPS;
double *lAVERBUF, *lAVERTH, *lPB, *lPS;

double randomize(double l) {
    double y=drand48();
    double x=-log(1-y)/l;
    return x;
}

inline void mintwo(double a, double b, double *t, int *temp) {
    if(a<b) {
        *t=a;
        *temp=1;
    }
    else {
        *t=b;
        *temp=2;
    }
}

inline void minthree(double a, double b,
    double c, double *t, int *temp) {
    if(a<b && a<c) {
        *t=a;
        *temp=1;
    }
    else if(b<c) {
        *t=b;
        *temp=2;
    }
    else {
        *t=c;
        *temp=3;
    }
}

inline void minfour(double a, double b,
    double c, double d, double *t, int *temp) {
    if(a<b && a<c && a<d) {
        *t=a;
        *temp=1;
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
    }
    else if(b<c && b<d) {
        *t=b;
        *temp=2;
    }
    else if(c<d) {
        *t=c;
        *temp=3;
    }
    else {
        *t=d;
        *temp=4;
    }
}

void configure(int i, int j, double t)
{
    CUMCASE[i]+=t;
    CUMBUF[j]+=t;
}

void selection() {
    int temp=0;

    //CASE #1
    if (a==3 && n>=0 && n<=N && b==0 && s==0)
    {
        minfour(tp1,tp2,tf1,tf2,&tmin,&temp);
        configure(0,n,tmin);
        switch(temp)
        {
            case 1:
            {
                if(n==N)
                    b=1;
                else
                    n++;
                tp1=randomize(p1);
                tp2-=tmin;
                tf1-=tmin;
                tf2-=tmin;
                break;
            }
            case 2:
            {
                CUMTH++;
                if(n==0)
                    s=1;
                else
                    n--;
                tp2=randomize(p2);
                tp1-=tmin;
                tf1-=tmin;
                tf2-=tmin;
                break;
            }
            case 3:
            {
                a=1;
                tr1=randomize(r1);
                tp1-=tmin;
                tp2-=tmin;
                tf2-=tmin;
                break;
            }
            case 4:
            {
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
                a=2;
                tr2=randomize(r2);
                tp1-=tmin;
                tp2-=tmin;
                tf1-=tmin;
                break;
            }
        }
    }

    //CASE #2
    else if (a==1 && n>=0 && n<=N && b==0 && s==0)
    {
        minthree(tp2,tr1,tf2,&tmin,&temp);
        configure(1,n,tmin);
        switch(temp)
        {
            case 1:
            {
                CUMTH++;
                if(n==0)
                    s=1;
                else
                    n--;
                tp2=randomize(p2);
                tr1-=tmin;
                tf2-=tmin;
                break;
            }
            case 2:
            {
                a=3;
                tf1=randomize(f1);
                tp2-=tmin;
                tf2-=tmin;
                break;
            }
            case 3:
            {
                a=0;
                tr2=randomize(r2);
                tp2-=tmin;
                tr1-=tmin;
                break;
            }
        }
    }

    //CASE #3
    else if (a==2 && n>=0 && n<=N && b==0 && s==0)
    {
        minthree(tp1,tf1,tr2,&tmin,&temp);
        configure(2,n,tmin);
        switch(temp)
        {
            case 1:
            {
                if(n==N)
                    b=1;
                else
                    n++;
                tp1=randomize(p1);
                tf1-=tmin;
                tr2-=tmin;
                break;
            }
            case 2:
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
202             {
203                 a=0;
204                 tr1=randomize(r1);
205                 tp1-=tmin;
206                 tr2-=tmin;
207                 break;
208             }
209             case 3:
210             {
211                 a=3;
212                 tf2=randomize(f2);
213                 tp1-=tmin;
214                 tf1-=tmin;
215                 break;
216             }
217         }
218     }
219
220     //CASE #4
221     else if (a==0 && n>=0 && n<=N && b==0 && s==0)
222     {
223         mintwo(tr1,tr2,&tmin,&temp);
224         configure(3,n,tmin);
225         switch(temp)
226         {
227             case 1:
228             {
229                 a=2;
230                 tf1=randomize(f1);
231                 tr2-=tmin;
232                 break;
233             }
234             case 2:
235             {
236                 a=1;
237                 tf2=randomize(f2);
238                 tr1-=tmin;
239                 break;
240             }
241         }
242     }
243
244     //CASE #5
245     else if (a==3 && n==N && b==1 && s==0)
246     {
247         minthree(tp2,tf1,tf2,&tmin,&temp);
248         configure(4,n,tmin);
249         switch(temp)
250         {
251             case 1:
252             {
253                 CUMTH++;
254                 b=0;
255                 tp1=randomize(p1);
256                 tp2=randomize(p2);
257                 tf1-=tmin;
258                 tf2-=tmin;
259                 break;
260             }
261             case 2:
262             {
263                 a=1;
264                 tr1=randomize(r1);
265                 tp2-=tmin;
266                 tf2-=tmin;
267                 break;
268             }
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
269             case 3:
270             {
271                 a=2;
272                 tr2=randomize(r2);
273                 tp2-=tmin;
274                 tf1-=tmin;
275                 break;
276             }
277         }
278     }
279
280     //CASE #6
281     else if (a==1 && n==N && b==1 && s==0)
282     {
283         minthree(tp2,tr1,tf2,&tmin,&temp);
284         configure(5,n,tmin);
285         switch(temp)
286         {
287             case 1:
288             {
289                 CUMTH++;
290                 b=0;
291                 tp2=randomize(p2);
292                 tr1-=tmin;
293                 tf2-=tmin;;
294                 break;
295             }
296             case 2:
297             {
298                 a=3;
299                 tf1=randomize(f1);
300                 tp2-=tmin;
301                 tf2-=tmin;
302                 break;
303             }
304             case 3:
305             {
306                 a=0;
307                 tr2=randomize(r2);
308                 tp2-=tmin;
309                 tr1-=tmin;
310                 break;
311             }
312         }
313     }
314
315     //CASE #7
316     else if (a==2 && n==N && b==1 && s==0)
317     {
318         mintwo(tf1,tr2,&tmin,&temp);
319         configure(6,n,tmin);
320         switch(temp)
321         {
322             case 1:
323             {
324                 a=0;
325                 tr1=randomize(r1);
326                 tr2-=tmin;
327                 break;
328             }
329             case 2:
330             {
331                 a=3;
332                 tf2=randomize(f2);
333                 tf1-=tmin;
334                 break;
335             }
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
336         }
337     }
338 
339     //CASE #8
340     else if (a==0 && n==N && b==1 && s==0)
341     {
342         mintwo(tr1,tr2,&tmin,&temp);
343         configure(7,n,tmin);
344         switch(temp)
345         {
346             case 1:
347             {
348                 a=2;
349                 tf1=randomize(f1);
350                 tr2-=tmin;
351                 break;
352             }
353             case 2:
354             {
355                 a=1;
356                 tf2=randomize(f2);
357                 tr1-=tmin;
358                 break;
359             }
360         }
361     }
362 
363     //CASE #9
364     else if (a==3 && n==0 && b==0 && s==1)
365     {
366         minthree(tp1,tf1,tf2,&tmin,&temp);
367         configure(8,n,tmin);
368         switch(temp)
369         {
370             case 1:
371             {
372                 s=0;
373                 tp1=randomize(p1);
374                 tp2=randomize(p2);
375                 tf1-=tmin;
376                 tf2-=tmin;
377                 break;
378             }
379             case 2:
380             {
381                 a=1;
382                 tr1=randomize(r1);
383                 tp1-=tmin;
384                 tf2-=tmin;
385                 break;
386             }
387             case 3:
388             {
389                 a=2;
390                 tr2=randomize(r2);
391                 tp1-=tmin;
392                 tf1-=tmin;
393                 break;
394             }
395         }
396     }
397 
398     //CASE #10
399     else if (a==1 && n==0 && b==0 && s==1)
400     {
401         mintwo(tr1,tf2,&tmin,&temp);
402         configure(9,n,tmin);
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
403         switch(temp)
404         {
405             case 1:
406             {
407                 a=3;
408                 tf1=randomize(f1);
409                 tf2-=tmin;
410                 break;
411             }
412             case 2:
413             {
414                 a=0;
415                 tr2=randomize(r2);
416                 tr1-=tmin;
417                 break;
418             }
419         }
420     }
421
422     //CASE #11
423     else if (a==2 && n==0 && b==0 && s==1)
424     {
425         minthree(tp1,tf1,tr2,&tmin,&temp);
426         configure(10,n,tmin);
427         switch(temp)
428         {
429             case 1:
430             {
431                 s=0;
432                 tp1=randomize(p1);
433                 tf1-=tmin;
434                 tr2-=tmin;
435                 break;
436             }
437             case 2:
438             {
439                 a=0;
440                 tr1=randomize(r1);
441                 tp1-=tmin;
442                 tr2-=tmin;
443                 break;
444             }
445             case 3:
446             {
447                 a=3;
448                 tf2=randomize(f2);
449                 tp1-=tmin;
450                 tf1-=tmin;
451                 break;
452             }
453         }
454     }
455
456     //CASE #12
457     else if (a==0 && n==0 && b==0 && s==1)
458     {
459         mintwo(tr1,tr2,&tmin,&temp);
460         configure(11,n,tmin);
461         switch(temp)
462         {
463             case 1:
464             {
465                 a=2;
466                 tf1=randomize(f1);
467                 tr2-=tmin;
468                 break;
469             }
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
            case 2:
            {
                a=1;
                tf2=randomize(f2);
                tr1-=tmin;
                break;
            }
        }
    }

    else
    {
        temp=0;
        printf("--------------\n");
        printf("ERROR: NO CASE\n");
        printf("--------------\n");
    }
}

int main(void) {

    //EXTERNAL INITIALIZATION
    int setup1=1;
    int setup2=1;
    tend=100000;//total simulation time
    cases=12;//possible cases
    int inloops=30;//internal loops per setup
    int j=0;//counter for internal loops
    int exloops=27;//external loops
    int counter=0;//counter for external loops
    int temp1=setup1;
    int temp2=setup2;

    //FILE
    FILE *file;
    file = fopen("file.csv","w");

    for(counter=0;counter<exloops;counter++)
    {
        //CHANGE BUFFER SIZE
        if (setup1==1)
        {
            p1=10;//p1 exp
            p2=10;//p2 exp
            f1=0.1;//f1 exp
            f2=0.1;//f2 exp
            r1=2;//r1 exp
            r2=2;//r2 exp
            N=10;//max buffer size

            temp1=setup1;

            if (setup2==1)
            {
                N=0;
                temp2=setup2;
                setup2++;
            }
            else if (setup2==2)
            {
                N=2;
                temp2=setup2;
                setup2++;
            }
            else if (setup2==3)
            {
                N=4;
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
537                 temp2=setup2;
538                 setup2++;
539             }
540             else if (setup2==4)
541             {
542                 N=6;
543                 temp2=setup2;
544                 setup2++;
545             }
546             else if (setup2==5)
547             {
548                 N=8;
549                 temp2=setup2;
550                 setup2++;
551             }
552             else if (setup2==6)
553             {
554                 N=10;
555                 temp2=setup2;
556                 setup2++;
557             }
558             else if (setup2==7)
559             {
560                 N=20;
561                 temp2=setup2;
562                 setup2++;
563             }
564             else if (setup2==8)
565             {
566                 N=50;
567                 temp2=setup2;
568                 setup1=2;
569                 setup2=1;
570             }
571         }
572
573         //CHANGE R1, R2
574         else if (setup1==2)
575         {
576             p1=10;//p1 exp
577             p2=10;//p2 exp
578             f1=0.1;//f1 exp
579             f2=0.1;//f2 exp
580             r1=2;//r1 exp
581             r2=2;//r2 exp
582             N=10;//max buffer size
583
584             temp1=setup1;
585
586             if (setup2==1)
587             {
588                 r1=12;
589                 r2=12;
590                 temp2=setup2;
591                 setup2++;
592             }
593             else if (setup2==2)
594             {
595                 r1=6;
596                 r2=6;
597                 temp2=setup2;
598                 setup2++;
599             }
600             else if (setup2==3)
601             {
602                 r1=2;
603                 r2=2;
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
604                 temp2=setup2;
605                 setup2++;
606             }
607             else if (setup2==4)
608             {
609                 r1=1;
610                 r2=1;
611                 temp2=setup2;
612                 setup2++;
613             }
614             else if (setup2==5)
615             {
616                 r1=0.5;
617                 r2=0.5;
618                 temp2=setup2;
619                 setup1=3;
620                 setup2=1;
621             }
622         }
623
624         //CHANGE F1, F2
625         else if (setup1==3)
626         {
627             p1=10;//p1 exp
628             p2=10;//p2 exp
629             f1=0.1;//f1 exp
630             f2=0.1;//f2 exp
631             r1=2;//r1 exp
632             r2=2;//r2 exp
633             N=10;//max buffer size
634
635             temp1=setup1;
636
637             if (setup2==1)
638             {
639                 f1=0.05;
640                 f2=0.05;
641                 temp2=setup2;
642                 setup2++;
643             }
644             else if (setup2==2)
645             {
646                 f1=0.1;
647                 f2=0.1;
648                 temp2=setup2;
649                 setup2++;
650             }
651             else if (setup2==3)
652             {
653                 f1=0.2;
654                 f2=0.2;
655                 temp2=setup2;
656                 setup2++;
657             }
658             else if (setup2==4)
659             {
660                 f1=0.4;
661                 f2=0.4;
662                 temp2=setup2;
663                 setup1=4;
664                 setup2=1;
665             }
666         }
667
668         //CHANGE F1, F2, R1, R2
669         else if (setup1==4)
670         {
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
671                 p1=10;//p1 exp
672                 p2=10;//p2 exp
673                 f1=0.1;//f1 exp
674                 f2=0.1;//f2 exp
675                 r1=2;//r1 exp
676                 r2=2;//r2 exp
677                 N=10;//max buffer size
678
679                 temp1=setup1;
680
681                 if (setup2==1)
682                 {
683                     f1=0.025;
684                     f2=0.025;
685                     r1=0.5;
686                     r2=0.5;
687                     temp2=setup2;
688                     setup2++;
689                 }
690                 else if (setup2==2)
691                 {
692                     f1=0.05;
693                     f2=0.05;
694                     r1=1;
695                     r2=1;
696                     temp2=setup2;
697                     setup2++;
698                 }
699                 else if (setup2==3)
700                 {
701                     f1=0.1;
702                     f2=0.1;
703                     r1=2;
704                     r2=2;
705                     temp2=setup2;
706                     setup2++;
707                 }
708                 else if (setup2==4)
709                 {
710                     f1=0.3;
711                     f2=0.3;
712                     r1=6;
713                     r2=6;
714                     temp2=setup2;
715                     setup2++;
716                 }
717                 else if (setup2==5)
718                 {
719                     f1=0.6;
720                     f2=0.6;
721                     r1=12;
722                     r2=12;
723                     temp2=setup2;
724                     setup1=5;
725                     setup2=1;
726                 }
727             }
728
729             //CHANGE P2
730             else if (setup1==5)
731             {
732                 p1=10;//p1 exp
733                 p2=10;//p2 exp
734                 f1=0.1;//f1 exp
735                 f2=0.1;//f2 exp
736                 r1=2;//r1 exp
737                 r2=2;//r2 exp
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
            N=10;//max buffer size

            temp1=setup1;

            if (setup2==1)
            {
                p2=8;
                temp2=setup2;
                setup2++;
            }
            else if (setup2==2)
            {
                p2=9;
                temp2=setup2;
                setup2++;
            }
            else if (setup2==3)
            {
                p2=10;
                temp2=setup2;
                setup2++;
            }
            else if (setup2==4)
            {
                p2=11;
                temp2=setup2;
                setup2++;
            }
            else if (setup2==5)
            {
                p2=12;
                temp2=setup2;
                setup1=6;
                setup2=1;
            }
        }

        CUMCASE=(double*) malloc(cases*sizeof(double));
        CUMBUF=(double*) malloc((N+1)*sizeof(double));
        lAVERBUF=(double*) malloc(inloops*sizeof(double));
        lAVERTH=(double*) malloc(inloops*sizeof(double));
        lPB=(double*) malloc(inloops*sizeof(double));
        lPS=(double*) malloc(inloops*sizeof(double));

        int k;
        for(k=0;k<inloops;k++)
        {
            lAVERBUF[k]=0;
            lAVERTH[k]=0;
            lPB[k]=0;
            lPS[k]=0;
        }

        sumAVERBUF=0;
        sumAVERTH=0;
        sumPB=0;
        sumPS=0;

        fprintf(file, "%s", "SETUP ");
        fprintf(file, "%d", temp1);
        fprintf(file, "%s", ".");
        fprintf(file, "%d", temp2);
        fprintf(file, "%s", ",");
        fprintf(file, "%s", "P1:");
        fprintf(file, "%f", p1);
        fprintf(file, "%s", ",");
        fprintf(file, "%s", "P2:");
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
        fprintf(file, "%f", p2);
        fprintf(file, "%s", ",");
        fprintf(file, "%s", "F1:");
        fprintf(file, "%f", f1);
        fprintf(file, "%s", ",");
        fprintf(file, "%s", "F2:");
        fprintf(file, "%f", f2);
        fprintf(file, "%s", ",");
        fprintf(file, "%s", "R1:");
        fprintf(file, "%f", r1);
        fprintf(file, "%s", ",");
        fprintf(file, "%s", "R2:");
        fprintf(file, "%f", r2);
        fprintf(file, "%s", ",");
        fprintf(file, "%s", "N:");
        fprintf(file, "%d", N);
        fprintf(file, "%s", ",");
        fprintf(file, "%s", "\n\n");

        fprintf(file, "%s", ",AVERBUF,");
        fprintf(file, "%s", "AVERTH,");
        fprintf(file, "%s", "PB,");
        fprintf(file, "%s", "PS,");
        fprintf(file, "%s", "\n\n");

        for(j=0;j<inloops;j++)
        {
            //INTERNAL INITIALIZATION
            tsim=0;//current time
            tmin=0;//min time

            a=3;//machines state
            n=0;//current buffer size
            b=0;//unblocked/blocked
            s=1;//unstarved/starved

            srand48(j+1);

            //time while 1st machine produces 1 product
            tp1=randomize(p1);

            //time while 2nd machine produces 1 product
            tp2=0;

            //time while 1st machine down
            tf1=randomize(f1);

            //time while 2nd machine down
            tf2=randomize(f2);

            //time while 1st machine fix
            tr1=0;

            //time while 2nd machine fix
            tr2=0;

            int i;
            for(i=0;i<cases;i++)
                CUMCASE[i]=0;
            for(i=0;i<=N;i++)
                CUMBUF[i]=0;

            CUMTH=0;
            AVERBUF=0;
            AVERTH=0;

            //MAIN LOOP
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
872             do
873             {
874                 selection();
875                 tsim+=tmin;
876             }
877             while(tsim<=tend);
878
879             //OUTPUT ANALYSIS
880             for(i=0;i<cases;i++)
881                 CUMCASE[i]=CUMCASE[i]/tsim;
882
883
884             for(i=0;i<=N;i++)
885             {
886                 CUMBUF[i]=CUMBUF[i]/tsim;
887                 AVERBUF=AVERBUF+i*CUMBUF[i];
888             }
889
890             AVERTH=CUMTH/tsim;
891
892             PB = CUMCASE[4] + CUMCASE[5] + CUMCASE[6] + CUMCASE[7];
893             PS = CUMCASE[8] + CUMCASE[9] + CUMCASE[10] + CUMCASE[11];
894
895             lAVERBUF[j]=AVERBUF;
896             lAVERTH[j]=AVERTH;
897             lPB[j]=PB;
898             lPS[j]=PS;
899             sumAVERBUF+=AVERBUF;
900             sumAVERTH+=AVERTH;
901             sumPB+=PB;
902             sumPS+=PS;
903
904             fprintf(file, "%s", ",");
905             fprintf(file, "%f", AVERBUF);
906             fprintf(file, "%s", ",");
907             printf("    AVERBUF: %f\n\n", AVERBUF);
908
909             fprintf(file, "%f", AVERTH);
910             fprintf(file, "%s", ",");
911             printf("    AVERTH: %f\n\n", AVERTH);
912
913             fprintf(file, "%f", PB);
914             fprintf(file, "%s", ",");
915             printf("    PB: %f\n\n", PB);
916
917             fprintf(file, "%f", PS);
918             fprintf(file, "%s", ",");
919             fprintf(file, "%s", "\n");
920             printf("    PS: %f\n\n", PS);
921
922         }
923
924         int l;
925         double sumlAVERBUF=0;
926         double sumlAVERTH=0;
927         double sumlPB=0;
928         double sumlPS=0;
929         for (l=0;l<inloops;l++)
930         {
931             lAVERBUF[l]=powf((lAVERBUF[l]-(sumAVERBUF/inloops)),2);
932             sumlAVERBUF+=lAVERBUF[l];
933             lAVERTH[l]=powf((lAVERTH[l]-(sumAVERTH/inloops)),2);
934             sumlAVERTH+=lAVERTH[l];
935             lPB[l]=powf((lPB[l]-(sumPB/inloops)),2);
936             sumlPB+=lPB[l];
937             lPS[l]=powf((lPS[l]-(sumPS/inloops)),2);
938             sumlPS+=lPS[l];
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

```
939         }
940
941         sumlAVERBUF=sqrtf(sumlAVERBUF/inloops);
942         sumlAVERTH=sqrtf(sumlAVERTH/inloops);
943         sumlPB=sqrtf(sumlPB/inloops);
944         sumlPS=sqrtf(sumlPS/inloops);
945
946         fprintf(file, "%s", "MEAN,");
947         fprintf(file, "%f", sumAVERBUF/inloops);
948         fprintf(file, "%s", ",");
949         fprintf(file, "%f", sumAVERTH/inloops);
950         fprintf(file, "%s", ",");
951         fprintf(file, "%f", sumPB/inloops);
952         fprintf(file, "%s", ",");
953         fprintf(file, "%f", sumPS/inloops);
954         fprintf(file, "%s", ",\n");
955
956         fprintf(file, "%s", "STD,");
957         fprintf(file, "%f", sumlAVERBUF);
958         fprintf(file, "%s", ",");
959         fprintf(file, "%f", sumlAVERTH);
960         fprintf(file, "%s", ",");
961         fprintf(file, "%f", sumlPB);
962         fprintf(file, "%s", ",");
963         fprintf(file, "%f", sumlPS);
964         fprintf(file, "%s", ",\n");
965
966         fprintf(file, "%s", "TS,");
967         fprintf(file, "%s", "[");
968         fprintf(file, "%f", (sumAVERBUF/inloops)
969             -(1.96*sumlAVERBUF/sqrt(30)));
970         fprintf(file, "%s", "-");
971         fprintf(file, "%f", (sumAVERBUF/inloops)
972             +(1.96*sumlAVERBUF/sqrt(30)));
973         fprintf(file, "%s", "],");
974         fprintf(file, "%s", "[");
975         fprintf(file, "%f", (sumAVERTH/inloops)
976             -(1.96*sumlAVERTH/sqrt(30)));
977         fprintf(file, "%s", "-");
978         fprintf(file, "%f", (sumAVERTH/inloops)
979             +(1.96*sumlAVERTH/sqrt(30)));
980         fprintf(file, "%s", "],");
981         fprintf(file, "%s", "[");
982         fprintf(file, "%f", (sumPB/inloops)-(1.96*sumlPB/sqrt(30)));
983         fprintf(file, "%s", "-");
984         fprintf(file, "%f", (sumPB/inloops)+(1.96*sumlPB/sqrt(30)));
985         fprintf(file, "%s", "],");
986         fprintf(file, "%s", "[");
987         fprintf(file, "%f", (sumPS/inloops)-(1.96*sumlPS/sqrt(30)));
988         fprintf(file, "%s", "-");
989         fprintf(file, "%f", (sumPS/inloops)+(1.96*sumlPS/sqrt(30)));
990         fprintf(file, "%s", "],\n");
991
992         fprintf(file, "%s", "\n\n");
993
994     }
995
996     fclose(file);
997
998     return 0;
999
1000 }
1001
```

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88

Κρύϊας Ιωάννης.

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ

Προσομοίωση συστήματος παραγωγής με 500 ισοδύναμες μηχανές σε γραμμή με χωρητικότητες αποθηκών.

ΤΙΤΛΟΣ

ΛΗΞΗ	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΔΑΝΕΙΖΟΜΕΝΟΥ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
Τηλ.: 24210 06300

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
004000105797

Institutional Repository - Library & Information Centre - University of Thessaly
24/01/2026 17:26:25 EET - 18.97.14.88